

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

**SECRETARÍA DE MOVILIDADCOMUNICACIONES**  
**SISTEMA DE AUTOPISTAS, AEROPUERTOS, SERVICIOS CONEXOS Y AUXILIARES DEL**  
**ESTADO DE MÉXICO**

**CONCURSO PÚBLICO INTERNACIONAL NO. SCEM-CCA-01-20**

**BASES DEL CONCURSO**

**APÉNDICE II**  
**PERFIL INFORMATIVO**

**PROYECTO PARA EL "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO,  
CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA AUTOPISTA TULTEPEC- AEROPUERTO  
INTERNACIONAL FELIPE ÁNGELES -PIRÁMIDES, EN EL ESTADO DE MÉXICO"**

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

## Índice

<b>1. Objetivo General .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Información del Proyecto.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Descripción del Proyecto.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Características técnicas del Proyecto .....</b>	<b>5</b>

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca: emblema de la Mujer Mexiquense".

## 1. Objetivo General.

El objetivo del presente Apéndice es establecer las características técnicas del proyecto consistente en el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento, Conservación y Explotación de la Autopista Tultepec-Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles-Pirámides (en adelante la Autopista o el Proyecto indistintamente), que deberán considerar los Concursantes en la preparación de la Oferta Técnica.

## 2. Información del Proyecto

### 2.1. Descripción del Anteproyecto de Referencia

El Plan Estatal de Desarrollo 2017-2023 para el Estado de México, publicado el 15 de marzo de 2018 en el Periódico Oficial del Estado de México, señala en el diagnóstico: Infraestructura con una Visión de Conectividad Integral, del Pilar Económico denominado Estado de México Competitivo, Productivo e Innovador, que la existencia de infraestructura provee conectividad y fortalece la actividad económica del Estado, aprovechando las vocaciones productivas y de crecimiento de todas las regiones del Estado de México.

El desarrollo de la infraestructura vial y carretera es fundamental para potenciar el desarrollo y las capacidades del Estado, ya que a través de la infraestructura se moviliza la población, bienes, productos y servicios a las diversas regiones del país. La infraestructura carretera se ha visto fortalecida con acciones de incremento y mantenimiento de las condiciones de tránsito, lo que favorece el desarrollo de las actividades industriales, comerciales, turísticas, culturales y de servicios.

Mota-Engil México, S.A.P.I. de C.V. en julio de 2020, presentó a la Secretaría una Propuesta No Solicitada para el desarrollo e implementación del proyecto consistente en el diseño, construcción, operación, explotación, conservación y mantenimiento de la Autopista Tultepec-Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles-Pirámides.

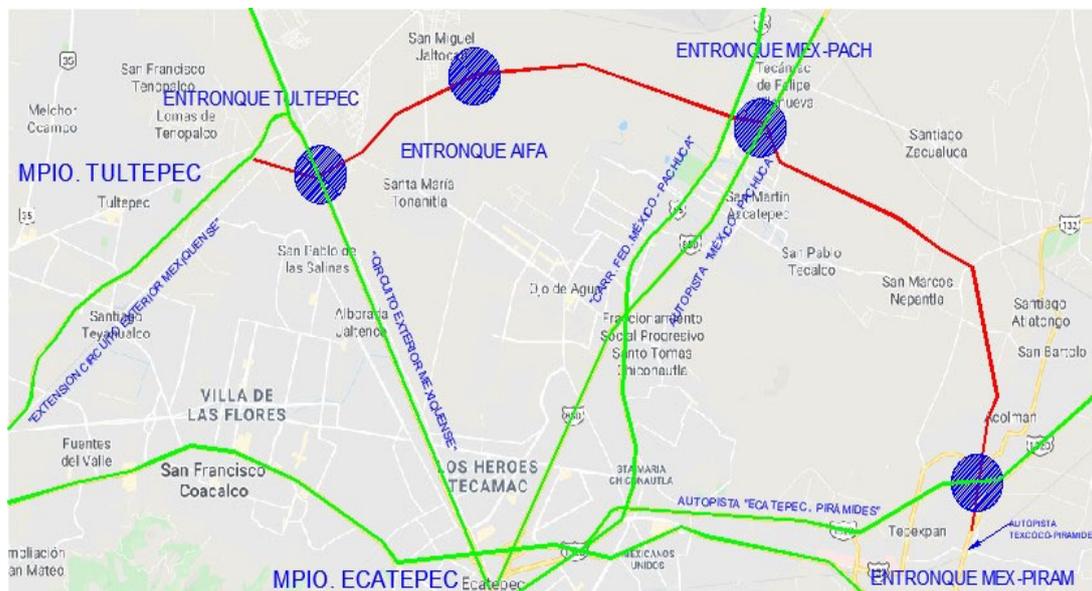
La Autopista tiene por objeto mejorar la interconectividad de manera directa, por medio de una autopista de altas especificaciones, entre las principales vialidades de acceso entre el Estado de México y los Estados de Querétaro, Hidalgo y Veracruz y también proporcionará la conexión directa de estas vialidades a la zona del Lago de Guadalupe y a Toluca, funcionando con otras vialidades de grande capacidad ya existentes, como un arco norte a la Ciudad de México. Del lado oriente permitirá la conexión en la zona de Pirámides, Tulancingo y Tuxpan y también funcionará como un importante acceso al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA), a través de un arco que funcionará como un libramiento para la zona conurbada del Municipio de Ecatepec, en el Estado de México, cuyo recorrido permitirá ahorros considerables en tiempo y distancia entre ambos destinos

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca: emblema de la Mujer Mexiquense".

El Anteproyecto de Referencia de la Autopista considera la construcción de una carretera de 27.1 km de longitud aproximada, seccionada en tres subtramos: el primero del km 0+000 al km 16+060 que contempla una carretera tipo "A4" con 22.0 m de ancho de corona, el segundo subtramo del km 16+0600 al 25+700 corresponde a una carretera tipo "A2" con 12.0 m de ancho de corona pero con una previsión a futuro de ampliación a 4 carriles y el tercero subtramo del 25+700 al 27+030 otra vez con un perfil "A4" con 22.0 m de ancho de corona.

El trazo se inicia en la intersección con la autopista Extensión Circuito Exterior Mexiquense en el municipio de Tultepec, Edo. de México, y termina en la intersección con la autopista Texcoco - Pirámides, en el municipio de Acolman, Edo. de México.

Durante su desarrollo considera un primer entronque con el Circuito Exterior Mexiquense, un segundo entronque que permitirá el acceso al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, un tercer entronque con la autopista "México – Pachuca" y un cuarto entronque con la autopista "México – Pirámides", según se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Croquis de localización considerada en el Anteproyecto de Referencia**

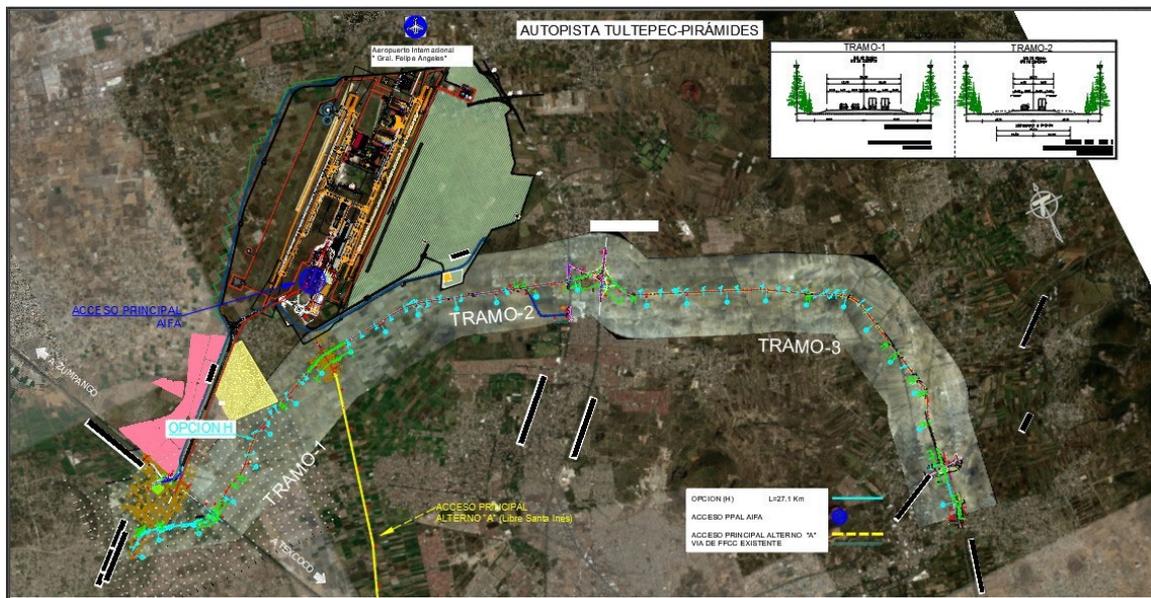
La construcción de este nuevo eje principal, facilitará los viajes de mediano y largo itinerario, ya que permitirá la conectividad con autopistas que atienden la demanda desde y hacia el centro y norte del país, así como hacia el Golfo de México. Dará servicio local a zonas de alto crecimiento poblacional como la de Zumpango, Tecámac y el sur del Estado de Hidalgo; también zonas que han detonado su crecimiento económico en los últimos años, como la zona norte y oriente del Estado de México. Asimismo, ofrecerá un acceso rápido y seguro al AIFA, que se construye en la actual base militar de Santa Lucía.

El Concursante para la elaboración de su Oferta Técnica, deberá tomar en cuenta las siguientes características técnicas para el Diseño, Construcción, Operación, Conservación, Mantenimiento y Explotación de la Autopista:

**a. Caracterización del Sitio**

- Situación Geopolítica

La zona por la cual se desarrollará la Autopista abarca una parte del Valle de México, dentro del Estado de México. Como se muestra en la Figura 2, comprende los municipios de Nextlalpan, Jaltenco, Tecámac y Acolman.



**Figura 2. Imagen satelital del trazo de la Autopista TUL-PIR y la Base Aérea de Santa Lucía**

Algunos datos demográficos relevantes de dichos municipios que atravesará la Autopista son los siguientes:

**Tabla 1. Demografía de los municipios en la zona de influencia del Proyecto**

MUNICIPIO	SUPERFICIE	POBLACIÓN	DENSIDAD
Nextlalpan	54.51 km <sup>2</sup>	34,374 hab	6,196.8 hab/km <sup>2</sup>
Jaltenco	4.73 km <sup>2</sup>	26,328 hab	5,566.2 hab/km <sup>2</sup>
Tecámac	153.4 km <sup>2</sup>	364,579 hab	2,376.7 hab/km <sup>2</sup>
Acolman	86.88 km <sup>2</sup>	77,035 hab	886.7 hab/km <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>299.52 km<sup>2</sup></b>	<b>502,316 hab</b>	<b>1,677.1 hab/km<sup>2</sup></b>

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

La principal actividad económica de la región es la agricultura, aunque también el comercio es relevante. Tomando en consideración estos datos, cerca de medio millón de habitantes se verán directamente beneficiados con la obra carretera, y un número mucho mayor de habitantes tendrán beneficios indirectos.

- **Clima e Hidrología**

El clima de la zona es semi seco templado, con lluvias de verano. La precipitación media anual es de 500 a 600 mm. La máxima incidencia de lluvias se registra en el mes de julio, con un rango entre 110 y 120 mm, y la mínima en febrero, con un valor menor de 5 mm.

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6°C a 26°C, y rara vez baja a menos de 3°C o sube a más de 30°C; el rango térmico medio tiene un valor entre 14 y 18°C.

La vegetación presente en la zona es de pradera, superficies arbóreas naturales y artificiales, así como tierras de cultivo.

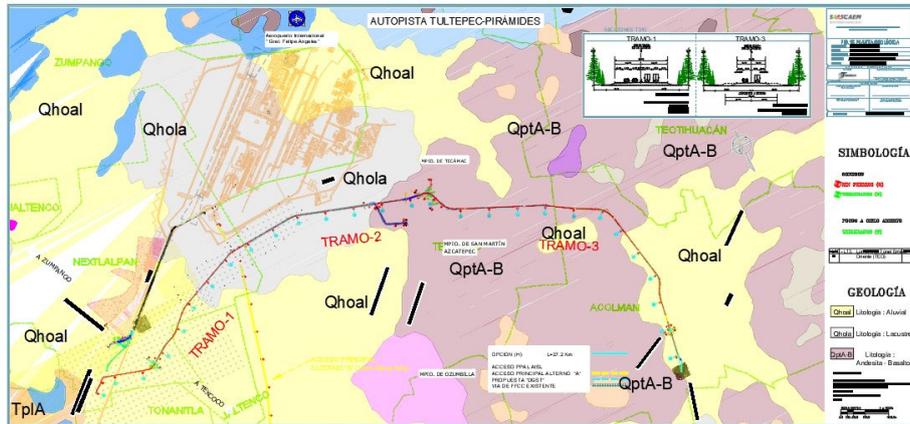
Desde el punto de vista hidrológico, la zona forma parte de la Cuenca de México que abarca a la Ciudad de México, parte de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y de México. Dicha cuenca es un sistema hídrico cerrado, sin salida natural hacia otras cuencas o hacia el mar, ya que las montañas de las sierras del Ajusco, Nevada y De las Cruces la rodean. Es por ello que en ella se formaron cinco lagos encadenados entre sí: Tzompanco (Zumpango), San Cristóbal - Xaltocan los más altos, Xochimilco, Chalco y Texcoco. Este último es salobre, y en él desaguaban todos los demás, así como los caudales de catorce grandes ríos.

Después de las terribles inundaciones de 1604 y 1607, con el propósito de solucionar el problema del drenaje de la Ciudad de México, se aprobó la construcción del Gran Canal con una longitud de 47 kilómetros, que se inicia al oriente de esta ciudad y descarga sus aguas en el Río Tula, el cual a su vez confluye con Río Panuco, para desembocar finalmente al Golfo de México en el Estado de Tamaulipas.

- **Geología**

La geología local del sitio en estudio se presenta de manera reducida en la "Planta Geológica" de la Figura 3 siguiente:

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



**Figura 3. Geología local del sitio (Fuente INEGI)**

Como puede observarse en la imagen anterior, el eje de proyecto atraviesa 3 unidades geológicas bien diferenciadas, cuya litología se describe como: Qhoal (suelos de origen aluvial), Qhola (suelos de origen lacustre) y QptA-B (rocas ígneas andesita-basalto), mismas que fueron confirmadas por los sondeos profundos realizados.

- Investigación Geotécnica

Para efectuar la investigación geotécnica, se pudieron realizar sólo 9 de los 12 sondeos de exploración propuestos, debido a la problemática social y oposición de los habitantes de la zona, los cuales fueron ubicados a lo largo del trazo, en lugares donde se tendrán estructuras mayores, como son puentes, entronques, pasos superiores vehiculares y/o viaductos. A continuación, se presenta de manera esquemática la ubicación de dichos sondeos.



**Figura 4. Ubicación de sondeos**

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

Los sondeos propuestos fueron de tipo mixto, alternando la prueba de penetración estándar (Norma ASTM D1586-00) con el muestreo inalterado mediante tubo Shelby de pared delgada (ASTM D1587-00) y/o barril muestreador con broca y rima de diamante de diámetro NQ en rocas. La ubicación y profundidad de los sondeos se indica en la siguiente Tabla 2:

**Tabla 2. Ubicación y profundidad de sondeos**

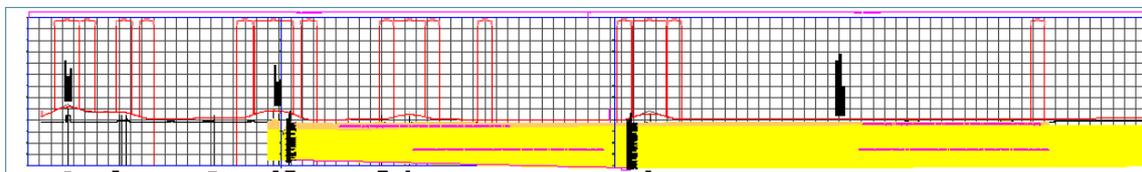
SONDEO N°	UBICACIÓN Km	PROF. (m)	ELEVACIÓN N (m)
SM-1	Pendiente	---	---
SM-2	2+590.95	33.40	2,238.60
SM-3	5+577.36	39.70	2,237.58
SM-4	Pendiente	---	---
SM-5	11+199.58	28.50	2,240.00
SM-6	13+883.01	10.80	2,271.71
SM-7	16+897.75	11.20	2,303.13
SM-8	20+039.15	18.50	2,280.90
SM-9	22+963.33	15.40	2,256.97
SM-10	Pendiente	---	---
SM-11	18+265.88	17.00	2,306.23
SM-12	21+492.79	23.40	2,257.85

Todas las muestras alteradas e inalteradas, así como núcleos de roca, fueron enviadas al laboratorio central, para efectuar las pruebas índice y mecánicas, necesarias para los análisis correspondientes.

Con base en los resultados de los trabajos de campo y laboratorio, se formaron las columnas estratigráficas en cada uno de los sondeos, y por interpolación entre éstas, se configuró el perfil estratigráfico, el cual se subdividió en tres zonas de acuerdo a sus características geotécnicas:

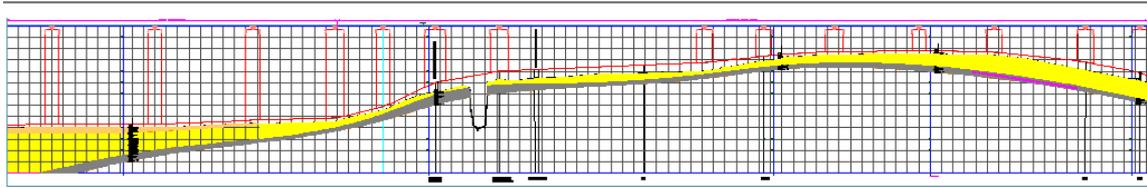
- ZONA Ia, Suelos Aluviales km 0+400 al 5+200
- ZONA Ib, Suelos lacustres km 5+200 al 13+000
- ZONA II, Roca Andesita – Basalto km 13+000 al 22+300
- ZONA III, Suelos Aluviales km 22+300 al 27+024

Las principales características de cada una de estas tres zonas geotécnicas se muestran en forma reducida en los siguientes perfiles:

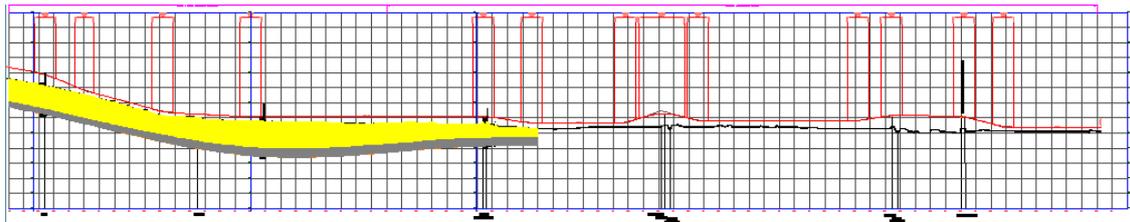


**PERFIL 1 DE 3**

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



PERFIL 2 DE 3

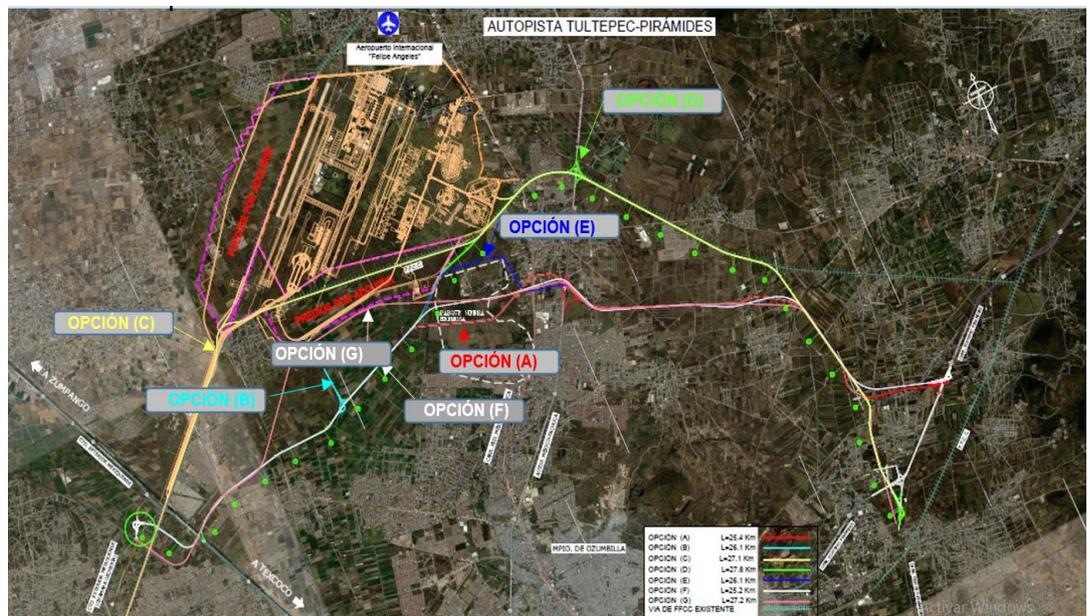


PERFIL 3 DE 3

**b. Alternativas de Trazo**

Para la construcción de la Autopista se estudiaron 7 diferentes alternativas de trazo, desde la "A" hasta la "G", que por diversos motivos fueron evolucionando hasta llegar a la opción "H" que se ha desarrollado en definitiva a nivel de anteproyecto.

Las primeras alternativas de la "A" a la "G", se estudiaron sobre imágenes de Google con diversas probabilidades de trazo, según lo indicado en el "Libro 2. Norm.Serv.Tec. 2.01.01.002 y 004", cómo se muestra a continuación en la Figura 5.

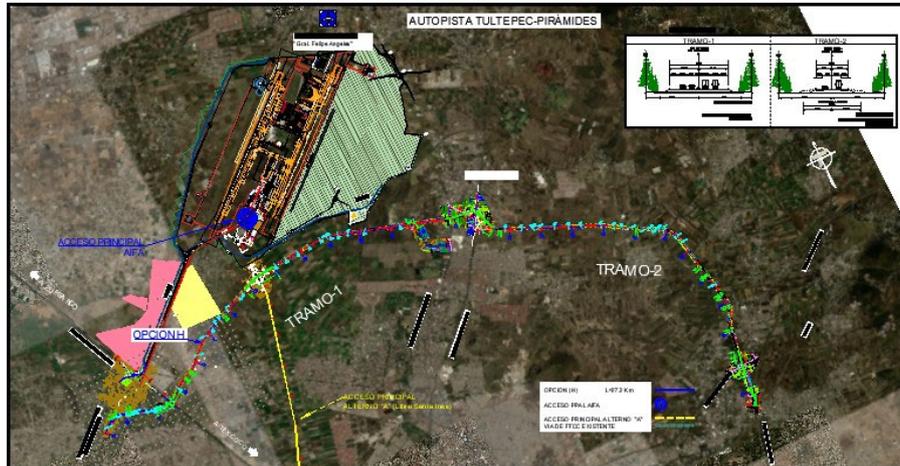


**Figura 5. Alternativas "A" a "G" preliminares**



"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

Como resultado del proceso anterior, mediante imágenes de un vuelo con la técnica LiDar, se estableció la alternativa "H" como la mejor opción, una vez que se tuvo un mejor conocimiento del área, tratando de interferir lo menos posible con las construcciones existentes, la cual se presenta en la en la Figura 6 siguiente:

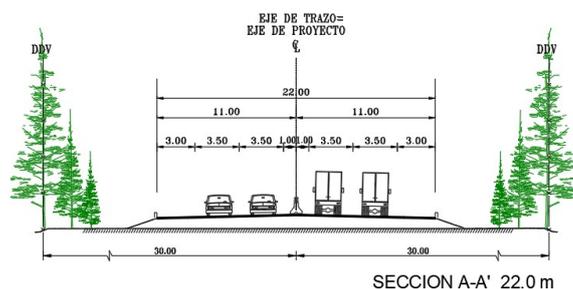


**Figura 6. Alternativa "H" desarrollada a nivel de anteproyecto**

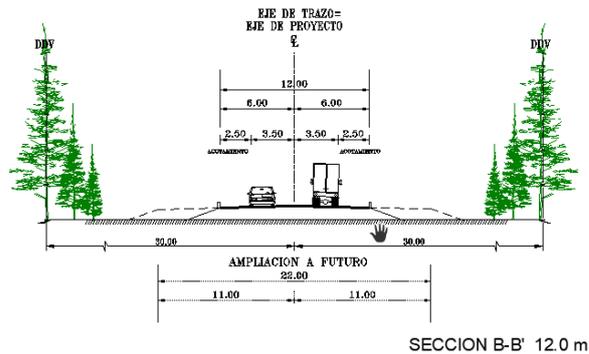
### c. Proyecto Geométrico

Las principales características geométricas de la Autopista se enlistan a continuación:

- Tipo de carretera: "A4" (del km 0+000 al 16+060) y (del km 25+700 al 27+030) y un perfil "A2" (del km 16+060 al 25+700).
- Tipo de terreno: plano y lomerío suave
- Sección transversal: La carretera incluirá carriles de 3.50 m de ancho cada uno y acotamientos de 3.0 m en configuración A4 y 2.5 m en configuración A2. El número de carriles varía dependiendo del tramo definido de la Autopista, que en párrafos anteriores ya fue descrito. En la siguiente Figura 7. se muestran las secciones tipo del proyecto:



"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



**Figura 7. Secciones transversales típicas**

- Tipo de pavimento: Asfáltico.
- Velocidad de proyecto: 90-110 km/h.
- Ancho de corona: 22.0 m y 12.0 m, según el tramo de la Autopista.
- Ancho de derecho de vía: 60.0 m.
- Longitud total aproximada de la troncal: 27.1 km.

#### d. Entronques

La Autopista contará con 4 entronques a desnivel con sus respectivas estructuras y 2 conexiones a desnivel en los puntos inicial y final. La ubicación de los Entronques se indica en la Tabla 3 siguiente:

**Tabla 3. Localización de entronques**

ENTRONQUE TULTEPEC	km 2+500
ENTRONQUE AIFA	km 7+400
ENTRONQUE MÉXICO - PACHUCA	km 14+900
ENTRONQUE MÉXICO - PIRÁMIDES	km 26+100

- Tultepec

En el km 2+500 se proyectó el primer entronque llamado "Tultepec", ya que es donde se intersecta el Circuito Exterior Mexiquense (CEM), contemplando una mínima adecuación de esta carretera existente, sin alterar la operación de la misma.

Es un entronque de interconexión con una autopista de altas especificaciones, por lo que obligadamente el diseño se considera a desnivel, con gazas de conexión entre ambas autopistas.

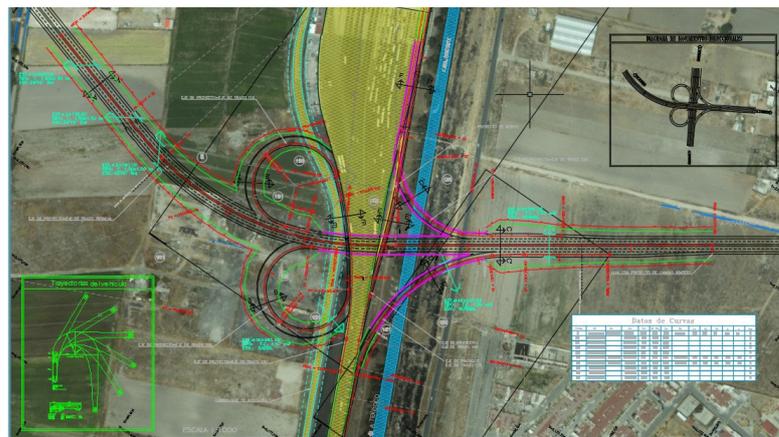
El diseño de este entronque considera que la Autopista pasará por arriba de la carretera existente; consta de cuatro gazas de conexión (ver Figura 8), que permiten los movimientos desde y hacia los diferentes destinos que concurren en este punto, logrando la conectividad de los tránsitos provenientes de Zumpango, Huehuetoca, Tula y Querétaro, así como los

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

provenientes de Texcoco y de la Cd. de México, primeramente con el AIFA y luego con la zona oriente del Estado de México, como es Texcoco y Pirámides, hacia Tulancingo y Tuxpan.

