



**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



ÍNDICE

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



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.¹

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 alternos². 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.

¹ Estudio de la Demanda de Transporte. IMT

² 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.

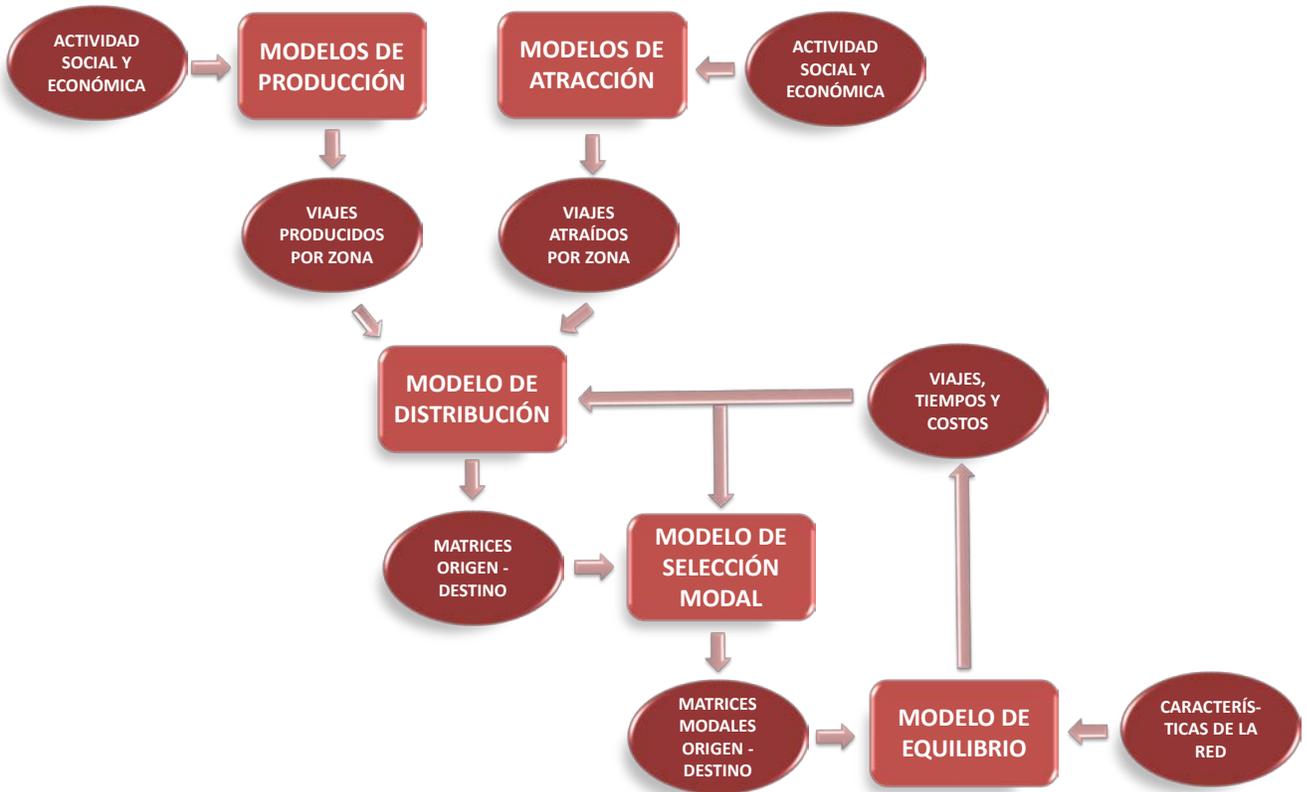


Figura 2. Proceso de Planeación de Transporte.

- 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.³

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.⁴

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

⁴ Estimación de Demanda de Transito 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.

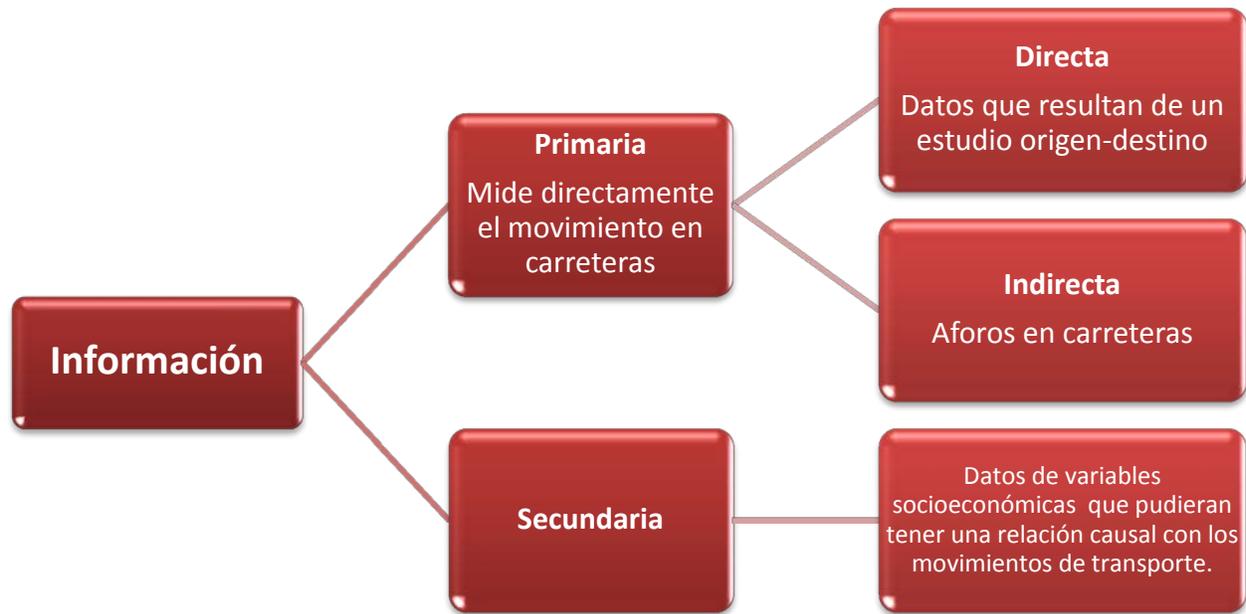


Figura 3. Información Disponible.

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.⁵

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.

⁵ 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	POB/DEL	MUNICIPIO	ESTADO	POB/DEL	MUNICIPIO	ESTADO	T	P	E	C	O	D	S	M	A			SI	NO
A	B2	B3																			(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																			(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																			(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																			(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																			(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.

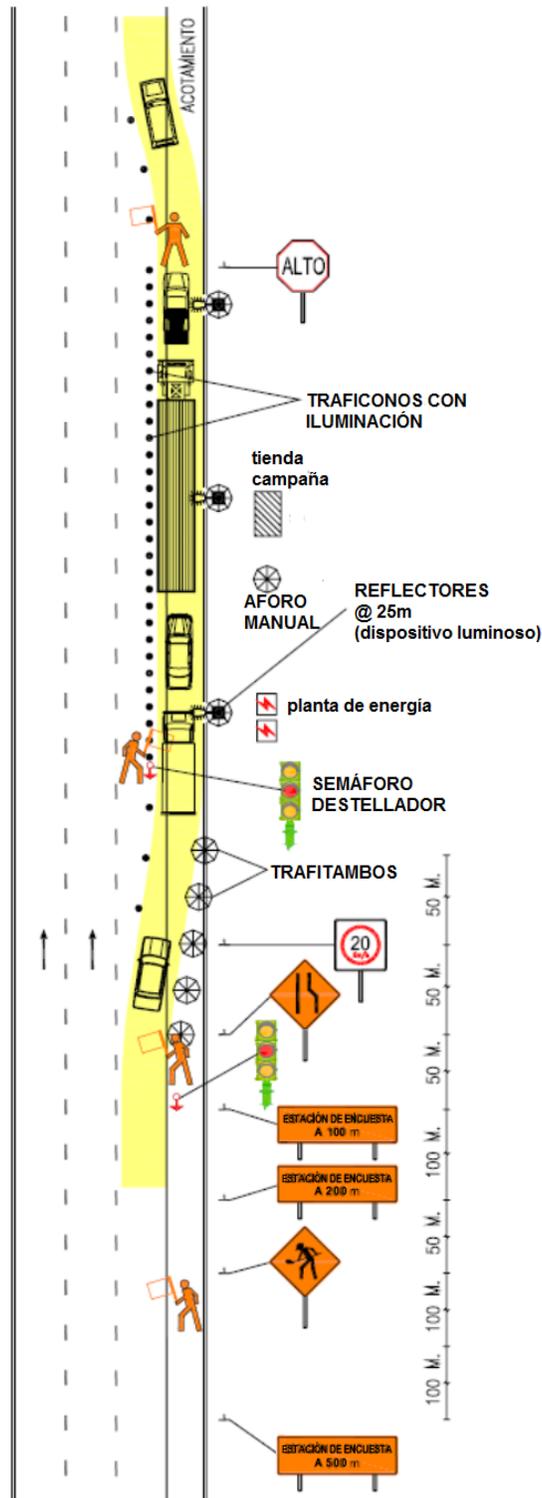


Figura 8. Diseño de una estación de encuesta



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.

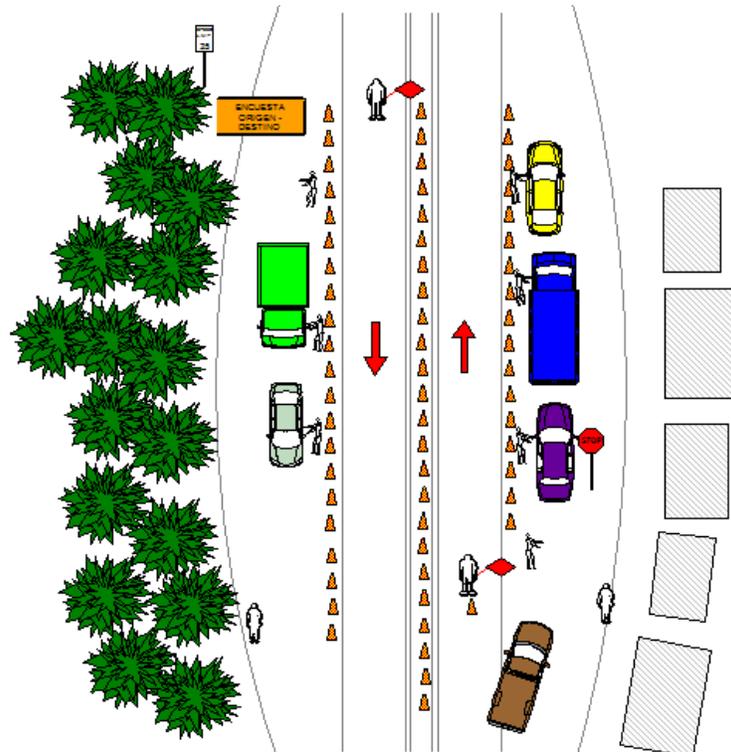


Figura 15. Croquis de Estación de encuesta origen – destino



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:⁶

- 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:⁷

- 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.

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

⁷ 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.

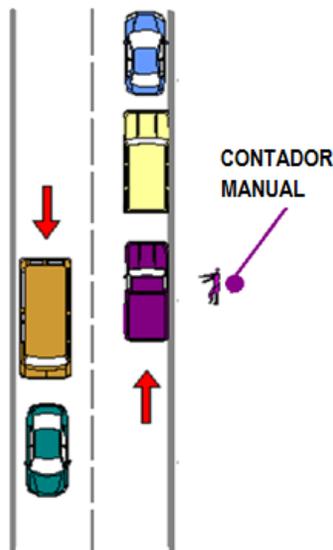


Figura 19. Contador manual a un lado del camino



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												
Subtotal:												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
Subtotal:												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
Subtotal:												
HORA	A	B2	B3	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9 ó más	TOTAL
:00												
:15												
:30												
:45												
:00												
Subtotal:												
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <div style="width: 30%;"> <p>A AUTOMOVIL</p> <p>B2 AUTOBUS DE 2 EJES</p> <p>B3 AUTOBUS DE 3 EJES</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>C2 CAMION DE 2 EJES</p> <p>C3 CAMION DE 3 EJES</p> <p>C4 CAMION DE 4 EJES</p> <p>C5 CAMION DE 5 EJES</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>C6 CAMION DE 6 EJES O MÁS</p> <p>C7 CAMION DE 7 EJES</p> <p>C8 CAMION DE 8 EJES</p> <p>C9 CAMION DE 9 EJES O MÁS</p> </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.⁸

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)

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

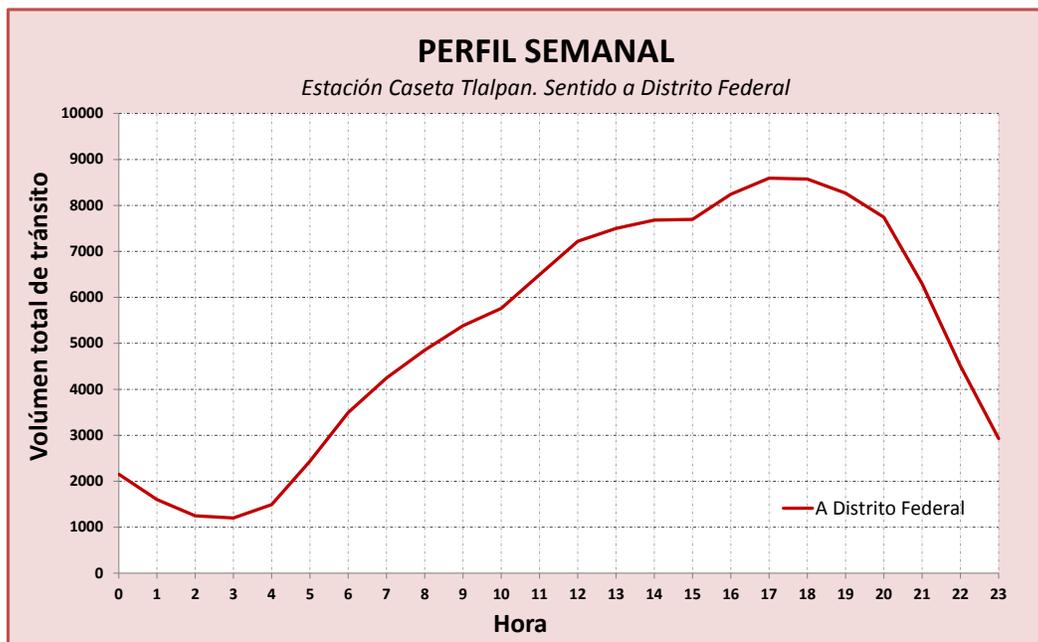


Para un mismo punto, el comportamiento de los aforos en una carretera puede presentar diferencias dependiendo del sentido, los días de la semana, y el período de tiempo, así podemos obtener gráficas de los aforos por variación por día de la semana, variación horaria, etc.

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.

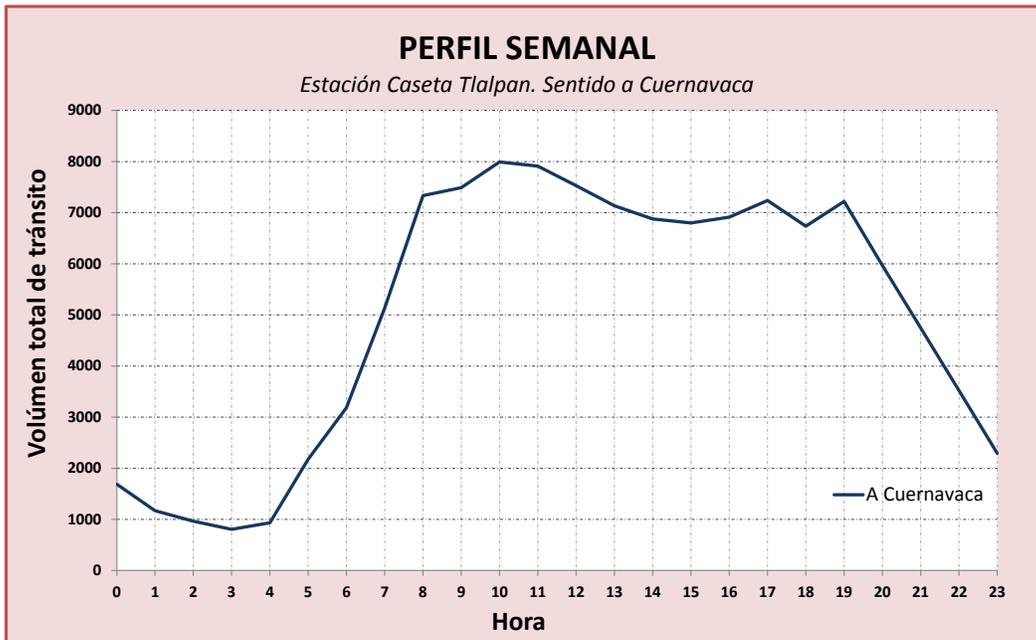


En la carretera en estudio se observa un pico en el volumen total de vehículos entre las 17 y las 18 horas con dirección al Distrito Federal.

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.

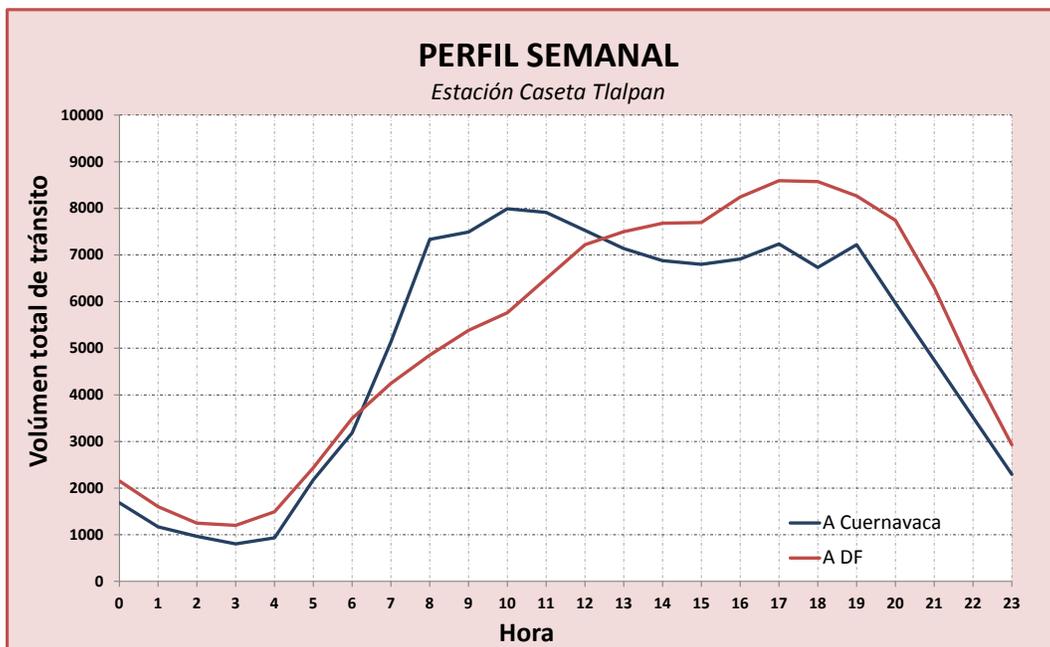


En la carretera en estudio se observan cuatro picos en el volumen total de vehículos a las 8, 10, 17 y 19 a las horas con dirección a Cuernavaca.

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.