La importancia de este entronque radica en que funcionará como una alternativa para el ingreso al AIFA de manera directa, segura y rápida, para todos los vehículos provenientes de la Cd. de México, y los procedentes de la zona norte que ya fue mencionada.

Se ubica antes de la caseta existente llamada Tultepec del Circuito Exterior Mexiquense, como muestra en la siguiente Figura 8:



**Figura 8. Planta reducida del Entronque Tultepec**

- Entronque AIFA

El segundo entronque llamado "AIFA" conectará la Autopista con el acceso al AIFA. La Autopista dará acceso directo al AIFA y constará de 4 carriles con camellón central, además de permitir el alojamiento del BRT del Mexibus.

El diseño de este entronque considera que la Autopista pasará por abajo de la vialidad libre Tonanitla, beneficiando a los usuarios de largo itinerario al no reducir su velocidad. Consta de seis gazas de conexión que permiten los movimientos desde y hacia los diferentes destinos que concurren en este punto. Por el diseño geométrico mostrado en la Figura 9, contempla una gaza a tercer nivel para lograr que funcionen los movimientos de manera directa hacia el Aeropuerto.

La importancia de este entronque radica en el ingreso al AIFA a través de la Autopista, para todos los vehículos provenientes de la Cd. de México, de Pachuca, Hgo. o los provenientes de la zona oriente ya citada.

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



**Figura 9. Planta reducida del Entronque AIFA**

- Entronque "México –Pachuca"

El tercer entronque llamado "México – Pachuca" conectará la Autopista con la Autopista México – Pachuca existente, permitiendo la conectividad tanto de la Cd. de México, como del estado de Hidalgo, tanto hacia el AIFA como al Golfo de México.

Es un entronque de interconexión con una autopista de altas especificaciones, que consta de 4 carriles con camellón central y prevención de ampliación a futuro debido a la importancia y alto tránsito, por lo que este entronque se considera a desnivel y gazas de conexión entre ambas autopistas.

El diseño de este entronque considera que la Autopista pasará por arriba de la autopista existente; además, la cercanía con el cruce de la Carretera Federal libre No. 85 México – Pachuca, que también necesariamente se pasa por arriba, obliga a mantener la rasante en un viaducto importante hasta atravesar la autopista México – Pachuca. Consta de seis gazas de conexión (ver Figura 10), que permiten los movimientos desde y hacia los diferentes destinos que concurren en este punto, logrando la conectividad de los tránsitos provenientes principalmente de Pachuca, Hgo., así como los provenientes de la Cd. de México con los destinos que la Autopista ofrece, que como ya han sido mencionado se encuentran por el lado poniente el AIFA y posteriormente Zumpango y Querétaro, y por el lado oriente Texcoco, Tulancingo y el Golfo de México.

La importancia de este entronque radica en que funcionará como una alternativa para el ingreso al AIFA para todos los vehículos provenientes de la Cd. de Pachuca y de gran parte del Estado de Hidalgo, así como de la Ciudad de México, haciendo que para estos últimos sea una opción adicional la ruta "México – Pachuca" para llegar al AIFA.

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



**Figura 10. Planta reducida del Entronque México – Pachuca**

- Entronque "México – Pirámides"

El cuarto entronque llamado "México - Pirámides", conectará el tramo en estudio con la autopista "Ecatepec-Pirámides", permitiendo la comunicación de la zona oriente con la zona poniente, así como la conexión al AIFA.

Es un entronque de interconexión con una autopista de altas especificaciones con un flujo muy importante de vehículos, consta de 4 carriles y camellón central, por lo que obligadamente el proyecto se contempla a desnivel con gazas de conexión entre ambas autopistas.

El diseño de este entronque considera que la autopista Tultepec – Pirámides pasará por arriba de la carretera existente; consta de cuatro gazas de conexión que permiten los movimientos desde y hacia los diferentes destinos que concurren en este punto (ver Figura 11), logrando la conectividad de los tránsitos provenientes de Pirámides, Tulancingo, Hgo. y del Golfo de México, así como los provenientes de Ecatepec, Méx. y de la Cd. de México con los destinos que la Autopista ofrece, que como ya fueron mencionados son el AIFA, Zumpango, Querétaro y a través de la extensión del CEM, también nos ofrece la conexión con Toluca.

Posterior a este entronque, y en la parte final de la autopista Tultepec – Pirámides, se realiza la conexión con la carretera Texcoco – Pirámides, por lo que es otro de los beneficios que ofrece este Proyecto.

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".



Figura 11. Planta reducida del Entronque México – Pachuca

#### e. Estructuras

Además de las estructuras de cruce incluidas en los entronques, para todo el tramo en estudio se determinó que se requieren otras diferentes estructuras de cruce (14 PSV's, 1 PSFC, y 1 PIV), en los cadenamientos que se enlistan en las siguientes tablas 4, 5 y 6:

TABLA 4. PASOS SUPERIORES VEHICULARES		
N°	ESTACIÓN	TIPO
1	0+500	PSV 2 VÍAS
2	0+660	PSV 2 VÍAS
3	3+400	PSV 2 VÍAS
4	3+660	PSV 2 VIAS
5	5+740	PSV 2 VIAS
6	15+700	PSV 2 VÍAS
7	20+040	PSV 2 VÍAS
8	22+600	PSV 2 VÍAS
9	22+950	PSV 2 VIAS

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

10	23+700	PSV VÍAS	2
11	24+150	PSV VIAS	2
12	24+915	PSV VÍAS	2
13	410+000	PSV VIAS	2
14	600+400	PSV VÍAS	2

TABLA 5. PASO SUPERIOR DE FERROCARRIL		
N°	ESTACIÓN	TIPO
1	1+080	PSFC

TABLA PASO INFERIOR VEHICULAR		
N°	ESTACIÓN	TIPO
1	21+050	PIV VÍAS

#### f. Obras de Drenaje

De acuerdo al análisis de cuencas, escurrimientos detectados, así como el levantamiento de canales, tubos y/o pasos peatonales y ganaderos existentes, a lo largo del trazo se determinaron 58 obras de drenaje menores, que se enlistan a continuación en la Tabla 7:

TABLA 7. OBRAS DE DRENAJE			
N°	ESTACION EJE TRAZO	TIPO DE OBRA EXISTENTE	TIPO DE OBRA PROPUESTA
1	0+180.00	TUBO DE CONCRETO	T.C. 1.50 m
2	0+248.13	TUBO DE C.-CANAL	T.C. 1.50 m
3	0+819.25	CANAL	T.C. 1.50 m
4	1+018.70	CANAL	T.C. 1.50 m
5	1+175.68	CANAL CONTROLADO	AL. 2.00 x 1.50 m
6	1+219.58	CANAL CONTROLADO	T.C. 1.50 m
7	1+276.6	CANAL CONTROLADO	T.C. 1.50 m
8	1+356.21	CANAL CONTROLADO	C. 1.50 x 1.50 m
9	1+373.14	CANAL CONTROLADO	C. 1.50 x 1.50 m

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

TABLA 7. OBRAS DE DRENAJE			
Nº	ESTACION EJE TRAZO	TIPO DE OBRA EXISTENTE	TIPO DE OBRA PROPUESTA
10	1+640.00	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
11	1+821.29	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
12	1+924.64	CANAL	C. 2.00 x 1.50 m
13	1+930.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
14	1+938.00	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
15	1+988.37	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
16	2+047.13	CANAL	DENTRO DEL ENTRONQUE
17	2+130.00	CANAL	
18	2+190.00	CANAL	
19	3+000.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
20	4+220.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
21	4+873.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
22	5+218.00	CANAL	T.C. 1.50 m φ
23	5+394.27	CANAL	T.C. 1.50 m φ
24	5+570.00	CANAL	T.C. 1.50 m φ
25	5+980.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
26	6+500.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
27	6+676.11	CANAL	T.C. 1.50 m φ
28	8+062.28	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
29	8+445.76	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
30	8+868.09	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
31	9+290.00	CANAL	T.C. 1.50 m φ
32	9+715.00	CANAL	T.C. 1.50 m φ
33	9+929.13	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
34	9+932.68	CANAL	T.C. 1.50 m φ
35	10+044.61	CANAL	T.C. 1.50 m
36	10+297.97	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
37	10+618.85	CANAL	C. 1.20 x 1.20 m
38	11+156.91	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
39	12+277.65	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
40	15+858.60	CAMINO-ESCURRIMIENTO	C5.0X3.50
41	16+368.30	CAMINO-ESCURRIMIENTO	C5.0X3.50
42	16+744.39	CAMINO	C5.0X3.50
43	16+782.59	ESCURRIMIENTO	c2.0x1.50
44	16+914.17	CAMINO	C5.0X3.50
45	17+422.46	ESCURRIMIENTO	C3.0X1.50
46	17+858.65	CAMINO	C5.0X3.50

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la Mujer Mexiquense".

TABLA 7. OBRAS DE DRENAJE			
N°	ESTACION EJE TRAZO	TIPO DE OBRA EXISTENTE	TIPO DE OBRA PROPUESTA
47	18+280.00	CAMINO	C5.0X3.50
48	18+895.00	CAMINO-ESCURRIMIENTO	C5.0X3.50
49	19+307.49	CANAL	C2.0X1.50
50	19+556.88	CAMINO	C5.0X3.50
51	19+791.43	CANAL	T.C. 1.50 m φ
52	20+061.35	CANAL	DENTRO DE PSV
53	20+362.78	CANAL	C. 1.50 x 1.50 m
54	20+510.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
55	20+640.00	CAMINO	C. 5.00 x 3.50 m
56	20+730.70	CANAL	C. 2.00 x 1.50 m
57	21+620.00	ESCURRIMIENTO	C. 4.50 x 4.00 m
58	23+325.00	ESCURRIMIENTO	T.C. 1.50 m

#### g. Terracerías

- Cortes y rellenos

Desde el punto de vista técnico, es de suma importancia la optimización de los movimientos de tierra, por lo que se busca proyectar la rasante lo más cercana posible al terreno natural, y aprovechar los cortes que se efectúen en los que el material excavado sea utilizable, para compensar con los terraplenes, lo cual representa reducciones significativas en los costos de construcción.

De acuerdo con los cálculos del Proyecto, los volúmenes de tierras que se moverán son los que se indican en la Tabla 8 siguiente:

**Tabla 8. Volúmenes de materiales térreos por mover**

CONCEPTO	UNIDAD	VOLUMEN EN MILES DE m <sup>3</sup>
DESPALME	m <sup>3</sup>	378,919.75
CUERPO DEL TERRAPLÉN	m <sup>3</sup>	3,116,571.10
CORTE	m <sup>3</sup>	35,949.95
CAPA SUBYACENTE	m <sup>3</sup>	509,096.60
PRÉSTAMO DE BANCO	m <sup>3</sup>	3,496,529.30
CAPA SUB- RASANTE	m <sup>3</sup>	204,717.95

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca: emblema de la Mujer Mexiquense".

- Procedimientos de construcción según normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

La superficie descubierta por el despalme se compactará hasta alcanzar como mínimo el 90 % de su MVSM AASTHO estándar, en un espesor mínimo de 0.20 m o lo indicado en proyecto.

El cuerpo del terraplén será construido con material procedente de banco y/o de corte. El material se compactará al 90 % de su MVSM AASTHO estándar, o en su caso bandeado, dependiendo el tipo de material que se recomiende para terraplén, ya que, por el tipo de suelo y su capacidad de carga, probablemente se requiera utilizar material aligerado como tezontle.

La capa subyacente será construida también con materiales procedentes de banco; el material se compactará al 95 % de su MVSM AASTHO estándar. El espesor de la capa será de 0.70 m, o lo indicado en proyecto.

La capa subrasante será construida con materiales procedentes también de banco, con tamaño máximo de agregado de 76 mm. El material se compactará al 100 % de su MVSM AASTHO estándar. El espesor de la capa será de 0.30 m o lo indicado en proyecto.

#### **h. Pavimentos**

Los pavimentos que se construirán en esta Autopista serán de espesores variados, y están segmentados en tres subtramos: subtramo 1 del 0+000 al 7+900, subtramo 2 del 7+900 al 14+900 y subtramo 3 del 14+900 al 27+000.

- Base hidráulica

Para el subtramo 1 se considera una capa de base hidráulica de 20.0 cm de espesor, en el subtramo 2 la base hidráulica será de 22.0 cm y en el subtramo 3 el espesor será de 20.0 cm. Dichas capas se deberán compactar al 100 % del MVSM AASTHO modificada, misma que estará formada con material de tamaño máximo de agregado de 1½" y será 100 % producto de trituración de roca de material extraído en banco y que además cumpla con la normativa vigente de la SCT.

El riego de impregnación se efectuará con emulsión asfáltica catiónica del tipo ECI-60, a razón de 1.00 l/m<sup>2</sup>, para preparar y recibir la capa de concreto asfáltico, para cerrar la estructura del pavimento.

- Base asfáltica

El riego de liga se efectuará con emulsión asfáltica catiónica del tipo ECR-65, de rompimiento rápido, a razón de 0.60 l/m<sup>2</sup>.

"2020. Año de Laura Méndez de Cuenca: emblema de la Mujer Mexiquense".

Sobre la base hidráulica se construirá una capa de base asfáltica, la cual será de 24.0 cm para el subtramo 1, de 23.0 cm de espesor para el subtramo 2 y de 22.0 cm de espesor para el subtramo 3, mediante el empleo de cemento asfáltico tipo AC-20 formando una mezcla asfáltica que será compactada al 95 % de su masa volumétrica máxima, cuya mezcla asfáltica deberá ser diseñada mediante el método Marshall, siguiendo la normativa vigente de la SCT.

- Carpeta de concreto asfáltico

En todo el ancho de la calzada, previamente barrida y seca, se aplicará de ser necesario un riego de liga con una emulsión asfáltica catiónica del tipo ECR-65, de rompimiento rápido, a razón de 0.60 l/m<sup>2</sup>.

Una vez que el producto asfáltico del riego de liga tenga la consistencia conveniente en todo el ancho de la superficie, se construirá una carpeta de concreto asfáltico, la cual será de 13.0 cm de espesor para el subtramo 1, de 12.0 cm de espesor para el subtramo 2 y para el subtramo 3, compactadas al 95% de su peso volumétrico (Marshall), utilizando cemento asfáltico de alto desempeño tipo PG 76 – 22H, cuyo diseño de la mezcla será basado en la normativa vigente de la SCT.

## Estudio de Asignación y Pronóstico de Tránsito de Referencia

### **Estudio de aforo e ingreso del tramo carretero Tultepec - AIFA - Pirámides.**

Informe Final

Enero 2020

## **Estudio de aforo e ingreso del tramo carretero Tultepec - AIFA - Pirámides.**

Preparado por

### **Avanti Engineering Group**

Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C.

José María Ibararán 47 Piso 5, Colonia San José Insurgentes, Benito Juárez, CDMX, C.P. 03900

Teléfono (55) 5524-7191

avantieg.com

### **Enero 2020**

© Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C.

La información contenida en el presente documento producida por Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. es únicamente para el uso del Cliente identificado en esta página y para el propósito para lo cual fue preparada. Así mismo, Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. no acepta responsabilidad alguna a un tercero que utilice dicha información para sus propios fines. El derecho para utilizar este documento está condicionado a lo estipulado en el contrato correspondiente, aceptando plena responsabilidad y sin reservar para Soluciones en Infraestructura Sustentable,

S.C. de cualquier responsabilidad sobre las previsiones de aforo o las ganancias del estudio mencionado en la presente página atribuible a factores externos tales como: cambios en la política gubernamental, en el precio de combustibles, precios de la carretera, modos alternos de transporte o construcción de otros medios de transporte, el comportamiento de los competidores o cambios en la política de los propietarios que afecten la operación del proyecto. Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. desarrolla este estudio con un equipo de profesionales expertos en este tipo de proyectos. Los resultados entregados por Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. representan su mejor juicio dentro del contexto del tiempo y presupuesto a su encargo y utilizando la información disponible en el momento. Este documento refleja el análisis y supuestos de Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. basados en modelos de pronóstico, respecto a eventos futuros a partir de la fecha de este informe y están sujetos a riesgos e incertidumbres. Los resultados actuales, futuros y las tendencias podrían diferir de los presentados debido a varios factores, incluyendo, sin limitación, aquellos discutidos en este informe. Muchos de estos factores están fuera del alcance de Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. para controlarlos o predecirlos.

Todos los derechos reservados. Ninguna sección o elemento de este documento debe ser removida de este documento, reproducida, electrónicamente archivada o transmitida en cualquier forma sin la autorización por escrito de Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C.

## Índice

---

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1. Descripción del proyecto .....	13
1.2. Objetivos del estudio .....	13
1.3. Metodología .....	15
1.4. Estructura del informe .....	18
<b>2. Recopilación y análisis de información.....</b>	<b>19</b>
2.1. Delimitación del área de estudio .....	19
2.2. Entorno demográfico y económico.....	20
2.2.1. Población total .....	20
2.2.2. Población económicamente activa.....	24
2.2.3. Marginación social.....	26
2.2.4. Población con educación media superior.....	27
2.2.5. Población derechohabiente a servicios de salud .....	29
2.2.6. Servicios de turismo .....	31
2.2.7. Unidades económicas .....	33
2.2.8. Personal ocupado y producción bruta total .....	35
2.2.9. Vehículos registrados .....	40
2.2.10. Índice de accidentalidad .....	43
2.3. Recopilación de información de campo .....	47
2.3.1. Características físicas y geométricas de la vialidad.....	49
2.3.2. Tiempos de recorrido y velocidad por el método del vehículo flotante .....	59
2.3.3. Encuesta Origen - Destino y de Preferencia Declarada .....	65
2.3.4. Pares origen - destino .....	75
2.3.5. Caracterización de la demanda.....	83
2.3.6. Aforos automáticos con clasificación vehicular .....	115
2.3.7. Cálculo del nivel de servicio en la red vial analizada .....	141

<b>3. Desarrollo de modelos de captación, asignación y pronóstico de tránsito .....</b>	<b>143</b>
3.1. Zonificación .....	143
3.2. Modelo de oferta .....	144
3.3. Modelo de demanda.....	146
3.3.1. Metodología de expansión .....	146
3.3.2. Metodología de eliminación de dobles conteos .....	149
3.3.3. Matrices origen - destino .....	150
3.4. Modelo de elección discreta.....	155
3.5. Supuestos de modelación .....	160
3.6. Modelo de asignación .....	160
3.7. Calibración y validación.....	161
<b>4. Resultados.....</b>	<b>164</b>
4.1. Supuestos base.....	164
4.2. Mercado potencial del proyecto .....	165
4.3. Resultados de Asignación de Tránsito.....	171
4.3.1. Escenario sin Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	171
4.3.2. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	175
4.4. Pronóstico de aforo e ingreso .....	179
4.4.1. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	180
4.4.2. Análisis de probabilidad de cumplimiento del año base.....	183
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>193</b>
5.1. Descripción del proyecto .....	193
5.2. Delimitación del área de estudio .....	193
5.3. Nivel de servicio de la red actual.....	193
5.4. Mercado potencial del proyecto .....	194
5.5. Vocación del proyecto .....	194
5.6. Escenario sin Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	195
5.7. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	195
5.8. Pronóstico de aforo e ingreso .....	197
5.8.1. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles .....	199

## Lista de Tablas

Tabla 1. Residentes en los municipios analizados del Estado de México, año 2015.....	21
Tabla 2. Residentes en las alcaldías analizadas de la CDMX, año 2015.....	21

Tabla 3. Residentes en el municipio analizado del estado de Hidalgo, año 2015. ....	21
Tabla 4. Crecimiento población, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia .....	23
Tabla 5. Crecimiento PEA, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia .....	26
Tabla 6. Crecimiento población con educación media superior, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia .....	28
Tabla 7. Crecimiento población derechohabiente a servicios de salud, años 2010-2015, en alcaldías/municipios .....	30
Tabla 8. Crecimiento en cuartos de hospedaje registrados, años 2011-2016, en alcaldías/municipios. ....	32
Tabla 9. Crecimiento turistas hospedados, años 2011-2016, en alcaldías/municipios área de influencia	33
Tabla 10. Crecimiento unidades económicas, años 2008-2013, alcaldías/municipios área de influencia.	35
Tabla 11. Crecimiento personal ocupado / producción bruta total, años 2008-2013, en alcaldías/municipios .....	36
Tabla 12. Número y tipos de vehículo registrados, año 2017, en alcaldías/municipios área de influencia	42
Tabla 13. Crecimiento vehículos registrados, años 2012-2017, en alcaldías/municipios área de influencia. ....	43
Tabla 14. Número y tipo de accidentes registrados, año 2018, alcaldías/municipios área de influencia ..	44
Tabla 15. Accidentes vehiculares en México - Pachuca MEX-085 libre (2010-2017) .....	45
Tabla 16. Accidentes vehiculares en México-Tizayuca MEX-085D cuota (2010-2017) .....	45
Tabla 17. Accidentes vehiculares en Ecatepec-Pirámides MEX-132D (2010-2017) .....	46
Tabla 18. Accidentes vehiculares en San Pedro Barrientos-Ecatepec MEX-138 (2010-2017) .....	46
Tabla 19. Accidentes vehiculares en Circuito Exterior Mexiquense EMX-057D (2010-2017) .....	47
Tabla 20. Síntesis de los estudios de campo realizados .....	49
Tabla 21. Muestra obtenida en encuestas origen - destino .....	72
Tabla 22. Muestra obtenida en encuestas de preferencia declarada .....	74
Tabla 23. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 01. ....	75
Tabla 24. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 01. ....	76
Tabla 25. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 01. ....	76
Tabla 26. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 02. ....	77
Tabla 27. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 02. ....	77
Tabla 28. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 02. ....	78
Tabla 29. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 03. ....	79
Tabla 30. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 03. ....	79
Tabla 31. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 03. ....	80
Tabla 32. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 04. ....	81
Tabla 33. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 04. ....	81
Tabla 34. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 04. ....	82
Tabla 35. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en México - Pachuca (cuota) .....	116

Tabla 36. Aforo vehicular 2008-2018, TCMA en el Circuito Exterior Mexiquense.....	117
Tabla 37. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en México - Pachuca (libre).....	118
Tabla 38. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en Carretera Ecatepec - Pirámides.....	119
Tabla 39. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en la Av. López Portillo.....	120
Tabla 40. Encadenamiento de las estaciones de aforo automático.....	121
Tabla 41. Tránsito Diario Promedio Anual.....	122
Tabla 42. Resultados de aforo automático con clasificación vehicular.....	125
Tabla 43. Composición del aforo vehicular total observado.....	137
Tabla 44. Composición del aforo vehicular promedio entre semana observado.....	138
Tabla 45. Composición del aforo vehicular promedio en fin de semana observado.....	139
Tabla 46. Composición del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) observado.....	140
Tabla 47. Nivel de servicio observado en la red de estudio.....	141
Tabla 48. Modelo de elección discreta para conductores en vehículos ligeros.....	157
Tabla 49. Modelo de elección discreta para conductores en camiones unitarios.....	159
Tabla 50. Modelo de elección discreta para conductores en camiones articulados I.....	159
Tabla 51 Tarifas vigentes en tramos carreteros en la zona de influencia del proyecto por kilómetro (Incluyen IVA).....	165
Tabla 52 Mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA – Pirámides sin Aeropuerto.....	170
Tabla 53 Captación del mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA- Pirámides.....	173
Tabla 54 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA- Pirámides.....	173
Tabla 55 Tarifa por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	173
Tabla 56 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	174
Tabla 57 Mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA- Pirámides.....	177
Tabla 58 Captación del mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA- Pirámides.....	177
Tabla 59 Tarifa por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	177
Tabla 60 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA- Pirámides.....	177
Tabla 61 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	177
Tabla 62 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	180
Tabla 63 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	181
Tabla 64 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	182
Tabla 65 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	184
Tabla 66 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	185
Tabla 67 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	186

Tabla 68 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	187
Tabla 69 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	188
Tabla 70 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	189
Tabla 71 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	190
Tabla 72 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	191
Tabla 73 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	192
Tabla 74. Nivel de servicio observado en la red de estudio.....	194
Tabla 75 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.....	195
Tabla 76 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	195
Tabla 77 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.....	196
Tabla 78 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).....	196
Tabla 79 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	199
Tabla 80 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	200
Tabla 81 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.....	201

## Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto Tultepec - AIFA - Pirámides. ....	14
Figura 2. Ubicación regional del proyecto Tultepec - AIFA - Pirámides. ....	15
Figura 3 Metodología general del estudio.....	17
Figura 4. Ubicación de la red de carreteras, casetas de cobro y trazo del proyecto .....	19
Figura 5. Población total municipios, año 2015. ....	22
Figura 6. Densidad de población municipios, año 2015. ....	24
Figura 7. PEA municipios, año 2015. ....	25
Figura 8. Grado de marginación CONAPO municipios, año 2015.....	27
Figura 9. Población educación media superior municipios, año 2015. ....	29
Figura 10. Población derechohabiente a servicios de salud municipios, año 2015.....	31
Figura 11. Crecimiento de turistas hospedados / cuartos de hospedaje municipios, años 2011- 2016. ...	33
Figura 12. Número de unidades económicas municipios, año 2013. ....	34
Figura 13. Personal ocupado municipios, año 2013. ....	37
Figura 14. Producción bruta total municipios, año 2013. ....	38
Figura 15. Personal ocupado por tipo de actividad económica municipios, año 2013. ....	39
Figura 16. Número de vehículos municipios, año 2017. ....	40
Figura 17. Número de unidades registradas por tipo de vehículo municipios, año 2017. ....	41
Figura 18. Metodología del estudio de demanda.....	48
Figura 19. Ubicación de tramos analizados para características físicas y tiempos de recorrido.....	50
Figura 20. Tipo de terreno.....	51
Figura 21. Número y ancho de carriles. ....	52
Figura 22. Tipo y estado del pavimento.....	53
Figura 23. Tipo y ancho de faja separadora.....	54
Figura 24. Acotamiento interior y exterior. ....	55
Figura 25. Estado de la señalización .....	56
Figura 26. Ubicación de semáforos. ....	57
Figura 27. Ubicación de reductores de velocidad. ....	58
Figura 28. Velocidad automóvil hora pico entre semana en tramos analizados.....	60
Figura 29. Velocidad automóvil hora valle entre semana en tramos analizados.....	61
Figura 30. Velocidad camión hora pico entre semana en tramos analizados.....	63
Figura 31. Velocidad camión hora valle entre semana en tramos analizados.....	64
Figura 32. Ubicación de estaciones de aplicación de encuestas origen - destino.....	65

Figura 33. Fotografías aplicación de encuestas origen - destino, estación origen - destino 01 y origen - destino 02.....	66
Figura 34. Fotografías aplicación de encuestas origen - destino, estación origen - destino 03 y origen - destino 04.....	67
Figura 35. Formato usado en campo para encuestas O-D/P-D para automóvil.....	69
Figura 36. Formato usado en campo para encuestas O-D/P-D para camión de carga.....	71
Figura 37. Tarjetero para encuestas PD automóviles.....	73
Figura 38. Tarjetero para encuestas PD camiones unitarios.....	74
Figura 39. Tarjetero para encuestas PD camiones articulados .....	74
Figura 40. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	83
Figura 41. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	84
Figura 42. Duración de viaje. Automóvil. E-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	84
Figura 43. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	85
Figura 44. Pago de casetas. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	85
Figura 45. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	86
Figura 46. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense. 86	Figura
47. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	87
Figura 48. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	88
Figura 49. Número de ejes. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	88
Figura 50. Tipo de carga. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	89
Figura 51. Duración de viaje. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	90
Figura 52. Pago de casetas. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	90
Figura 53. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	91
Figura 54. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.....	91
Figura 55. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	92
Figura 56. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	92
Figura 57. Duración de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	93
Figura 58. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	93
Figura 59. Pago de casetas. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	94
Figura 60. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	94
Figura 61. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	95
Figura 62. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	95
Figura 63. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	96
Figura 64. Número de ejes. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	96
Figura 65. Tipo de carga. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	97

Figura 66. Duración de viaje. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua .....	97
Figura 67. Pago de casetas. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua .....	98
Figura 68. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua .....	98
Figura 69. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.....	99
Figura 70. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.....	99
Figura 71. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución .....	100
Figura 72. Duración de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.....	100
Figura 73. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.....	101
Figura 74. Pago de casetas. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución .....	101
Figura 75. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución .....	102
Figura 76. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución .....	102
Figura 77. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución .....	103
Figura 78. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.....	104
Figura 79. Número de ejes. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.....	104
Figura 80. Tipo de carga. Camión. EOD-03. Caseta Revolución .....	105
Figura 81. Duración de viaje. Camión. EOD-03. Caseta Revolución .....	106
Figura 82. Pago de casetas. Camión. EOD-03. Caseta Revolución .....	106
Figura 83. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-03. Caseta Revolución .....	107
Figura 84. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.....	107
Figura 85. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	108
Figura 86. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	108
Figura 87. Duración de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	109
Figura 88. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	109
Figura 89. Pago de casetas. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	110
Figura 90. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	110
Figura 91. Parámetros para la elección de ruta. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	111
Figura 92. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	111
Figura 93. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	112
Figura 94. Número de ejes. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	112
Figura 95. Tipo de carga. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.....	113
Figura 96. Duración de viaje. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	113
Figura 97. Pago de casetas. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	114
Figura 98. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec .....	114
Figura 99. Parámetros para la elección de ruta. Camión. E-04. Caseta Ecatepec .....	115
Figura 100. Ubicación estaciones de aforo automático .....	121

Figura 101. Flujo vehicular. Variación horaria. E-01 (N-S) .....	128
Figura 102. Flujo vehicular. Variación horaria. E-01 (S-N) .....	128
Figura 103. Flujo vehicular. Variación horaria. E-02 (N-S) .....	129
Figura 104. Flujo vehicular. Variación horaria. E-02 (S-N) .....	129
Figura 105. Flujo vehicular. Variación horaria. E-03 (N-S) .....	130
Figura 106. Flujo vehicular. Variación horaria. E-03 (S-N) .....	130
Figura 107. Flujo vehicular. Variación horaria. E-04 (N-S) .....	131
Figura 108. Flujo vehicular. Variación horaria. E-04 (S-N) .....	131
Figura 109. Flujo vehicular. Variación horaria. E-05 (N-S) .....	132
Figura 110. Flujo vehicular. Variación horaria. E-05 (S-N) .....	132
Figura 111. Flujo vehicular. Variación horaria. E-06 (N-S) .....	133
Figura 112. Flujo vehicular. Variación horaria. E-06 (S-N) .....	133
Figura 113. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 A (O-P).....	134
Figura 114. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 A (P-O).....	134
Figura 115. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 B (O-P).....	135
Figura 116. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 B (P-O).....	135
Figura 117. Flujo vehicular. Variación horaria. E-08 (O-P).....	136
Figura 118. Flujo vehicular. Variación horaria. E-08 (P-O).....	136
Figura 119. Nivel de servicio.....	142
Figura 120 Zonificación a nivel local.....	143
Figura 121 Zonificación a nivel nacional.....	144
Figura 122 Codificación de la red en Visum. ....	145
Figura 123 Red vial incluida en el modelo Visum. ....	146
Figura 124 Metodología para estimar factores de expansión.....	147
Figura 125 Líneas de deseo - Automóviles. ....	151
Figura 126 Líneas de deseo - Camiones Unitarios. ....	152
Figura 127 Líneas de deseo - Camiones Articulados I.....	153
Figura 128 Líneas de deseo - Camiones Articulados II.....	154
Figura 129 Metodología de Estimación de Modelo de Captación .....	155
Figura 130 Diagrama de selección de ruta. ....	156
Figura 131 Análisis de sensibilidad del modelo de vehículos ligeros. ....	158
Figura 132 Metodología de calibración del modelo .....	162
Figura 133 Validación del modelo de asignación .....	163
Figura 134 Asignación de demanda potencial de automóviles al proyecto.....	166
Figura 135 Asignación de demanda potencial de camiones unitarios al proyecto .....	167

---

Figura 136 Asignación de demanda potencial de camiones articulados I al proyecto .....	168
Figura 137 Asignación de demanda potencial de camiones articulados II al proyecto .....	169
Figura 138 Asignación de demanda potencial de camiones articulados II al proyecto .....	171
Figura 139 Comparación de rutas y tarifas entre rutas existentes y ruta de proyecto .....	172
Figura 140 Ubicación de entronque adicional para acceso al AIFA .....	176

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el informe final del estudio el cual describe la metodología aplicada, el análisis de la información recopilada y los resultados obtenidos por la empresa de consultoría Avanti Engineering Group, Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. para la realización del estudio de movilidad en la carretera Tultepec - AIFA - Pirámides, ubicada en el Estado de México.

Los escenarios aquí incluidos consideran la información disponible para nuestro equipo de trabajo sobre el trazo del proyecto y los distintos escenarios considerados para al final del mes de diciembre del año 2019.

### 1.1. Descripción del proyecto

El trazo del proyecto mide aproximadamente 27.02 km de longitud y está considerando para servir a los conductores de vehículos privados y vehículos de carga (camiones unitarios, articulados y biarticulados) que transitan por el norte del Estado de México en límites con la Ciudad de México (CDMX). El propósito del proyecto es facilitar la movilidad de personas y mercancías al conectar la Autopista México - Pachuca, con la Autopista México - Pirámides y con el Circuito Exterior Mexiquense reduciendo así, el tiempo de recorrido existente, las distancias recorridas y de manera indirecta, la disminución de emisiones de contaminantes, accidentes y los costos de operación vehiculares incurridos por el tránsito que circula por esta región. Adicionalmente, el proyecto facilitaría el acceso al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles para empleados y usuarios del aeropuerto cuyo viaje se origina en el poniente de la ciudad y pueden acceder por el Circuito Exterior Mexiquense o del norte de la ciudad a través de la Autopista México – Pachuca.

El proyecto se ubica dentro de los municipios del Estado de México como Tultepec, Nextlalpan, Tecámac, Acolman y Teotihuacán e incluye dentro de su área de influencia a otros municipios del Estado de México, Hidalgo y la Ciudad de México.

### 1.2. Objetivos del estudio

El objetivo general del estudio fue estimar un pronóstico de aforo e ingreso de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides en el Estado de México. Por este motivo se delinearon los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el área de estudio y definir la red de análisis para el tramo del proyecto.
- Recopilar información documental económica, poblacional actual y futura de la región en estudio.
- Recopilar información documental referente a la infraestructura de transporte actual y propuesta.
- Recopilar información de campo respecto a la demanda de viajes e infraestructura en la zona en estudio.
- Recopilar información de campo respecto a la disponibilidad de pago de los usuarios.
- Definir la zonificación a utilizar por el modelo de transporte.
- Expandir la muestra origen - destino recopilada en campo para obtener matrices origen - destino que representen la movilidad en el corredor en estudio.

- Analizar las matrices origen - destino obtenidas a partir de información de campo.
- Estimar modelos de elección discreta a partir de las encuestas de preferencia declarada que permitan estimar la probabilidad de que los usuarios utilicen o no esta vía bajo ciertas condiciones de nivel de servicio y tarifarias.
- Desarrollar, calibrar y validar un modelo de transporte que represente la oferta, demanda y la interacción entre ambas en la zona de influencia.
- Estimar el aforo e ingreso de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.
- Desarrollar análisis de sensibilidad de la demanda hacia la tarifa de peaje.
- Desarrollar y aplicar un modelo de pronóstico para la obtención del aforo e ingreso durante un horizonte de proyecto de 30 años.

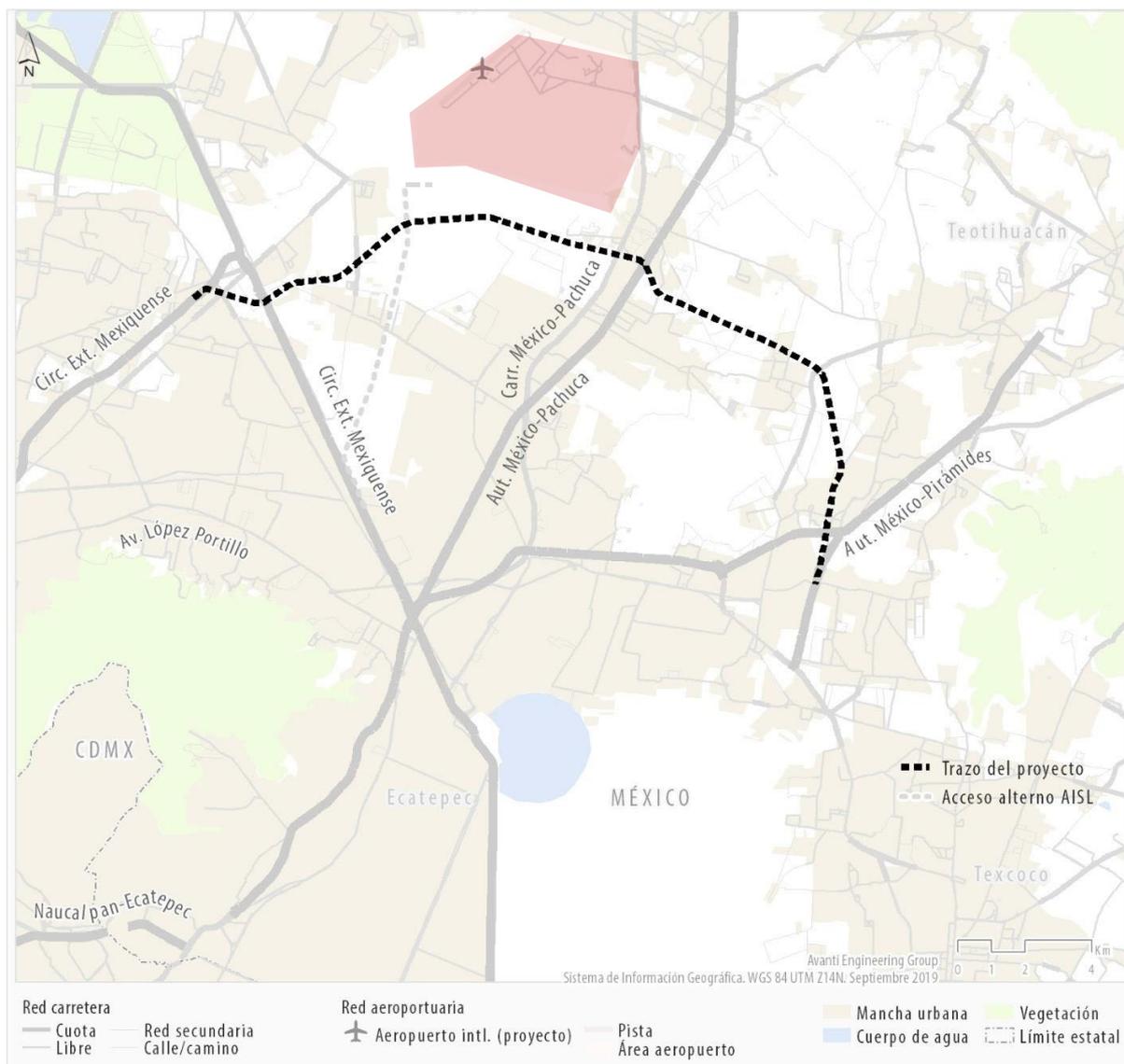


Figura 1. Ubicación del proyecto Tultepec - AIFA - Pirámides.

En la figura siguiente se observa el área que abarcan los municipios considerados para el análisis, contexto regional.

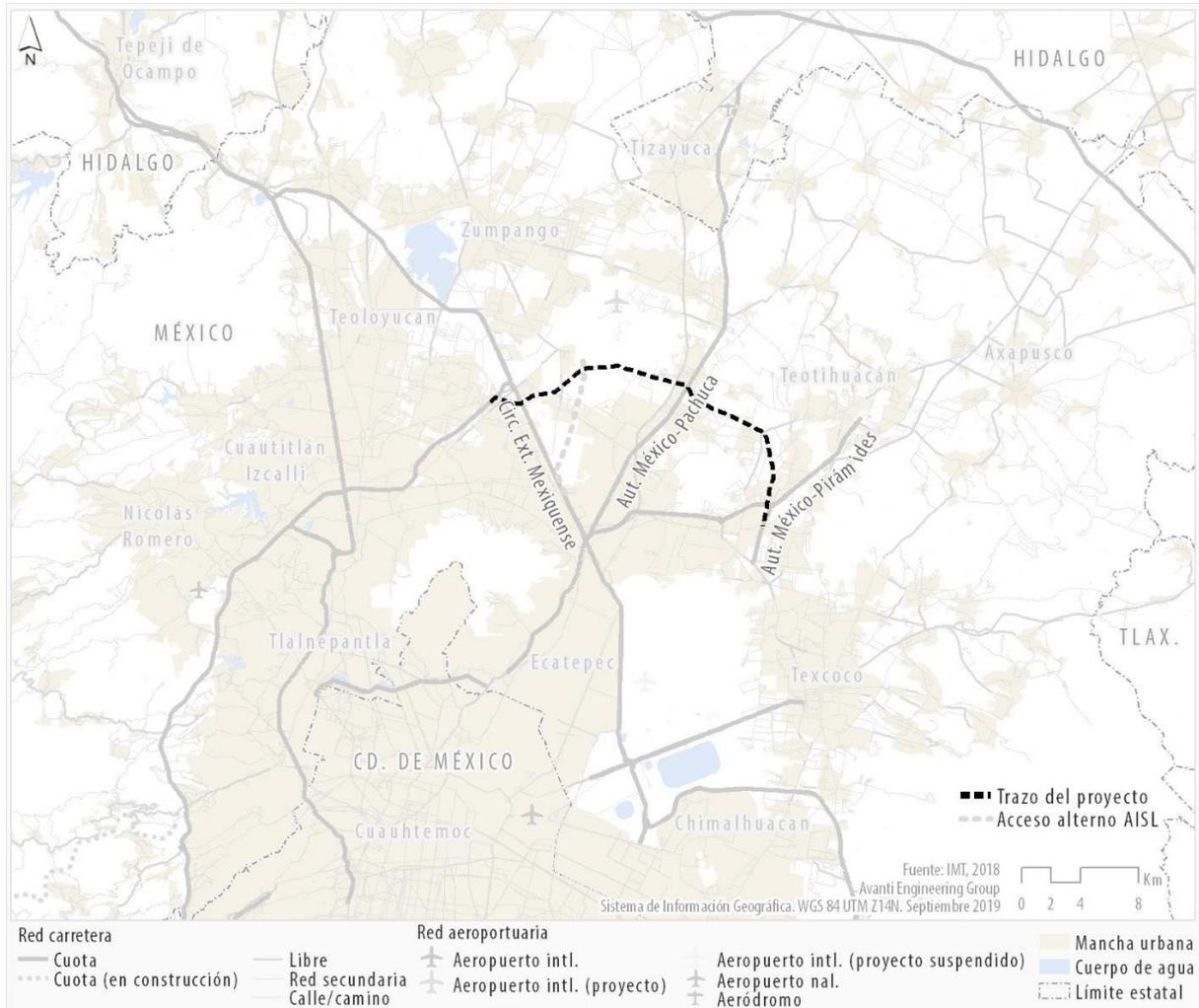


Figura 2. Ubicación regional del proyecto Tultepec - AIFA - Pirámides.

### 1.3. Metodología

La metodología aplicada por Avanti Engineering Group es un reflejo del “estado del arte” de las técnicas de ingeniería de tránsito y transporte aplicadas a la estimación de la demanda de infraestructura de peaje carretera. La metodología ha sido aplicada exitosamente por personal de Avanti Engineering Group en múltiples estudios en México, Estados Unidos y varios países de Latinoamérica.

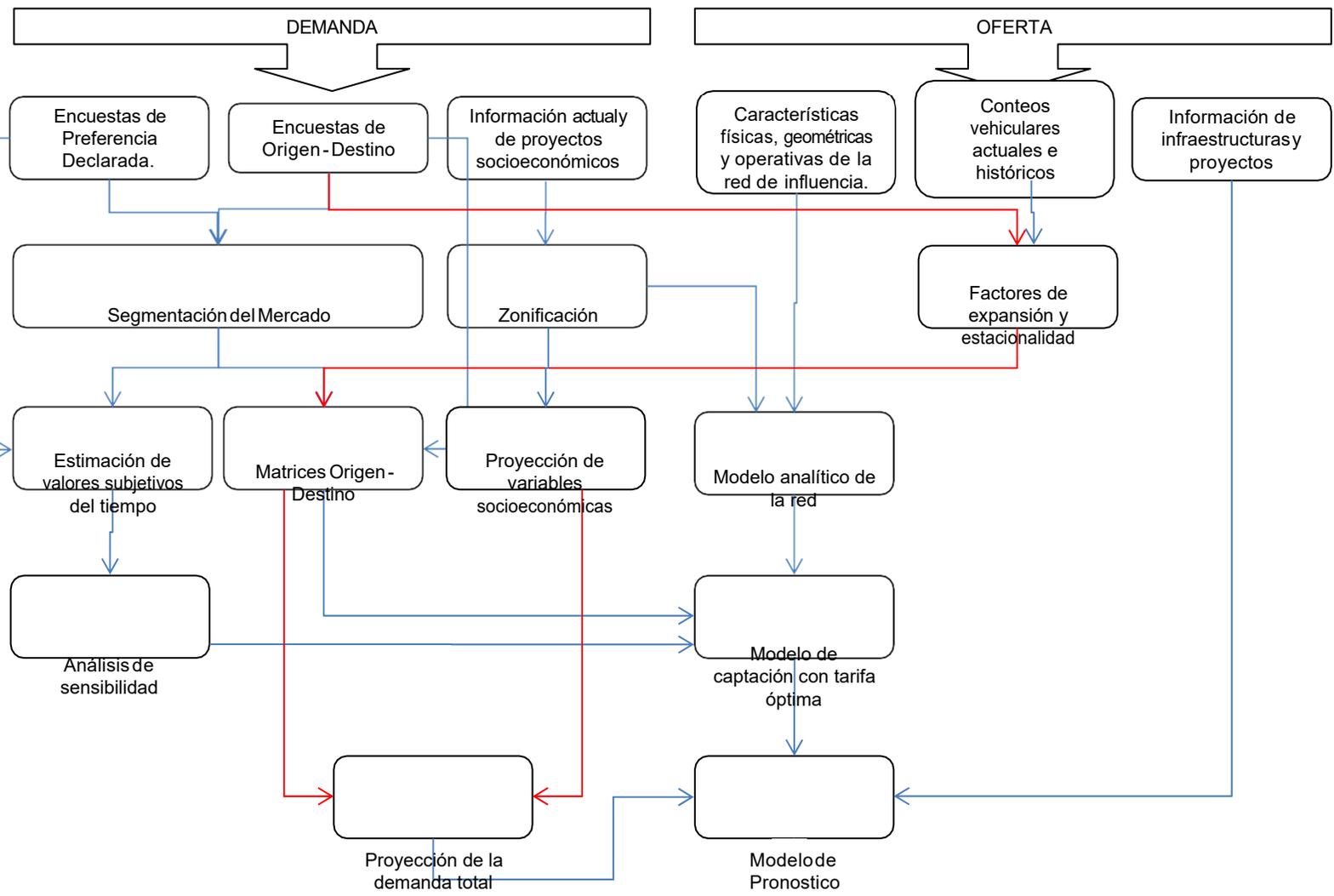
A continuación, se describen las principales etapas de la metodología aplicada y cuyo diagrama está presentado en la figura posterior:

- El primer paso consiste en un análisis del entorno del proyecto en conjunto con los objetivos planteados inicialmente.

- El segundo paso consiste en una intensa tarea de recopilación de información documental y de campo que sirve como base para el desarrollo de análisis y modelos que permitan la estimación de la demanda de los dos tramos carreteros del proyecto.
- La tercera etapa del estudio consiste en el análisis de la información recopilada, realizando un diagnóstico de la oferta y demanda del nuevo entronque y la vía en operación.
- La cuarta fase de la metodología es el desarrollo de los modelos matemáticos que representen el comportamiento de la oferta, demanda, de captación, asignación y pronóstico debidamente calibrados y validados.
- El quinto paso consiste en el desarrollo del pronóstico de aforo e ingreso para los distintos tramos carreteros en estudio y ante distintos escenarios.

Dentro del presente documento, se detallará la metodología aplicada en cada etapa del estudio. En la siguiente figura se presenta un esquema de la metodología aplicada para el presente estudio.

Figura 3 Metodología general del estudio.



#### **1.4. Estructura del informe**

El presente documento muestra el informe final del proyecto denominado Estudio de Aforo e Ingreso del Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

El documento se organiza de la siguiente manera:

1. La primera parte presenta los antecedentes y objetivos del estudio, así como la estructura del presente documento.
2. La segunda sección describe el esfuerzo de recopilación de información documental y de campo necesaria para cumplir los objetivos planteados. Adicionalmente se presenta el análisis realizado a la información de campo y documental recopilados. Tal análisis permite desarrollar un diagnóstico de la situación actual y además sirve como base para la elaboración de los modelos del sistema de transporte en la estimación actual y futura de la demanda potencial del proyecto.
3. La tercera sección corresponde a la descripción del desarrollo del modelo del sistema de transporte desarrollado.
4. Los resultados de la aplicación del modelo para el escenario base, análisis de sensibilidad y pronóstico de aforo e ingreso son presentados en la cuarta sección.
5. El último capítulo incluye las conclusiones del estudio.

## 2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

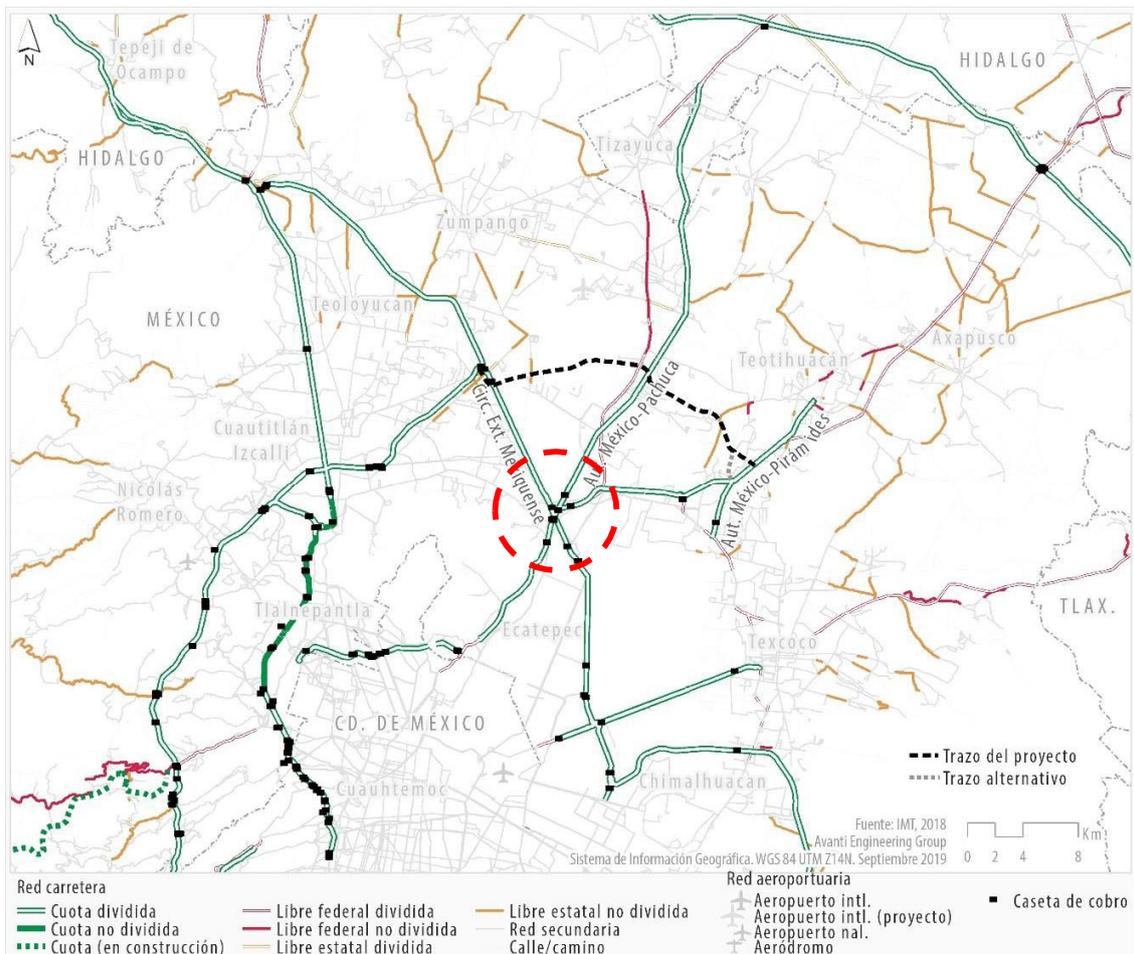
### 2.1. Delimitación del área de estudio

El objetivo de este apartado se centra en la recopilación y análisis de la oferta - demanda comprendida por el sistema de transporte privado automóvil y por el sistema de transporte de carga, que actualmente circulan por las autopistas México - Pachuca, Ecatepec - Pirámides y el Circuito Exterior Mexiquense.

El trazo del proyecto con aproximadamente 27.02 kilómetros de longitud, está considerado para servir a los automóviles y vehículos de carga (camiones unitarios, articulados y biarticulados) que diariamente transitan por las carreteras de cuota antes mencionadas.

Los municipios del Estado de México, las alcaldías de la CDMX y el municipio del estado de Hidalgo que fueron considerados para el análisis de oferta - demanda, como se mencionó en la descripción del proyecto, son: Acolman, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Huehuetoca, Naucalpan de Juárez, San Martín de las Pirámides, Tecámac, Teotihuacán, Texcoco, Tlalnepantla de Baz, Tultepec, Tultitlán y Zumpango por el Estado de México; Azcapotzalco y Gustavo A. Madero por la Ciudad de México; y Tizayuca por el Estado de Hidalgo.

Figura 4. Ubicación de la red de carreteras, casetas de cobro y trazo del proyecto.



El principal objetivo del proyecto es la conexión entre las autopistas México - Pirámides, México - Pachuca y el Circuito Exterior Mexiquense, permitiendo el traslado de los vehículos en esta zona en un menor tiempo y eliminando la necesidad de transcurrir por el nodo vial que se da entre las carreteras de cuota y libres en la zona de Ecatepec que actualmente presenta niveles de congestión importantes. La figura anterior muestra el trazo del proyecto, las autopistas analizadas y el tipo de red carretera presente en la zona de estudio.

## 2.2. Entorno demográfico y económico

Para la obtención de los datos socioeconómicos y de desarrollo regional se recopiló información de diversos bancos de instituciones gubernamentales, con el objetivo de utilizarla en el desarrollo del análisis correspondiente al entorno social y económico del área en estudio.

La información recopilada fue obtenida mediante la investigación de las siguientes fuentes de información:

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)
- Sistema para la Consulta de Información Censal 2010 (SCINCE)
- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)
- Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (SIMBAD)
- Secretaría de Bienestar (antes Secretaría de Desarrollo Social) / Consejo Nacional de Población (Conapo)
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
- Gobierno de la Ciudad de México
- Gobierno del Estado de México
- Gobierno del Estado de Hidalgo

### 2.2.1. Población total

El primer bloque de indicadores demográficos analizados corresponde a la población total. Dichas cifras provienen de la Encuesta Intercensal año 2015 del Inegi a nivel municipio.

#### 2.2.1.1. Población total municipios área de influencia del Estado de México

La población que habita dentro de los 16 municipios analizados en el Estado de México fue de 7,149,061 habitantes.