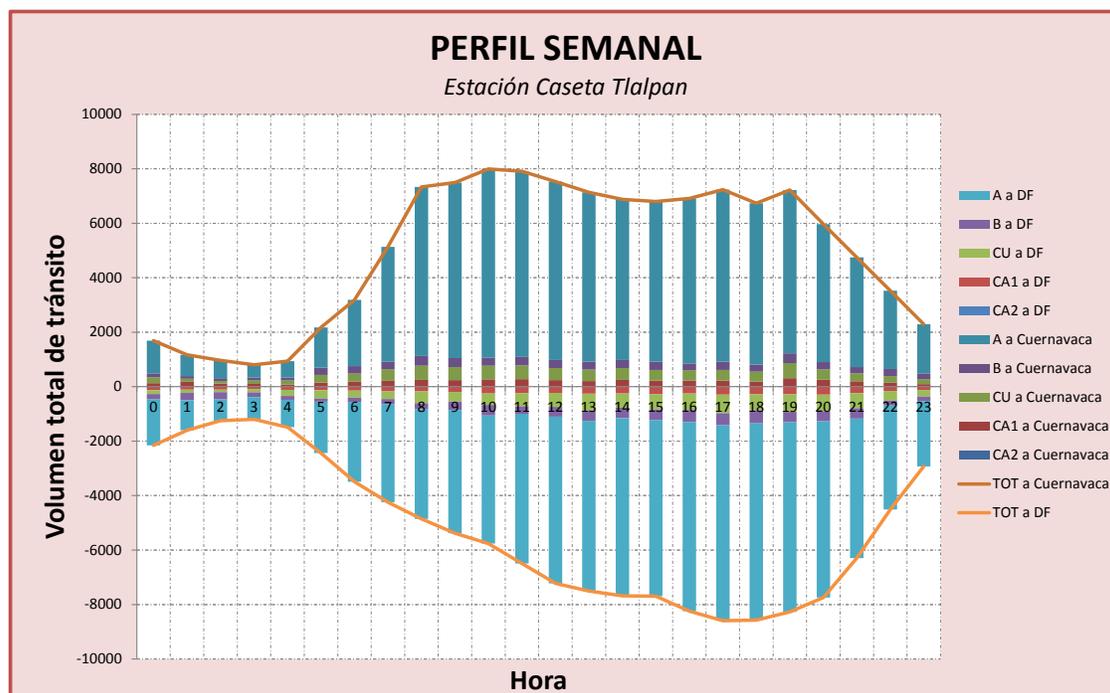


En una carretera se puede observar el flujo de vehículos en una misma estación, en el mismo período de tiempo y para ambos sentidos de circulación, tal como se muestra en la gráfica anterior.

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.



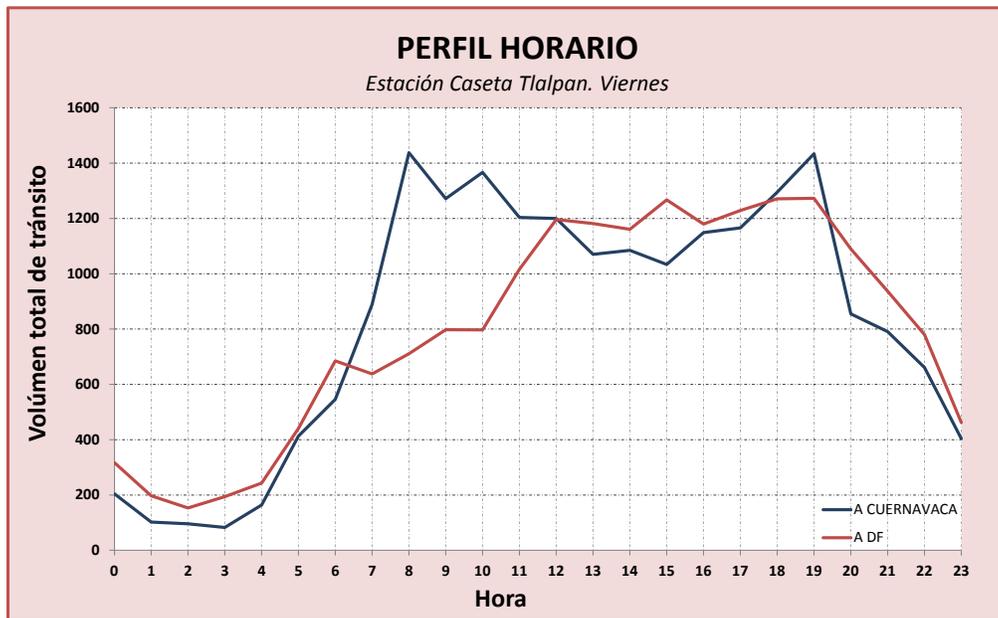
Se observa que el principal flujo es de automóviles, los cuales determinan el comportamiento de la carretera mencionado en las gráficas anteriores.

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.



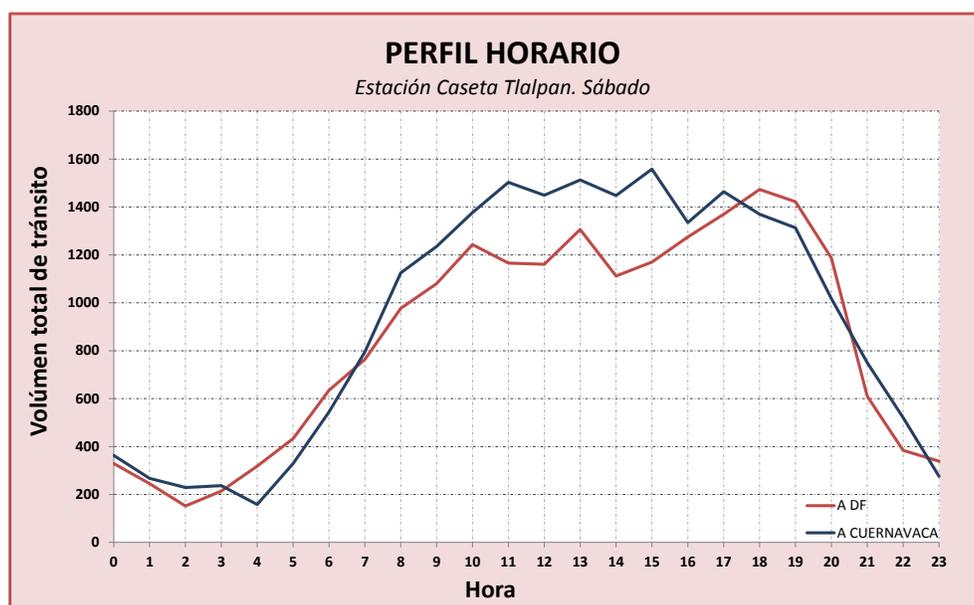
Perfil Horario (Variación horaria).

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.





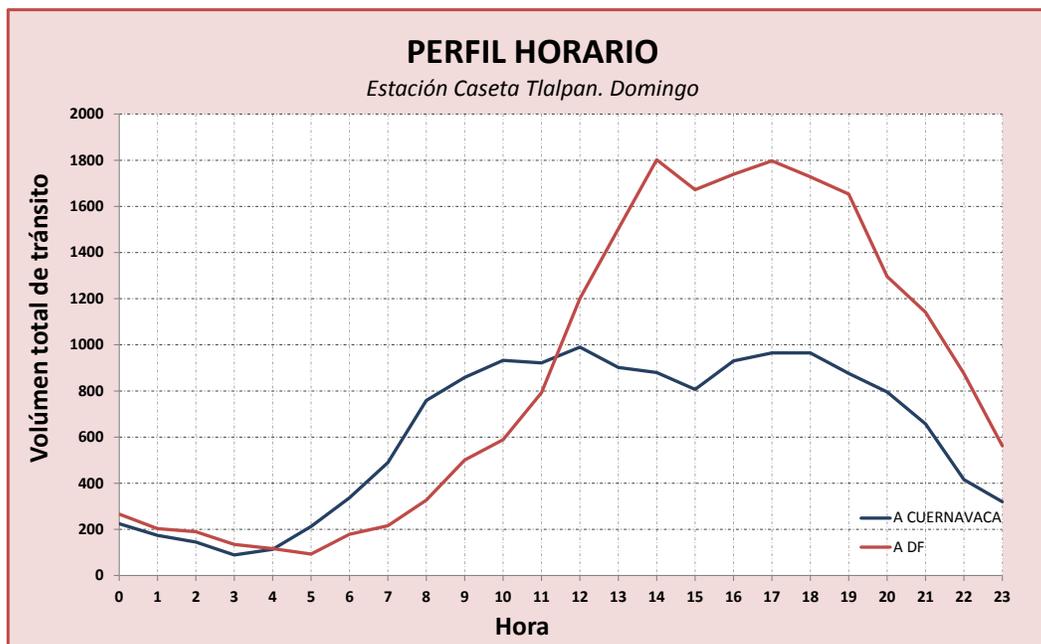
El flujo de vehículos del día sábado para ambos sentidos es muy parecido a lo largo del día.

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.



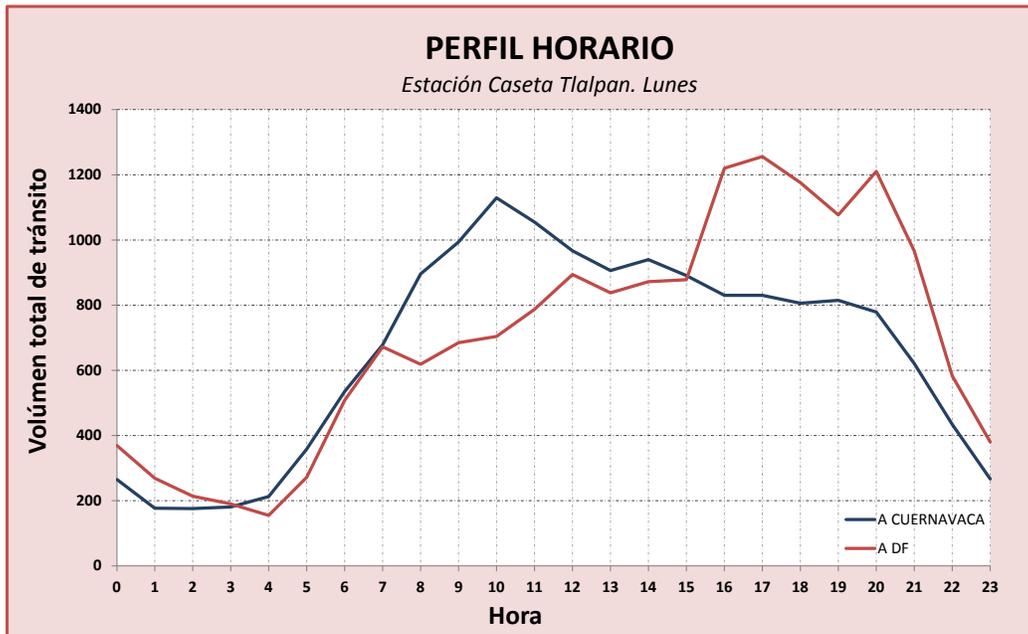
El comportamiento del tránsito el día domingo dirección a Cuernavaca es considerablemente menor al tránsito con dirección al Distrito Federal.

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.

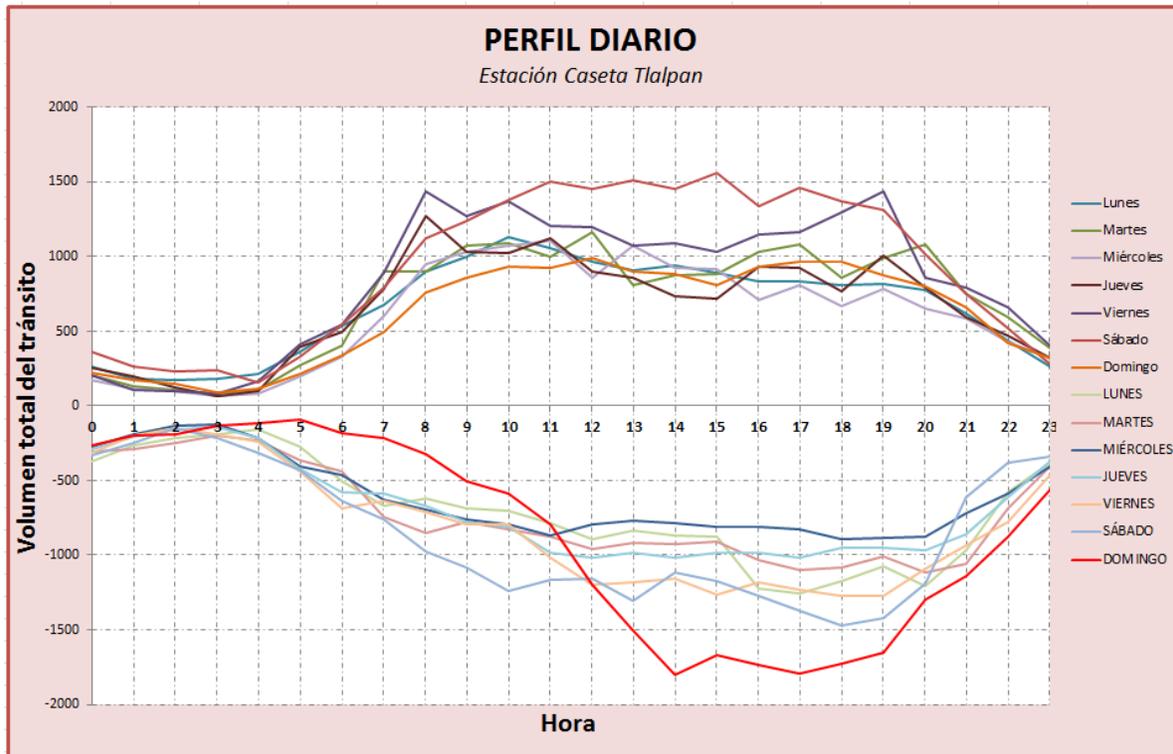
En el sentido al Distrito Federal el flujo vehicular es considerable entre las 16 y las 20 horas.

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.

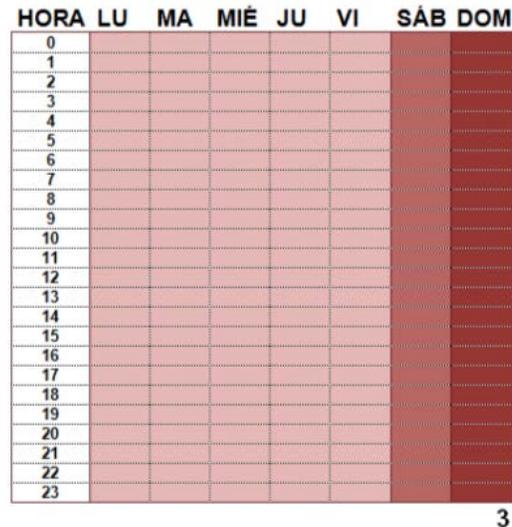


Figura 24. Estrato caso C.

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.

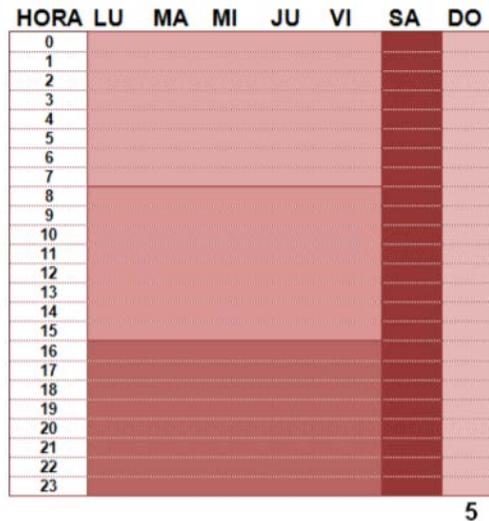


Figura 26. Estrato caso E.

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.

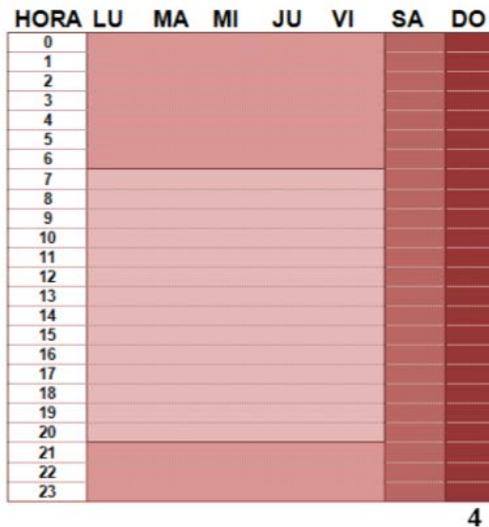


Figura 27. Estrato caso F.



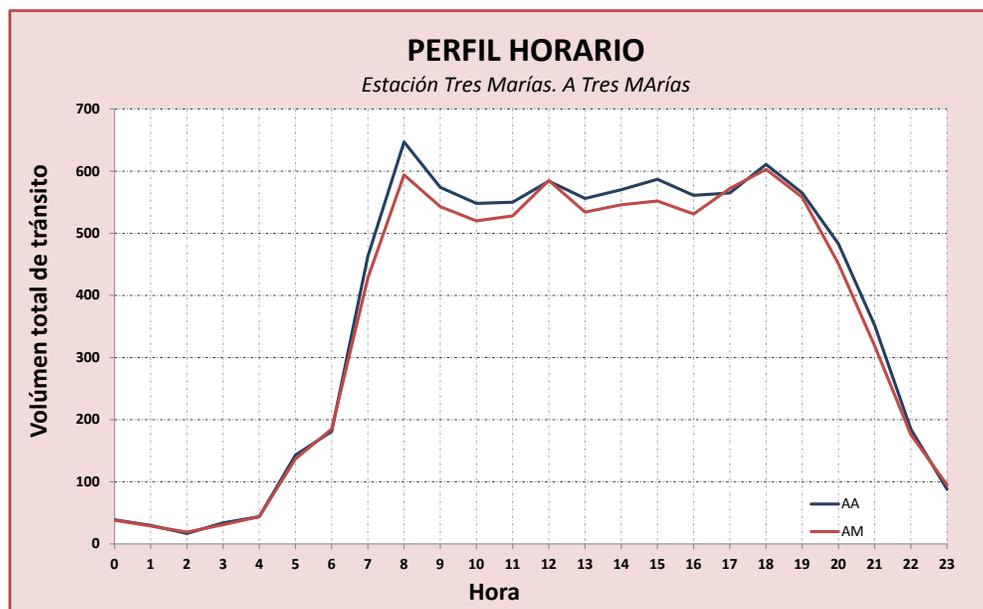
Comparación del aforo manual vs aforo automático.

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.

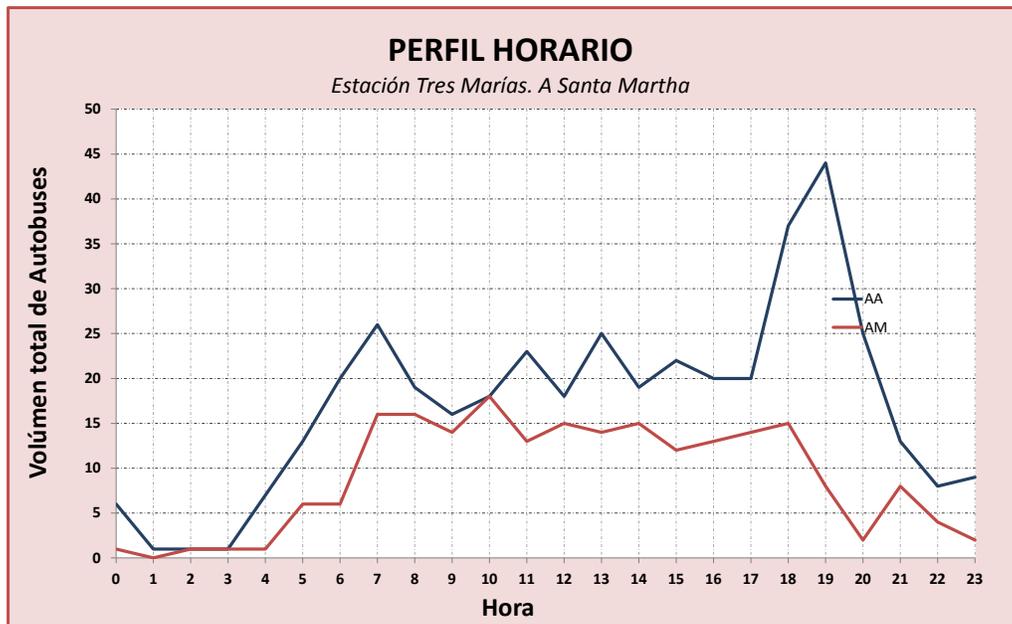
Para ilustrar la comparación de los resultados entre el aforo manual y automático utilizaremos algunos de los datos obtenidos en la estación Tres Marías de la carretera Tres Marías – Santa Martha, dichos resultados son sólo algunos ejemplos de los diferentes casos que pueden presentarse al comparar los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



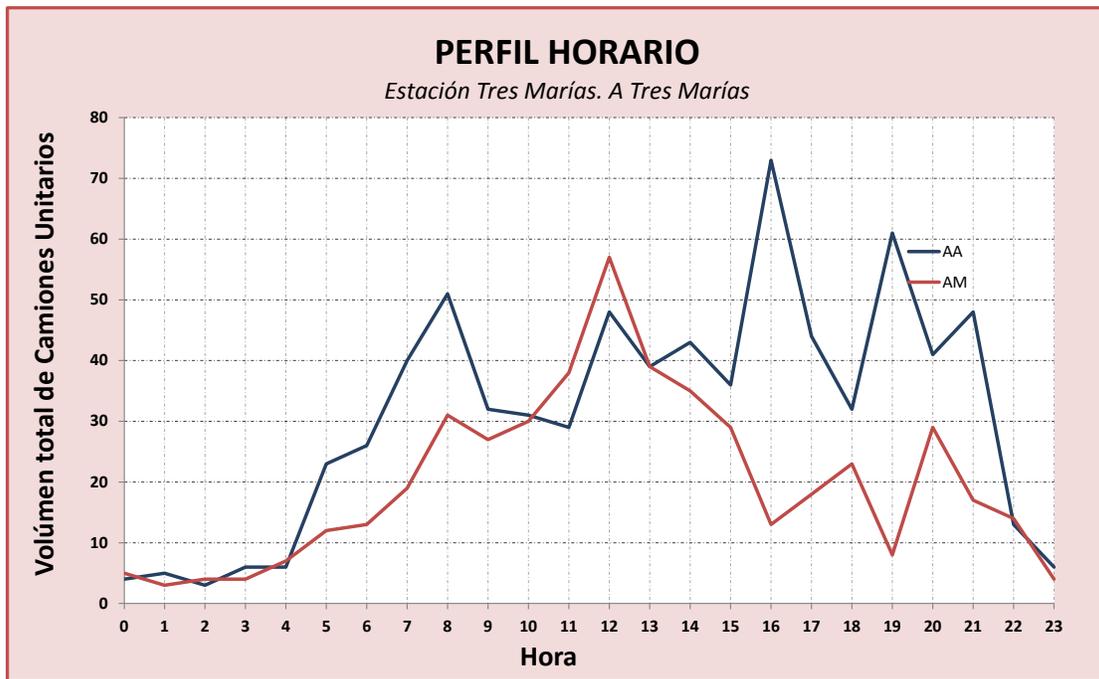
En la misma estación con dirección a Santa Martha, observamos comportamientos similares de tránsito de Autobuses, pero distintos en magnitud, lo cual puede indicar omisión o duplicidad de datos en alguno de los aforos en esta estación.