Estado de México	7,149,061
Acolman	152,506
Coacalco de Berriozábal	284,462
Cuautitlán	149,550
Cuautitlán Izcalli	531,041
Ecatepec de Morelos	1,677,678
Huehuetoca	128,486
Naucalpan de Juárez	844,219

Nezahualcóyotl	1,039,867
San Martín de las Pirámides	26,960
Tecámac	446,008
Teotihuacán	56,993
Texcoco	240,749
Tlalnepantla de Baz	700,734
Tultepec	150,182
Tultitlán	520,557
Zumpango	199,069

Tabla 1. Residentes en los municipios analizados del Estado de México, año 2015.

#### 2.2.1.2. Población total alcaldías área de influencia de la CDMX

La población que reside dentro de la zona que abarcan las alcaldías en la CDMX fue de 1,564,638 habitantes.

<b>Ciudad de México</b>	<b>1,564,638</b>
Gustavo A. Madero	1,164,477
Azcapotzalco	400,161

Tabla 2. Residentes en las alcaldías analizadas de la CDMX, año 2015.

#### 2.2.1.3. Población total municipios área de influencia del estado de Hidalgo

La población que habita dentro de la zona analizada en el estado de Hidalgo fue de 119,442 habitantes.

<b>Hidalgo</b>	<b>119,442</b>
Tizayuca	119,442

Tabla 3. Residentes en el municipio analizado del estado de Hidalgo, año 2015.

El total de la población para estos municipios y alcaldías en el año 2015 ascendió a 8,833,141 habitantes.

#### 2.2.1.4. Población total en el área de influencia

En la figura siguiente se muestra el número de habitantes por municipio/alcaldía a escala regional para el año 2015. Se puede observar que el rango promedio de habitantes por alcaldía en la Ciudad de México es de 250,000 a 450,000 habitantes incluido Azcapotzalco, mientras que Gustavo A. Madero está en el rango de más de 1 millón de habitantes. Los municipios del Estado de México que limitan con el norte de la capital del país, como Tlalnepantla de Baz, Tultitlán y Cuautitlán Izcalli, se encuentran entre el rango de 500,000 a 850,000 habitantes; y únicamente Nezahualcóyotl y Ecatepec de Morelos son los municipios que albergan a más de 1,000,000 de habitantes en su territorio. Por su parte, el municipio de Tizayuca, en el estado de Hidalgo, presenta un rango de 100,001 a 250,000 habitantes.

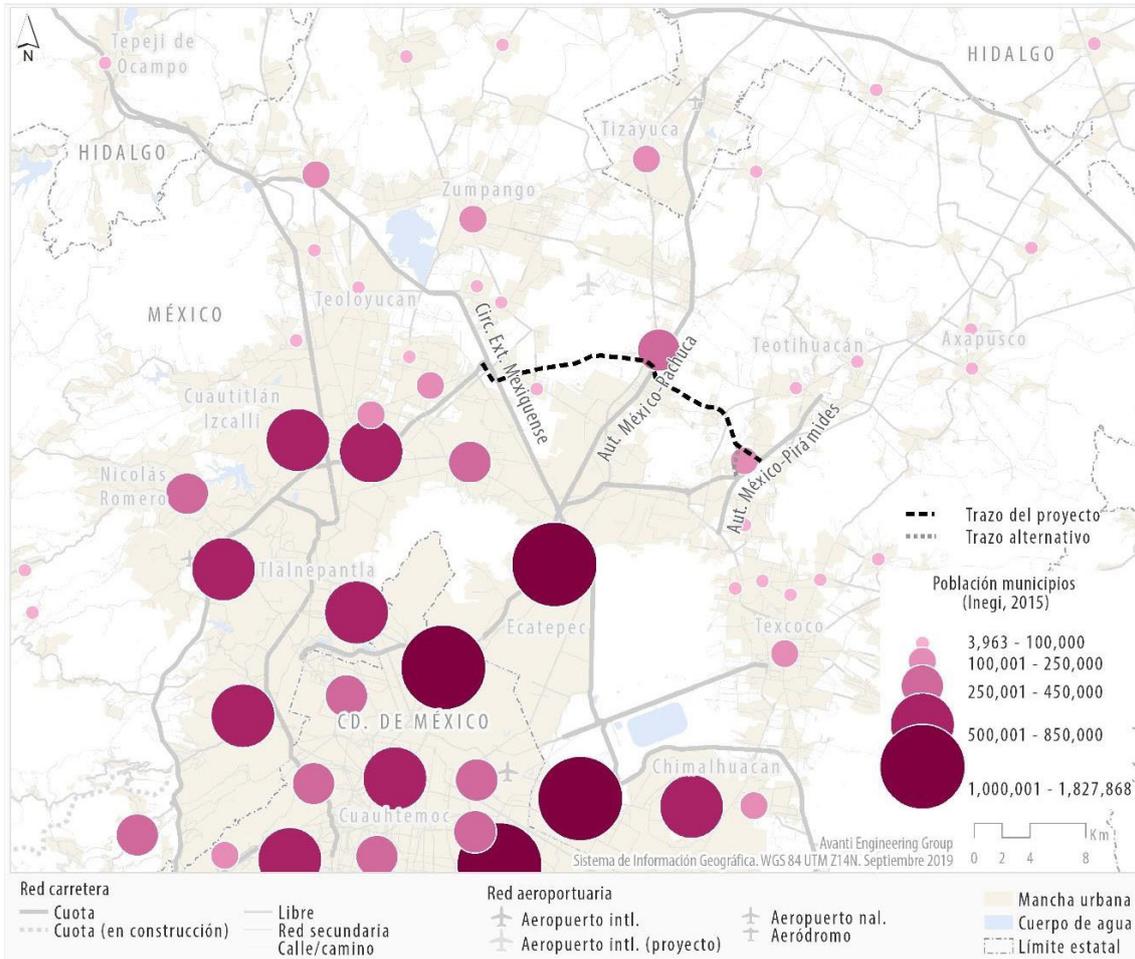


Figura 5. Población total municipios, año 2015.

#### 2.2.1.5. Crecimiento de la población en el área de influencia

En la siguiente tabla se muestra el crecimiento de la población en los municipios inmersos en el área de estudio. Se puede observar que en promedio la población creció un 8% en el periodo entre el año 2010 y 2015 o 1.6% promedio anual.

Entidad	Población 2010	Población 2015	Tasa Crecimiento
Acolman	136,558	152,506	11.7%
Coacalco de Berriozábal	278,064	284,462	2.3%
Cuautitlán	140,059	149,550	6.8%
Cuautitlán Izcalli	511,675	531,041	3.8%
Ecatepec de Morelos	1,656,107	1,677,678	1.3%
Huehuetoca	100,023	128,486	28.5%
Naucalpan de Juárez	833,779	844,219	1.3%
Nezahualcóyotl	1,110,565	1,039,867	-6.4%
San Martín de las Pirámides	24,851	26,960	8.5%
Tecámac	364,579	446,008	22.3%
Teotihuacán	53,010	56,993	7.5%
Texcoco	235,151	240,749	2.4%
Tlalnepantla de Baz	664,225	700,734	5.5%
Tultepec	131,567	150,182	14.1%
Tultitlán	486,998	520,557	6.9%
Zumpango	159,647	199,069	24.7%
Gustavo A. Madero	1,185,772	1,164,477	-1.8%
Azcapotzalco	414,711	400,161	-3.5%
Tizayuca	97,461	119,442	22.6%

Tabla 4. Crecimiento población, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia.

El municipio de Huehuetoca fue el que presentó mayor crecimiento en su población con aproximadamente 28 mil habitantes al pasar de 100,023 habitantes en el año 2010 a 128,486 habitantes en el año 2015, seguido del municipio de Zumpango donde su población creció alrededor de 40 mil habitantes pasando de 159,647 en el año 2010 a 199,069 en el año 2015. Ecatepec de Morelos a pesar de ser el municipio con el mayor número de habitantes solo presentó un crecimiento del 1.3%. Por otro lado, Nezahualcóyotl presentó un decrecimiento en su población de -6.4%, pasando de 1,110,565 habitantes en el año 2010 a 1,039,867 habitantes en el año 2015. En las alcaldías de la Ciudad de México de igual forma se presentaron decrecimientos en la población; en Gustavo A. Madero su población pasó de 1,185,772 habitantes en 2010 a 1,164,477 habitantes en 2015, decreciendo -1.8%; y en Azcapotzalco se registraron 414,711 habitantes en 2010 y 400,161 habitantes en 2015, decreciendo -3.5%. Por último, Tizayuca presentó un crecimiento del 22% pasando de 97,461 habitantes en 2010 a 119,442 habitantes en 2015.

#### 2.2.1.6. Densidad de la población en el área de influencia

La densidad de la población se refiere al número de habitantes por km<sup>2</sup>. Dentro de los municipios del área de influencia, Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl en el Estado de México presentaron para el año 2015 una densidad de población alta, entre 10,700 y 17,00 habitantes por km<sup>2</sup>. De igual forma, las alcaldías de la Ciudad de México, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero presentaron para el mismo año una densidad de población alta, entre 11,900 y 13,300

habitantes por km<sup>2</sup>. Los municipios dentro del área de influencia con densidad de población más baja fueron San Martín de las Pirámides, Texcoco, Teotihuacán y Zumpango, con 300 a 900 habitantes por km<sup>2</sup>.

La densidad de población a nivel regional se puede observar en la siguiente figura.

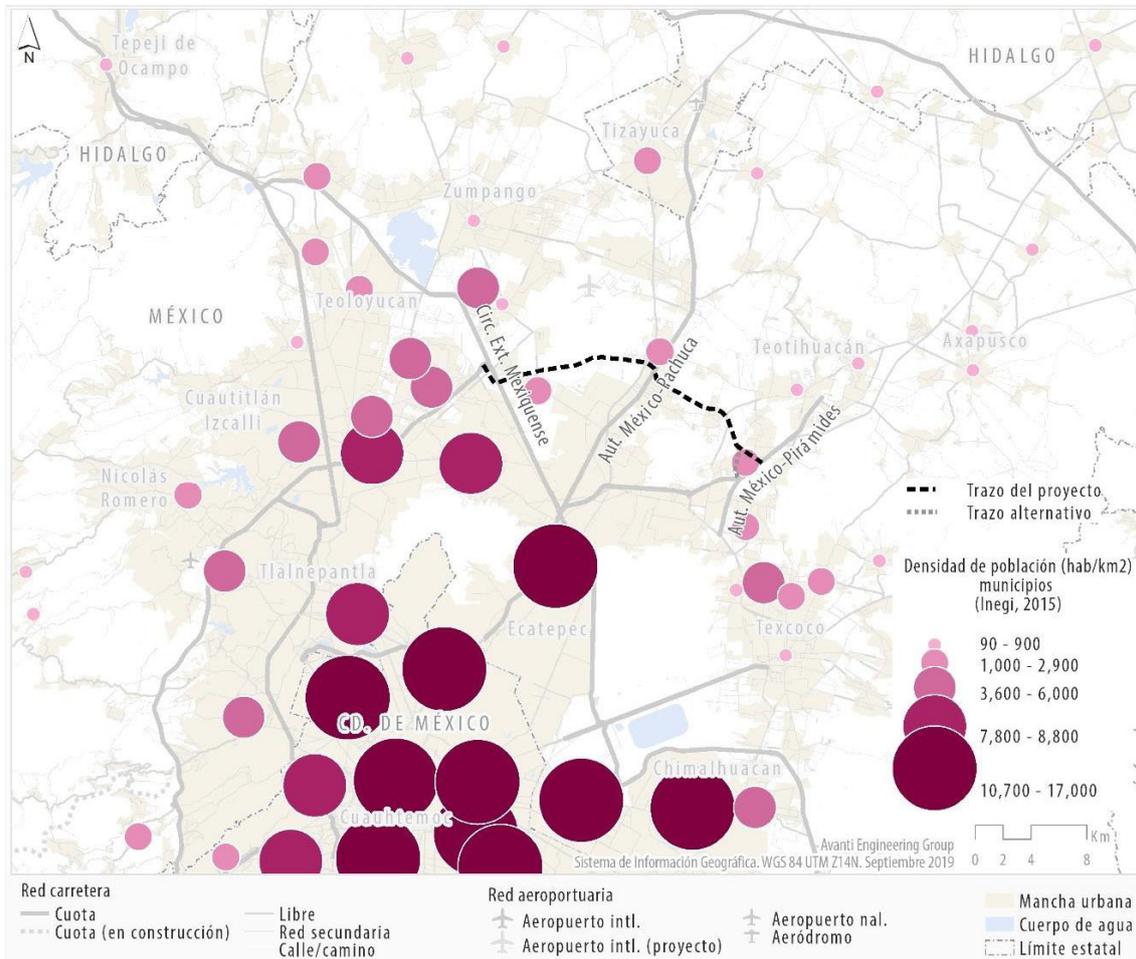


Figura 6. Densidad de población municipios, año 2015.

### 2.2.2. Población económicamente activa

La población económicamente activa (PEA) se refiere a las personas mayores de 12 años que realizan algún tipo de actividad económica.

En la siguiente figura se puede observar a detalle la PEA para el año 2015 en los municipios/alcaldías del área de influencia. Cabe resaltar que Ecatepec de Morelos, al nororiente de la capital del país, y Gustavo A. Madero, al oriente tuvieron una PEA superior a 500,000; y que Nezahualcóyotl al oriente de la CDMX, y Naucalpan de Juárez y Tlalnepantla de Baz al poniente, registraron una PEA entre 300,000 y 500,000.

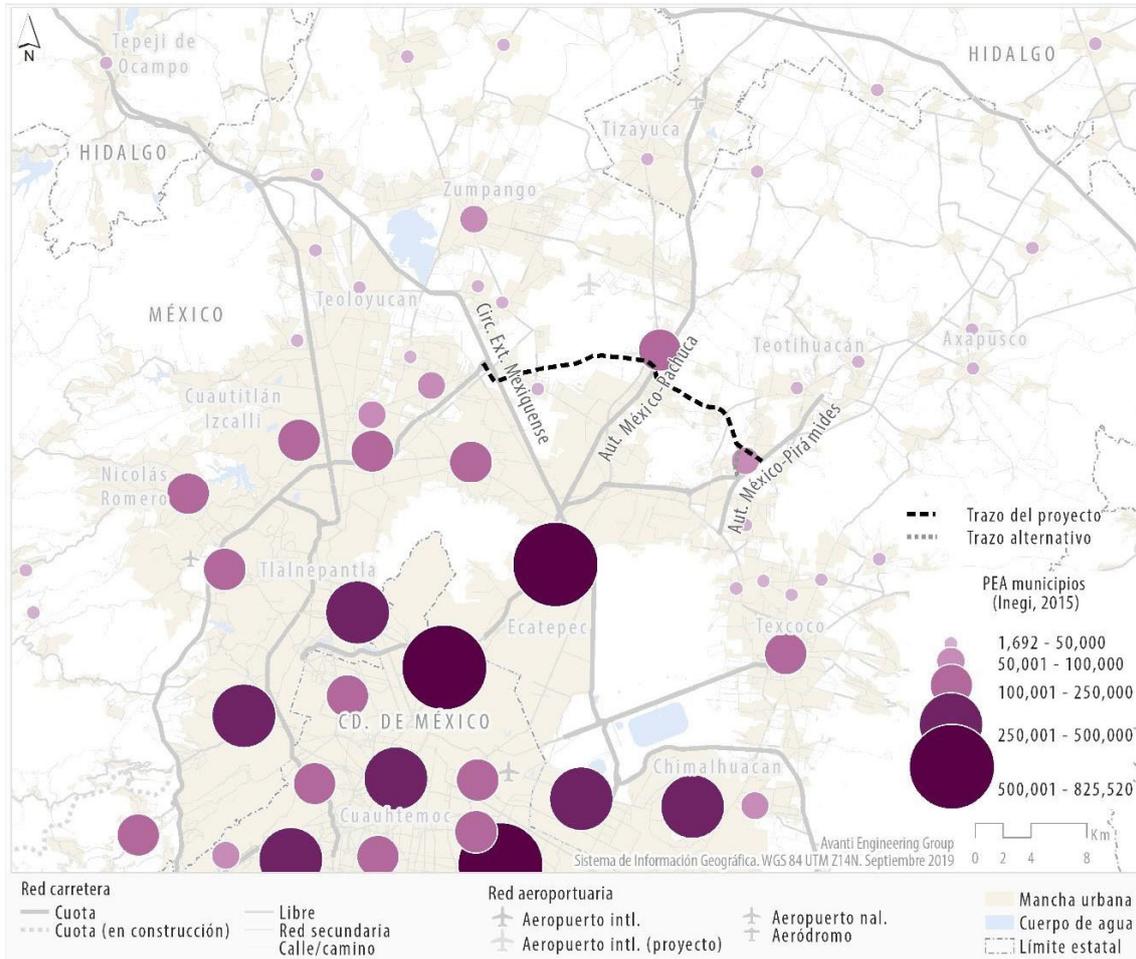


Figura 7. PEA municipios, año 2015.

La PEA por su parte ha tenido un crecimiento importante entre 2010 y 2015 en algunos municipios de la zona de estudio pertenecientes al Estado de México y a Hidalgo. En cuanto al Estado de México, el municipio de Huehuetoca pasó de tener una PEA de 37,331 en 2010 a 49,335 en 2015 creciendo aproximadamente un 32%; adicionalmente, Tecámac y Zumpango tuvieron un crecimiento promedio del 25.5% en el mismo periodo de tiempo. Para el estado de Hidalgo, el municipio de Tizayuca que hace parte del área de estudio registró un crecimiento del 27%. En contraposición, en la Ciudad de México, la alcaldía Gustavo A. Madero registró un decrecimiento de la PEA del -0.9%, pasando de 526,176 en 2010 a 521,596 en 2015; y Azcapotzalco sólo obtuvo un crecimiento del 0.8 en el mismo periodo.

Entidad	PEA 2010	PEA 2015	Tasa Crecimiento
Acolman	51,556	60,991	18.3%
Coacalco de Berriozábal	119,932	123,200	2.7%
Cuautitlán	58,806	62,990	7.1%
Cuautitlán Izcalli	221,343	223,430	0.9%
Ecatepec de Morelos	699,245	701,545	0.3%
Huehuetoca	37,331	49,335	32.2%
Naucalpan de Juárez	357,773	362,717	1.4%
Nezahualcóyotl	480,547	455,369	-5.2%
San Martín de las Pirámides	9,788	10,531	7.6%
Tecámac	148,172	186,525	25.9%
Teotihuacán	20,020	22,689	13.3%
Texcoco	94,024	100,431	6.8%
Tlalnepantla de Baz	283,811	306,496	8.0%
Tultepec	53,735	63,487	18.1%
Tultitlán	204,326	220,083	7.7%
Zumpango	61,044	76,305	25.0%
Gustavo A. Madero	526,179	521,596	-0.9%
Azcapotzalco	187,402	188,982	0.8%
Tizayuca	37,575	47,703	27.0%

Tabla 5. Crecimiento PEA, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia.

### 2.2.3. Marginación social

La marginación social es una medida dada por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) a través del grado de marginación, el cual se enfoca en analizar las condiciones de bienestar de una comunidad, considerando la vivienda, la educación, los ingresos, y la distribución de la población según el número de habitantes, con el fin de calcular en qué grado de marginación está cada municipio.

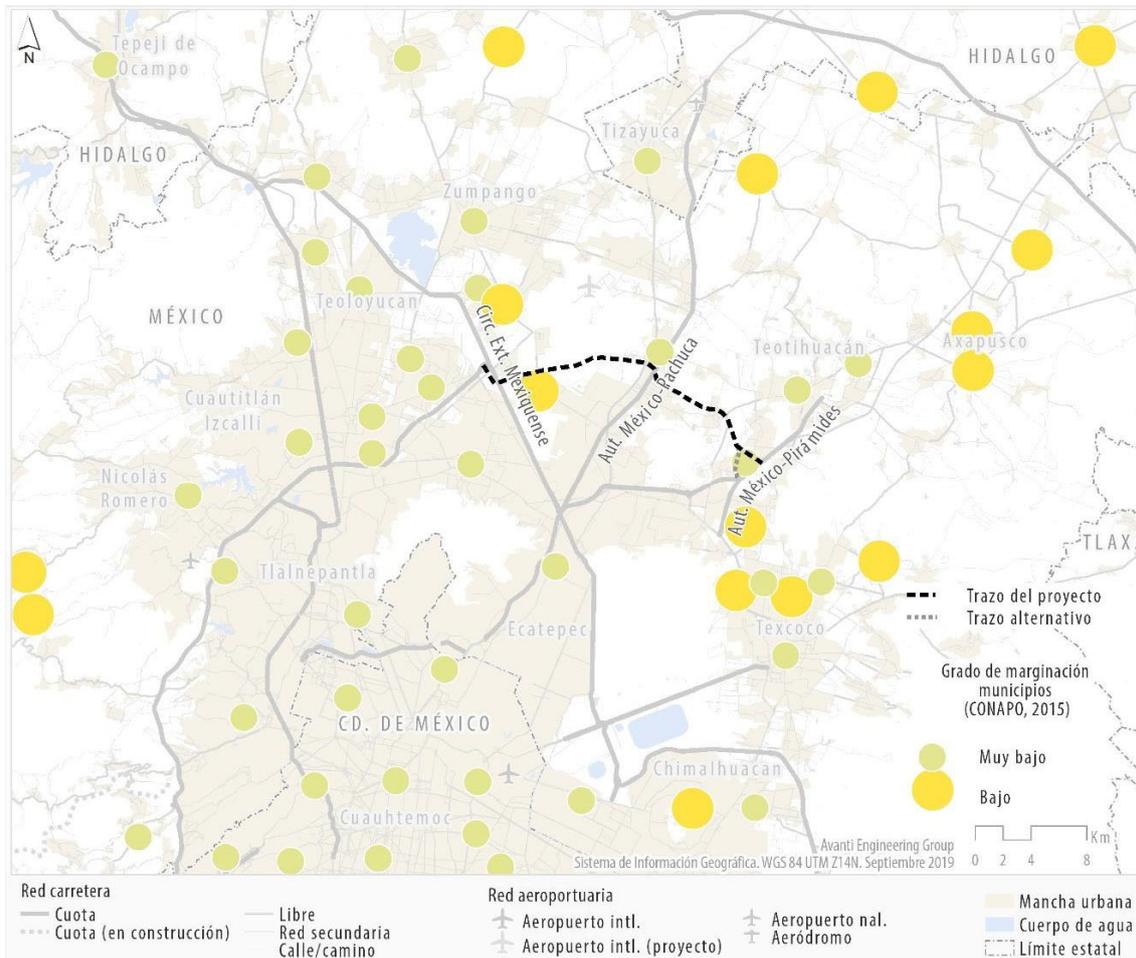


Figura 8. Grado de marginación CONAPO municipios, año 2015.

Se identificó que los municipios/alcaldías dentro de la zona de influencia del proyecto, tanto del Estado de México, como de la CDMX y de Hidalgo, presentaron un grado de marginación “muy bajo” en el año 2015. De igual forma, para los años 2010 y 2005 el grado de marginación fue calificado como “muy bajo” para estos mismos municipios/alcaldías, excepto para San Martín de las Pirámides que presentó grado de marginación “bajo”.

#### 2.2.4. Población con educación media superior

El crecimiento de la población residente con educación media superior en las alcaldías y municipios inmersos en el área de estudio se muestra en la tabla y figura siguientes.

Entidad	Población con educación media superior 2010	Población con educación media superior 2015	Tasa Crecimiento
Acolman	22,597	31,212	38.12%
Coacalco de Berriozábal	65,752	73,040	11.08%
Cuautitlán	29,738	37,410	25.80%
Cuautitlán Izcalli	103,365	121,179	17.23%
Ecatepec de Morelos	308,758	366,220	18.61%
Huehuetoca	16,276	27,421	68.48%
Naucalpan de Juárez	131,275	151,636	15.51%
Nezahualcóyotl	210,085	231,514	10.20%
San Martín de las Pirámides	3,702	5,154	39.22%
Tecámac	70,239	108,051	53.83%
Teotihuacán	8,386	10,493	25.13%
Texcoco	40,892	50,745	24.10%
Tlalnepantla de Baz	119,308	142,491	19.43%
Tultepec	24,332	30,823	26.68%
Tultitlán	95,971	120,516	25.58%
Zumpango	23,661	37,295	57.62%
Gustavo A. Madero	239,434	262,071	9.45%
Azcapotzalco	88,862	93,901	5.67%
Tizayuca	16,073	23,323	45.11%

Tabla 6. Crecimiento población con educación media superior, años 2010-2015, en alcaldías/municipios área de influencia.

En el Estado de México, Huehuetoca, Tecámac y Zumpango presentaron un crecimiento importante de 2010 a 2015 (68%, 53% y 57% respectivamente) respecto a la población residente con educación media superior. Igualmente, Tizayuca, en el Estado de Hidalgo, tuvo un crecimiento importante entre 2010 y 2015, con un aumento de alrededor de 7 mil personas. Por el contrario, las alcaldías de la Ciudad de México que hacen parte del área de influencia registraron un crecimiento menor al 10%; Gustavo A. Madero pasó de tener un registro de 239,434 personas en 2010 a 262,071 personas en 2015 y Azcapotzalco pasó de 88,862 personas en 2010 a 93,901 personas en 2015.

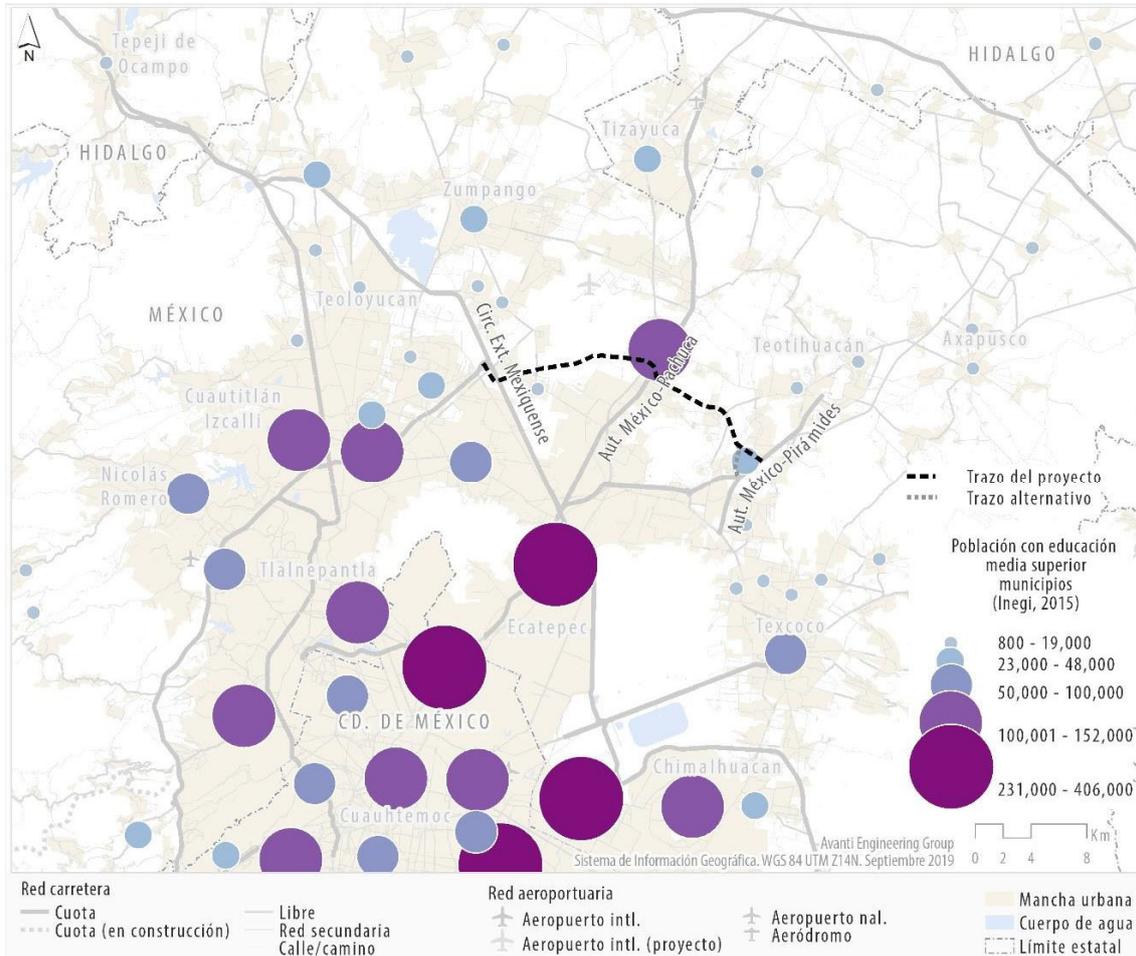


Figura 9. Población educación media superior municipios, año 2015.