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.

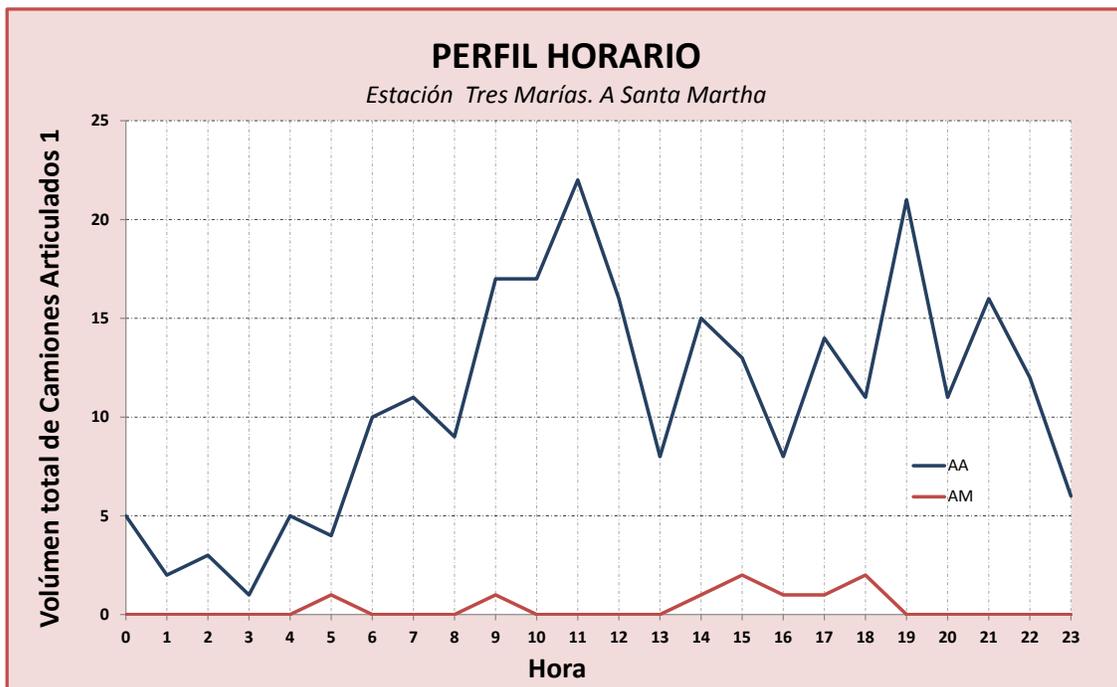
En un caso más extremo se muestra la gráfica del volumen de Camiones Articulado 1 (CA1) en la misma estación pero con sentido a Santa Martha.



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

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		
CLASIFICACIÓN	A	B			CU			CA1			CA2		

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

Tabla 6. Clasificación equivalente de vehículos.⁹

⁹ 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.

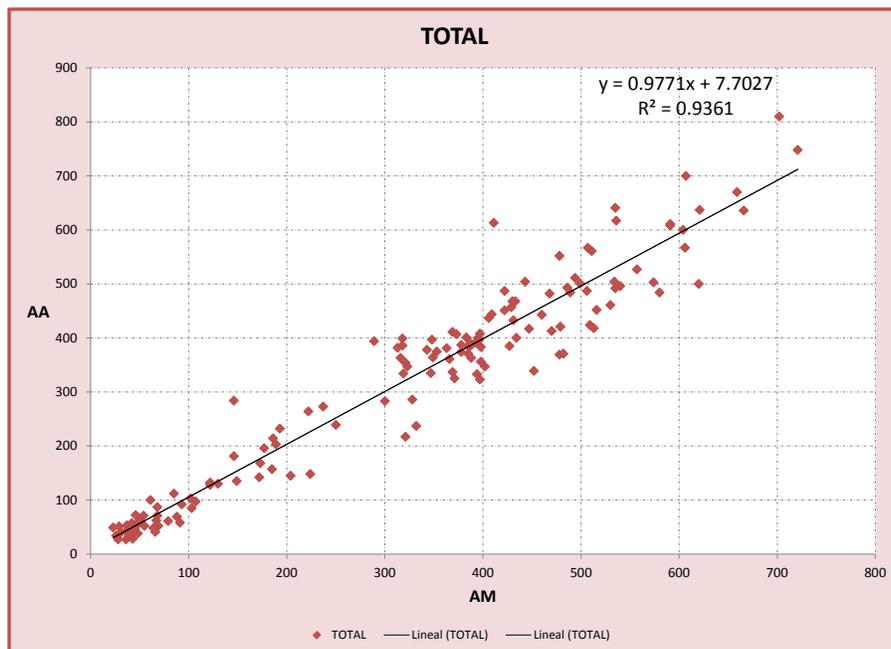
A modo de ilustrar lo anterior, se utilizaron los datos de la estación 13A Carretera cuota México – Puebla, en ambos sentidos, de los tres días coincidentes de registro de ambos tipos de aforos, por sentido, por día y por hora.

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.

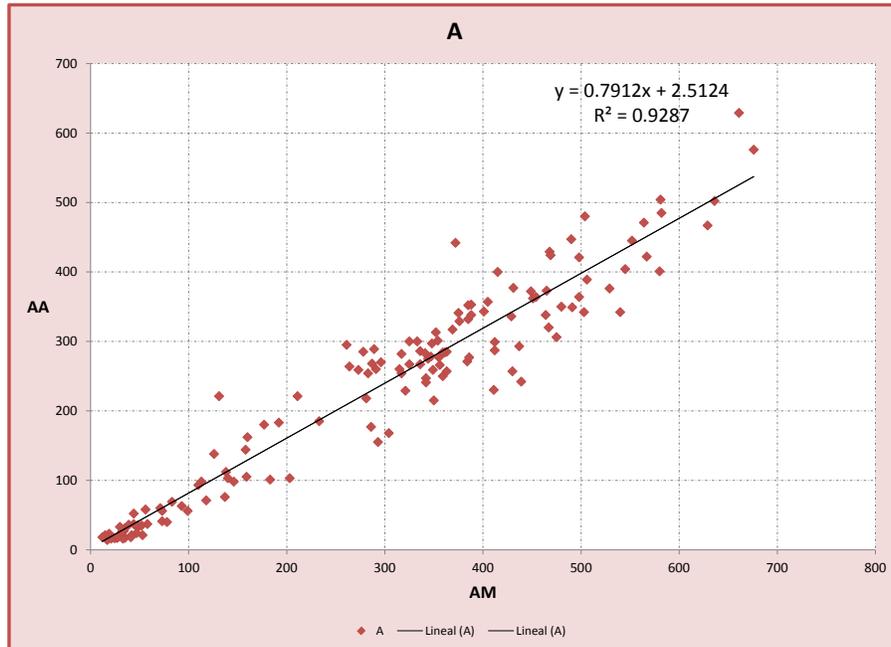
Gráfica 14. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen total de la estación 13A.



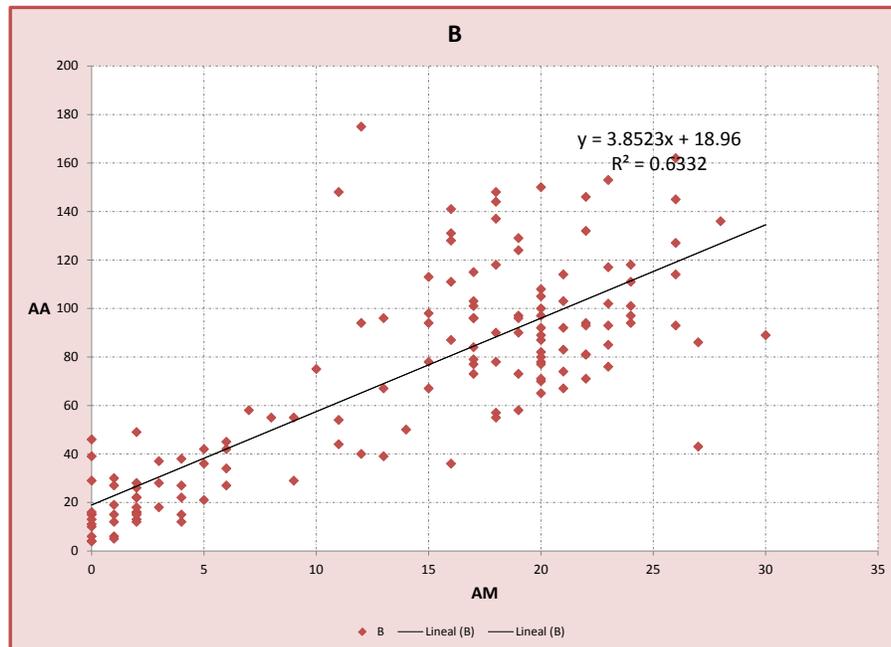
En la gráfica 14 y 15 se observa que para el mismo período de tiempo, y en la mayoría de los casos, los datos recabados se aproximan a la línea de tendencia, lo que significa que los volúmenes para el aforo manual y automático en teoría son muy similares entre sí. En ambos casos el valor de R^2 está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



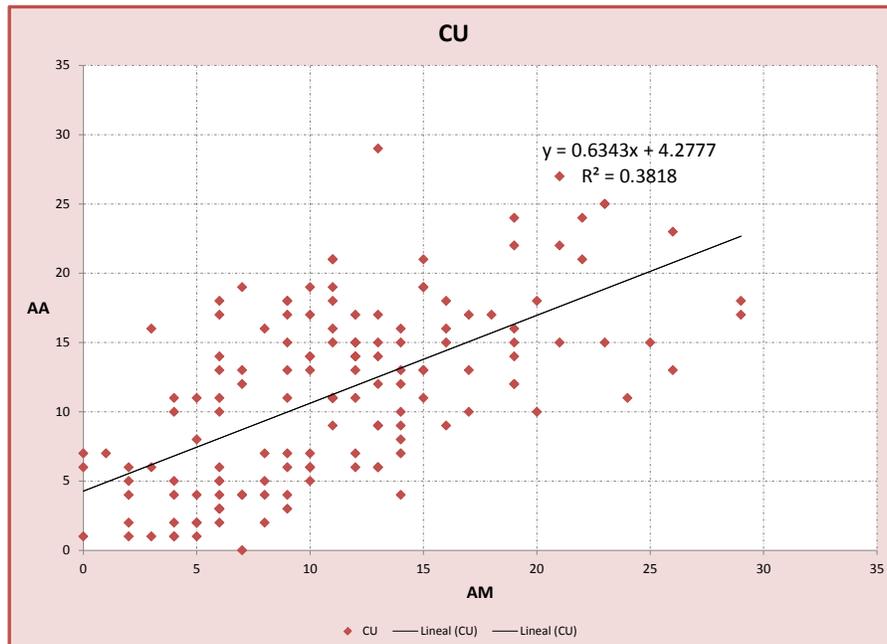
Gráfica 16. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de Buses de la estación 13A.



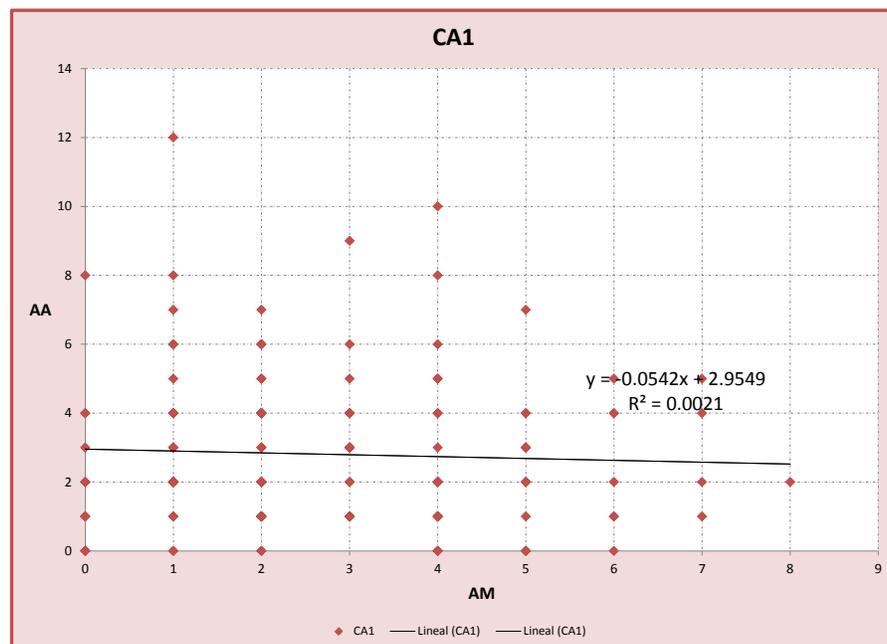
En la gráfica 16 se observan datos muy dispersos, lo cual se demuestra con el valor de R^2 que presenta un valor de 0.63. Esto significa que para el mismo período de tiempo, los volúmenes presentan diferencias considerables.



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



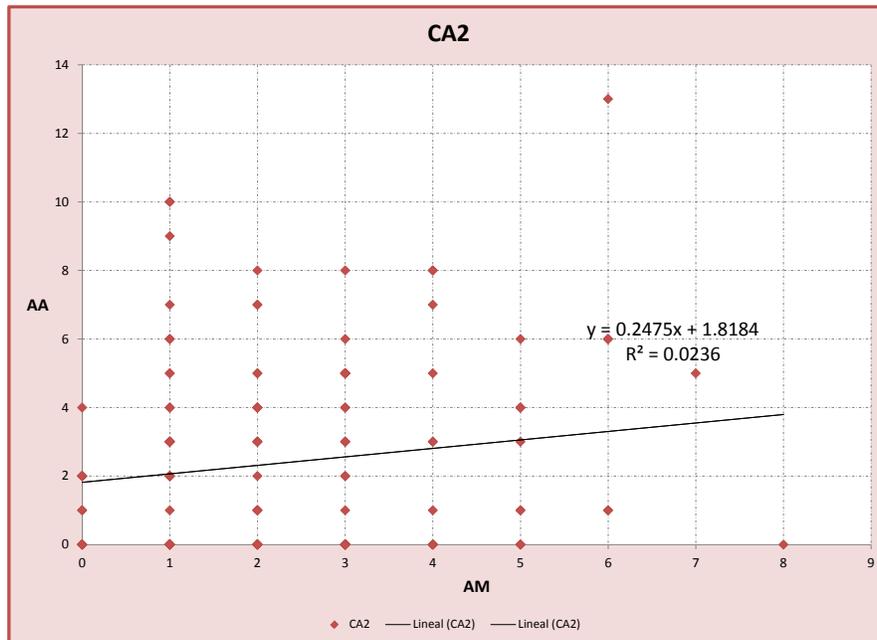
Gráfica 18. Regresión lineal entre el AA y AM del volumen de CA1 de la estación 13A.



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 _{COINCIDENTE CON AM}			AM _{COINCIDENTE CON AA}			F _C = AM _{COIN} /AA _{COIN}		
			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 _{ORIGINAL}		CORRECCIÓN. AA _{CORREGIDO}		
			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:

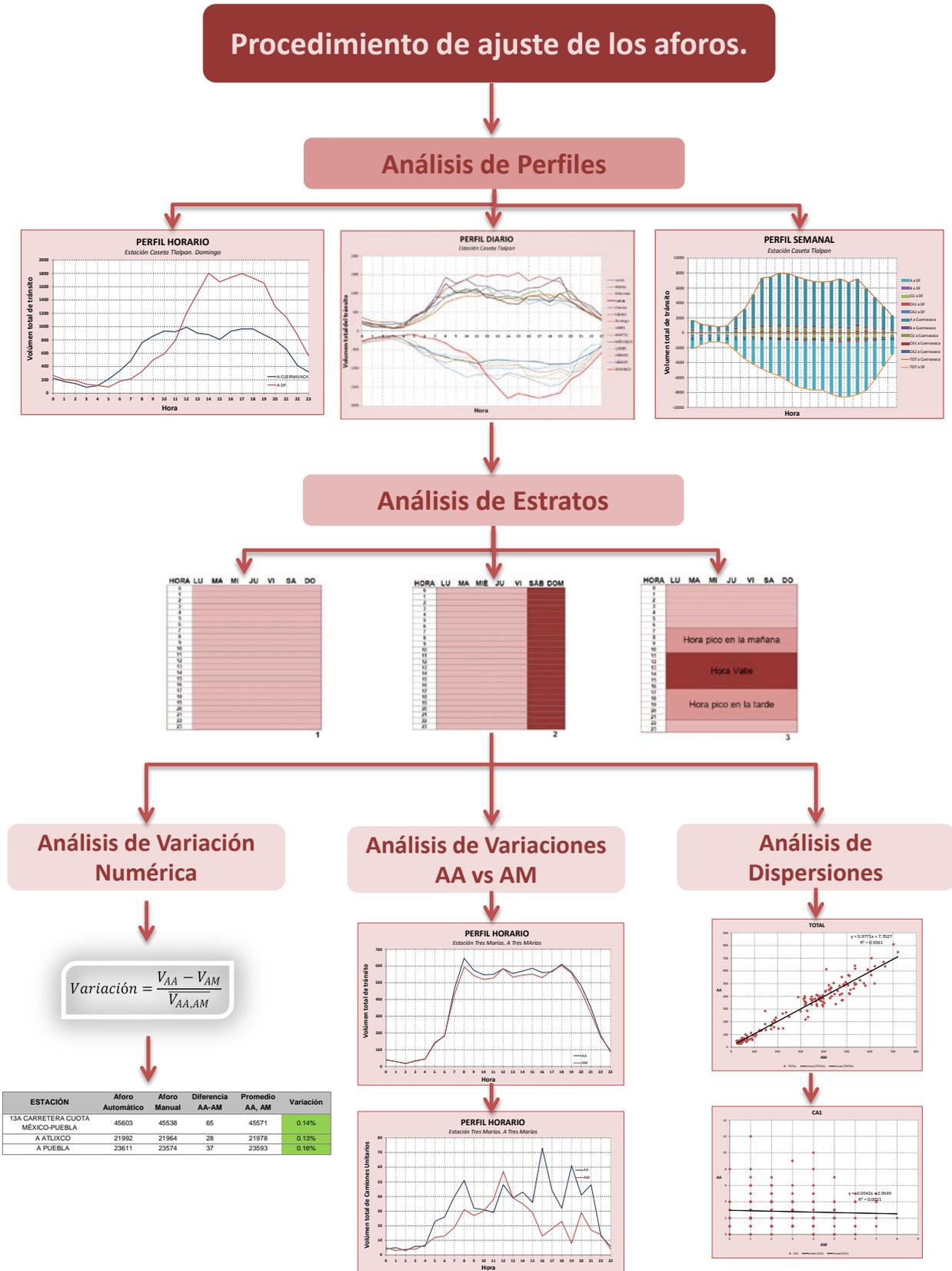


Figura 28. Procedimiento de ajuste. Análisis.