Para el año 2015 en particular, los municipios/alcaldías dentro de la zona de estudio que presentaron mayor número de habitantes con educación media superior fueron Ecatepec de Morelos con 366,220 y Nezahualcóyotl con 231,514 por el Estado de México, y Gustavo A. Madero con 262,071 por la CDMX. En los tres casos, representan alrededor del 22% de la población total. Adicionalmente, en relación con la población total, los municipios con mayores porcentajes de residentes con educación media superior son Coacalco de Berriozábal (26%), Cuautitlán (25%), y Tecámac (24%), mientras que Naucalpan de Juárez (18%), Teotihuacán (18%) y Zumpango (19%) presentan los porcentajes más bajos.

### 2.2.5. Población derechohabiente a servicios de salud

El número de habitantes derechohabientes a servicios de salud en las alcaldías y municipios inmersos en el área de estudio y su crecimiento entre 2010 y 2015 se muestra en la tabla y figura siguientes.

Entidad	Población derechohabiente a servicios de salud 2010	Población derechohabiente a servicios de salud 2015	Tasa Crecimiento
Acolman	74,084	120,669	62.88%
Coacalco de Berriozábal	186,773	225,277	20.62%
Cuautitlán	91,549	124,923	36.45%
Cuautitlán Izcalli	326,964	402,956	23.24%
Ecatepec de Morelos	932,548	1,232,980	32.22%
Huehuetoca	67,963	106,630	56.89%
Naucalpan de Juárez	465,325	655,438	40.86%
Nezahualcóyotl	588,296	768,799	30.68%
San Martín de las Pirámides	13,190	22,867	73.37%
Tecámac	215,273	337,468	56.76%
Teotihuacán	30,099	47,800	58.81%
Texcoco	113,051	181,785	60.80%
Tlalnepantla de Baz	414,670	557,933	34.55%
Tultepec	71,450	114,694	60.52%
Tultitlán	293,695	398,611	35.72%
Zumpango	82,001	148,641	81.27%
Gustavo A. Madero	803,418	921,689	14.72%
Azcapotzalco	301,040	336,595	11.81%
Tizayuca	61,013	92,637	51.83%

Tabla 7. Crecimiento población derechohabiente a servicios de salud, años 2010-2015, en alcaldías/municipios.

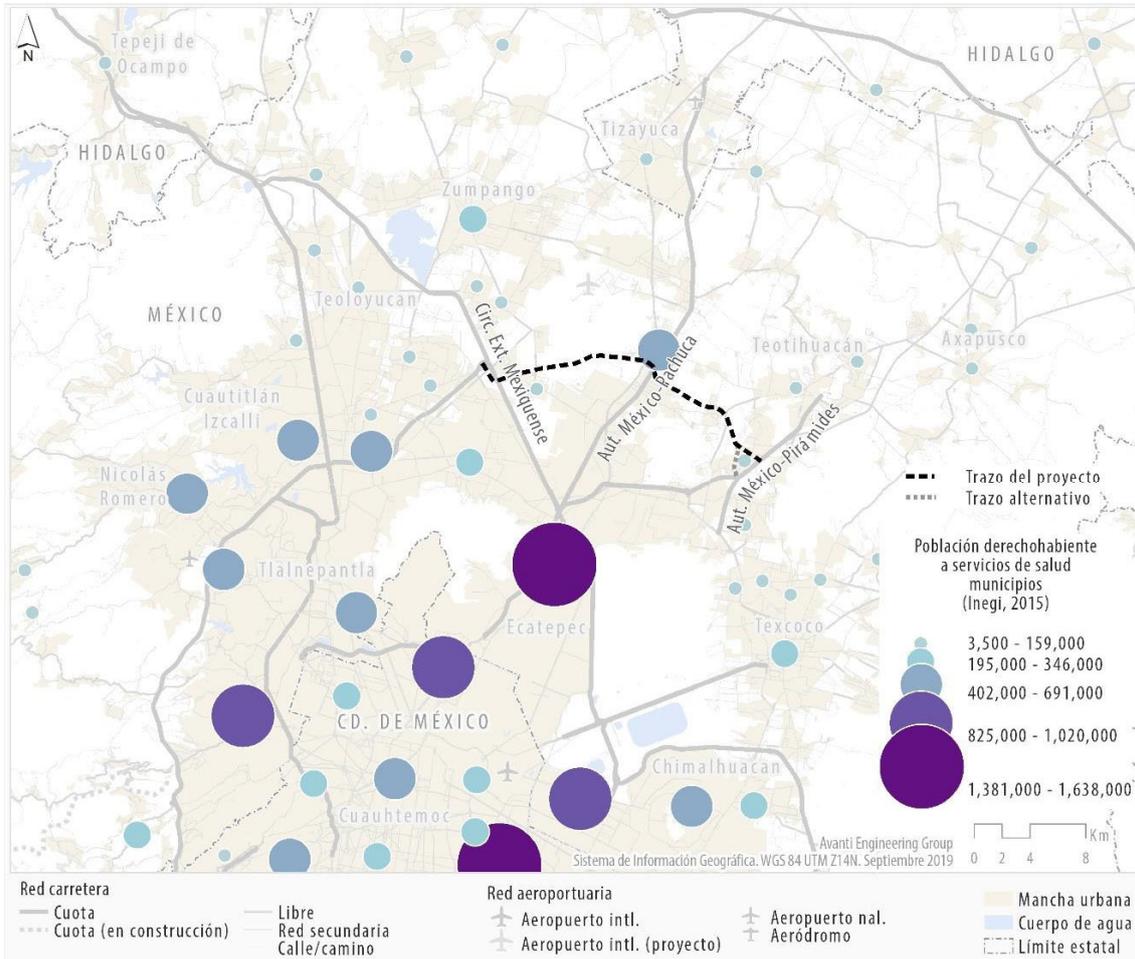


Figura 10. Población derechohabiente a servicios de salud municipios, año 2015.

En el Estado de México, San Martín de las Pirámides y Zumpango fueron los municipios que registraron una tasa de crecimiento de más del 70% entre los años 2010 y 2015. Por otro lado, Nezahualcóyotl y Tlalnepantla de Baz, son los municipios que tuvieron un registro de más de 500 mil personas derechohabientes a servicios de salud en el año 2015; es importante mencionar que Ecatepec de Morelos obtuvo más de un millón de personas en ese mismo año. En la Ciudad de México, la alcaldía que registró la tasa más alta de crecimiento fue la Gustavo A. Madero, con aproximadamente 14%. Para el municipio de Tizayuca, de 2010 a 2015 obtuvo una tasa de crecimiento de más del 50%, sumando más de 31 mil personas en ese periodo.

## 2.2.6. Servicios de turismo

El turismo se analiza en este estudio para hacer referencia a los sitios de interés que son atractivos de viajes.

### 2.2.6.1. Cuartos de hospedaje registrados

Los cuartos de hospedaje dentro de la zona de estudio tuvieron poco crecimiento entre los años 2011 y 2016. En el Estado de México, Naucalpan de Juárez, San Martín de las Pirámides y Texcoco crecieron menos del 2%; por otro lado, en 2016, municipios como Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de

Morelos, Nezhualcóyotl y Tlalnepantla de Baz tuvieron un decremento de los cuartos de hospedaje, siendo Nezhualcóyotl la entidad que registró una tasa de crecimiento de casi el - 10%. En el estado de Hidalgo, Tizayuca presentó un crecimiento importante de aproximadamente el 26%, registrando en 2016, 181 cuartos de hospedaje contra 143 cuartos en 2010.

Entidad	Cuartos de hospedaje 2011	Cuartos de hospedaje 2016	Tasa Crecimiento
Acolman	0	26	-
Coacalco de Berriozábal	182	182	-
Cuautitlán Izcalli	649	610	-6.01%
Ecatepec de Morelos	1,437	1,431	-0.42%
Naucalpan de Juárez	839	849	1.19%
Nezhualcóyotl	1,036	935	-9.75%
San Martín de las Pirámides	245	248	1.22%
Tecámac	86	86	-
Teotihuacán	190	190	-
Texcoco	484	489	1.03%
Tlalnepantla de Baz	2,772	2,527	-8.84%
Tultitlán	402	402	-
Zumpango	89	89	-
Gustavo A. Madero	2,196	2,064	-6.01%
Azcapotzalco	702	698	-0.57%
Tizayuca	143	181	26.57%

Tabla 8. Crecimiento en cuartos de hospedaje registrados, años 2011-2016, en alcaldías/municipios.

#### 2.2.6.2. Turistas hospedados en establecimientos de hospedaje

En este apartado se muestran los turistas hospedados durante el año 2016 así como su tasa de crecimiento entre los años 2011 y 2016.

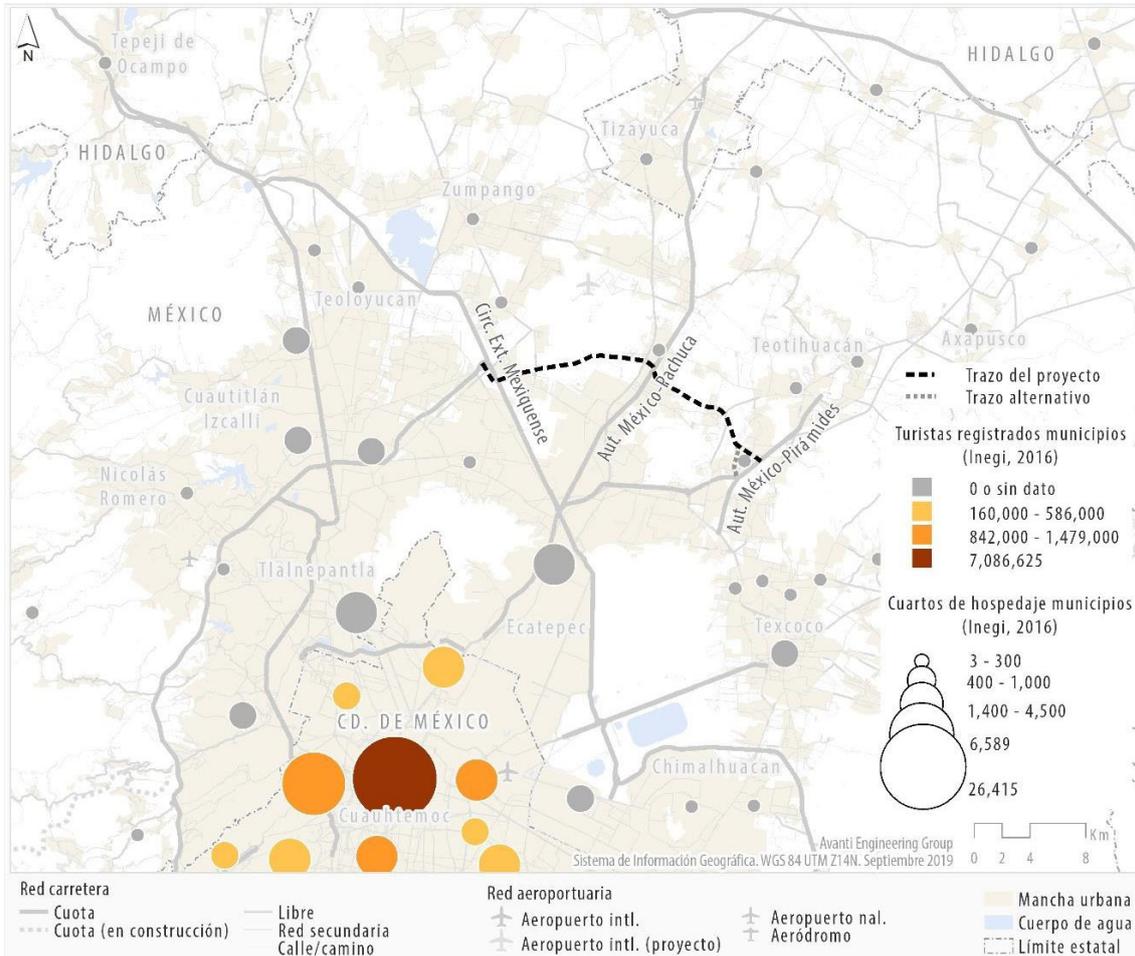


Figura 11. Crecimiento de turistas hospedados / cuartos de hospedaje municipios, años 2011- 2016.

Entidad	Turistas hospedados 2011	Turistas hospedados 2016	Tasa Crecimiento
Gustavo A. Madero	559,275	585,830	4.75%
Azcapotzalco	207,074	160,927	-22.29%

Tabla 9. Crecimiento turistas hospedados, años 2011-2016, en alcaldías/municipios área de influencia .

Como se observa en la figura y en la tabla anterior, la alcaldía de Gustavo A. Madero registró en 2016 más de 500 mil turistas hospedados, obteniendo un crecimiento del 4.75% entre 2011 y 2016. Por otro lado, Azcapotzalco presentó una disminución de turistas, paso de 207,074 en 2011 a 160,927 en 2016.

### 2.2.7. Unidades económicas

Las actividades económicas, según el INEGI, son el conjunto de acciones realizadas por una unidad económica para producir o proporcionar bienes y servicios. Podemos mencionar establecimientos, hogares, personas físicas, como entidades productoras de bienes y servicios.

Las actividades económicas que se desarrollan principalmente en la región de estudio son comercio, servicios privados no financieros, servicios financieros y de seguros, transporte, correo y almacenamiento, y construcción.

En el siguiente mapa se puede apreciar la distribución de las unidades económicas en la zona de influencia del proyecto.

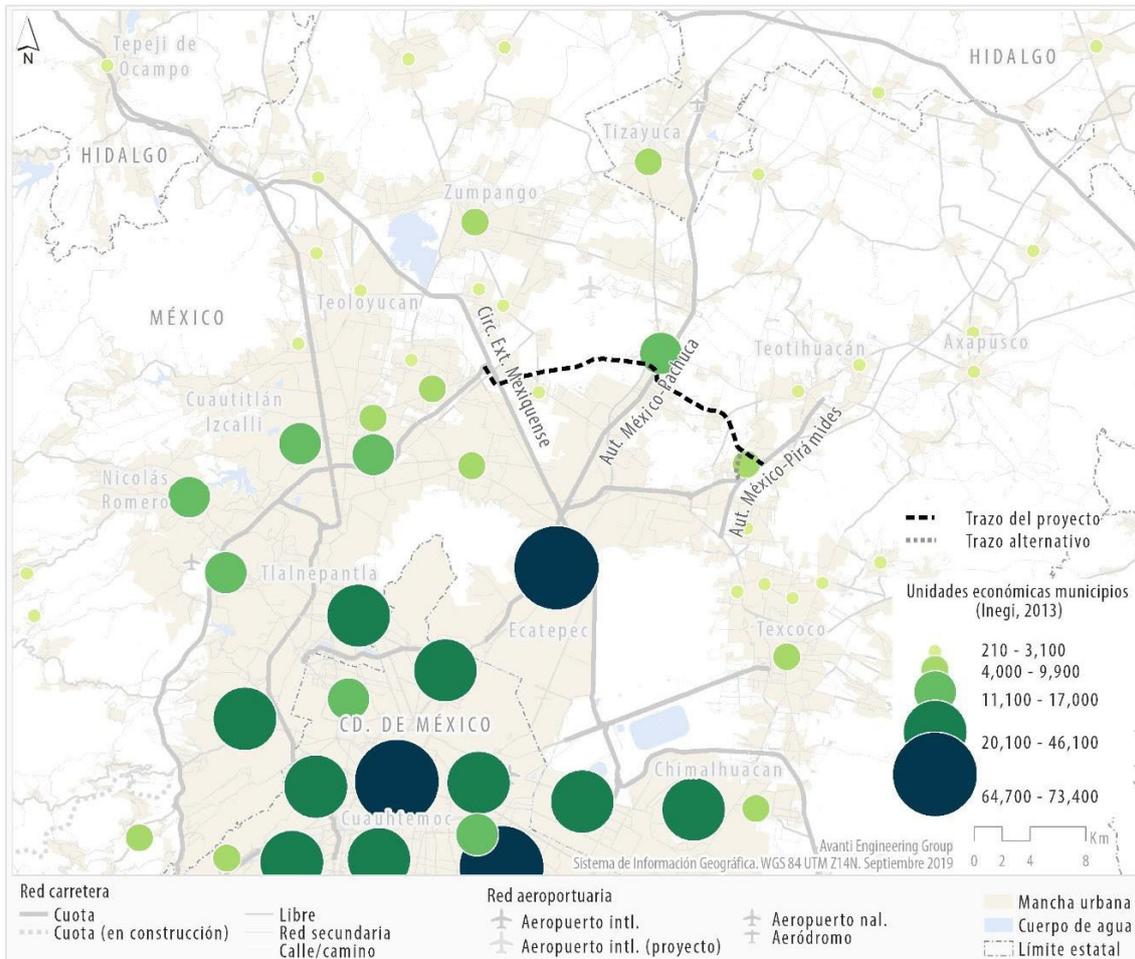


Figura 12. Número de unidades económicas municipales, año 2013.

Como se puede observar tanto en el mapa como en la tabla, en el Estado de México, Ecatepec de Morelos fue el municipio con mayor número de unidades económicas en el año 2013, con una tasa de crecimiento entre 2008 y 2013 del 12%, aumentando en más de 7,000 unidades en esos 5 años. Por otro lado, las mayores tasas de crecimiento registradas entre los años 2008 y 2013 fueron las de los municipios de Huehuetoca (78%; de 1,626 a 2,898 unidades) y de Acolman (66%, de 3,235 a 5,368). Cabe señalar igualmente a Gustavo A. Madero, alcaldía que se encuentra al norte de la Ciudad de México, y a Nezahualcóyotl, municipio al oriente de la CDMX, los cuales registraron un número significativo de unidades económicas (46,007 unidades y 44,331 unidades respectivamente, en 2013). En cuanto a Tizayuca, estado de Hidalgo, éste tuvo un crecimiento de más del 40%, registrando 4,220 unidades económicas en el año 2013 (1,245 unidades más que en el año 2008).

Entidad	Unidades Económicas 2008	Unidades Económicas 2013	Tasa Crecimiento
Acolman	3,235	5,368	65.94%
Coacalco de Berriozábal	7,460	8,517	14.17%
Cuautitlán	3,328	4,044	21.51%
Cuautitlán Izcalli	12,807	15,472	20.81%
Ecatepec de Morelos	57,635	64,748	12.34%
Huehuetoca	1,626	2,898	78.23%
Naucalpan de Juárez	24,232	26,258	8.36%
Nezahualcóyotl	45,617	44,331	-2.82%
San Martín de las Pirámides	775	946	22.06%
Tecámac	10,657	14,091	32.22%
Teotihuacán	2,022	2,512	24.23%
Texcoco	9,023	9,811	8.73%
Tlalnepantla de Baz	23,029	24,847	7.89%
Tultepec	3,212	4,175	29.98%
Tultitlán	13,201	15,423	16.83%
Zumpango	4,421	5,623	27.19%
Gustavo A. Madero	44,160	46,007	4.18%
Azcapotzalco	17,171	16,928	-1.42%
Tizayuca	2,975	4,220	41.85%

Tabla 10. Crecimiento unidades económicas, años 2008-2013, alcaldías/municipios área de influencia.

Debido a la presencia y crecimiento de unidades económicas en algunos municipios/alcaldías de la zona de influencia del proyecto, un porcentaje de habitantes de la zona norte del proyecto se ve en la necesidad de transportarse a los lugares donde se registran mayor número de unidades económicas con la finalidad de desarrollar sus labores y actividades cotidianas.

### 2.2.8. Personal ocupado y producción bruta total

Con este indicador se ha pretendido definir la situación de empleo que se encuentra en cada una de las alcaldías y municipios de la zona de estudio sin importar edad, sexo o si es remunerada o no; junto con la producción bruta total donde se mide el valor de todos los bienes y servicios producidos o comercializados por los establecimientos durante un período determinado.

El personal ocupado (número de empleados) y la producción bruta total para los municipios/alcaldías de la zona de estudio que arrojaron los dos últimos censos económicos del INEGI, 2008 y 2013, se muestran en la tabla a continuación, junto con la tasa de crecimientos para este mismo período de tiempo.

Entidad	Personal Ocupado 2008	Personal Ocupado 2013	Producción Bruta Total (MDP) 2008	Producción Bruta Total (MDP) 2013	Tasa Crecimiento	
					P.O.	PBT
Acolman	10,634	12,024	5,838	6,845	13.07%	17.26%
Coacalco de Berriozábal	30,432	28,946	5,913	6,845	-4.88%	15.77%
Cuautitlán	19,514	24,625	15,526	26,961	26.19%	73.65%
Cuautitlán Izcalli	90,968	115,175	68,642	124,755	26.61%	81.75%
Ecatepec de Morelos	208,135	204,423	90,985	92,921	-1.78%	2.13%
Huehuetoca	9,544	11,294	5,746	5,635	18.34%	-1.94%
Naucalpan de Juárez	179,310	177,388	85,567	98,018	-1.07%	14.55%
Nezahualcóyotl	119,367	105,392	13,684	18,613	-11.71%	36.02%
San Martín de las Pirámides	2,751	2,385	420	537	-13.30%	27.89%
Tecámac	33,815	37,720	6,244	9,011	11.55%	44.32%
Teotihuacán	6,689	6,785	1,834	3,240	1.44%	76.66%
Texcoco	34,023	32,835	7,660	9,643	-3.49%	25.88%
Tlalnepantla de Baz	187,241	187,106	111,943	118,561	-0.07%	5.91%
Tultepec	9,052	10,529	1,130	2,828	16.32%	150.25%
Tultitlán	70,170	73,709	43,208	61,189	5.04%	41.62%
Zumpango	12,541	14,413	1,122	2,089	14.93%	86.28%
Gustavo A. Madero	184,885	178,537	48,644	60,465	-3.43%	24.30%
Azcapotzalco	304,071	383,735	164,823	171,224	26.20%	3.88%
Tizayuca	24,468	25,315	14,162	15,637	3.46%	10.42%

Tabla 11. Crecimiento personal ocupado / producción bruta total, años 2008-2013, en alcaldías/municipios.

En las figuras que se presentan a continuación se muestra el mapa de personal ocupado (número de empleados) y de producción bruta total a nivel municipal para el año 2013.

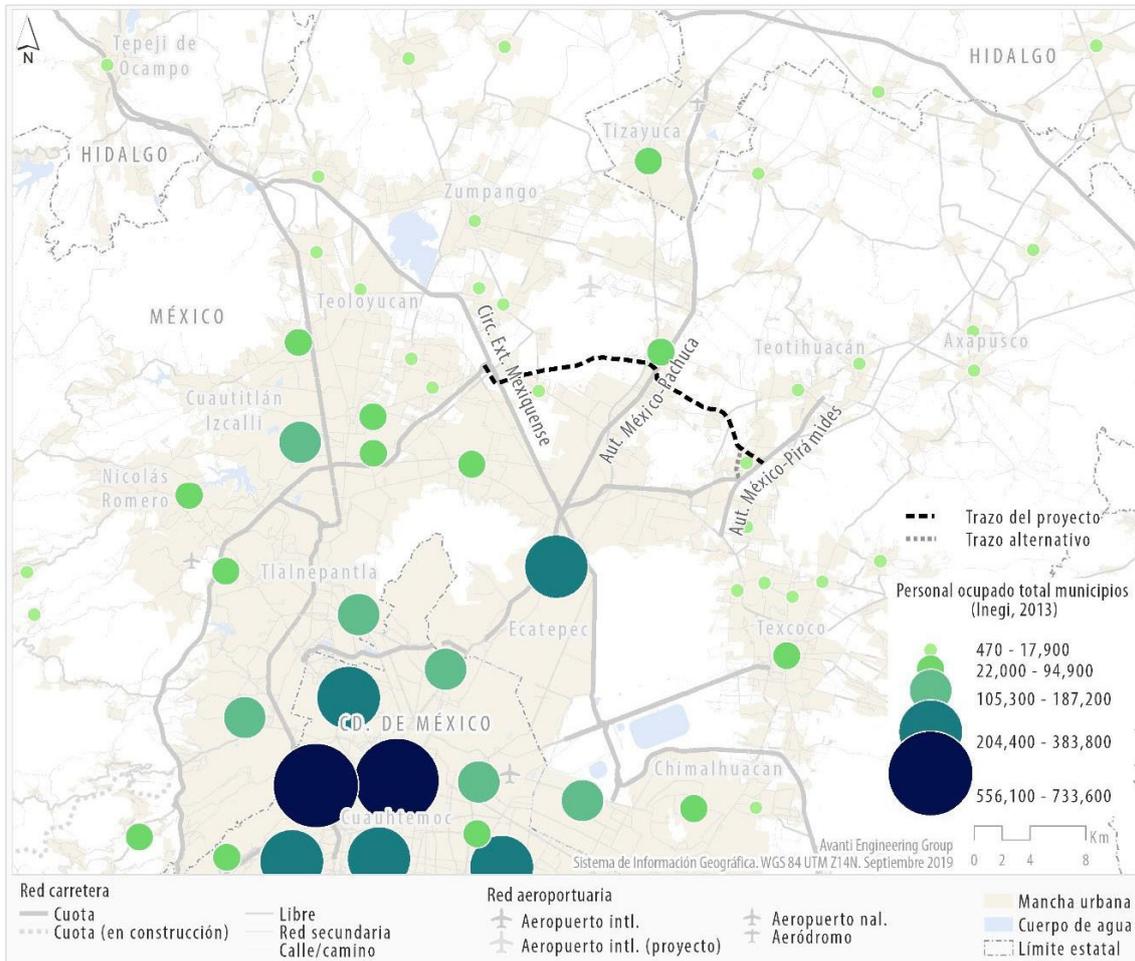


Figura 13. Personal ocupado municipios, año 2013.