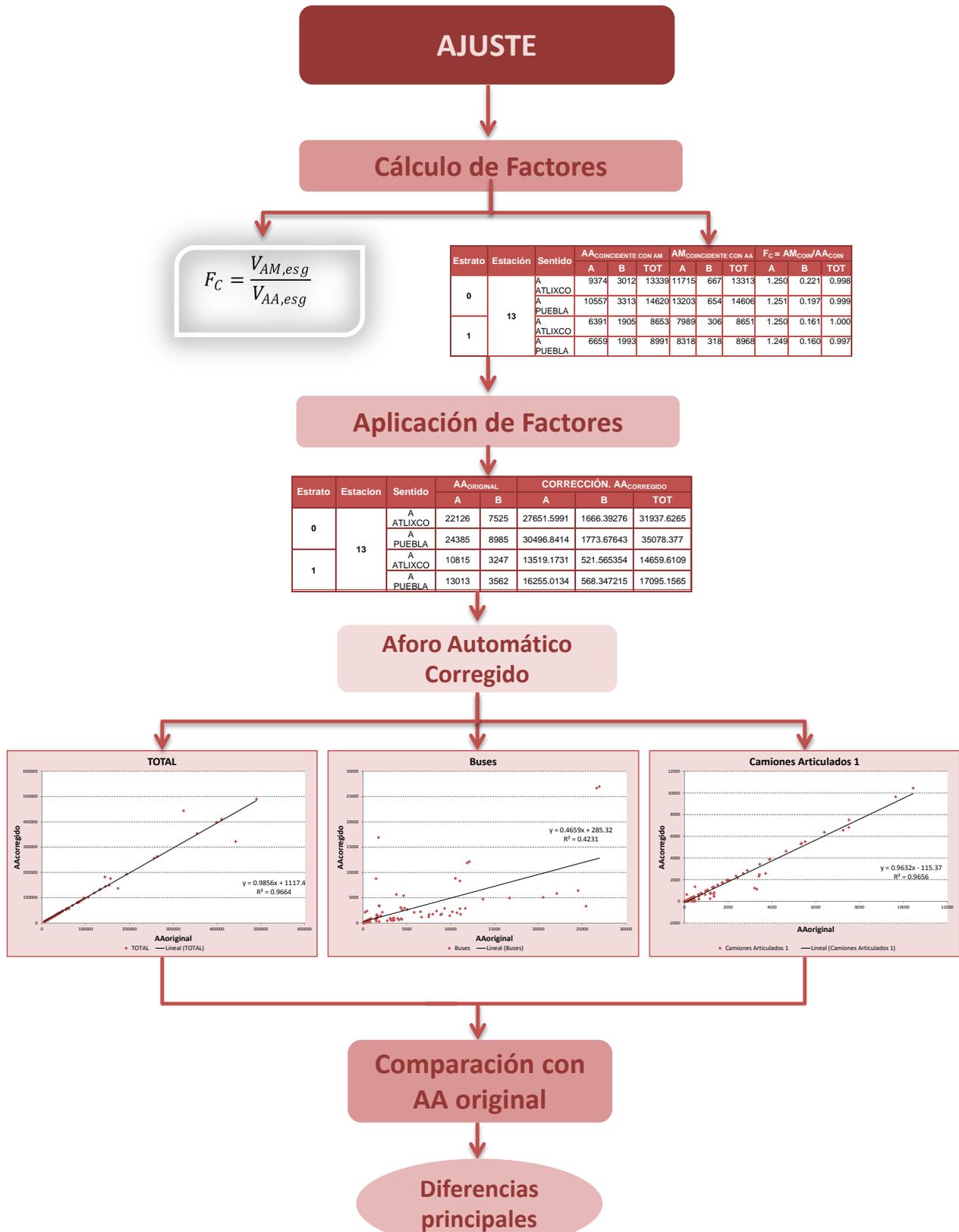


Figura 29. Procedimiento de Ajuste. Aplicación de factores y comparación.



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.



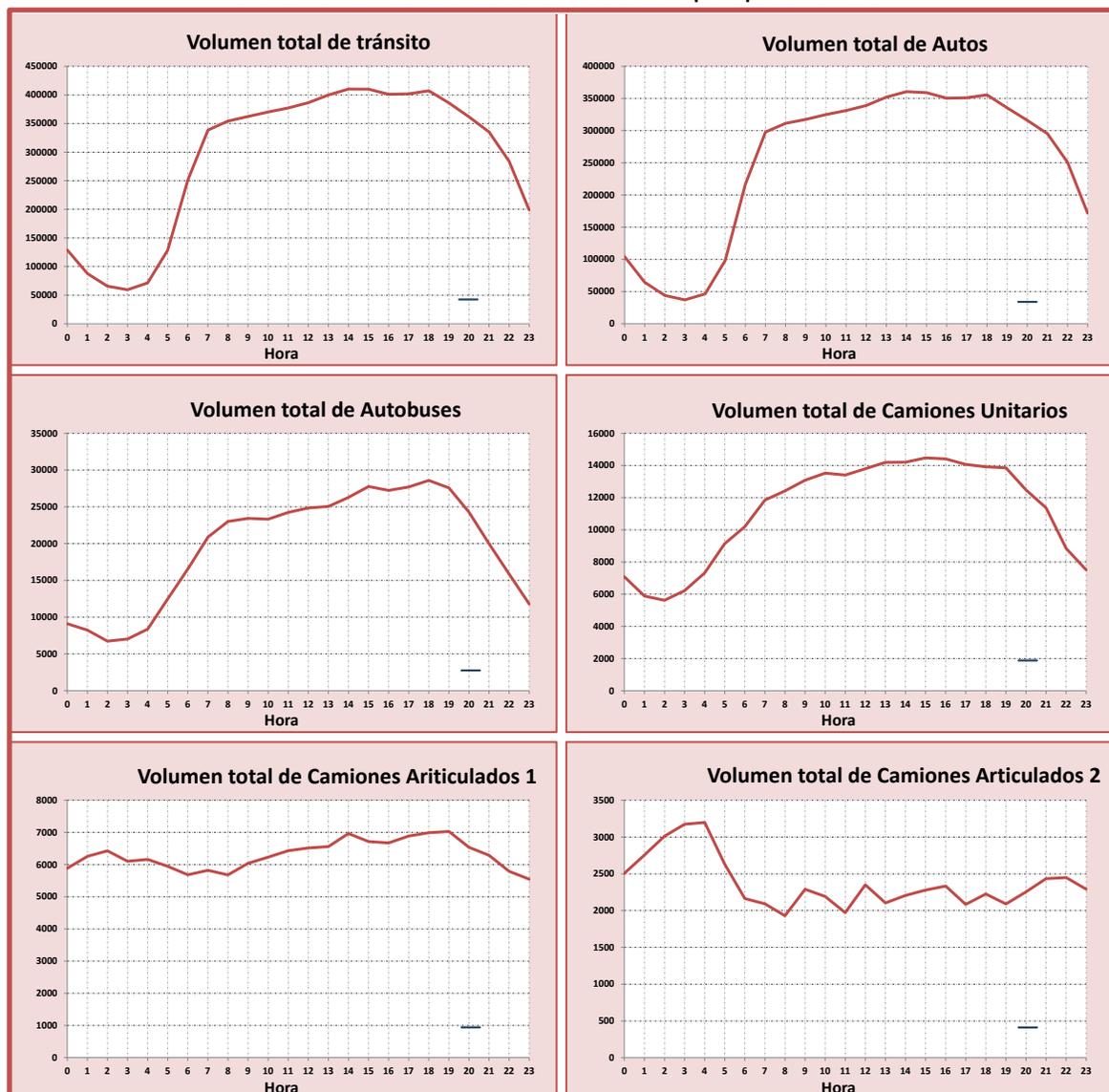
Como ya se ha mencionado, la metodología consiste principalmente en comparar los resultados obtenidos de campo de los aforos manual y automático simultáneamente con las variaciones horarias, diarias, o la que sea más conveniente.

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.

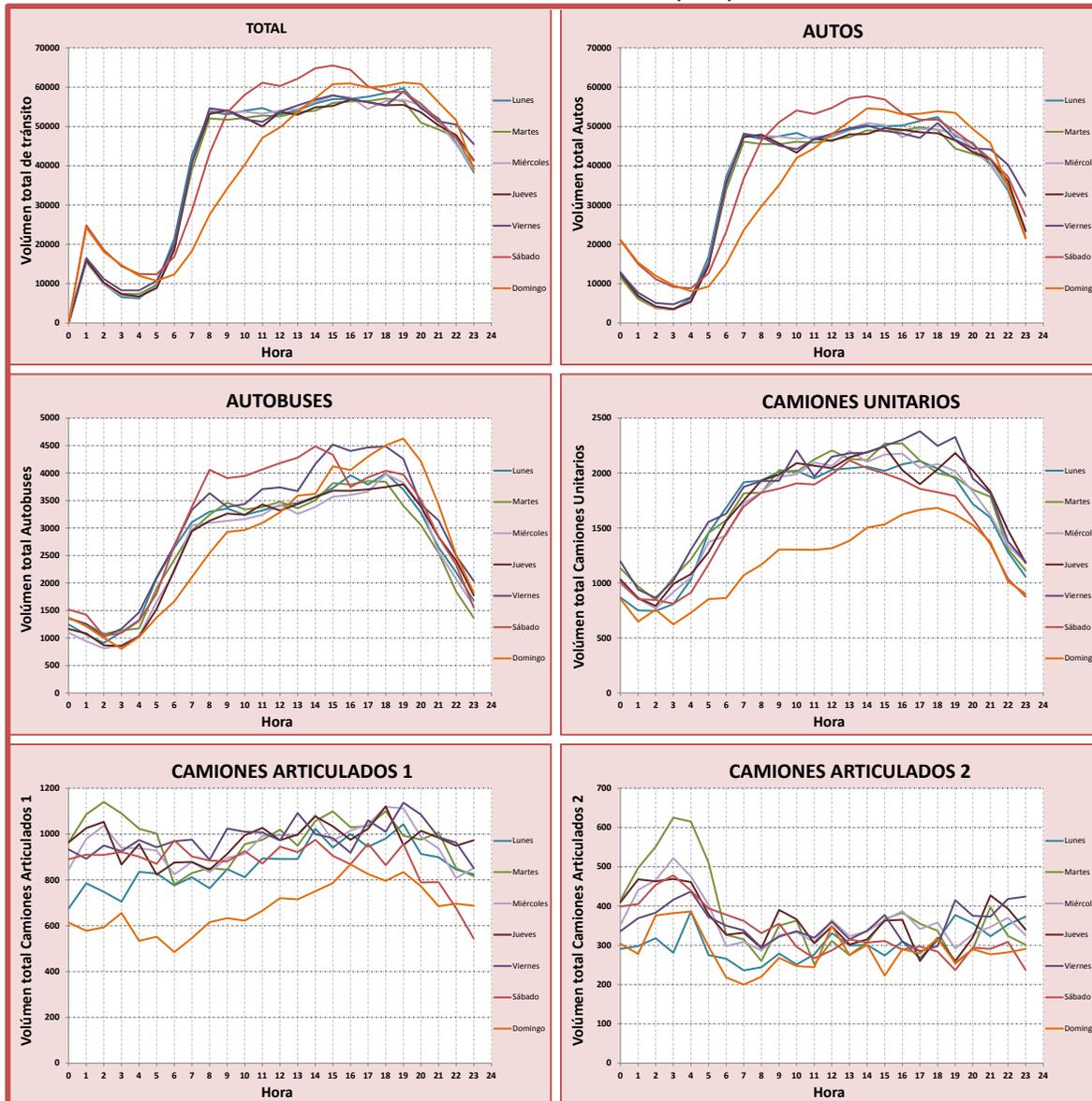
Comenzaremos analizando el comportamiento del volumen de todas las estaciones del estudio, obteniendo perfiles horarios y diarios de los aforos automáticos.

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.

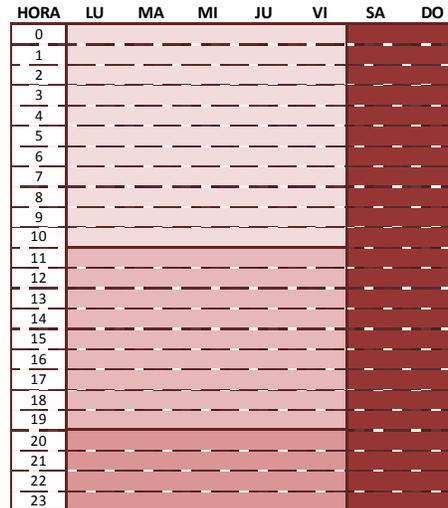
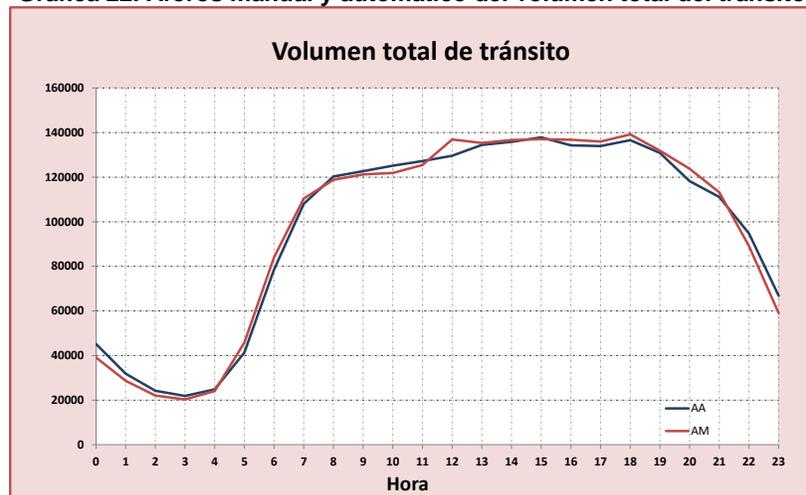


Figura 30 Configuración de estratos propuesta.

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

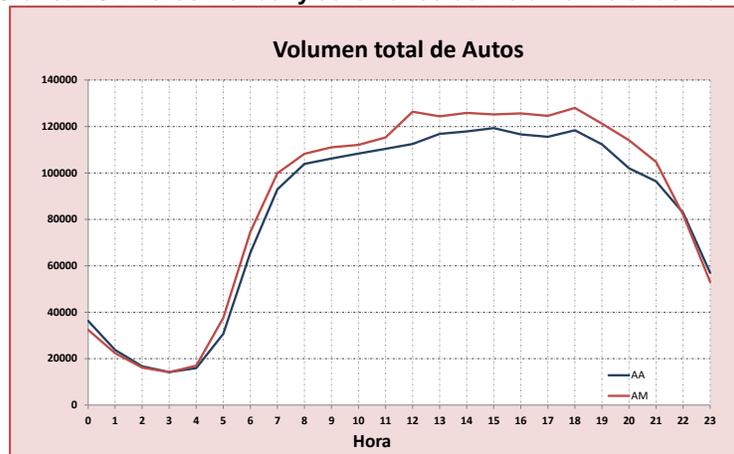
Gráfica 22. Aforos manual y automático del volumen total del tránsito.



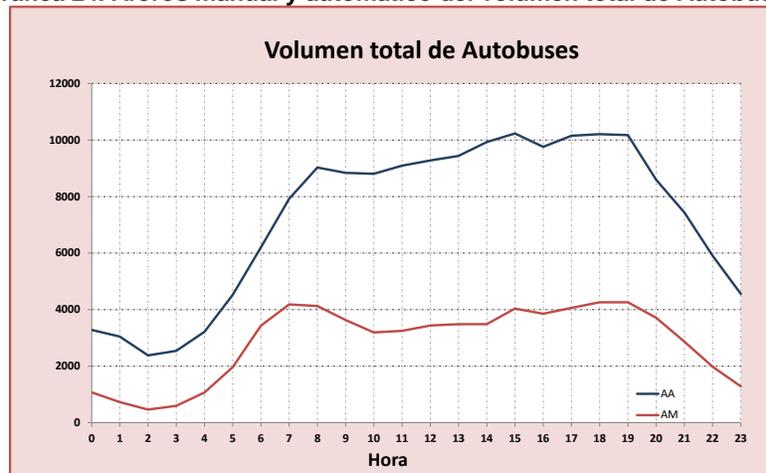
Las diferencias entre aforo manual y automático no presentan diferencias significativas en el volumen total del tránsito y en general en el total de autos.



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

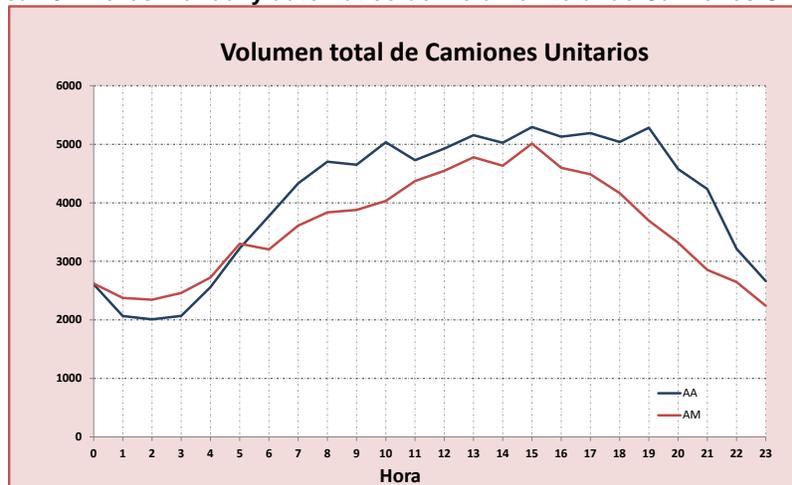


Gráfica 24. Aforos manual y automático del volumen total de Autobuses.



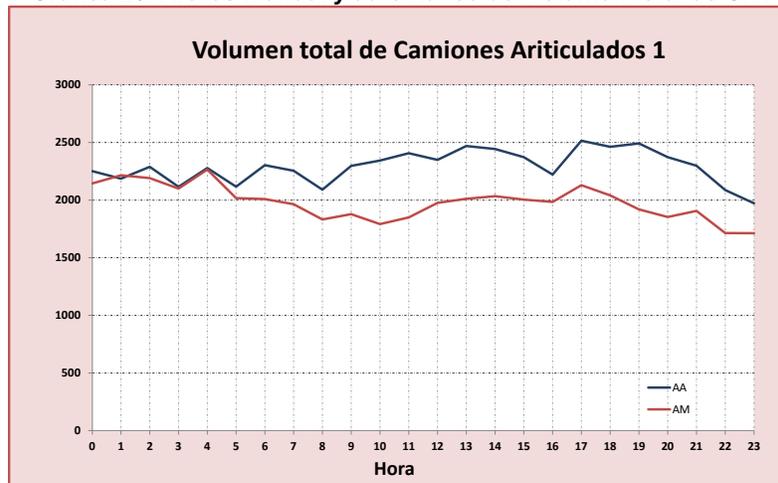
El comportamiento del flujo de autobuses es similar pero en magnitud hay mucha diferencia, en cuanto a los Camiones Unitarios, estos tienen diferencias pequeñas.

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

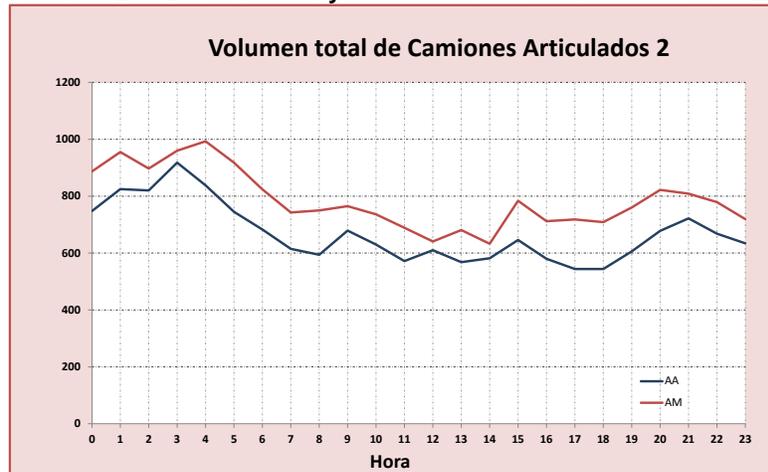




Gráfica 26. Aforos manual y automático del volumen total de CA1



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
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%
16AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA	96100	96146	-46	96123	-0.05%
A CORDOBA	45227	45278	-51	45253	-0.11%
A PUEBLA	50873	50868	5	50871	0.01%
AUTOPISTA ARCO NORTE	33788	33732	56	33760	0.17%
A CALPULALPAN	14850	14833	17	14842	0.11%
A SAN MARTÍN	18938	18899	39	18919	0.21%
CALPULALPAN	45234	46316	-1082	45775	-2.36%
A APIZACO	23889	24385	-496	24137	-2.05%
A CALPULALPAN	21345	21931	-586	21638	-2.71%
CARRETERA FEDERAL A ATlixco	49271	49260	11	49266	0.02%
A ATlixco	23275	23241	34	23258	0.15%
A PUEBLA	25996	26019	-23	26008	-0.09%
CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA	43084	43069	15	43077	0.03%
A HUEJOTZINGO	21094	21057	37	21076	0.18%
A SAN MARTÍN	21990	22012	-22	22001	-0.10%
CARRETERA PUEBLA-TEHUACÁN	62474	62465	9	62470	0.01%
A AMOZOC	27562	27588	-26	27575	-0.09%
A TEHUACÁN	34912	34877	35	34895	0.10%
CASETA SAN MARCOS	90002	87413	2589	88708	2.92%
A DF	46365	44074	2291	45220	5.07%
A PUEBLA	43637	43339	298	43488	0.69%
CASETA SAN MARTÍN TEXMELUCAN	108198	108165	33	108182	0.03%
A DF	49891	49877	14	49884	0.03%
A PUEBLA	58307	58288	19	58298	0.03%
CASETA TEPOZTLÁN (CUOTA)	35319	35129	190	35224	0.54%
A CUAUTLA	17233	17372	-139	17303	-0.80%
A LA PERA	18086	17757	329	17922	1.84%
CASETA TLALPAN	114093	112580	1513	113337	1.33%
A CUERNAVACA	57963	58201	-238	58082	-0.41%
A DF	56130	54379	1751	55255	3.17%
CIRCUITO MEXIQUENSE	135854	135780	74	135817	0.05%
A QUERÉTARO	61350	61301	49	61326	0.08%
A TEXCOCO	74504	74479	25	74492	0.03%
ESTACIÓN 1 PERIFÉRICO	319819	317473	2346	318646	0.74%
A AV. PICACHO AJUSCO	159244	159236	8	159240	0.01%
A SAN JERÓNIMO	160575	158237	2338	159406	1.47%
ESTACIÓN 2 VIADUCTO	320189	320168	21	320179	0.01%
A CIRCUITO INTERIOR	182042	138114	43928	160078	27.44%
A TLALPAN	138147	182054	-43907	160101	-27.42%
ESTACIÓN 3 SAN COSME	348968	358977	-10009	353973	-2.83%
A INSURGENTES	195800	195814	-14	195807	-0.01%
A RÍO SAN JOAQUÍN	153168	163163	-9995	158166	-6.32%
ESTACIÓN 4 RÍO CHURUBUSCO	196725	196769	-44	196747	-0.02%
A AV. DIVISIÓN DEL NORTE	97871	97882	-11	97877	-0.01%
A AV. UNIVERSIDAD	98854	98887	-33	98871	-0.03%
LA VENTA	150340	147786	2554	149063	1.71%
A DF	81292	77583	3709	79438	4.67%
A TOLUCA	69048	70203	-1155	69626	-1.66%
PARRES	44950	44276	674	44613	1.51%
A CUERNAVACA	21975	21932	43	21954	0.20%
A DF	22975	22344	631	22660	2.78%
TLALMANALCO	58210	59446	-1236	58828	-2.10%
A AMECAMECA	30332	31102	-770	30717	-2.51%
A TLALMANALCO	27878	28344	-466	28111	-1.66%
TRES MARIAS	18302	17821	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
VILLA ZAPATA	19319	18473	846	18896	4.48%
A OAXTEPEC	9815	9452	363	9634	3.77%
A SAN GREGORIO	9504	9021	483	9263	5.21%
Total general	2335842	2336782	-940	2336312	-0.04%

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
13A CARRETERA CUOTA MÉXICO-PUEBLA	45603	45538	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%
16AUTOPISTA PUEBLA-ORIZABA	96100	96146	-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%
AUTOPISTA ARCO NORTE	33788	33732	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%
CALPULALPAN	45234	46316	-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%
CARRETERA FEDERAL A ATlixco	49271	49260	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%
CARRETERA FEDERAL MÉXICO-PUEBLA	43084	43069	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%
CARRETERA PUEBLA-TEHUACÁN	62474	62465	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
CASETA SAN MARCOS	90002	87413	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%	-
CASETA SAN MARTÍN TEXMELUCAN	108198	108165	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%
CASETA TEPOZTLÁN (CUOTA)	35319	35129	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%	-
CASETA TLALPAN	114093	112580	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%	-
CIRCUITO MEXIQUENSE	135854	135780	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%
ESTACIÓN 1 PERIFÉRICO	319819	317473	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%
ESTACIÓN 2 VIADUCTO	320189	320168	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%	-
ESTACIÓN 3 SAN COSME	348968	358977	-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%
ESTACIÓN 4 RÍO CHURUBUSCO	196725	196769	-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%
LA VENTA	150340	147786	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%
PARRES	44950	44276	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%
TLALMANALCO	58210	59446	-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%
TRES MARÍAS	18302	17821	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%
VILLA ZAPATA	19319	18473	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%
Total general	2335842	2336782	-940	2336312	-6.01%	87.34%	12.83%	14.52%	-16.23%

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

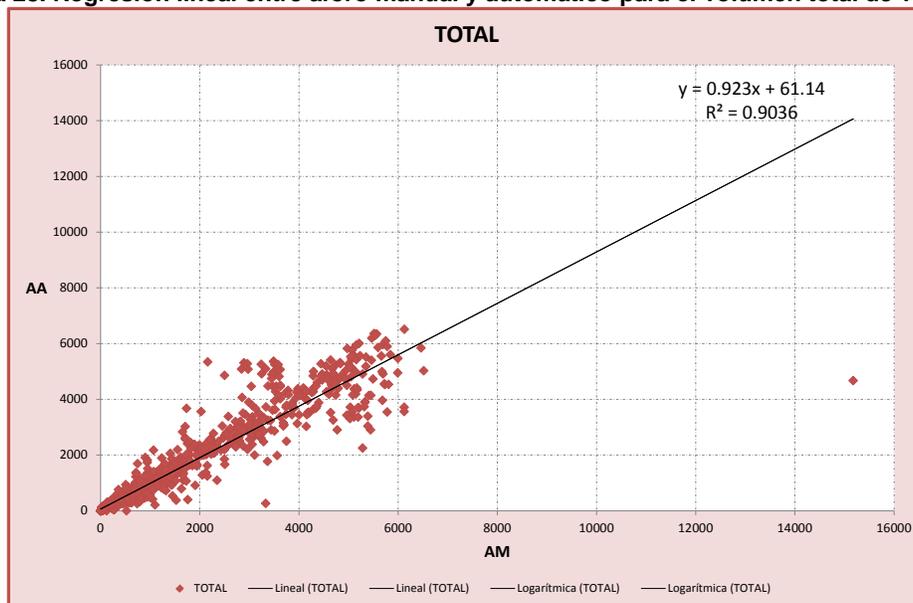


Un segundo análisis nos permite observar que aunque la variación es pequeña para el volumen total de cada estación, la variación calculada para cada tipo de vehículo puede ser significativa. Esto quiere decir, que en general, los volúmenes coinciden para ambos tipos de aforos, sin embargo, la distribución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

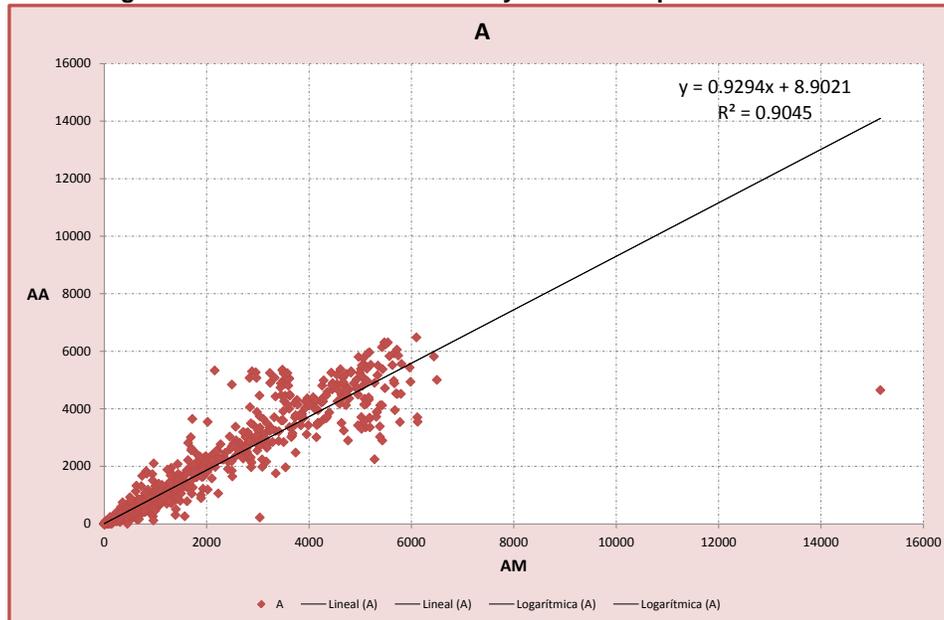


La ecuación de la línea de tendencia indica que no hay mucha diferencia entre el aforo manual y automático para el volumen total de vehículos. Los datos están próximos a la línea de tendencia a excepción de un punto alejado de ella, el cual se puede tomar como no representativo de la muestra.

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.



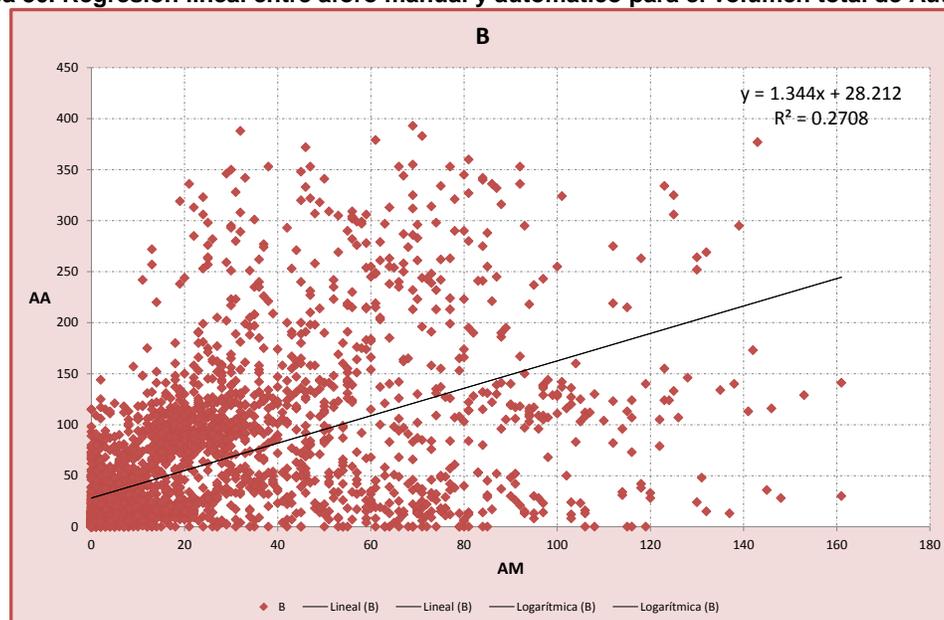
Gráfica 29. Regresión lineal entre aforo manual y automático para el volumen total de Autos



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

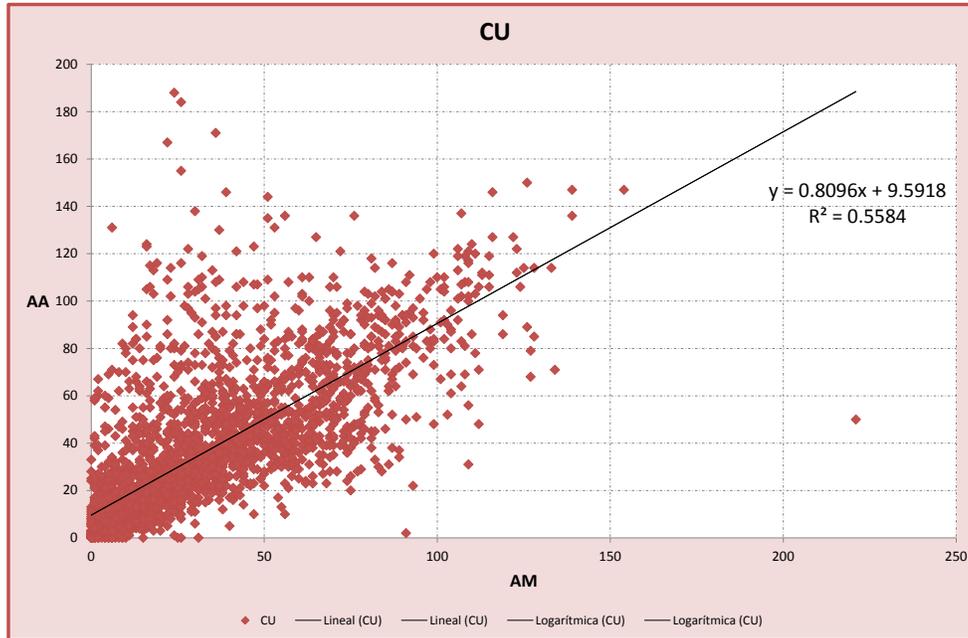




En esta gráfica se observan los datos para Autobuses muy dispersos y alejados de la línea de tendencia, esto puede indicar que existen errores o diferencias entre el aforo manual y automático.

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.

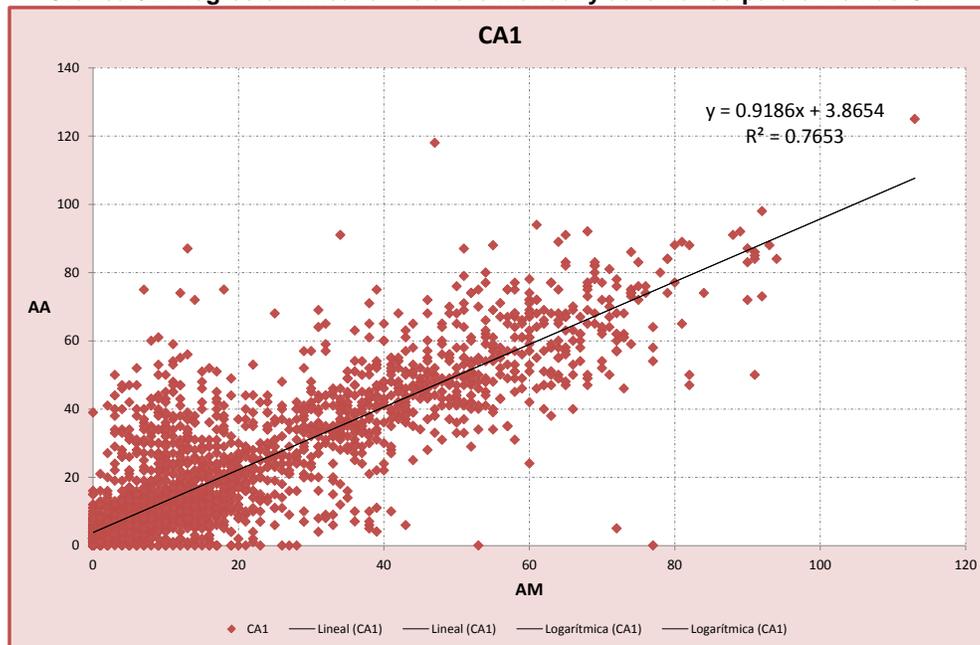
La pendiente de la recta es menor a la unidad y el parámetro que señala el error principalmente es R^2 con un valor de 0.55.

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.

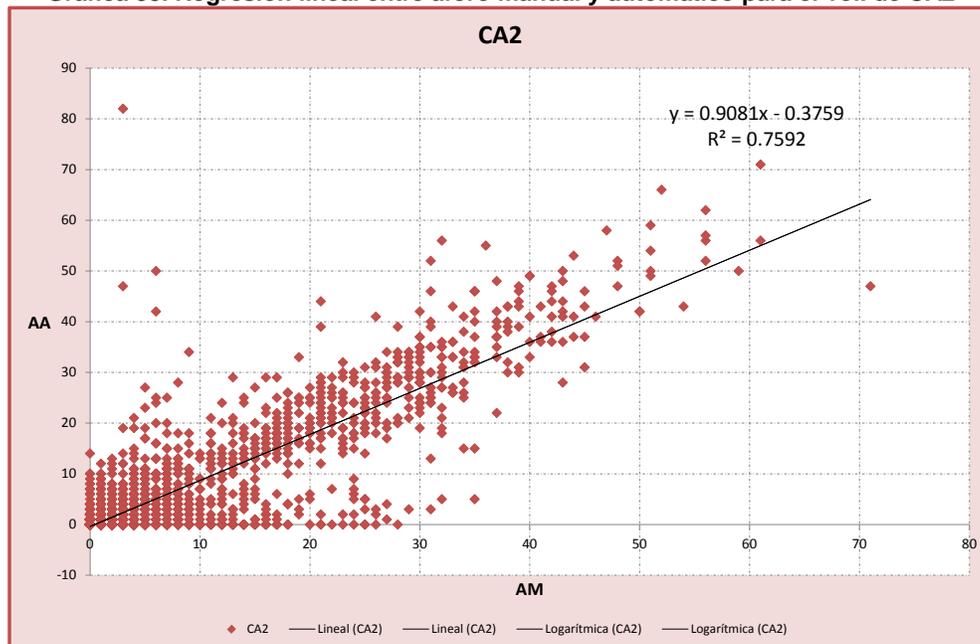
La pendiente de la recta es menor a la unidad en ambos casos y el parámetro que R^2 se aproxima a la unidad ($R^2=0.76$, $R^2=0.75$ respectivamente).