Respecto al número de empleados (personal ocupado) en la zona de interés, se observa que la alcaldía de Azcapotzalco y el municipio de Ecatepec de Morelos son los que presentan un mayor número de empleados para el año 2013 (383,735 y 204,423 respectivamente), resaltando además que Azcapotzalco presenta un crecimiento del 26% en el personal ocupado entre 2008 y 2013, mientras que Ecatepec de Morelos presenta un decrecimiento para estos mismos años de -1.8%. Otros municipios con crecimiento importante entre 2008 y 2013 son Cuautitlán Izcalli (27%; de 90,968 a 115,175 empleados) y Cuautitlán (26%; de 19,514 a 24,625 empleados). En cuanto a municipios con decrecimiento en el número de empleados entre 2008 y 2013, se destacan San Martín de las Pirámides con -13% (de 2,751 a 2,385) y Nezahualcóyotl con -12% (de 119,367 a 105,392)

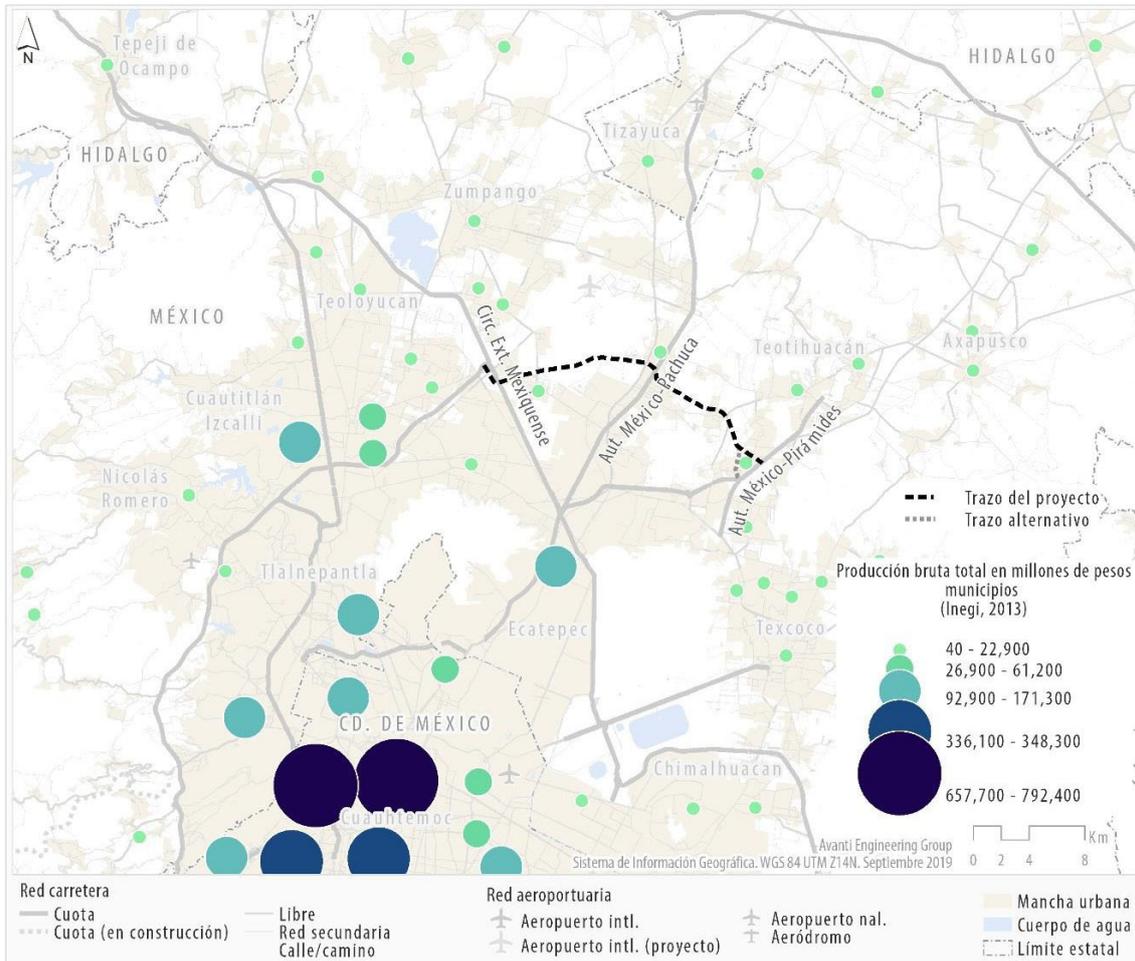
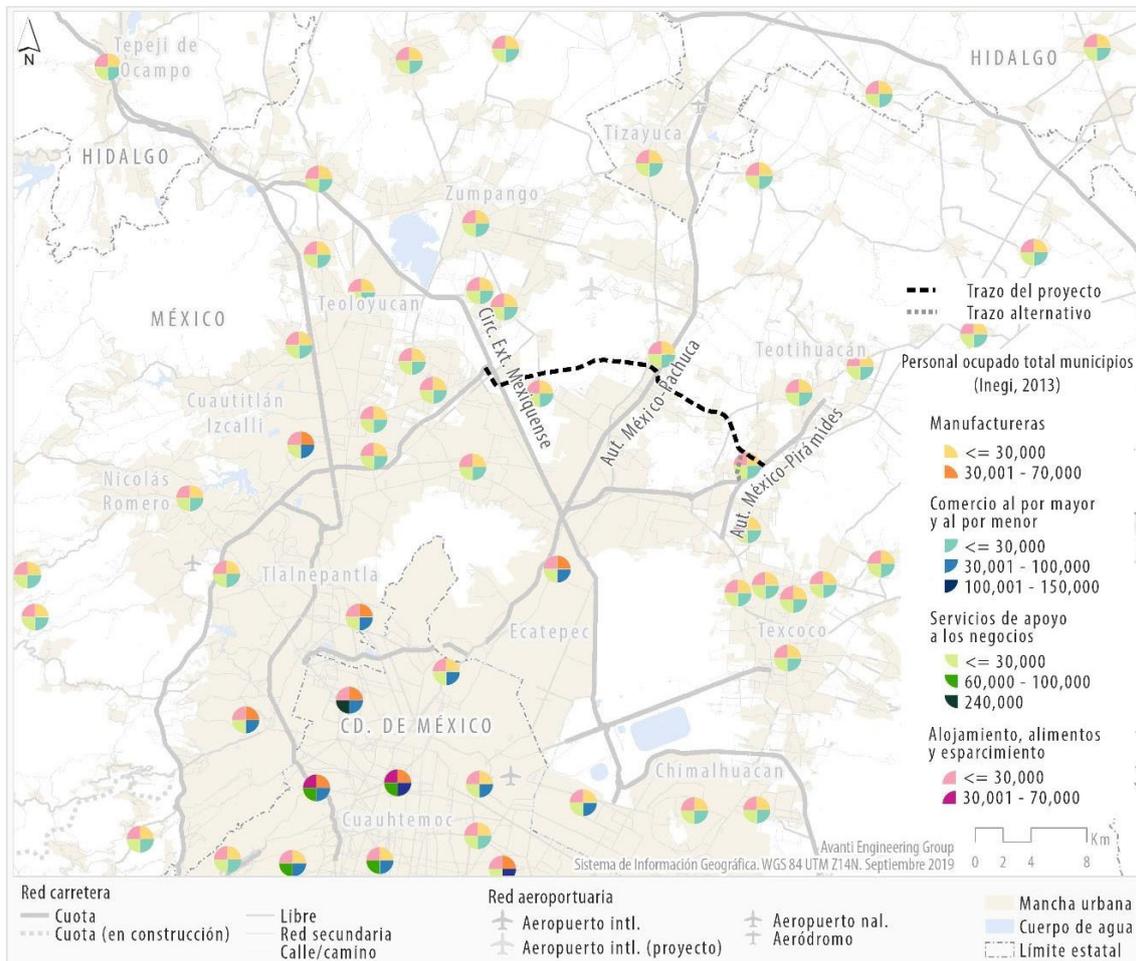


Figura 14. Producción bruta total municipios, año 2013.

En cuanto a la producción bruta total en los municipios/alcaldías analizadas para este proyecto, la alcaldía de Azcapotzalco tiene el valor más alto para el año 2013 con 171,224 millones de pesos (crecimiento entre 2008 y 2013 de 4%), seguida del municipio de Cuautitlán Izcalli con 124,755 millones de pesos (crecimiento entre 2008 y 2013 de 82%). Otros municipios con producción bruta total importante para 2013 son Tlalnepantla de Baz con 118,561 millones de pesos (crecimiento entre 2008 y 2013 de 6%), Naucalpan de Juárez con 98,018 millones de pesos (crecimiento entre 2008 y 2013 de 15%) y Ecatepec de Morelos con 92,921 millones de pesos (crecimiento entre 2008 y 2013 de 2%)

En la siguiente figura se puede observar el mapa de personal ocupado (número de empleados) por tipo de actividad económica que llevan a cabo para cada municipio inmerso en la zona de estudio.

Figura 15. Personal ocupado por tipo de actividad económica municipios, año 2013.



Profundizando un poco en el tema de empleo, podemos apreciar en el mapa anterior (datos censo económico 2013) que en la zona de interés predominan los empleados que trabajan en el sector comercio (494,136 empleados) y en el sector manufacturas (363,540 empleados) y en menor cantidad, los empleados que trabajan en servicios de apoyo a negocios (298,779 empleados) y en servicios de alojamiento, alimentos y esparcimiento (128,906 empleados).

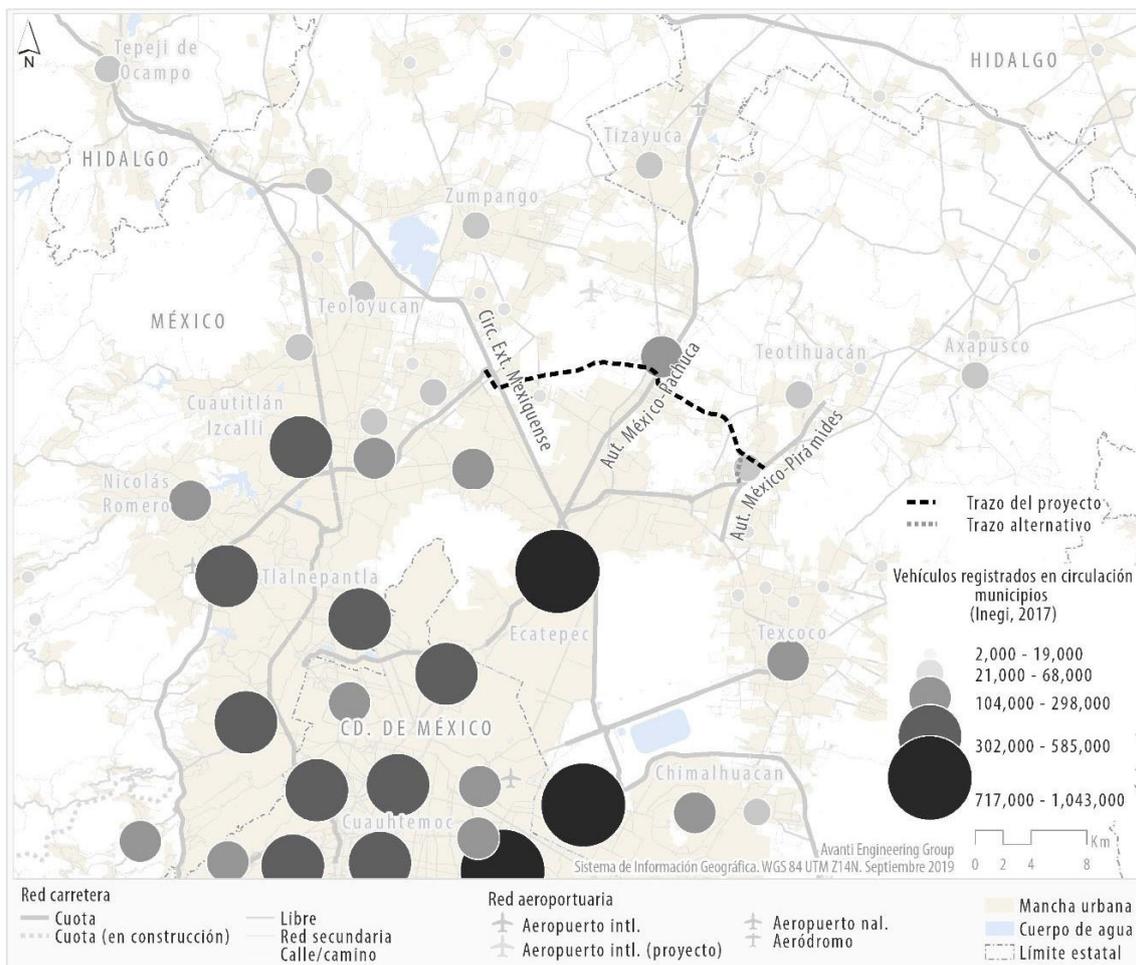
Los municipios/alcaldías con mayor número de empleados en el sector comercio (censo económico 2013) son Ecatepec de Morelos (83,815 empleados), Gustavo A. Madero (65,781 empleados) y Tlalnepantla de Baz (58,258 empleados). En cuanto al sector manufacturas, predominan Tlalnepantla de Baz (63,621 empleados), Ecatepec de Morelos (51,522 empleados) y Naucalpan de Juárez (46,633 empleados). Por su parte, en el sector de servicios de apoyo a negocios, resalta por encima de los demás municipios/alcaldías, Azcapotzalco, con 242,934 empleados. Por último, en el sector de servicios de alojamiento, alimentos y esparcimiento predominan Gustavo A. Madero con 22,218 empleados, Ecatepec de Morelos con 19,111 empleados y Naucalpan de Juárez con 15,322 empleados.

## 2.2.9. Vehículos registrados

### 2.2.9.1. Número de vehículos registrados

De acuerdo con los registros del Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (SIMBAD), en el año 2017 los vehículos registrados en las alcaldías y municipios relacionados al proyecto sumaron alrededor de 5,176,642 unidades motorizadas, siendo Ecatepec de Morelos el municipio con mayor número de vehículos de motor registrados en circulación con el 20%, seguido por Nezahualcóyotl con el 15%. Cabe mencionar que en el Estado de México existe un número alto de vehículos que realizan viajes entre las alcaldías de la Ciudad de México y los municipios de Estado de México.

Figura 16. Número de vehículos municipios, año 2017.

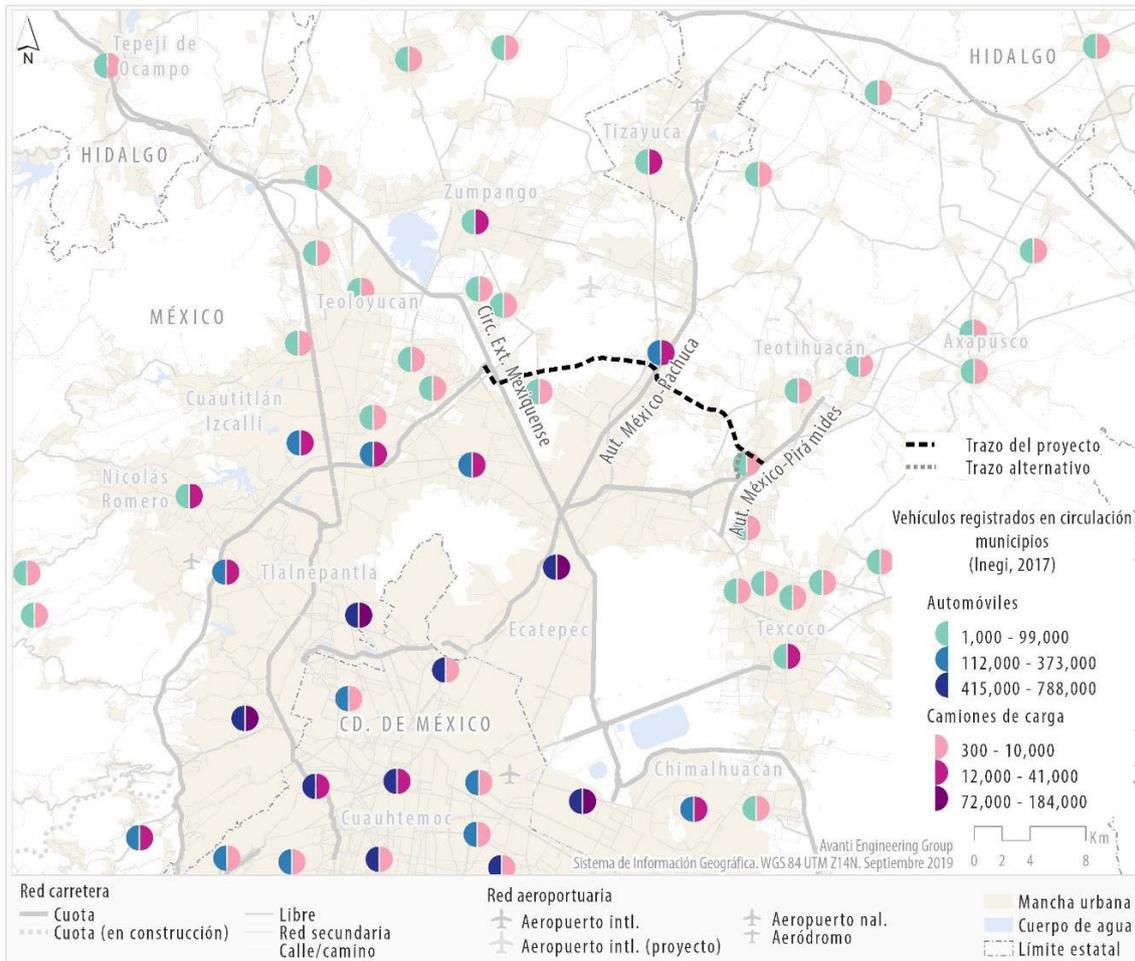


Debido a la presencia de distintos sectores económicos, en especial la industria, el flujo de camiones de carga es constante. Los camiones articulados y biarticulados en las entidades inmersas en la zona de estudio suman alrededor de 686,234 unidades, donde Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl representan 26.7% y 17.7% respectivamente.

En la figura siguiente se muestra el número de unidades por tipo de vehículo que aporta cada municipio/alcaldía inmersa en la zona de estudio. Los municipios como Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Tlalnepantla de Baz y Naucalpan de Juárez, se ubican en el rango superior con

72,000 a 184,000 camiones de carga por municipio y con 415,000 a 788,000 automóviles por municipio. En el caso de los automóviles, además de los municipios mencionados, la alcaldía Gustavo A. Madero también presenta un número importante de automóviles. Por lo anterior, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Tlalnepantla de Baz y Naucalpan de Juárez con los municipios que aportan mayor número de unidades tanto de transporte de carga como de transporte privado en la zona de estudio.

Figura 17. Número de unidades registradas por tipo de vehículo municipios, año 2017.



En la tabla que se muestra a continuación se puede observar con más detalle la tasa de motorización por tipo de vehículo para el año 2017.

Municipio	Motocicletas	Automóviles	Autobús de pasajeros	Camiones para carga	Total de Vehículos
Acolman	3,091	30,807	19	7,569	41,486
Coacalco de Berriozábal	11,634	150,785	241	30,960	193,620
Cuatitlán	4,577	54,434	626	7,896	67,533
Cuatitlán Izcalli	17,574	270,332	151	40,886	328,943
Ecatepec de Morelos	69,119	787,029	2,947	183,154	1,042,249
Huehuetoca	1,762	19,602	33	4,198	25,595
Naucalpan de Juárez	33,530	475,741	3,068	72,094	584,433
Nezahualcóyotl	72,227	581,274	1,662	121,173	776,336
San Martín de las Pirámides	367	6,504		2,545	9,416
Tecámac	13,452	156,646	278	35,726	206,102
Teotihuacán	1,605	20,934	89	5,609	28,237
Texcoco	9,506	98,117	715	23,185	131,523
Tlalnepantla de Baz	32,858	415,794	1,498	75,188	525,338
Tultepec	4,906	39,493	376	7,259	52,034
Tultitlán	15,817	165,833	549	31,391	213,590
Zumpango	4,514	46,914	579	14,491	66,498
Gustavo A. Madero	31,461	514,486	4,021	5,579	555,547
Azcapotzalco	15,097	275,931	1,248	5,200	297,476
Tizayuca	971	17,517	67	12,131	30,686

Tabla 12. Número y tipos de vehículo registrados, año 2017, en alcaldías/municipios área de influencia.

#### 2.2.9.2. Crecimiento de los vehículos registrados

Con respecto a la tasa de crecimiento vehicular, se observa que el Estado de México tuvo un crecimiento importante de vehículos. Los municipios que más se destacan son Tecámac, Zumpango y Huehuetoca que obtuvieron una tasa de crecimiento mayor al 100% y le siguen Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Coacalco de Berriozábal y Teotihuacán con una tasa de crecimiento entre el 90% y el 100%. Cabe destacar que el municipio de Tizayuca en el estado de Hidalgo presentó un decrecimiento de -40% en el número de vehículos registrados pasando de 50,943 vehículos en el año 2012 a 30,686 vehículos en 2017.

En la tabla siguiente, se puede observar el crecimiento de los vehículos en los municipios y alcaldías que corresponden a la zona de estudio.

Municipio	Vehículos registrados 2012	Vehículos registrados 2017	Tasa Crecimiento
Acolman	21,980	41,486	88.74%
Coacalco de Berriozábal	100,148	193,620	93.33%
Cuautitlán	39,049	67,533	72.94%
Cuautitlán Izcalli	206,347	328,943	59.41%
Ecatepec de Morelos	527,525	1,042,249	97.57%
Huehuetoca	12,460	25,595	105.42%
Naucalpan de Juárez	366,753	584,433	59.35%
Nezahualcóyotl	401,393	776,336	93.41%
San Martín de las Pirámides	5,366	9,416	75.48%
Tecámac	72,373	206,102	184.78%
Teotihuacán	14,844	28,237	90.23%
Texcoco	81,218	131,523	61.94%
Tlalnepantla de Baz	320,633	525,338	63.84%
Tultepec	28,529	52,034	82.39%
Tultitlán	129,016	213,590	65.55%
Zumpango	29,324	66,498	126.77%
Gustavo A. Madero	398,323	555,547	39.47%
Azcapotzalco	230,460	297,476	29.08%
Tizayuca	50,943	30,686	-39.76%

Tabla 13. Crecimiento vehículos registrados, años 2012-2017, en alcaldías/municipios área de influencia.

### 2.2.10. Índice de accidentalidad

El contenido de este apartado pretende dar a conocer el índice de accidentalidad vial de la zona de influencia del proyecto. En primer lugar, se analiza el número de accidentes automovilísticos identificados en los municipios y alcaldías representativas para el estudio. En segundo lugar, se analiza el histórico de accidentes entre el año 2010 y 2017 para los tramos de las carreteras México - Pachuca (Libre), México - Tizayuca (Cuota), Ecatepec - Pirámides, San Pedro Barrientos - Ecatepec y el Circuito Exterior Mexiquense.

#### 2.2.10.1. Accidentes en municipios/alcaldías área de influencia

De acuerdo con las estadísticas del INEGI para el año 2018 de accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas, los municipios/alcaldías de la zona de interés donde se presentaron el mayor número de accidentes fueron Ecatepec de Morelos con un registro de 4,031 accidentes (40%), Tlalnepantla de Baz con un registro de 2,007 accidentes (20%) y Gustavo A. Madero con un registro de 1,505 accidentes (15%).

Respecto al tipo de accidente, las estadísticas arrojaron que el más representativo fue el de tipo colisión con vehículo (75% con 7,592 casos) presentándose en su mayoría en los municipios/alcaldías antes mencionadas (Ecatepec de Morelos con 3,306, Tlalnepantla de Baz con 1,587 y Gustavo A. Madero con 972). En menor importancia se presentó colisión con objeto fijo (14% con 1,443 casos), siendo los más relevantes Ecatepec de Morelos con 699 registros,

Gustavo A. Madero con 276 registros y Tecámac con 187 registros. En tercer lugar, está colisión con motocicleta (5% con 491 casos) de los cuales 205 se dieron en Tlalnepantla de Baz.

Entidad	Colisión Vehículo	Colisión peatón	Colisión objeto fijo	Colisión motocicleta / ciclista	Otro	Total Accidentes
Acolman	1	-	-	-	-	1
Coacalco de Berriozábal	53	6	41	19	16	135
Cuautitlán	443	22	36	72	18	591
Cuautitlán Izcalli	9	3	3	3		18
Ecatepec de Morelos	3,306	1	699	8	17	4,031
Naucalpan de Juárez	184	9	10	1	7	211
Nezahualcóyotl	6	-	-	-	-	6
Tecámac	411	-	187	23	139	760
Tlalnepantla de Baz	1,587	94	70	217	39	2,007
Tultitlán	348	27	28	45	6	454
Gustavo A. Madero	972	135	276	104	18	1,505
Azcapotzalco	271	22	93	50	5	441
Tizayuca	1	-	-	-	-	1

Tabla 14. Número y tipo de accidentes registrados, año 2018, alcaldías/municipios área de influencia.

En cuanto a la causa de los accidentes la más común fue debido al conductor; por distracción o exceso de velocidad (77% con 7,790 casos) siendo Ecatepec de Morelos el municipio con mayor registro (4,009 casos), seguido de Gustavo A. Madero (1,295) y Tecámac (727). En menor porcentaje la causa de los accidentes se debió a la mala condición del camino (2% con 234 casos), donde la alcaldía de Gustavo A. Madero tuvo 156 registros.

#### 2.2.10.2. Accidentes por carretera

Los accidentes vehiculares registrados en las carreteras de la zona de influencia provocaron reducciones de carril y cortes a la circulación que afectaron el libre tránsito de los vehículos particulares y de transporte de carga. Estos percances fueron provocados en mayor medida por la irresponsabilidad de los usuarios al no respetar los límites de velocidad establecidos, además del estado del pavimento y las condiciones climatológicas, factores que también influyen en los accidentes.

De acuerdo con la información recopilada de los anuarios estadísticos de accidentes en carreteras federales emitido por el Instituto Mexicano del Transporte, entre el año 2010 y el año 2017 disminuyó el número de accidentes registrados y por ende el costo de los daños materiales.

Las tablas que se muestran a continuación contienen los registros anuales (2010-2017) de percances automovilísticos, costo por daños materiales, número de accidentes por kilómetro y su lugar a nivel nacional en función del número de accidentes registrados en las vialidades ubicadas en la zona de estudio.

México - Pachuca MEX-085 (Libre)				
Año	Accidentes	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentes por km	Lugar a nivel nacional
2010	166	395.06	1.818	35
2011	158	389.25	1.731	40
2012	99	260.43	1.084	77
2013	88	225.74	1.609	40
2014	117	270.93	2.139	35
2015	90	199.72	1.645	23
2016	46	106.35	0.586	61
2017	42	106.98	0.768	48

Tabla 15. Accidentes vehiculares en México - Pachuca MEX-085 libre (2010-2017).

La carretera México - Pachuca libre fue la vía en donde se presentaron el mayor número de accidentes automovilísticos de 2010 a 2017 (806 registros), los cuales generaron daños materiales por 1.9 millones de dólares, con un promedio de accidentes por km de 1.4. Cabe resaltar que a partir del año 2016 la carretera ha presentado una disminución de accidentes y por ende una baja en los daños materiales.

México - Tizayuca MEX-085D (Cuota)				
Año	Accidentes	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentes por km	Lugar a nivel nacional
2010	85	215.1	1.7	39
2011	90	239.22	1.8	39
2012	103	334.91	2.06	28
2013	72	193.25	1.469	46
2014	82	297.33	1.673	14
2015	76	238.2	1.551	28
2016	38	262.32	0.655	50
2017	29	81.91	0.592	75

Tabla 16. Accidentes vehiculares en México-Tizayuca MEX-085D cuota (2010-2017).

La carretera México - Tizayuca cuota registró 575 accidentes entre 2010 y 2017, los cuales generaron daños materiales por 1.8 millones de dólares, con un promedio de accidentes por km de 1.4. A pesar de que los accidentes presentaron un decremento en 2013 y luego a partir de 2015, la correlación con los daños materiales fue negativa en el año 2016, teniendo en cuenta que en el año inmediatamente anterior se obtuvo un registro de 76 accidentes con daños materiales de 238 miles de dólares, y en 2016 se redujeron los accidentes a la mitad pero el costo de los daños materiales se duplicó.

Ecatepec - Pirámides MEX - 132D				
Año	Accidentes	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentes por km	Lugar a nivel nacional
2010	46	93.48	2.063	29
2011	29	80.51	1.3	63
2012	21	91.1	0.942	101
2013	15	56.41	0.676	135
2014	27	56.73	1.216	36
2015	26	78.63	1.171	48
2016	3	4.81	0.135	335
2017	7	48.54	0.315	172

Tabla 17. Accidentes vehiculares en Ecatepec-Pirámides MEX-132D (2010-2017).

En cuanto a la vía Ecatepec - Pirámides cuota, ésta presentó muy pocos accidentes de 2010 a 2017 (174 registros), los cuales causaron daños materiales por 510,000 dólares, con un promedio de 1 accidente por km. El año con mayor número de accidentes automovilísticos fue 2010 y luego disminuyeron hasta 2013, con un ligero incremento en 2014 y 2015, logrando finalmente una reducción notable en los últimos años (2016 y 2017). En cuanto a la relación accidentes y daños materiales generados, se presenta un incremento notable en el 2017, pues aunque se presentaron pocos eventos su costo fue bastante alto en relación al total de accidentes para este año.