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:



Especialidad en Vías Terrestres

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

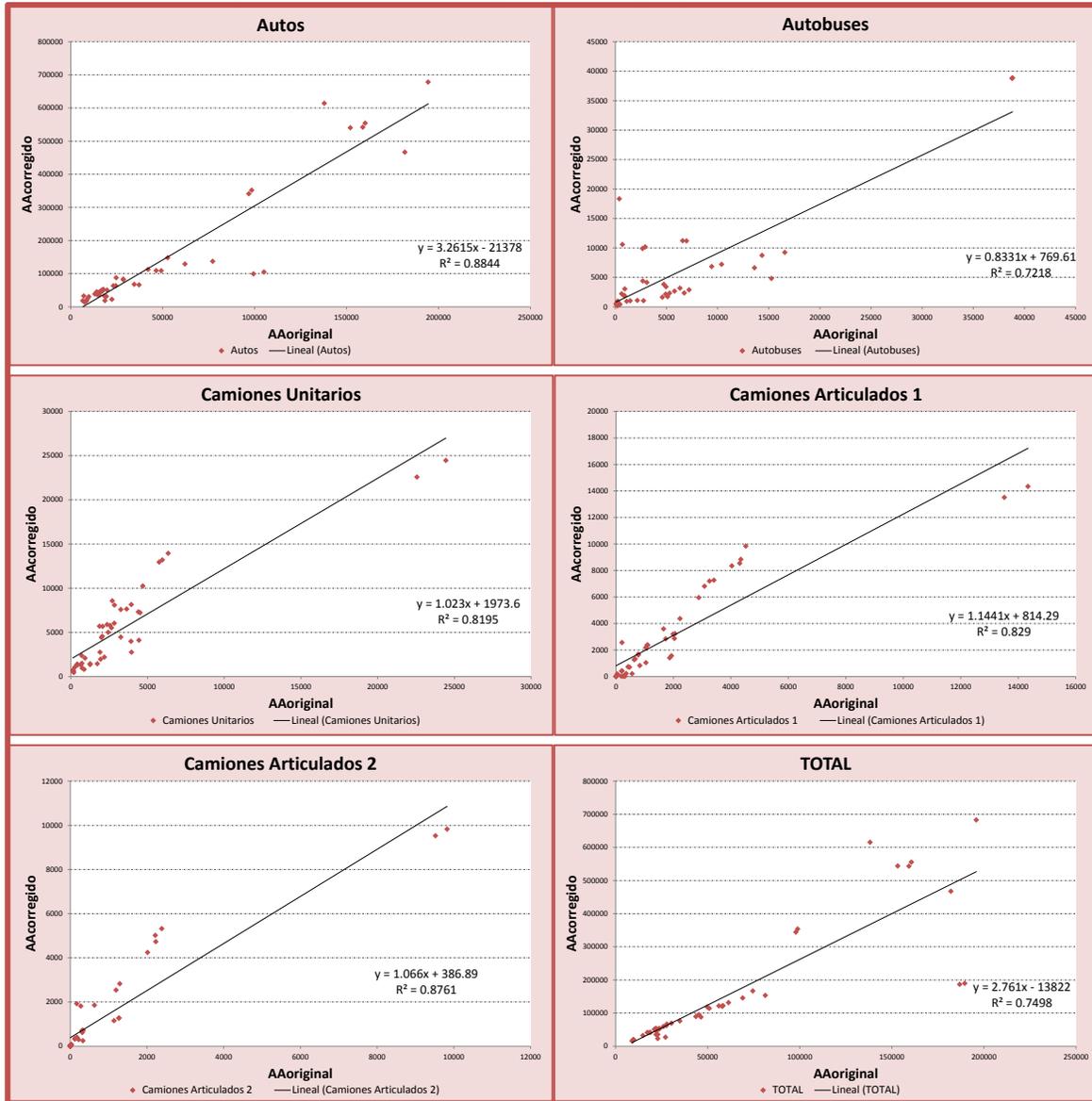
Estrato	Estación	X						AM _{OBS}						F _C						Y					
		AA _{OBS}																		AA _{CORR}					
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT
0	1	22421	189	2185	1042	1272	27109	0	0	0	0	0	0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	22421	189	2185	1042	1272	27109
		18650	236	1945	831	1265	22927	0	0	0	0	0	0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	18650	236	1945	831	1265	22927
	2	77263	391	3260	209	169	81292	70285	3559	2165	920	654	77583	0.91	9.10	0.66	4.40	3.87	0.95	137138	18314	4456	2562	1919	153227
		62178	694	3926	1108	1142	69048	63261	3792	1794	855	501	70203	1.02	5.46	0.46	0.77	0.44	1.02	129058	10567	3975	2374	1151	145575
	3	49282	2689	3957	2035	0	57963	53195	1966	1326	1234	480	58201	1.08	0.73	0.34	0.61	1.00	1.00	108864	4379	2740	2872	6	120257
		46551	3082	4441	2056	0	56130	48842	1798	1873	1391	475	54379	1.05	0.58	0.42	0.68	1.00	0.97	109161	4128	4095	3233	6	121693
	4	18445	1448	1728	354	0	21975	20325	608	869	130	0	21932	1.10	0.42	0.50	0.37	0.00	1.00	32361	1008	1429	224	0	35160
		19393	1114	1906	562	0	22975	20072	540	1608	124	0	22344	1.04	0.48	0.84	0.22	0.00	0.97	31353	919	2736	208	0	35380
	5	7784	411	873	257	0	9325	8502	215	476	9	1	9203	1.09	0.52	0.55	0.04	0.00	0.99	15213	418	795	19	0	16514
		7555	369	740	313	0	8977	7909	219	479	11	0	8618	1.05	0.59	0.65	0.04	0.00	0.96	13965	404	942	21	0	15443
	6	14604	896	1261	472	0	17233	15671	755	464	264	218	17372	1.07	0.84	0.37	0.56	1.00	1.01	36140	1878	1335	698	12	41125
		15521	886	1261	418	0	18086	15880	767	582	284	244	17757	1.02	0.87	0.46	0.68	1.00	0.98	36077	1812	1438	729	8	40794
	7	8455	443	663	254	0	9815	8733	163	541	15	0	9452	1.03	0.37	0.82	0.06	0.00	0.96	18172	382	1294	39	0	20112
		8587	277	456	184	0	9504	8285	246	480	10	0	9021	0.96	0.89	1.05	0.05	0.00	0.95	17286	660	1304	26	0	19346
	9	37201	2661	4516	1987	0	46365	34489	4675	3120	1293	497	44074	0.93	1.76	0.69	0.65	1.00	0.95	66325	9881	7215	3196	8	87955
		34576	2928	4403	1730	0	43637	34194	4577	2825	1278	465	43339	0.99	1.56	0.64	0.74	1.00	0.99	67613	10158	7303	2837	6	89480
	10	19786	6587	1869	1870	220	30332	22971	4926	2479	604	122	31102	1.16	0.75	1.33	0.32	0.55	1.03	50377	11200	5686	1410	298	96273
		16573	6962	2080	1933	330	27878	20139	4932	2512	651	110	28344	1.22	0.71	1.21	0.34	0.33	1.02	48444	11175	5653	1567	241	66796
	11	24809	14342	4692	4031	2017	49891	35441	3705	4689	4024	2018	49877	1.43	0.26	1.00	1.00	1.00	1.00	87699	8722	10229	8346	4242	117957
		28644	16570	6347	4516	2230	58307	40914	4300	6350	4503	2221	58288	1.43	0.26	1.00	1.00	1.00	1.00	83436	9233	13934	9841	4728	122496
	12	13180	4748	2360	779	27	21094	16476	1455	2332	764	30	21057	1.25	0.31	0.99	0.98	1.11	1.00	38617	3801	5866	1682	59	50911
		14175	4954	2054	778	29	21990	17720	1409	2056	782	45	22012	1.25	0.28	1.00	1.01	1.55	1.00	44976	3384	4538	1626	79	54134
	13	15765	4917	926	212	172	21992	19704	973	915	204	168	21964	1.25	0.20	0.99	0.96	0.98	1.00	41172	2132	2069	429	400	46604
		17216	5306	722	192	175	23611	21521	972	712	193	176	23574	1.25	0.18	0.99	1.01	1.01	1.00	46750	2298	1493	413	383	52169
14	15258	4601	2441	634	341	23275	19072	781	2435	627	326	23241	1.25	0.17	1.00	0.99	0.96	1.00	43986	1604	4992	1269	709	51594	
	17251	5114	2650	667	314	25996	21556	804	2658	665	336	26019	1.25	0.16	1.00	1.00	1.07	1.00	51112	1713	5500	1327	717	59336	
15	99408	38773	24443	14339	9823	186786	0	0	0	0	0	0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	99408	38773	24443	14339	9823	186786	
	105103	38835	22559	13515	9521	189533	0	0	0	0	0	0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	105103	38835	22559	13515	9521	189533	
16	24567	9427	5760	3255	2218	45227	30708	3295	5769	3245	2261	45278	1.25	0.35	1.00	1.00	1.02	1.00	63401	6826	12934	7203	5013	95414	
	28722	10390	5968	3408	2385	50873	35889	3211	5953	3402	2413	50868	1.25	0.31	1.00	1.00	1.01	1.00	81497	7193	13187	7270	5318	114244	
17	17785	5790	2833	1033	121	27562	22231	1350	2847	1027	133	27588	1.25	0.23	1.00	0.99	1.10	1.00	52567	2658	6020	2170	313	61972	
	23240	7211	3260	1081	120	34912	29056	1372	3257	1060	132	34877	1.25	0.19	1.00	0.98	1.10	1.00	63348	2866	7574	2366	349	75964	
18	42143	13605	3643	1655	304	61350	52682	3061	3611	1641	306	61301	1.25	0.22	0.99	0.99	1.01	1.00	112822	6614	7628	3591	666	131525	
	52751	15267	3945	2226	315	74504	65934	2074	3948	2214	309	74479	1.25	0.14	1.00	0.99	0.98	1.00	147766	4799	8132	4371	613	166639	
19	9890	6320	2702	4345	632	23889	14029	1409	3951	4067	929	24385	1.42	0.22	1.46	0.94	1.47	1.02	30408	3153	8559	8841	1854	53221	
	7175	6741	2847	4306	276	21345	12371	1037	3776	3955	792	21931	1.72	0.15	1.33	0.92	2.87	1.03	32496	2339	8077	8539	1814	51447	
20	6621	2150	2001	2882	1196	14850	8277	494	1979	2872	1211	14833	1.25	0.23	0.99	1.00	1.01	1.00	18309	1068	4390	5959	2534	32179	
	9244	2759	2563	3080	1292	18938	11553	450	2533	3075	1288	18899	1.25	0.16	0.99	1.00	1.00	1.00	24923	1023	5772	6817	2820	41625	
23	96895	224	707	37	8	97871	96941	228	672	34	7	97882	1.00	1.02	0.95	0.92	0.88	1.00	341077	939	2362	129	22	344527	
	98447	131	257	19	0	98854	98441	153	275	18	0	98887	1.00	1.17	1.07	0.95	0.00	1.00	351846	594	1026	55	0	353511	
24	194410	925	409	47	9	195800	194485	896	379	45	9	195814	1.00	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	678363	3019	1325	175	35	682915	
	152078	618	417	49	6	153168	162074	637	401	45	6	163163	1.07	1.03	0.96	0.92	1.00	1.07	540184	2202	1383	171	25	543976	
21B	181724	126	191	0	1	182042	137892	93	129	0	0	138114	0.76	0.74	0.68	0.00	0.00	0.76	466746	306	440	0	0	467493	
	137939	75	133	0	0	138147	181741	127	185	0	1	182054	1.32	1.69	1.39	0.00	0.00	1.32	614231	501	730	0	0	615444	
22B	158861	195	179	9	0	159244	158853	201	176	6	0	159236	1.00	1.03	0.98	0.67	0.00	1.00	541991	709	594	30	0	543328	
	160189	229	153	4	0	160575	157841	224	168	4	0	158237	0.99	0.98	1.10	1.00	0.00	0.99	554140	833	560	18	0	555555	

Tabla 12. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso A. Estrato 0.



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														Y									
		AA _{OBS}						AM _{OBS}						F _C						AA _{CORR}					
		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	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	14616	154	1506	632	932	17840
	2	98252	1771	4853	478	391	105745	22703	14311	8581	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	19588	1428	752	406	171	22345	1.041	5.925	0.491	0.896	0.529	1.04567	86894	8775	3096	2170	955	99863
	3	69491	4301	56311	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	31188	1134	1308	987	320	34937	1.059	0.529	0.465	0.720	1.000	0.97685	73546	2674	3146	2467	6	82709
	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	8584	331	1031	86	0	10032	1.005	0.554	0.965	0.310	0.000	0.9568	19535	764	2322	204	0	22857
	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	3780	94	280	6	0	4160	1.032	0.534	0.771	0.039	0.000	0.95457	9748	260	832	17	0	10946
	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	4677	262	267	118	111	5435	0.961	0.744	0.654	0.861	1.000	0.94309	23650	1160	1480	682	8	27564
	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	2392	79	169	0	0	2640	0.932	0.712	0.960	0.000	0.000	0.90411	11085	411	921	0	0	12475
	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	10437	1236	1304	548	186	13711	1.003	1.170	0.696	0.963	1.000	0.98598	44326	5415	6160	2581	6	59518
	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	13089	3502	1788	435	77	18891	1.182	0.752	1.282	0.339	0.318	1.01276	32568	8308	4471	1121	175	46539
	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	25302	2676	4517	3156	1509	37160	1.428	0.261	0.998	0.998	0.997	0.9996	56499	6395	10897	7503	3500	85984
	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	12003	940	1497	563	32	15035	1.250	0.281	1.001	1.005	1.600	1.00113	32238	2361	3487	1274	56	39011
	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	13203	654	510	135	104	14606	1.251	0.197	1.000	1.015	0.972	0.99904	30497	1774	1162	315	262	35078
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	13568	529	1732	477	224	16530	1.249	0.163	1.003	0.992	1.037	1.00012	34803	1220	4097	1048	525	40993	
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	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	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	25008	2094	4199	2315	1659	35275	1.249	0.295	0.996	0.999	1.010	0.99966	56773	4934	10072	5337	3867	81412	
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	19907	933	2458	757	85	24140	1.250	0.189	0.999	0.979	1.076	0.99863	44893	2028	6166	1936	263	54960	
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	43829	1318	2810	1595	214	49766	1.250	0.131	1.000	0.994	0.968	0.9994	104513	3321	6350	3415	477	119256	
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	8009	720	2694	2784	561	14768	1.816	0.155	1.320	0.905	3.016	1.02856	21717	1725	6230	6563	1493	36569	
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	7316	286	1873	2180	896	12551	1.250	0.164	0.989	0.997	0.999	0.99801	16767	727	4738	5299	2122	30021	
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	46248	86	148	4	0	46486	1.000	1.246	1.165	1.333	0.000	1.00047	254885	490	825	36	0	256228	
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	70528	318	202	27	4	71079	1.000	1.039	0.935	0.871	1.000	0.99982	351259	1615	985	129	21	354005	
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	90057	63	95	0	1	90216	1.373	1.235	1.203	0.000	0.000	1.37309	443168	308	497	0	0	443981	
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	81293	139	71	4	0	81507	1.000	0.986	1.000	1.000	0.000	1.00011	409313	674	359	18	0	410364	

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



Especialidad en Vías Terrestres

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

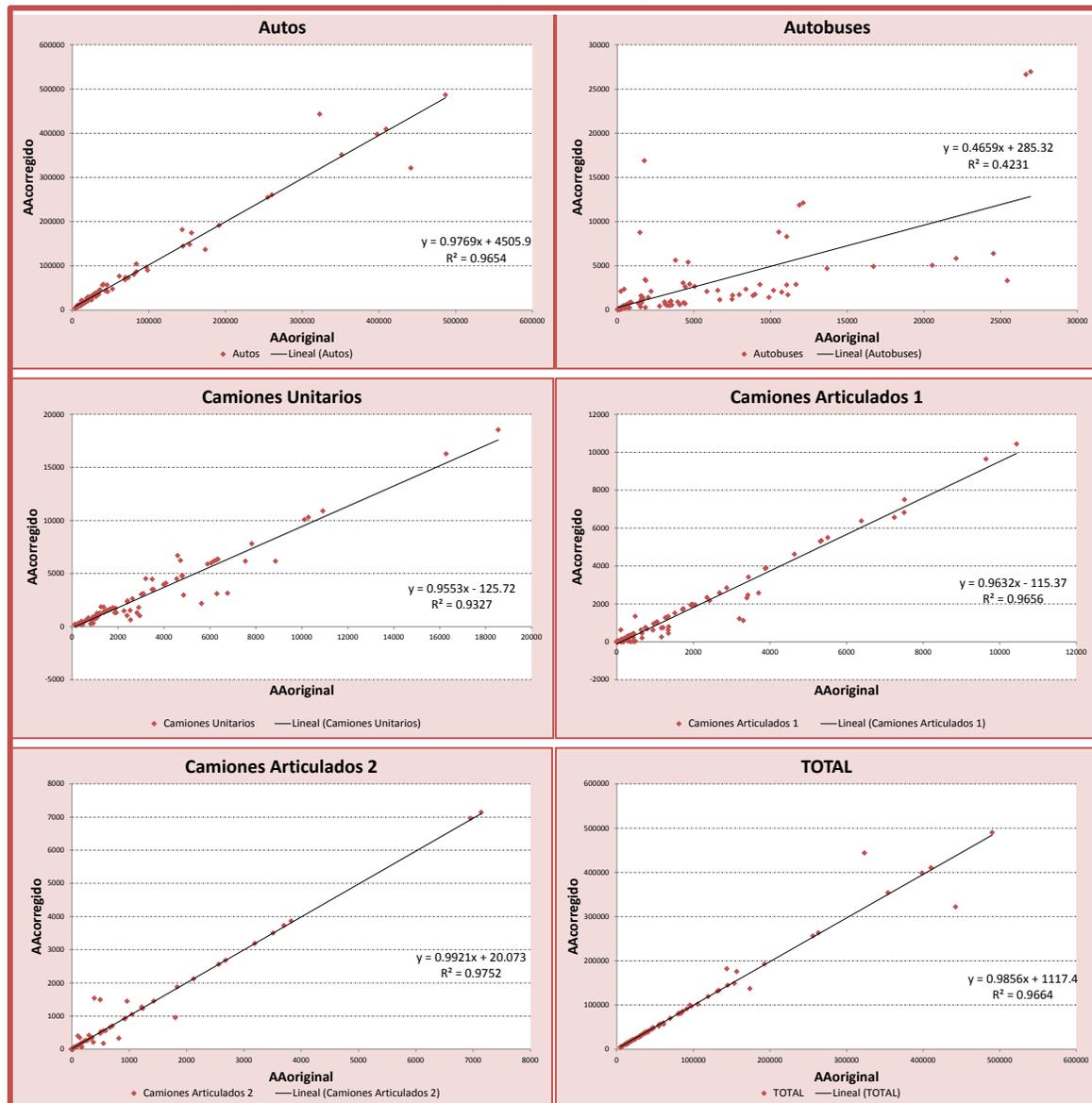
Estrato	Estación	X						AM _{OBS}						F _c						Y					
		AA _{OBS}																		AA _{CORR}					
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT
1	1	6075	48	651	299	353	7426	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	6075	48	651	299	353	7426
		4034	82	439	199	333	5087	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	4034	82	439	199	333	5087
	2	52501	241	1856	104	105	54807	47582	2128	1307	624	402	52043	0.906	8.830	0.704	6.000	3.829	0.94957	47582	2128	1307	624	402	52043
		43357	453	2395	655	819	47679	43673	2364	1042	449	330	47858	1.007	5.219	0.435	0.685	0.403	1.00375	43673	2364	1042	449	330	47858
	3	31365	1689	2546	1341	0	36941	21795	671	360	332	120	23278	1.139	0.764	0.248	0.466	1.000	1.04965	35727	1291	631	624	0	38775
		34617	2026	2945	1354	0	40942	17654	664	565	404	155	19442	1.032	0.706	0.347	0.589	1.000	0.95468	35716	1431	1022	797	0	39086
	4	9494	805	917	183	0	11399	11101	265	316	37	0	11719	1.169	0.329	0.345	0.202	0.000	1.02807	11101	265	316	37	0	11719
		10850	517	838	285	0	12490	11488	209	577	38	0	12312	1.059	0.404	0.689	0.133	0.000	0.98575	11488	209	577	38	0	12312
	5	4010	233	456	104	0	4803	4353	112	177	3	0	4645	1.086	0.481	0.388	0.029	0.000	0.9671	4353	112	177	3	0	4645
		3891	193	377	158	0	4619	4129	125	199	5	0	4458	1.061	0.648	0.528	0.032	0.000	0.96514	4129	125	199	5	0	4458
	6	9603	595	802	304	0	11304	10524	480	253	154	141	11552	1.096	0.807	0.315	0.507	1.000	1.02194	10524	480	253	154	0	11552
		10655	534	853	281	0	12323	11203	505	315	166	133	12322	1.051	0.946	0.369	0.591	1.000	0.99992	11203	505	315	166	0	12322
	7	6038	309	438	175	0	6960	6273	119	333	10	0	6735	1.039	0.385	0.760	0.057	0.000	0.96767	6273	119	333	10	0	6735
		6020	166	280	118	0	6584	5893	167	311	10	0	6381	0.979	1.006	1.111	0.085	0.000	0.96917	5893	167	311	10	0	6381
	9	25365	1820	2899	1209	0	31293	23774	3430	1799	752	311	30066	0.937	1.885	0.621	0.622	1.000	0.96079	23774	3430	1799	752	0	30066
		24169	1872	2529	1161	0	29731	23757	3341	1521	730	279	29628	0.983	1.785	0.601	0.629	1.000	0.99654	23757	3341	1521	730	0	29628
	10	13309	4439	1082	1166	162	20158	8724	1437	718	147	39	11065	1.236	0.594	1.162	0.219	0.542	1.02113	16455	2637	1257	255	88	20584
		12307	4725	1193	1347	173	19745	7050	1430	724	216	33	9453	1.283	0.621	1.057	0.332	0.375	1.02472	15784	2933	1261	447	65	20233
	11	20775	11663	2415	1975	1049	37877	13321	1320	1353	1216	573	17783	1.428	0.248	0.999	0.999	1.004	0.99983	29671	2895	2413	1973	1053	37871
		18861	11054	3013	2354	1235	36517	15612	1624	1833	1347	712	21128	1.428	0.257	1.005	0.994	0.994	0.99981	26938	2846	3030	2340	1228	36510
	12	8808	3097	1381	407	14	13707	5639	479	703	206	7	7034	1.250	0.298	0.987	0.986	0.875	0.9983	11008	924	1364	401	12	13684
		10191	3506	1049	351	16	15113	5717	469	559	219	13	6977	1.250	0.291	1.002	1.005	1.444	1.00072	12738	1019	1051	353	23	15124
	13	10815	3247	417	105	79	14663	7989	306	247	62	47	8651	1.250	0.161	1.012	0.984	0.940	0.99977	13519	522	422	103	74	14660
		13013	3562	352	101	111	17139	8318	318	202	58	72	8968	1.249	0.160	0.953	0.983	1.059	0.99744	16255	568	335	99	118	17095
14	10250	2761	1016	250	153	14430	6754	260	715	170	81	7980	1.250	0.161	1.007	0.966	0.988	0.99937	12815	444	1023	241	151	14421	
	13050	3410	1398	274	164	18296	7988	275	926	188	112	9489	1.250	0.147	1.003	1.011	1.143	1.00222	16308	502	1403	277	187	18337	
15	30635	12124	5896	3898	2680	55233	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	30635	12124	5896	3898	2680	55233	
	31780	11880	6280	3873	2563	56376	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1	31780	11880	6280	3873	2563	56376	
16	14158	5849	2628	1716	1219	25570	10800	1211	1644	1003	719	15377	1.250	0.359	1.002	0.994	1.044	1.00176	17695	2101	2634	1706	1272	25615	
	19784	6558	3105	1939	1429	32815	10881	1117	1754	1087	754	15593	1.250	0.339	1.002	0.997	1.015	1.00045	24724	2223	3110	1934	1450	32830	
17	11719	3441	1199	443	69	16871	6420	463	748	288	53	7972	1.249	0.265	1.003	0.983	1.060	0.99962	14640	912	1202	435	73	16865	
	14755	4334	1407	436	73	21005	9149	439	799	303	47	10737	1.251	0.193	1.000	0.984	1.146	0.99981	18454	836	1407	429	84	21001	
18	28862	8857	1639	752	111	40221	19899	908	1012	472	83	22374	1.250	0.186	0.993	0.992	1.012	0.99973	36078	1647	1628	746	112	40210	
	34606	9894	1776	959	132	47367	22105	756	1138	619	95	24713	1.250	0.146	1.003	0.997	1.011	1.0002	43253	1446	1781	956	133	47377	
19	7687	3951	1259	1941	299	15137	5645	508	1116	1193	281	8743	1.322	0.231	1.474	1.010	1.398	1.01568	10160	913	1856	1961	418	15374	
	6886	4077	1370	2048	137	14518	4362	317	1082	1171	231	7163	1.578	0.151	1.342	0.951	2.567	1.02519	10867	617	1839	1948	352	14884	
20	4855	1523	898	1344	666	9286	3011	192	506	831	376	4916	1.246	0.242	0.988	0.995	0.989	0.99534	6048	368	887	1338	659	9243	
	6523	1839	1049	1514	705	11630	4237	164	660	895	392	6348	1.250	0.162	0.987	1.001	0.992	0.9978	8155	297	1035	1516	700	11604	
23	80590	112	595	26	7	81330	44064	61	317	13	4	44459	1.000	0.984	0.997	1.000	1.000	1.00002	80595	110	593	26	7	81332	
	96888	116	251	31	0	97286	52193	67	127	14	0	52401	1.000	1.081	0.977	0.875	0.000	1.00021	96908	125	245	27	0	97306	
24	191439	911	388	38	6	192782	99459	473	189	19	3	100143	1.000	0.971	0.940	1.000	1.000	1.00011	191510	885	365	38	6	192803	
	155574	582	385	38	4	156583	91546	319	199	18	2	92084	1.123	1.022	0.990	1.000	1.000	1.12194	174658	595	381	38	4	175676	
21B	173518	122	173	0	0	173813	72352	28	50	0	0	72430	0.789	0.424	0.549	0.000	0.000	0.78872	136944	52	95	0	0	137090	
	143510	47	112	0	0	143669	91684	64	90	0	0	91838	1.267	2.667	1.667	0.000	0.000	1.26771	181820	125	187	0	0	182131	
22B	144466	163	164	0	0	144793	78892	96	97	0	0	79085	1.000	1.055	1.078	0.000	0.000	0.9999	144429	172	177	0	0	144778	
	153125	168	151	0	0	153444	76548	85	97	0	0	76730	0.970	0.966	1.183	0.000	0.000	0.97032	148547	162	179	0	0	148890	

Tabla 14. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso B. Estrato 1.



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.





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 _c						Y					
		AA _{OBS}						AM _{OBS}						AA _{CORR}													
		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	4442	52	743	323	399	5959	0	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4442	52	743	323	399	5959	
		4008	58	504	259	380	5209	0	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4008	58	504	259	380	5209	
	2	25339	407	2190	192	153	28281	5273	564	236	122	84	6279	0.967	9.895	0.299	2.179	4.200	0.985	24507	4027	655	418	643	27859		
		25766	451	2187	891	699	29994	6471	613	328	183	94	7689	1.021	6.385	0.521	1.005	0.746	1.043	26319	2880	1139	896	521	31296		
	3	22231	1845	2364	1437	3	27880	10277	392	387	483	230	11769	1.025	0.505	0.412	0.850	1.000	0.956	22797	932	973	1222	3	26663		
		19663	1767	2062	1166	3	24661	8246	463	470	417	133	9729	1.028	0.654	0.555	0.927	1.000	0.970	20204	1156	1144	1080	3	23921		
	4	5772	537	666	165	3	7143	2496	121	221	43	0	2881	1.026	0.593	0.857	0.729	0.000	0.975	5921	319	570	120	0	6966		
		6797	385	673	220	3	8078	2818	105	295	38	0	3256	0.981	0.618	1.077	0.458	0.000	0.958	6667	238	725	101	0	7736		
	5	2818	198	268	150	3	3437	1159	35	83	1	0	1278	1.045	0.565	0.874	0.022	0.000	0.975	2945	112	234	3	0	3350		
		3334	167	367	162	4	4034	1329	20	92	3	0	1444	1.007	0.370	0.836	0.051	0.000	0.936	3357	62	307	8	0	3775		
	6	5265	570	900	324	7	7066	938	57	80	42	27	1144	1.151	0.548	0.421	0.700	1.000	0.979	6060	312	379	227	7	6915		
		8355	511	697	227	3	9793	1477	114	106	58	41	1796	0.904	0.983	0.848	1.450	1.000	0.938	7557	502	591	329	3	9189		
	7	3633	278	447	213	3	4574	687	16	90	5	0	798	1.028	0.286	1.084	0.152	0.000	0.950	3736	79	485	32	0	4345		
		3289	180	272	123	3	3867	598	28	36	0	0	662	0.946	0.778	0.750	0.000	0.000	0.895	3112	140	204	0	0	3459		
	9	13098	1396	3087	1341	3	18925	2580	494	462	262	112	3910	0.907	1.332	0.653	0.894	1.000	0.927	11878	1859	2014	1199	3	17547		
		17961	1554	3361	1038	3	23917	3157	360	647	287	114	4565	0.902	1.136	0.895	1.373	1.000	0.961	16201	1765	3008	1425	3	22990		
	10	10105	3629	1132	1212	147	16225	4302	1045	724	224	53	6348	1.042	0.764	1.692	0.503	0.869	0.987	10526	2772	1915	610	128	16013		
		9812	3822	1274	978	168	16054	4361	1517	662	192	40	6772	1.126	0.921	1.283	0.500	0.571	1.043	11051	3518	1634	489	96	16752		
	11	13308	7430	2692	2698	1605	27733	5893	935	1255	1249	717	10049	1.341	0.349	1.099	0.992	0.932	0.981	17848	2593	2958	2677	1496	27208		
		13645	8857	4576	3888	1760	32726	7782	872	1925	1627	689	12895	1.400	0.236	0.994	0.996	0.882	0.948	19105	2090	4548	3874	1553	31020		
	12	7294	2904	1449	522	23	12192	4248	376	552	209	11	5396	1.552	0.381	0.979	0.901	1.100	1.191	11321	1107	1418	470	25	14526		
		8460	2849	1158	533	23	13023	3933	297	624	231	14	5099	1.432	0.296	1.300	0.931	1.000	1.135	12113	844	1505	496	23	14786		
	13	6687	2497	642	141	125	10092	3684	200	261	66	57	4268	1.436	0.219	1.061	1.320	1.163	1.116	9604	546	681	186	145	11264		
		7593	2661	409	111	86	10860	3406	223	154	53	29	3865	1.130	0.233	0.778	1.205	0.763	0.909	8581	621	318	134	66	9876		
14	8069	2165	1284	457	322	12297	4169	186	802	232	118	5507	1.386	0.208	1.522	1.069	0.781	1.148	11180	450	1954	489	252	14111			
	10147	2709	1462	518	299	15135	3840	230	486	202	110	4868	0.990	0.204	0.802	0.815	0.780	0.812	10048	554	1172	422	233	12284			
15	22375	9552	7580	5452	3802	48761	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	22375	9552	7580	5452	3802	48761			
	21016	7995	6224	4492	3391	43118	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	21016	7995	6224	4492	3391	43118			
16	13222	5247	4106	2651	1708	26934	6814	676	1843	1111	760	11204	1.219	0.287	1.075	0.964	1.001	0.968	16111	1505	4415	2554	1710	26071			
	13772	6696	4043	2723	1991	29225	5804	1032	1751	1185	852	10624	1.087	0.409	1.032	0.971	0.958	0.911	14969	2740	4172	2645	1908	26610			
17	9100	2848	1741	772	98	14559	3651	303	556	297	40	4847	1.051	0.220	0.680	0.879	1.111	0.802	9564	625	1183	678	109	11672			
	12715	3922	2332	779	91	19839	6815	358	1052	314	32	8571	1.137	0.181	1.065	0.963	1.143	0.920	14461	708	2483	750	104	18251			
18	10146	4913	1575	711	163	17508	5084	385	657	340	53	6519	1.150	0.174	0.923	1.086	0.964	0.846	11670	857	1453	772	157	14807			
	47240	9759	2775	1774	243	61791	24072	684	982	826	97	26661	1.260	0.177	0.814	1.006	0.882	1.061	59500	1723	2260	1785	214	65571			
19	4247	3409	1870	3295	513	13334	2462	310	1171	1200	323	5466	1.492	0.230	1.419	0.857	1.335	1.000	6337	785	2654	2824	685	13339			
	3686	4335	1929	3276	290	13516	2412	264	1095	1228	341	5340	1.898	0.136	1.284	0.804	3.376	0.938	6995	591	2476	2635	979	12685			
20	3158	967	1187	1864	953	8129	1321	101	508	759	420	3109	1.056	0.243	0.955	0.863	0.959	0.884	3335	235	1133	1608	914	7188			
	3310	1525	2179	2370	957	10341	1572	152	846	1127	462	4159	1.332	0.302	1.019	1.172	1.164	1.074	4410	460	2221	2776	1114	11105			
23	76195	377	1148	100	8	77828	15056	80	203	18	1	15358	0.955	1.039	0.842	0.857	0.500	0.953	72736	392	967	86	4	74181			
	91745	118	247	12	0	92122	15376	33	61	1	0	15471	0.947	1.833	1.694	0.000	0.000	0.950	86901	216	419	0	0	87507			
24	159470	808	630	124	24	161056	27516	140	111	22	5	27794	0.932	0.903	0.881	0.917	1.000	0.932	148690	730	555	114	24	150109			
	128032	798	746	95	11	129682	26290	171	143	17	2	26623	1.006	1.089	0.929	0.850	1.000	1.006	128791	869	693	81	11	130441			
21B	127942	183	165	0	4	128294	25578	45	32	0	0	25655	0.953	1.184	0.865	0.000	0.000	0.953	121890	217	143	0	0	122247			
	111606	149	151	0	0	111906	25502	40	34	0	1	25577	1.122	1.290	1.259	0.000	0.000	1.122	125211	192	190	0	0	125597			
22B	113803	256	268	45	0	114372	21121	55	47	6	0	21229	0.917	1.100	0.855	0.667	0.000	0.917	104388	282	229	30	0	104927			
	113029	184	80	18	0	113311	24786	42	17	4	0	24849	1.157	1.135	1.133	1.000	0.000	1.157	130736	209	91	18	0	131053			

Tabla 15. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso F. Estrato 0.



Especialidad en Vías Terrestres

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

Estrato	Estación	X						AM _{OBS}						F _C						Y					
		AA _{OBS}																		AA _{CORR}					
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT
1	1	9614	70	612	309	387	10992	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9614	70	612	309	387	10992
		8750	79	778	281	406	10294	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8750	79	778	281	406	10294
	2	55165	1192	2273	203	165	58998	12217	650	484	141	99	13591	0.910	6.989	0.942	5.640	2.829	0.964	50201	8331	2140	1145	467	56900
		44245	825	3340	1194	800	50404	9995	685	356	160	54	11250	1.042	5.569	0.497	0.788	0.391	1.044	46085	4595	1658	941	313	52616
	3	37417	1803	2537	1409	2	43168	16813	664	503	278	75	18333	1.047	0.853	0.412	0.507	1.000	0.986	39191	1539	1046	715	2	42553
		37442	2423	3426	1630	2	44923	17509	484	637	406	133	19169	1.055	0.487	0.448	0.631	1.000	0.975	39488	1181	1536	1029	2	43803
	4	11118	806	861	166	3	12954	5099	192	250	33	0	5574	0.993	0.619	0.735	0.559	0.000	0.954	11042	499	633	93	0	12358
		10523	739	1301	319	2	12884	4538	192	635	26	0	5391	0.975	0.632	1.097	0.187	0.000	0.950	10265	467	1427	60	0	12241
	5	5890	279	491	203	2	6865	2355	62	196	5	1	2619	1.079	0.633	0.929	0.063	0.000	1.019	6357	177	456	13	0	6996
		5113	240	576	228	3	6160	2036	63	160	3	0	2262	1.026	0.778	0.865	0.037	0.000	0.970	5247	187	498	8	0	5978
	6	13781	895	1444	462	4	16586	2957	157	105	36	37	3292	1.028	0.897	0.500	0.480	1.000	0.987	14169	803	722	222	4	16367
		13593	701	1019	423	3	15739	2560	142	131	46	46	2925	0.957	0.904	0.652	0.630	1.000	0.942	13009	634	664	267	3	14822
	7	6592	337	548	219	2	7698	1422	27	105	0	0	1554	1.000	0.422	0.913	0.000	0.000	0.948	6592	142	500	0	0	7299
		6938	326	543	168	2	7977	1425	49	107	0	0	1581	0.898	0.790	1.049	0.000	0.000	0.890	6230	258	570	0	0	7097
	9	25078	1823	2688	1718	3	31310	5871	573	658	184	46	7332	0.887	1.462	1.327	0.573	1.000	0.937	22254	2665	3566	985	3	29337
		20126	2282	4014	1193	2	27617	5564	600	487	182	40	6873	1.089	1.149	0.568	0.771	1.000	1.022	21914	2623	2281	920	2	28225
	10	15476	5492	1682	1633	194	24477	7963	1907	914	185	22	10991	1.208	0.875	1.362	0.308	0.319	1.087	18689	4806	2291	503	62	26599
		13663	5505	1601	1838	320	22927	7044	1729	860	177	23	9833	1.294	0.748	1.372	0.254	0.163	1.066	17679	4117	2196	467	52	24449
	11	20960	11131	3787	2499	1054	39431	12252	1179	1625	1114	500	16670	1.455	0.243	0.993	1.079	1.147	1.017	30492	2700	3759	2698	1209	40112
		20332	11880	4875	2316	1031	40434	13759	1369	1916	1103	503	18650	1.467	0.283	0.954	1.107	1.141	1.056	29827	3358	4649	2565	1176	42681
	12	11717	5266	2574	543	9	20109	5144	477	904	247	6	6778	1.114	0.273	1.031	1.021	1.200	0.905	13057	1437	2653	554	11	18202
		13311	4214	1742	497	6	19770	6525	536	727	226	16	8030	1.252	0.299	0.943	1.092	8.000	1.006	16664	1259	1643	543	48	19879
	13	12025	4105	813	137	100	17180	6289	384	340	61	43	7117	1.203	0.225	0.988	0.968	0.977	0.964	14468	925	804	133	98	16563
		13697	4982	599	142	123	19543	7419	349	264	54	55	8141	1.223	0.192	1.086	0.885	1.170	0.989	16758	958	651	126	144	19332
14	14087	3778	2283	391	170	20709	6559	279	825	176	99	7938	1.135	0.157	0.805	1.017	1.500	0.900	15986	592	1838	398	255	18630	
	14649	3917	2197	365	132	21260	8187	271	1081	213	70	9822	1.494	0.161	1.211	1.411	1.795	1.191	21889	630	2660	515	237	25323	
15	34940	13055	8470	3557	2023	62045	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	34940	13055	8470	3557	2023	62045	
	38994	14481	7468	3906	2725	67574	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	38994	14481	7468	3906	2725	67574	
16	18254	6084	4656	1874	1256	32124	9580	1012	1679	766	504	13541	1.244	0.393	0.946	1.032	1.000	1.018	22708	2388	4404	1935	1256	32706	
	25085	7817	4419	1758	1229	40308	15160	865	1828	807	585	19245	1.293	0.237	0.972	1.059	1.127	1.038	32437	1849	4297	1862	1385	41836	
17	17753	4260	2486	609	63	25171	10386	503	1299	294	20	12502	1.351	0.225	1.284	1.105	1.250	1.115	23980	960	3191	673	79	28060	
	18128	5526	3253	858	88	27853	10063	474	1133	324	34	12028	1.332	0.211	0.926	1.029	1.063	1.058	24139	1166	3014	883	94	29457	
18	31035	11221	3283	1633	264	47436	15233	978	1493	579	86	18369	1.169	0.208	1.043	0.868	1.024	0.923	36290	2339	3425	1418	270	43787	
	29715	12570	2905	1252	166	46608	15469	472	1496	554	85	18076	1.183	0.093	1.138	0.939	1.269	0.898	35153	1165	3305	1176	211	41834	
19	7310	5300	2064	2975	155	17804	4689	551	1230	1161	164	7795	1.558	0.257	1.463	0.942	3.644	1.071	11388	1360	3019	2801	565	19074	
	6707	4748	1973	2588	159	16175	4514	431	1112	1054	153	7264	1.811	0.231	1.321	1.037	2.186	1.156	12149	1099	2606	2685	348	18703	
20	5187	1692	1723	2046	651	11299	3134	132	727	902	297	5192	1.374	0.180	1.024	1.083	1.104	1.076	7127	305	1764	2215	719	12156	
	7902	2184	1889	1983	801	14759	3845	107	674	764	286	5676	1.082	0.117	0.902	0.926	0.864	0.891	8547	257	1704	1836	692	13153	
23	130833	387	491	14	10	131735	26168	77	98	3	2	26348	1.027	1.027	1.021	1.000	1.000	1.027	134345	397	501	14	10	135267	
	123308	224	412	5	0	123949	24449	45	79	1	0	24574	1.022	1.023	0.963	1.000	0.000	1.022	125998	229	397	5	0	126629	
24	246443	1137	285	0	0	247865	48846	224	53	0	0	49123	0.981	0.970	0.930	0.000	0.000	0.981	241678	1103	265	0	0	243046	
	166387	531	127	0	0	167045	32930	103	25	0	0	33058	1.018	1.010	1.000	0.000	0.000	1.018	169328	536	127	0	0	169991	
21B	221017	100	233	0	0	221350	30728	17	28	0	0	30773	0.688	0.850	0.596	0.000	0.000	0.688	151988	85	139	0	0	152211	
	156928	83	136	0	0	157147	46930	21	46	0	0	46997	1.461	1.235	1.704	0.000	0.000	1.461	229242	103	232	0	0	229575	
22B	204583	166	117	0	0	204866	45438	36	26	0	0	45500	1.110	1.091	1.130	0.000	0.000	1.110	227060	181	132	0	0	227373	
	230512	399	239	0	0	231150	43528	77	46	0	0	43651	0.929	0.917	0.958	0.000	0.000	0.929	214181	366	229	0	0	214775	

Tabla 16. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso F. Estrato 1.