San Pedro Barrientos - Ecatepec MEX-138				
Año	Accidentes	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentes por km	Lugar a nivel nacional
2010	78	304.09	3.959	4
2011	69	186.84	3.503	6
2012	44	103.03	2.234	24

Tabla 18. Accidentes vehiculares en San Pedro Barrientos-Ecatepec MEX-138 (2010-2017).

En la vía San Pedro Barrientos - Ecatepec solo se obtuvieron datos para los años 2010, 2011 y 2012. En estos 3 años se registraron un total de 191 accidentes, que ocasionaron altos costos por daños materiales (594,000 de dólares), y se presentó un promedio de 3 accidentes por km. El año 2010 presentó el mayor número de eventos, 78 accidentes, mientras que para los años subsiguientes hubo una disminución en el número de casos.

Circuito Exterior Mexiquense EMX-057D				
Año	Accidentes	Daños materiales (miles de dólares)	Accidentes por km	Lugar a nivel nacional
2010	-	-	-	-
2011	1	1.21	0.05	508
2012	-	-	-	-
2013	-	-	-	-
2014	-	-	-	-
2015	-	-	-	-
2016	-	-	-	-
2017	1	2.64	0.011	486

Tabla 19. Accidentes vehiculares en Circuito Exterior Mexiquense EMX-057D (2010-2017).

Por último, el Circuito Exterior Mexiquense solo presenta datos para 2011 y 2017 en donde solo se registró un accidente para cada uno de los años mencionados.

### 2.3. Recopilación de información de campo

Una vez que se han descrito las características principales de la zona de influencia, se procede a desarrollar en este apartado la metodología empleada por Avanti EG para la realización de los estudios de campo.

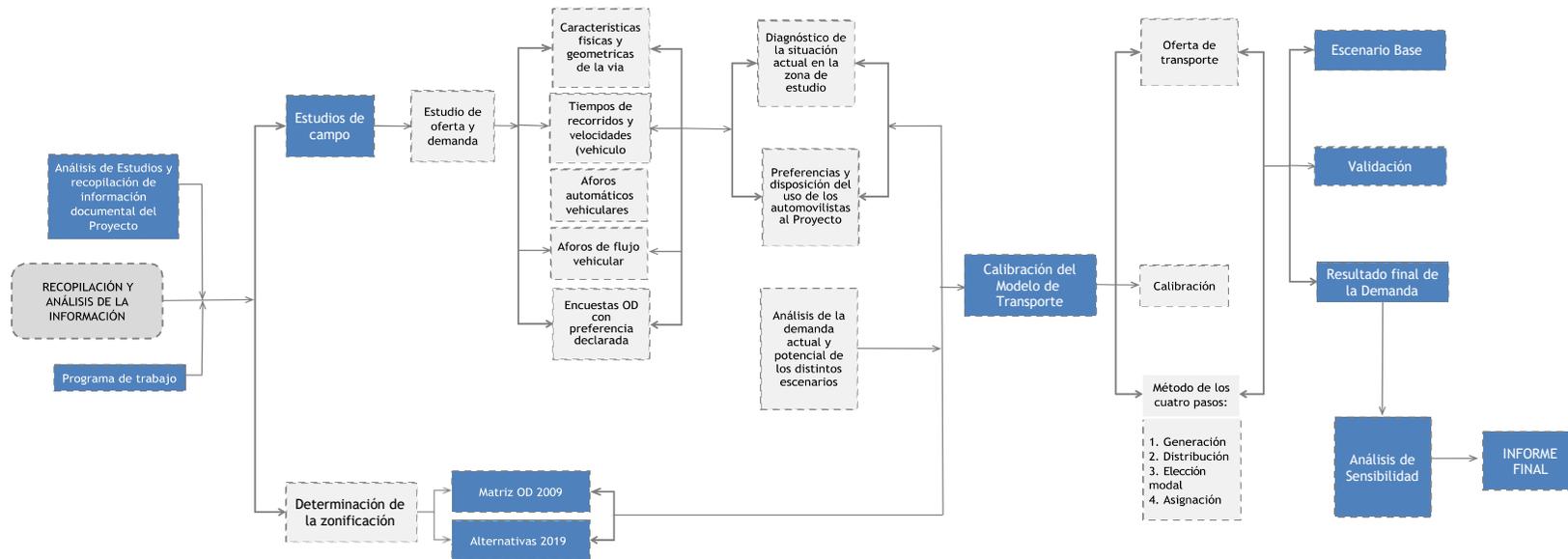


Figura 18. Metodología del estudio de demanda.

Los estudios de campo estuvieron conformados por la verificación de las características físicas y geométricas de las vialidades, los registros de tiempos de recorrido (método del vehículo flotante para automóvil, camión unitario y camión articulado), y la colocación de estaciones de aforo automático, aforo de calibración (con clasificación vehicular) y encuestas origen - destino con preferencia declarada, para conocer los patrones de viaje más sobresalientes, cuyos resultados se darán a conocer posteriormente.

El periodo comprendido para la realización de estos estudios fue del 09 al 26 de Octubre del año 2019.

Estudio	Realizado en campo	Metodología	Fecha de realización
Características físicas y geométricas de la vía	Inventario físico de vialidades	Levantamiento de los componentes viales en la zona de estudio	9 al 29 de octubre de 2019
Tiempos de recorrido y velocidad por el método del vehículo flotante	Recorrido en 7 vialidades de la zona de estudio	Recorridos en las vialidades de la zona de estudio y alrededores de las casetas de cobro para diferentes tipos de vehículo	9 de octubre al 26 de octubre de 2019
Encuestas origen - destino con Preferencia declarada	15,711 encuestas	Entrevista a conductores de automóviles y vehículos de carga.	12, 13, 17 y 19 de octubre de 2019
Aforo automático con clasificación vehicular	8 estaciones	Conteo automático con desagregación horaria durante 24 horas, siete días	9 al 23 de octubre de 2019
Aforo de flujo con clasificación vehicular	8 estaciones	Conteo manual con desagregación horaria durante 12 horas, cuatro días	15, 16 y 17 de octubre de 2019

Tabla 20. Síntesis de los estudios de campo realizados.

### 2.3.1. Características físicas y geométricas de la vialidad

Este estudio fue realizado mediante un recorrido de ida y uno de regreso sobre los siguientes tramos:

- Circuito Exterior Mexiquense (CEM)
- México - Pachuca Cuota (La Venta - Pachuca)
- Ecatepec - Pirámides Cuota (La Venta - Pirámides o México - Pirámides)
- México - Pachuca Libre
- Naucalpan - Ecatepec Cuota
- Ramal Circuito Exterior Mexiquense
- Av. López Portillo (Vía López Mateos)

La realización de los recorridos se llevó a cabo con el apoyo de una videocámara colocada en un automóvil la cual va registrando una serie de imágenes conforme se está avanzando en la vialidad.

La ubicación de los tramos de estudio se muestra en la figura siguiente.

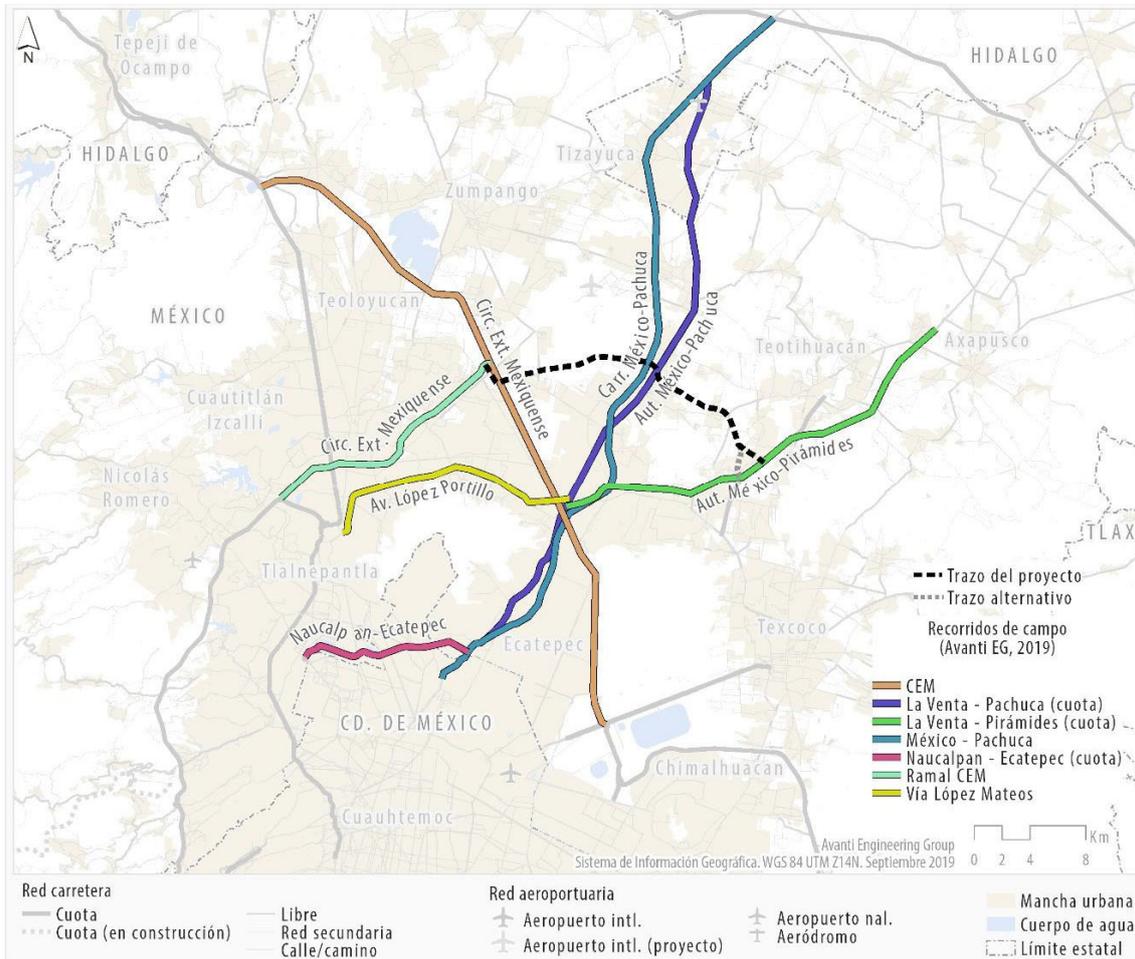


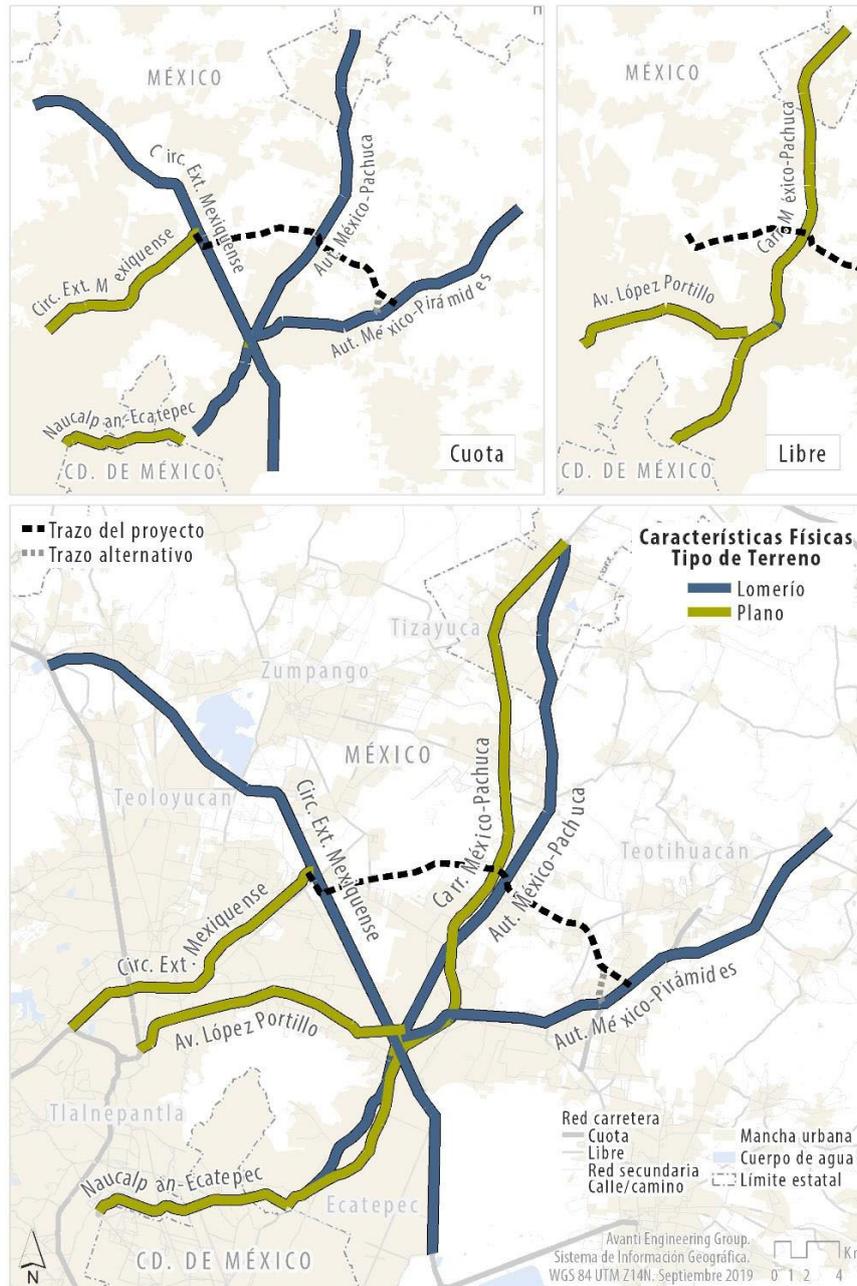
Figura 19. Ubicación de tramos analizados para características físicas y tiempos de recorrido.

### 2.3.1.1. Tipo de terreno

El tipo de terreno hace referencia a la estructura que presenta la red analizada expresada en tres tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

Dentro de la zona de estudio la mayoría de los recorridos analizados presentaron terrenos de tipo plano a excepción de la Autopista México - Pachuca, el Circuito Exterior Mexiquense y la Autopista Ecatepec - Pirámides que presentaron terreno lomerío, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. Tipo de terreno.

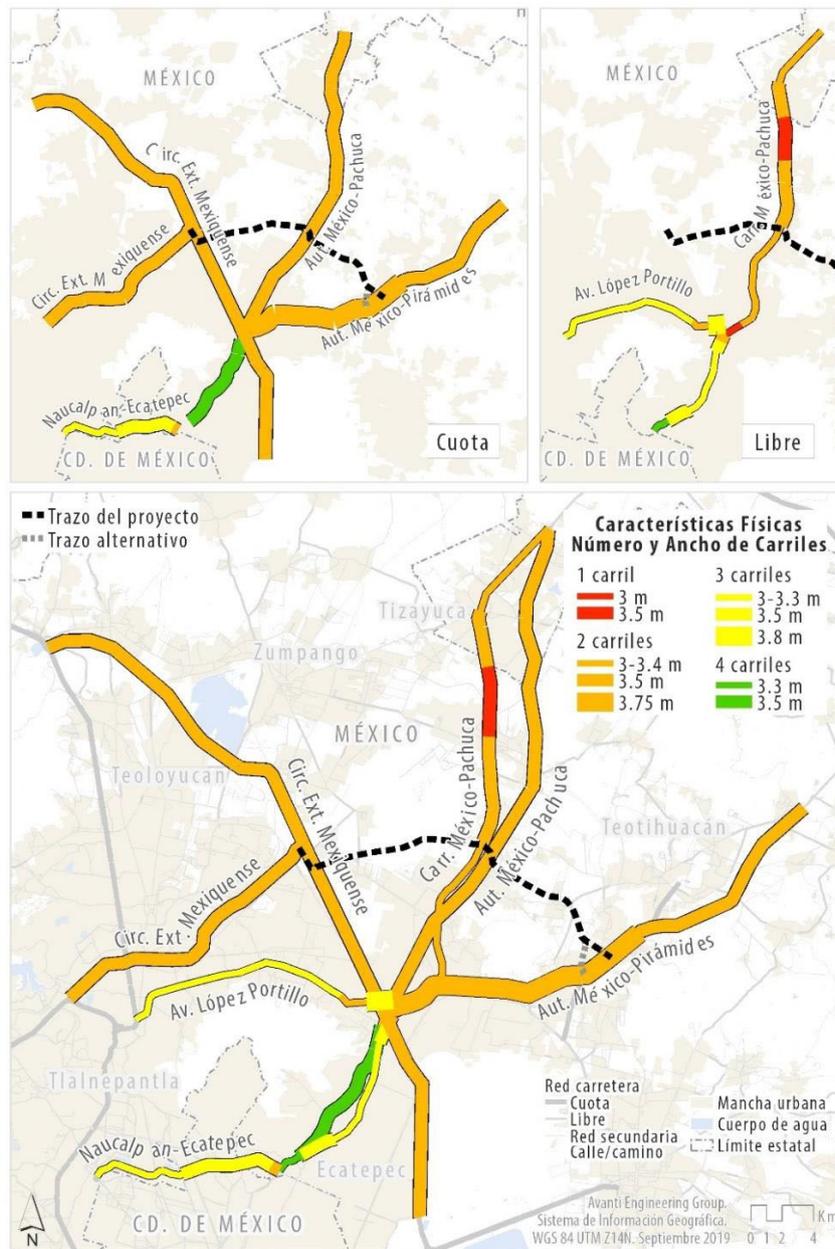


### 2.3.1.2. Número de carriles

El número de carriles identificado en la red de estudio muestra la capacidad de cada una de las vialidades analizadas; a mayor número de carriles, mayor número de vehículos circulando.

En general, las vialidades de la zona de estudio presentan dos carriles a lo largo de los recorridos analizados. Por su parte, la Av. López Portillo, la autopista Naucalpan-Ecatepec y la parte sur de la carretera libre México - Pachuca presentan tres carriles por sentido. La medida promedio de los carriles de las vías de estudio fue de 3.5 metros por sección como se puede observar en la siguiente figura.

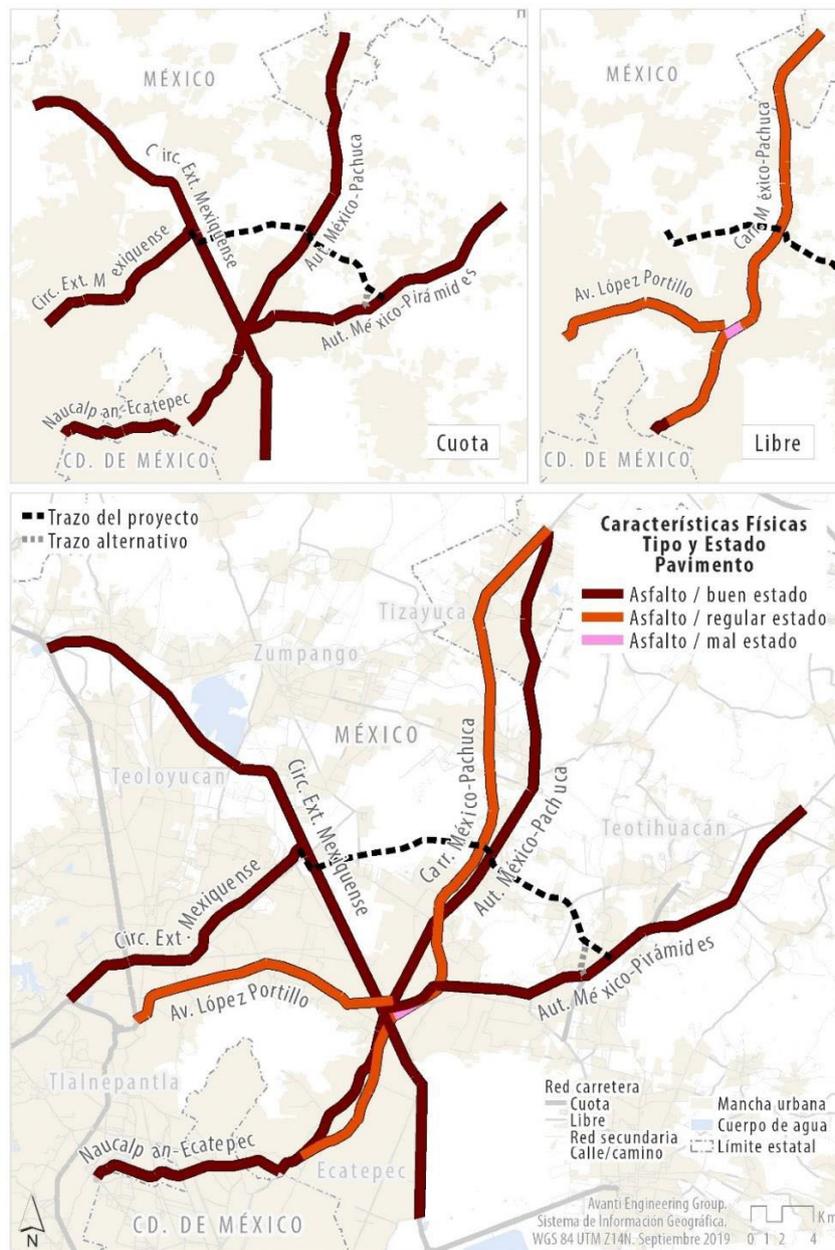
Figura 21. Número y ancho de carriles.



### 2.3.1.3. Pavimento

En los tramos analizados en este estudio, el pavimento es de tipo asfalto y a lo largo de los recorridos varía su estado. La Autopista México - Pachuca, el Circuito Exterior Mexiquense, la Autopista Ecatepec-Pirámides y la Autopista Naucalpan - Ecatepec presentan un estado bueno en su pavimento. Por otro lado, la Carretera México - Pachuca libre presenta, en la mayor parte del tramo de estudio, un estado regular; al igual que la Av. López Portillo, en la cual el estado del pavimento es a consecuencia del tránsito generado en la zona debido a la existencia de empresas de transporte de carga y a la falta de mantenimiento posterior a la construcción del Metrobús sobre la Carretera México - Pachuca libre. En la figura a continuación se aprecia el estado del pavimento.

Figura 22. Tipo y estado del pavimento.



#### 2.3.1.4. Faja separadora

Se refiere a la infraestructura vial horizontal que se encarga de regular el tránsito vehicular por sentido de circulación.

En la siguiente figura se puede observar que los dos tipos de faja separadora que predominan en la red de estudio son de tipo camellón con ancho variable y barra de concreto de 0.8 m de ancho. La Carretera México - Pachuca libre durante su recorrido presenta algunos tramos en donde su faja separadora es de doble pintura.

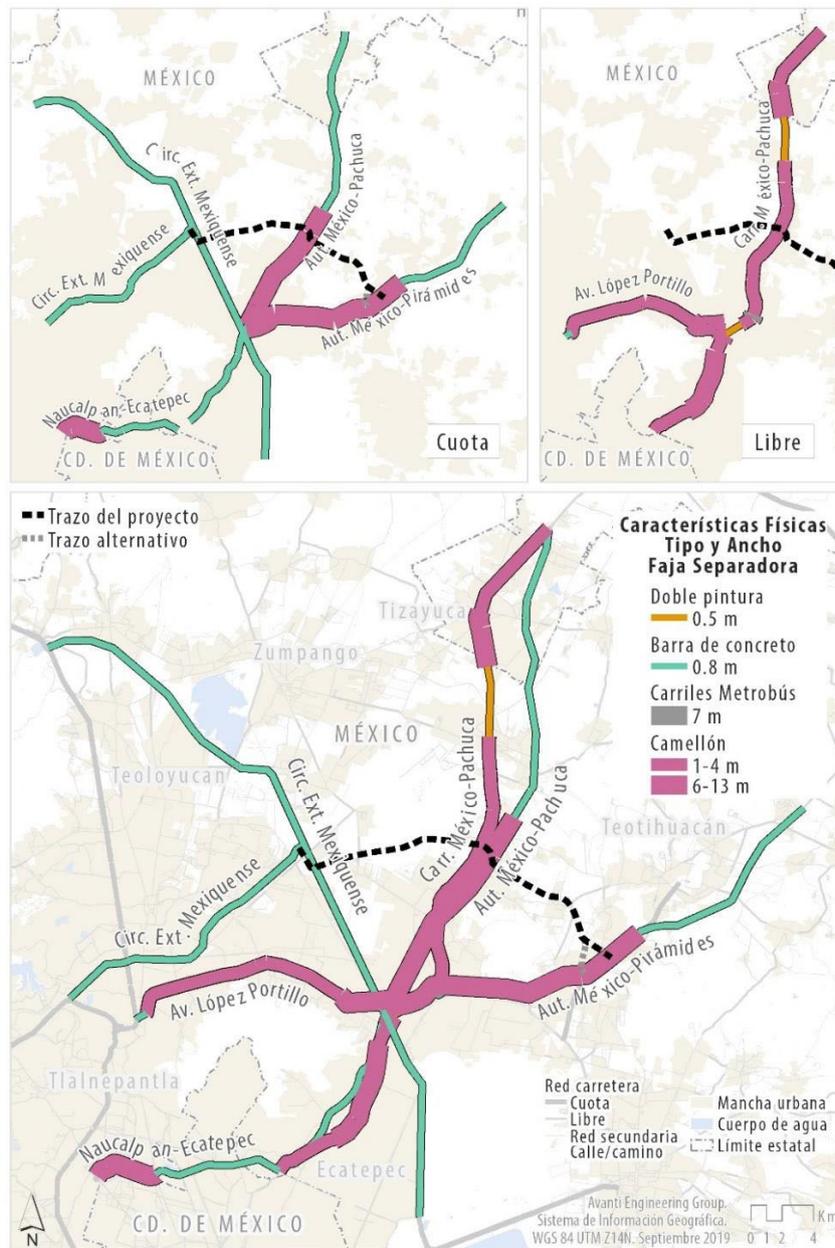


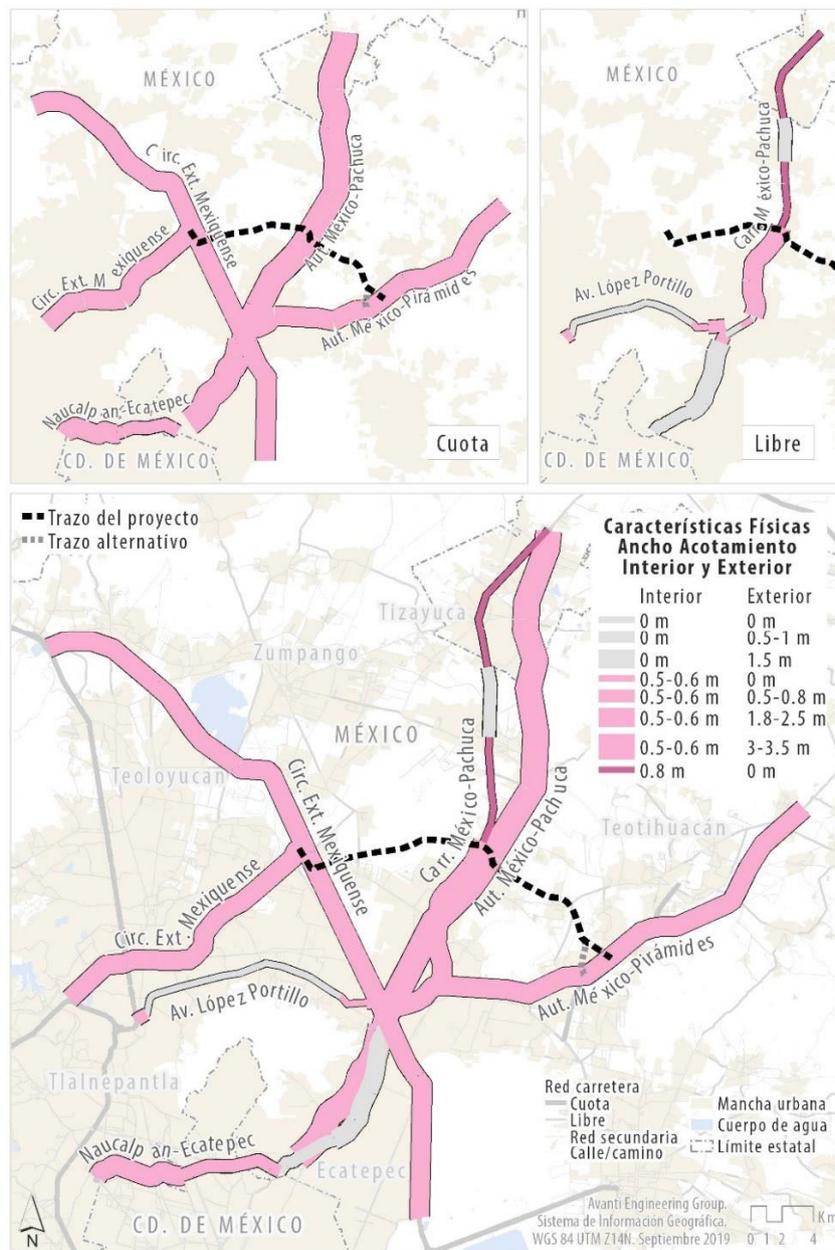
Figura 23. Tipo y ancho de faja separadora.