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 _c						Y					
		AA _{OBS}						AM _{OBS}						AA _{CORR}													
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT		
2	1	2290	19	179	111	133	2732	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2290	19	179	111	133	2732		
		1858	17	224	92	146	2337	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1858	17	224	92	146	2337		
	2	17748	172	390	83	73	18466	5213	217	138	33	69	5670	0.886	1.000	1.366	1.375	7.667	0.942	15721	172	533	114	560	17395		
		13481	205	776	336	305	15103	3122	130	68	63	23	3406	1.080	5.909	0.370	0.926	0.390	1.057	14563	1211	287	311	119	15961		
	3	9843	653	730	549	1	11776	4310	239	76	141	55	4821	1.058	0.930	0.220	0.684	1.000	0.988	10413	607	161	376	1	11629		
		12319	860	1277	628	1	15085	5433	187	201	164	54	6039	1.129	0.424	0.369	0.592	1.000	0.994	13906	365	471	372	1	14993		
	4	2984	252	398	97	2	3733	1629	30	82	17	0	1758	1.177	0.233	0.385	0.321	0.000	0.988	3512	59	153	31	0	3689		
		2122	254	431	119	1	2927	1228	34	101	22	0	1385	1.206	0.276	0.470	0.400	0.000	0.982	2560	70	202	48	0	2873		
	5	1210	89	243	85	1	1628	635	6	20	0	0	661	1.315	0.333	0.180	0.000	0.000	1.031	1591	30	44	0	0	1679		
		1002	80	136	54	1	1273	415	11	28	0	0	454	1.153	0.268	0.412	0.000	0.000	0.938	1155	21	56	0	0	1194		
	6	5030	169	482	158	1	5840	1252	61	26	32	13	1384	0.956	2.773	0.441	0.970	1.000	0.972	4807	469	212	153	1	5676		
		2658	347	546	142	2	3695	640	6	30	14	24	714	1.147	0.076	0.366	0.583	1.000	0.961	3049	26	200	83	2	3551		
	7	1331	113	153	54	1	1652	351	1	13	0	0	365	1.073	0.071	0.481	0.000	0.000	0.971	1429	8	74	0	0	1604		
		1669	71	144	69	1	1954	369	2	26	0	0	397	1.060	0.154	1.000	0.000	0.000	0.985	1770	11	144	0	0	1925		
	9	7999	585	1769	644	2	10999	2264	178	201	95	28	2766	0.953	2.282	0.487	0.579	1.000	0.913	7625	1335	861	373	2	10041		
		6112	790	1478	449	1	8830	1716	276	170	79	32	2273	0.955	1.272	0.578	0.637	1.000	0.935	5837	1005	855	286	1	8253		
	10	4502	1416	391	355	34	6698	1982	537	123	48	8	2698	0.988	0.865	0.809	0.314	0.444	0.915	4448	1224	316	111	15	6126		
		4084	1723	613	489	63	6972	1684	256	266	66	14	2286	0.957	0.367	1.056	0.328	0.452	0.777	3908	632	647	161	28	5417		
	11	6347	3539	1342	1189	532	12949	3975	271	456	445	228	5375	1.491	0.182	0.816	0.851	0.946	0.982	9463	645	1095	1012	503	12712		
		5576	3788	1463	1311	721	12859	3761	435	676	426	317	5615	1.355	0.252	1.170	0.801	1.086	0.951	7555	955	1711	1050	783	12232		
	12	3073	1137	532	243	7	4992	1445	123	173	102	6	1849	1.099	0.301	0.836	1.063	1.500	0.910	3377	342	445	258	11	4545		
4016		1330	585	237	6	6174	1545	107	146	106	2	1906	0.941	0.196	0.596	1.010	0.500	0.750	3779	261	349	239	3	4631			
13	3414	923	222	63	106	4728	1742	83	67	15	21	1928	1.101	0.211	0.728	0.417	0.724	0.904	3759	194	162	26	77	4274			
	3095	1342	154	57	61	4709	2378	82	92	28	20	2600	1.608	0.151	1.333	1.000	0.909	1.215	4976	203	205	57	55	5721			
14	2784	746	421	185	97	4233	1590	56	93	49	28	1816	1.490	0.180	0.520	0.721	0.667	1.089	4149	134	219	133	65	4611			
	3058	860	426	174	75	4593	1541	28	165	62	44	1840	1.026	0.064	0.724	0.756	1.222	0.806	3137	55	308	132	92	3700			
15	11458	4042	2497	1432	1318	20747	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	11458	4042	2497	1432	1318	20747			
	13313	4479	2587	1244	842	22465	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	13313	4479	2587	1244	842	22465			
16	5088	2348	1524	984	735	10679	3514	396	603	365	278	5156	1.335	0.353	0.956	1.040	1.045	1.031	6790	829	1456	1023	768	11008			
	6581	2203	1653	863	607	11907	4044	197	620	323	222	5406	1.370	0.215	0.969	0.961	0.949	1.065	9018	474	1601	830	576	12679			
17	3482	853	564	359	55	5313	1774	81	244	148	20	2267	1.196	0.188	0.949	1.088	1.053	0.975	4165	160	535	391	58	5178			
	5070	1279	589	340	65	7343	3029	101	273	119	19	3541	1.275	0.143	1.092	0.902	1.000	1.017	6463	183	643	307	65	7465			
18	20209	4407	1199	526	124	26465	12466	790	449	250	84	14039	1.420	0.434	0.933	1.256	1.012	1.236	28703	1911	1119	661	125	32700			
	6660	3105	670	410	84	10929	4288	162	332	215	32	5029	1.490	0.143	1.149	1.108	0.727	1.109	9926	446	770	454	61	12125			
19	2193	1482	660	1234	294	5863	1233	40	434	513	161	2381	1.286	0.064	1.556	0.966	1.118	0.937	2820	94	1027	1192	329	5494			
	1568	2046	818	1385	46	5863	1083	25	487	502	67	2164	1.671	0.030	1.408	0.944	4.467	0.907	2621	61	1151	1307	205	5317			
20	1446	466	631	726	233	3502	811	69	238	380	118	1616	1.207	0.333	0.964	1.138	1.083	1.030	1745	155	608	826	252	3607			
	2207	724	723	961	366	4981	1899	27	353	289	148	2716	1.696	0.082	1.114	0.724	0.876	1.164	3742	59	805	696	321	5796			
23	53297	47	251	0	0	53595	11653	10	54	0	0	11717	1.006	1.000	1.038	0.000	0.000	1.007	53642	47	261	0	0	53595			
	39926	51	49	10	0	40036	6423	8	8	2	0	6441	1.052	1.143	0.889	1.000	0.000	1.052	42006	58	44	10	0	42115			
24	80749	261	127	21	5	81163	18664	59	26	4	1	18754	1.191	1.135	1.040	1.000	1.000	1.191	96190	296	132	21	5	96643			
	56875	225	180	53	10	57343	11308	44	34	10	2	11398	0.939	0.936	0.919	0.909	1.000	0.939	53408	211	165	48	10	53843			
21B	92634	10	81	0	0	92725	9234	3	19	0	0	9256	0.499	1.500	1.188	0.000	0.000	0.499	46194	15	96	0	0	46305			
	54149	17	126	0	0	54292	17625	2	15	0	0	17642	1.645	0.667	0.600	0.000	0.000	1.642	89061	11	76	0	0	89149			
22B	79166	103	55	0	0	79324	13402	14	6	0	0	13422	0.839	0.667	0.545	0.000	0.000	0.838	66382	69	30	0	0	66481			
	65717	101	40	0	0	65858	12979	20	8	0	0	13007	0.998	1.000	1.000	0.000	0.000	0.998	65581	101	40	0	0	65722			

Tabla 17. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso F. Estrato 2.



Especialidad en Vías Terrestres

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

Estrato	Estación	X						AM _{OBS}						F _c						Y					
		AA _{OBS}						AA _{CORR}						AA _{CORR}											
		A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT	A	B	CU	CA1	CA2	TOT
3	1	6075	48	651	299	353	7426	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6075	48	651	299	353	7426
		4034	82	439	199	333	5087	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4034	82	439	199	333	5087
	2	52501	241	1856	104	105	54807	47582	2128	1307	624	402	52043	0.906	8.830	0.704	6.000	3.829	0.950	47582	2128	1307	624	402	52043
		43357	453	2395	655	819	47679	43673	2364	1042	449	330	47858	1.007	5.219	0.435	0.685	0.403	1.004	43673	2364	1042	449	330	47858
	3	31365	1689	2546	1341	0	36941	21795	671	360	332	120	23278	1.139	0.764	0.248	0.466	1.000	1.050	35727	1291	631	624	0	38775
		34617	2026	2945	1354	0	40942	17654	664	565	404	155	19442	1.032	0.706	0.347	0.589	1.000	0.955	35716	1431	1022	797	0	39086
	4	9494	805	917	183	0	11399	11101	265	316	37	0	11719	1.169	0.329	0.345	0.202	0.000	1.028	11101	265	316	37	0	11719
		10850	517	838	285	0	12490	11488	209	577	38	0	12312	1.059	0.404	0.689	0.133	0.000	0.986	11488	209	577	38	0	12312
	5	4010	233	456	104	0	4803	4353	112	177	3	0	4645	1.086	0.481	0.388	0.029	0.000	0.967	4353	112	177	3	0	4645
		3891	193	377	158	0	4619	4129	125	199	5	0	4458	1.061	0.648	0.528	0.032	0.000	0.965	4129	125	199	5	0	4458
	6	9603	595	802	304	0	11304	10524	480	253	154	141	11552	1.096	0.807	0.315	0.507	1.000	1.022	10524	480	253	154	0	11552
		10655	534	853	281	0	12323	11203	505	315	166	133	12322	1.051	0.946	0.369	0.591	1.000	1.000	11203	505	315	166	0	12322
	7	6038	309	438	175	0	6960	6273	119	333	10	0	6735	1.039	0.385	0.760	0.057	0.000	0.968	6273	119	333	10	0	6735
		6020	166	280	118	0	6584	5893	167	311	10	0	6381	0.979	1.006	1.111	0.085	0.000	0.969	5893	167	311	10	0	6381
	9	25365	1820	2899	1209	0	31293	23774	3430	1799	752	311	30066	0.937	1.885	0.621	0.622	1.000	0.961	23774	3430	1799	752	0	30066
		24169	1872	2529	1161	0	29731	23757	3341	1521	730	279	29628	0.983	1.785	0.601	0.629	1.000	0.997	23757	3341	1521	730	0	29628
	10	13309	4439	1082	1166	162	20158	8724	1437	718	147	39	11065	1.236	0.594	1.162	0.219	0.542	1.021	16455	2637	1257	255	88	20584
		12307	4725	1193	1347	173	19745	7050	1430	724	216	33	9453	1.283	0.621	1.057	0.332	0.375	1.025	15784	2933	1261	447	65	20233
	11	20775	11663	2415	1975	1049	37877	13321	1320	1353	1216	573	17783	1.428	0.248	0.999	0.999	1.004	1.000	29671	2895	2413	1973	1053	37871
		18861	11054	3013	2354	1235	36517	15612	1624	1833	1347	712	21128	1.428	0.257	1.005	0.994	0.994	1.000	26938	2846	3030	2340	1228	36510
	12	8808	3097	1381	407	14	13707	5639	479	703	206	7	7034	1.250	0.298	0.987	0.986	0.875	0.998	11008	924	1364	401	12	13684
		10191	3506	1049	351	16	15113	5717	469	559	219	13	6977	1.250	0.291	1.002	1.005	1.444	1.001	12738	1019	1051	353	23	15124
	13	10815	3247	417	105	79	14663	7989	306	247	62	47	8651	1.250	0.161	1.012	0.984	0.940	1.000	13519	522	422	103	74	14660
		13013	3562	352	101	111	17139	8318	318	202	58	72	8968	1.249	0.160	0.953	0.983	1.059	0.997	16255	568	335	99	118	17095
	14	10250	2761	1016	250	153	14430	6754	260	715	170	81	7980	1.250	0.161	1.007	0.966	0.988	0.999	12815	444	1023	241	151	14421
		13050	3410	1398	274	164	18296	7988	275	926	188	112	9489	1.250	0.147	1.003	1.011	1.143	1.002	16308	502	1403	277	187	18337
	15	30635	12124	5896	3898	2680	55233	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	30635	12124	5896	3898	2680	55233
		31780	11880	6280	3873	2563	56376	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	31780	11880	6280	3873	2563	56376
16	14158	5849	2628	1716	1219	25570	10800	1211	1644	1003	719	15377	1.250	0.359	1.002	0.994	1.044	1.002	17695	2101	2634	1706	1272	25615	
	19784	6558	3105	1939	1429	32815	10881	1117	1754	1087	754	15593	1.250	0.339	1.002	0.997	1.015	1.000	24724	2223	3110	1934	1450	32830	
17	11719	3441	1199	443	69	16871	6420	463	748	288	53	7972	1.249	0.265	1.003	0.983	1.060	1.000	14640	912	1202	435	73	16865	
	14755	4334	1407	436	73	21005	9149	439	799	303	47	10737	1.251	0.193	1.000	0.984	1.146	1.000	18454	836	1407	429	84	21001	
18	28862	8857	1639	752	111	40221	19899	908	1012	472	83	22374	1.250	0.186	0.993	0.992	1.012	1.000	36078	1647	1628	746	112	40210	
	34606	9894	1776	959	132	47367	22105	756	1138	619	95	24713	1.250	0.146	1.003	0.997	1.011	1.000	43253	1446	1781	956	133	47377	
19	7687	3951	1259	1941	299	15137	5645	508	1116	1193	281	8743	1.322	0.231	1.474	1.010	1.398	1.016	10160	913	1856	1961	418	15374	
	6886	4077	1370	2048	137	14518	4362	317	1082	1171	231	7163	1.578	0.151	1.342	0.951	2.567	1.025	10867	617	1839	1948	352	14884	
20	4855	1523	898	1344	666	9286	3011	192	506	831	376	4916	1.246	0.242	0.988	0.995	0.989	0.995	6048	368	887	1338	659	9243	
	6523	1839	1049	1514	705	11630	4237	164	660	895	392	6348	1.250	0.162	0.987	1.001	0.992	0.998	8155	297	1035	1516	700	11604	
23	80590	112	595	26	7	81330	44064	61	317	13	4	44459	1.000	0.984	0.997	1.000	1.000	1.000	80595	110	593	26	7	81332	
	96888	116	251	31	0	97286	52193	67	127	14	0	52401	1.000	1.081	0.977	0.875	0.000	1.000	96908	125	245	27	0	97306	
24	191439	911	388	38	6	192782	99459	473	189	19	3	100143	1.000	0.971	0.940	1.000	1.000	1.000	191510	885	365	38	6	192803	
	155574	582	385	38	4	156583	91546	319	199	18	2	92084	1.123	1.022	0.990	1.000	1.000	1.122	174658	595	381	38	4	175676	
21B	173518	122	173	0	0	173813	72352	28	50	0	0	72430	0.789	0.424	0.549	0.000	0.000	0.789	136944	52	95	0	0	137090	
	143510	47	112	0	0	143669	91684	64	90	0	0	91838	1.267	2.667	1.667	0.000	0.000	1.268	181820	125	187	0	0	182131	
22B	144466	163	164	0	0	144793	78892	96	97	0	0	79085	1.000	1.055	1.078	0.000	0.000	1.000	144429	172	177	0	0	144778	
	153125	168	151	0	0	153444	76548	85	97	0	0	76730	0.970	0.966	1.183	0.000	0.000	0.970	148547	162	179	0	0	148890	

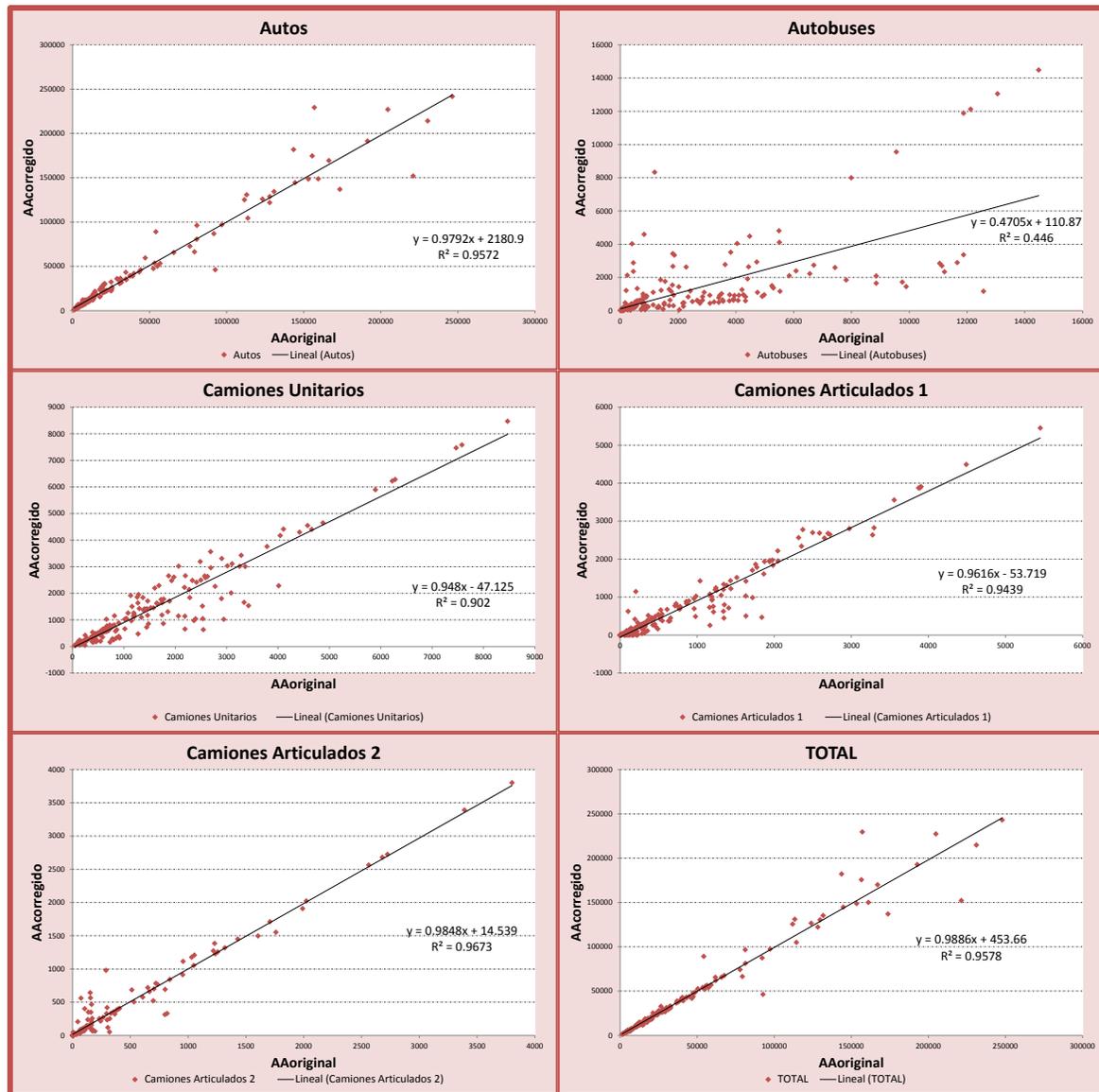
Tabla 18. Cálculo de Factores y Correcciones. Estratos caso F. Estrato 3.



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
A	0.9045	0.8844	0.9654	0.9572
B	0.2708	0.7218	0.4231	0.4460
CU	0.5584	0.8195	0.9327	0.9020
CA1	0.7653	0.8290	0.9656	0.9439
CA2	0.7592	0.8761	0.9752	0.9673
TOTAL	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 R² 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 (R²=1). En el caso de los autobuses, el valor de R² 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 R² 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