### 2.3.1.5. Acotamiento

Es una franja longitudinal contigua a la calzada, destinada específicamente para la parada o el estacionamiento eventual de los vehículos.

En los tramos carreteros de cuota analizados se identificó un acotamiento interno predominante de entre 0.5 y 0.6 metros, en conjunto con un acotamiento externo de 1.8 a 2.5 metros. Por su parte, la Av. López Portillo no presenta ningún tipo de acotamiento en la mayor parte de su recorrido y la carretera México - Pachuca libre varía en tipo y ancho de acotamiento dependiendo del tramo. En la figura a continuación se puede ver a detalle las características de los acotamientos en la red vial analizada.

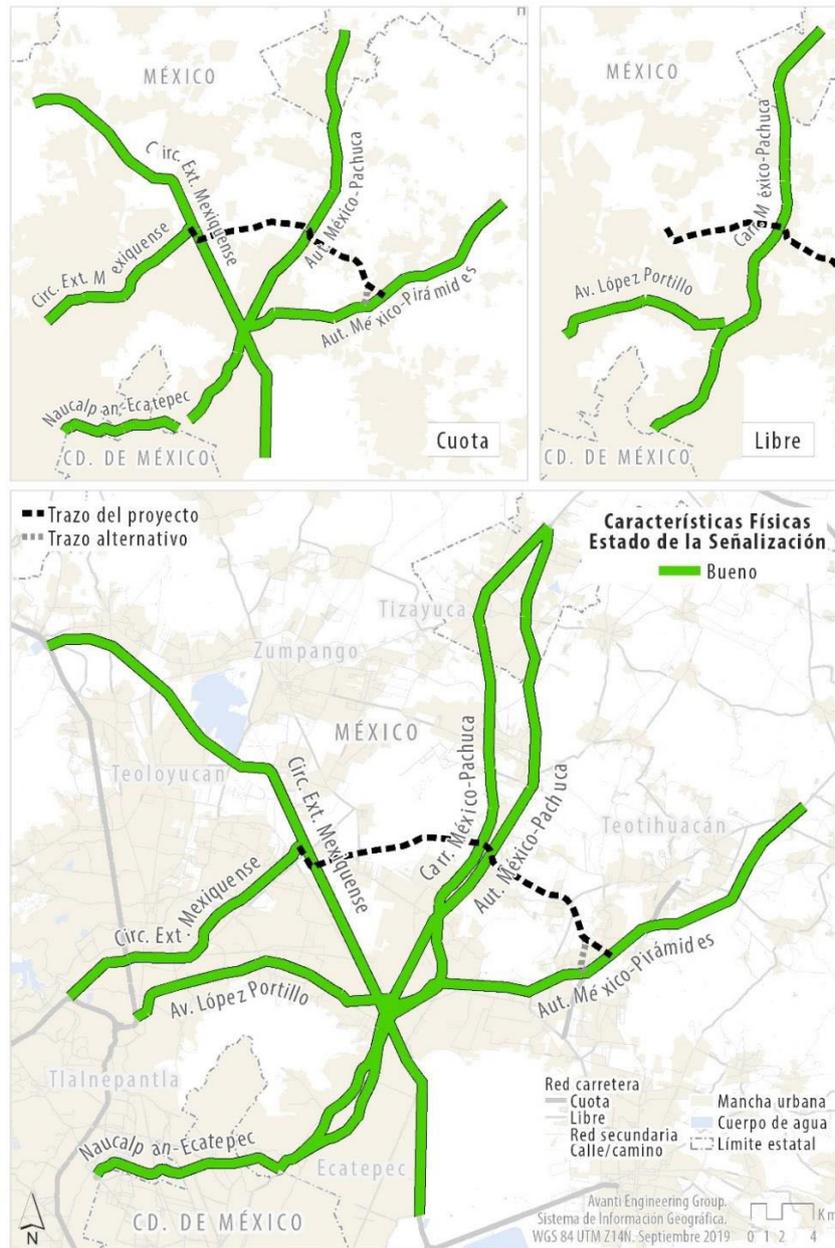
Figura 24. Acotamiento interior y exterior.



### 2.3.1.6. Estado de la señalización

En general, las condiciones físicas de las señales preventivas, restrictivas e informativas se mantienen en buen estado, lo que beneficia al buen tránsito de los vehículos, tal como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 25. Estado de la señalización.



### 2.3.1.7. Semáforos y reductores de velocidad

Como elementos importantes para el control del tránsito vehicular y peatonal en la red de estudio están los semáforos y reductores de velocidad, los cuales se concentran, en gran parte, en la Carretera libre México - Pachuca. Presentándose además semáforos en la Av. López Portillo y reductores de velocidad en ambos extremos en la Autopista Naucalpan-Ecatepec. En la figura siguiente se aprecia la ubicación a detalle de ambos elementos de control del tránsito.

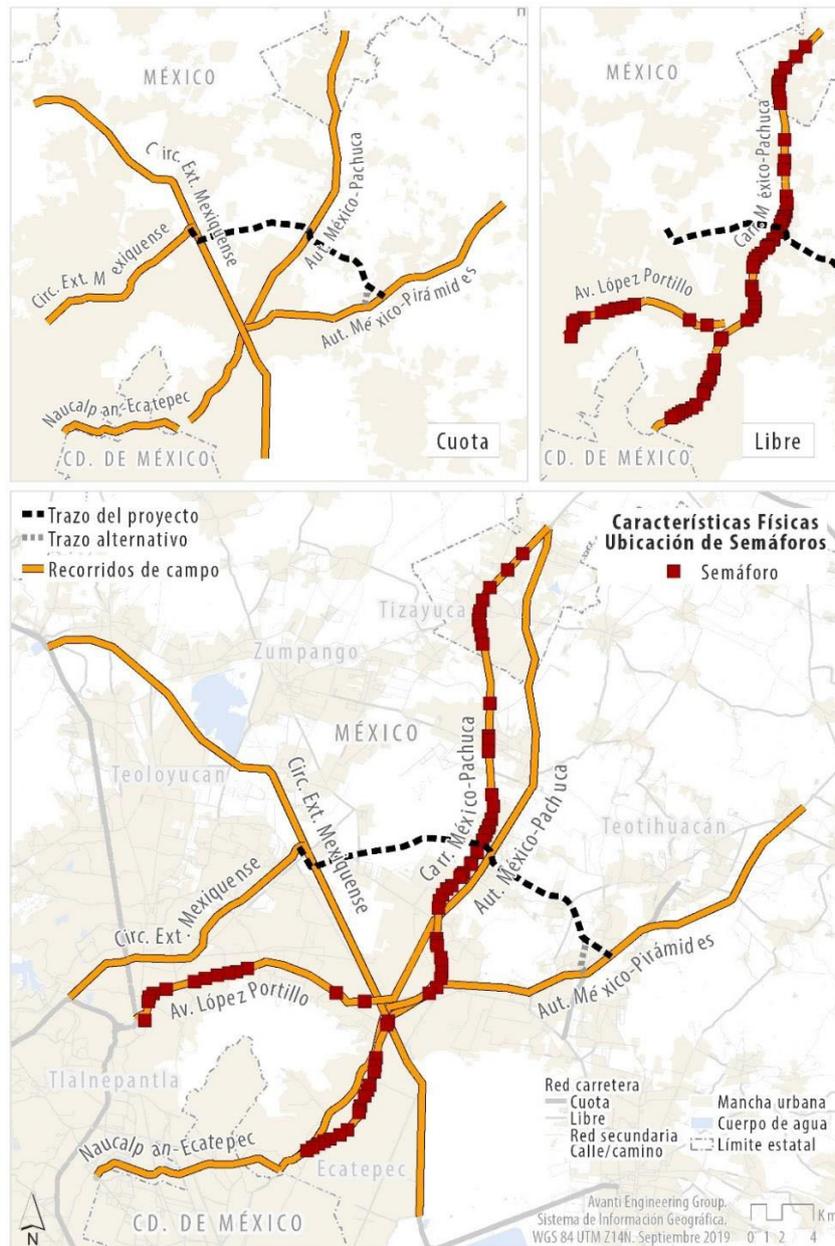


Figura 26. Ubicación de semáforos.

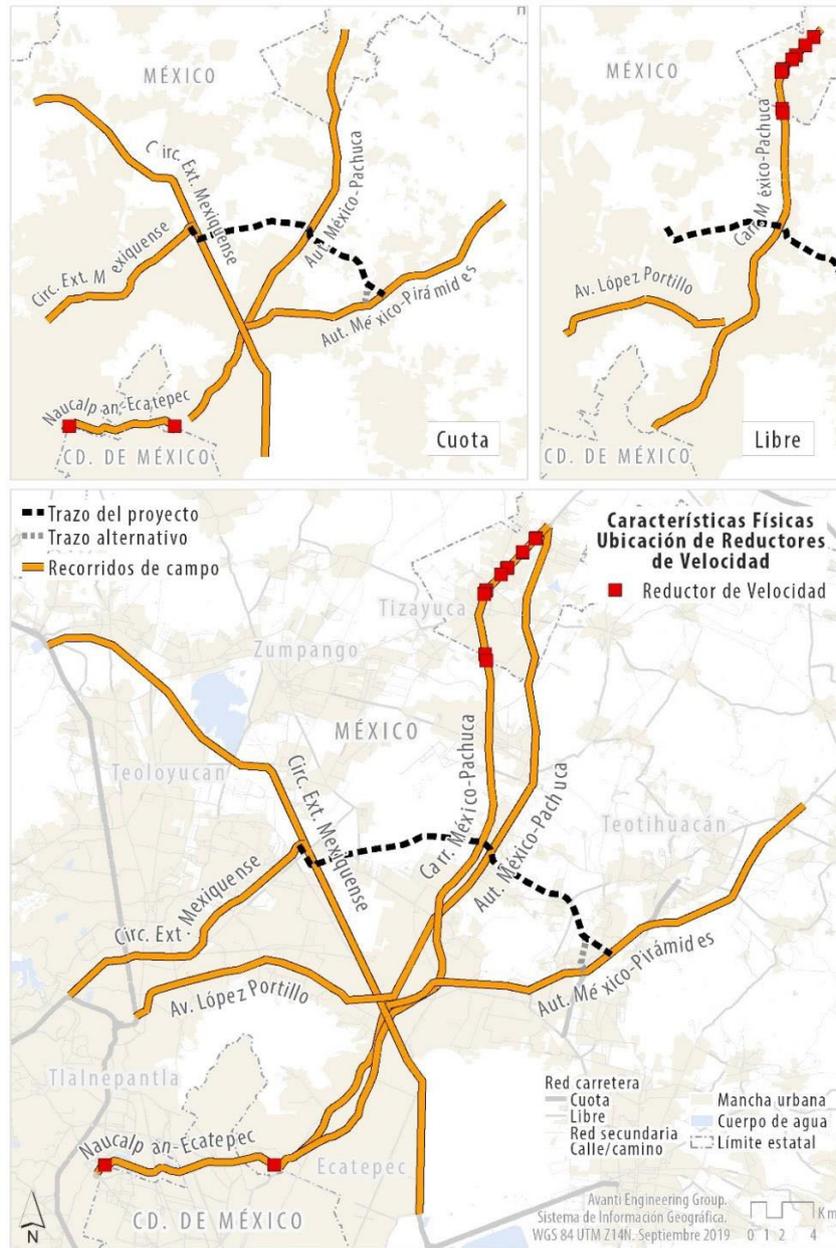


Figura 27. Ubicación de reductores de velocidad.

### 2.3.2. Tiempos de recorrido y velocidad por el método del vehículo flotante

El análisis de tiempos de recorrido y velocidades resulta imprescindible para poder conocer la calidad del servicio en un proyecto carretero, teniendo en cuenta la demanda vehicular en la zona de estudio.

El procedimiento empleado para la realización del estudio de tiempos de recorrido y velocidades se desarrolló por el método del vehículo flotante donde el copiloto a bordo de un automóvil va registrando el paso del vehículo por una serie de puntos de control y va midiendo la distancia recorrida y el tiempo transcurrido con la ayuda de un cronómetro y de un dispositivo GPS.

Esta metodología se aplicó para los automóviles y los camiones de carga que circulaban sobre las vialidades estudiadas. El estudio fue realizado durante un día entre semana y un día en fin de semana. El horario comprendido abarcó los movimientos de carga y de personas más representativos, considerando los siguientes periodos del día: hora pico (07:00 a 09:00 horas), hora valle (10:00 a 14:00 horas) y hora pico vespertino (16:00 a 18:00 horas).

#### 2.3.2.1. Velocidad automóvil

##### **Velocidad automóvil hora pico entre semana**

Para automóviles en el periodo de hora pico entre semana, la Autopista México - Pachuca presenta velocidades que van desde los 91 hasta los 97 km/h en secciones rectas del tramo, y velocidades de 78 a 90 km/h en secciones donde se presentan tramos con curvas. Para la Carretera México - Pachuca, la velocidad promedio es de 32 km/h, siendo la máxima 44 km/h y la mínima 22 km/h. De la misma forma, para la Av. López Portillo, la mayor parte de su recorrido presenta velocidades entre 21 y 26 km/h y en su extremo oriental alcanza velocidades hasta 45 km/h.

Dentro del Circuito Exterior Mexiquense, la velocidad máxima registrada es de 93 km/h y la velocidad promedio es de 78 km/h y el ramal que va hacia la Autopista Chamapa - La Venta presenta velocidad máxima de 68 km/h y velocidad promedio de 51 km/h. En cuanto al tramo de la Autopista Ecatepec-Pirámides, presenta velocidades de 64 km/h en el extremo sur y velocidades de 95 a 97 km/h en el resto del recorrido. Por último, la Autopista Naucalpan - Ecatepec presentó velocidades máximas de 74 km/h y mínimas de 52 km/h. En la figura a continuación se aprecian los rangos de velocidades para automóviles en hora pico entre semana teniendo en cuenta todas las vialidades analizadas.

##### **Velocidad automóvil hora valle entre semana**

En el periodo de hora valle entre semana para automóvil, los intervalos de velocidad registrados en la Autopista México - Pachuca estuvieron entre los 87 y 99 km/h. Para la Carretera México - Pachuca, las velocidades oscilaron entre los 19 y los 46 km/h, con un promedio de 29 km/h, debido, entre otras, a la presencia de dispositivos de control de tránsito; semáforos y reductores de velocidad.

Para el Circuito Exterior Mexiquense, la velocidad máxima fue de 93 km/h y la mínima fue de 47 km/h, presentando en promedio una velocidad de 66 km/h. En cuanto a su ramal, presentó velocidades de 57, 62 y 92 km/h dependiendo del tramo. La Av. López Portillo en la mayoría de su recorrido presentó velocidades entre 26 y 31 km/h. El tramo carretero de la Autopista Ecatepec - Pirámides presentó velocidades entre 80 y 97 km/h. En la figura más adelante se observan los rangos de velocidades para automóviles en hora valle entre semana teniendo en cuenta todas las vialidades analizadas.

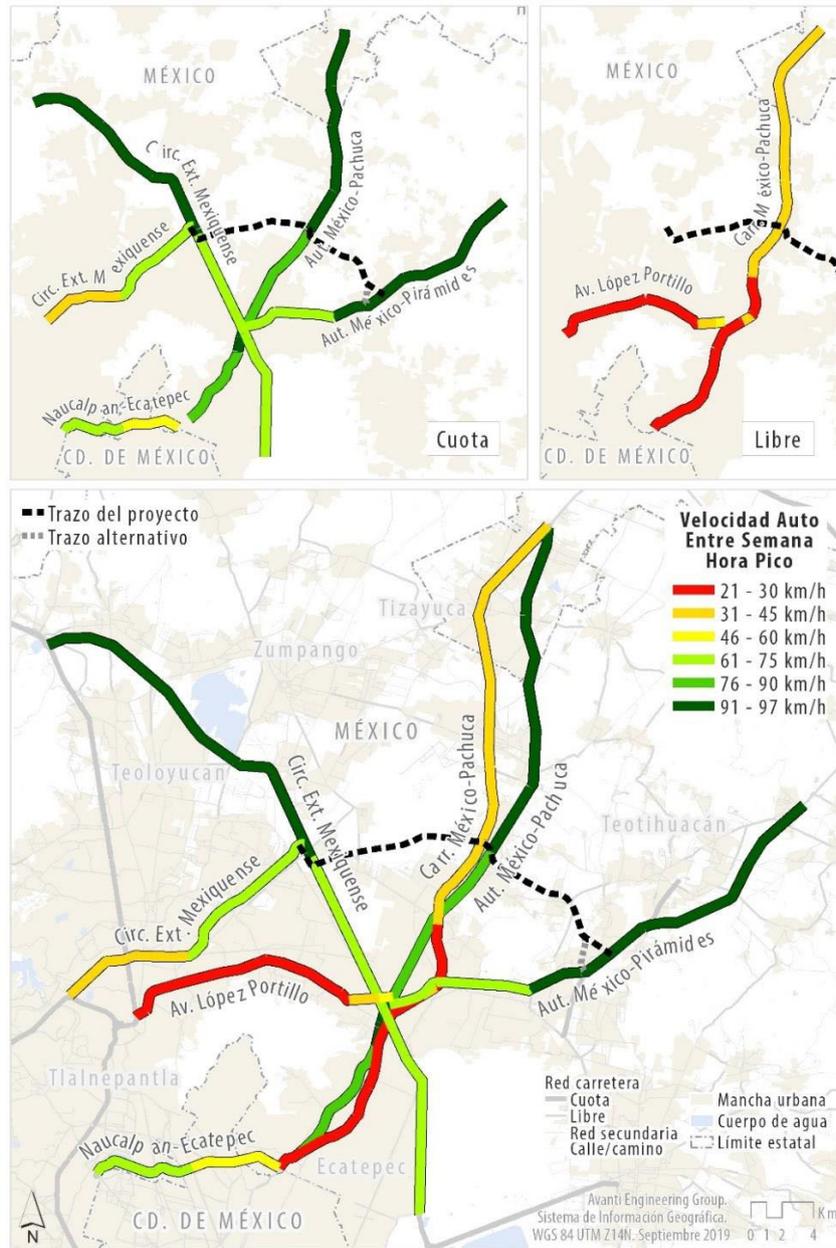


Figura 28. Velocidad automóvil hora pico entre semana en tramos analizados.

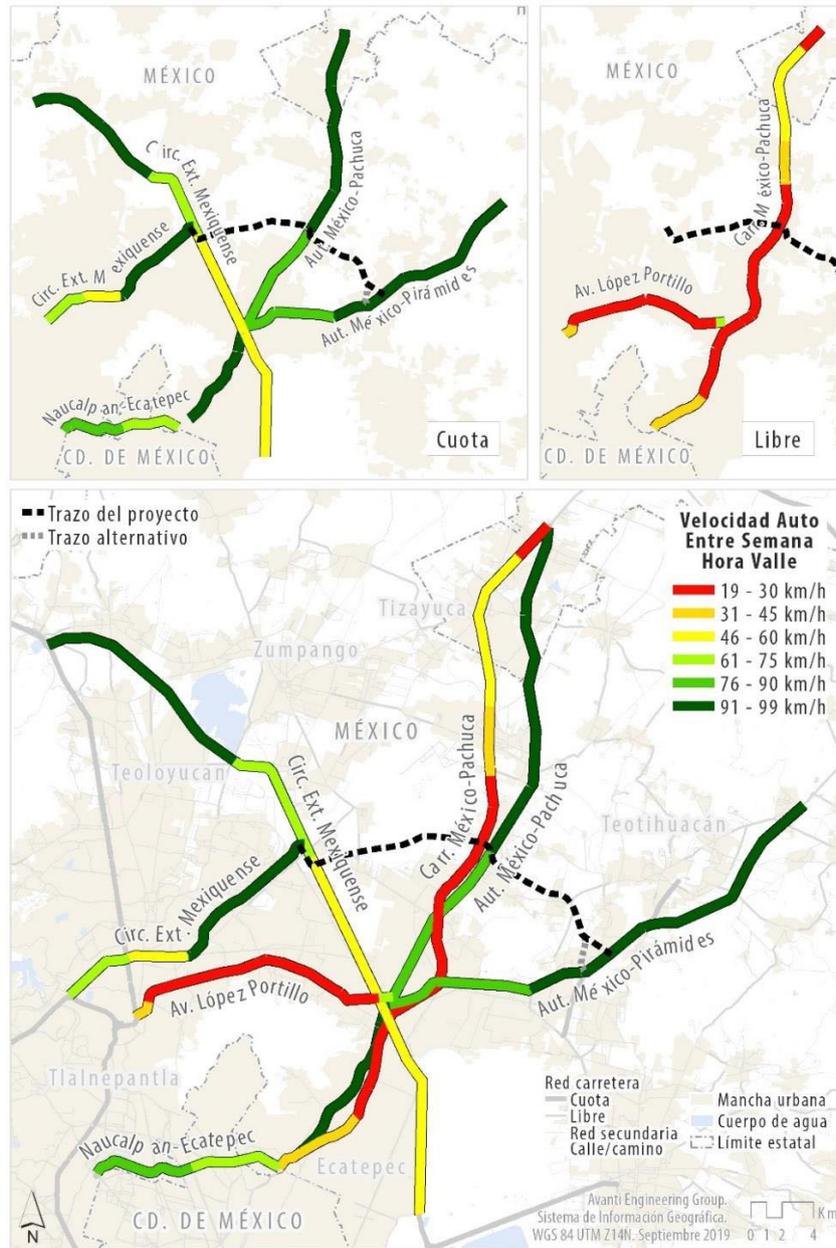


Figura 29. Velocidad automóvil hora valle entre semana en tramos analizados.

### 2.3.2.2. Velocidad camión

#### **Velocidad camión hora pico entre semana**

Los datos obtenidos para las velocidades de camión unitario en hora pico entre semana sobre las vialidades con peaje oscilan en la mayoría de los recorridos entre los 50 y los 74 km/h. Para las vialidades libres de cuota se presentaron velocidades inferiores con respecto a los tramos con peaje, oscilando en la mayoría de los casos entre los 23 y los 37 km/h.

Esto último debido a dos factores, reducciones de carril por la construcción del Metrobús a lo largo de la Carretera México - Pachuca libre, y presencia de dispositivos de control de tránsito, semáforos en ambas vías (Av. López Portillo y México - Pachuca) y reductores de velocidad en la México - Pachuca, que impiden el flujo continuo de los vehículos. En la figura a continuación se aprecian los rangos de velocidades para camión unitario en hora pico entre semana teniendo en cuenta todas las vialidades analizadas.

#### **Velocidad camión hora valle entre semana**

Para el periodo de hora valle entre semana para el transporte de carga, el estudio realizado en los tramos libres de peaje indica velocidades inferiores (22 a 48 km/h) respecto a las obtenidas en los tramos de cuota (49 a 75 km/h). Como se mencionó anteriormente, la presencia de dispositivos de control de tránsito afecta el flujo continuo de vehículos, observándose tanto en la Carretera México - Pachuca como en la Av. López Portillo, rangos de 22 a 48 km/h.

Las velocidades máximas son alcanzadas en los tramos de cuota, por ejemplo, el Circuito Exterior Mexiquense, tramo Jorobas - Ecatepec, presentó una máxima de 69 km/h y un promedio de 63 km/h; en la ramal del CEM, se registró una máxima de 73 km/h y un promedio de 61 km/h; en la Autopista Naucalpan - Ecatepec, se observaron velocidades de 49 y 66 km/h; y por último, en la Autopista Ecatepec - Pirámides se presentaron velocidades de 74 a 75 km/h y de 61 km/h dependiendo del tramo. En la figura más adelante se observan los rangos de velocidades para camión unitario en hora valle entre semana teniendo en cuenta todas las vialidades analizadas.

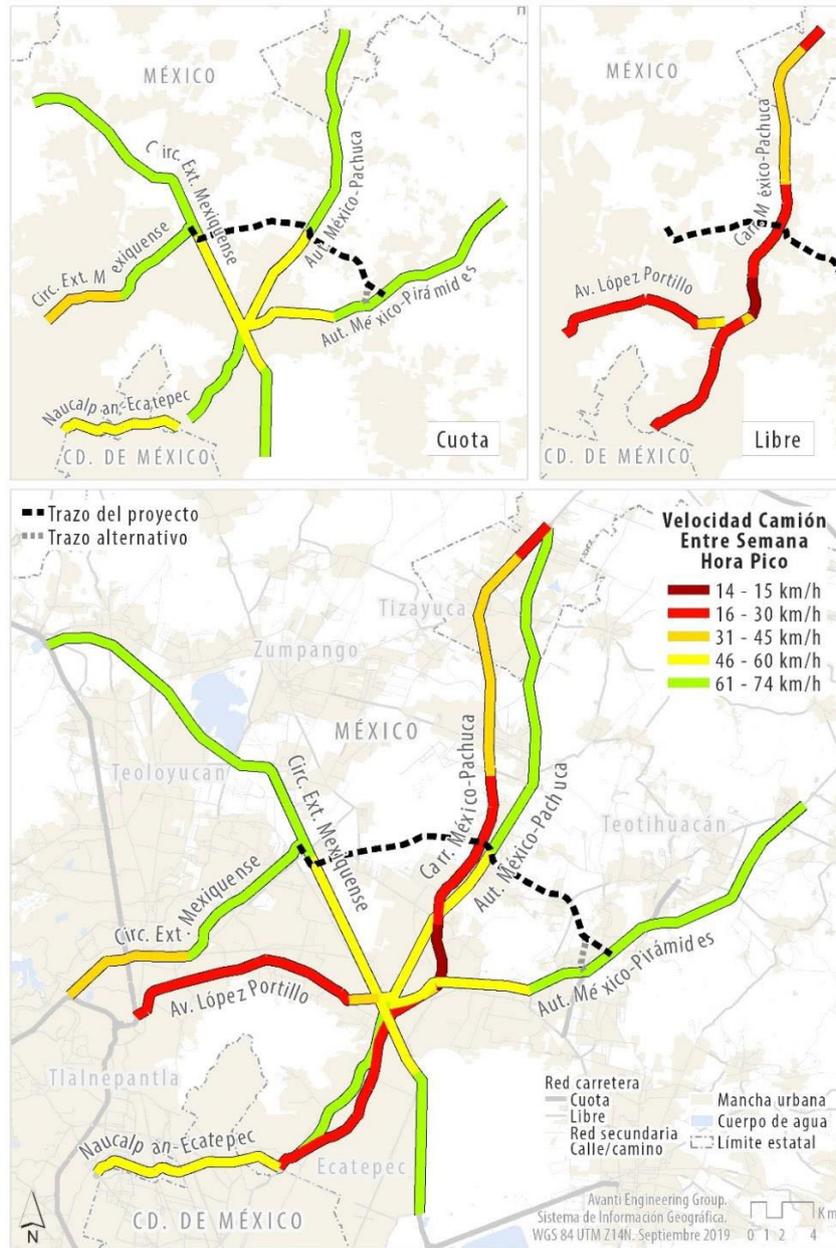


Figura 30. Velocidad camión hora pico entre semana en tramos analizados.

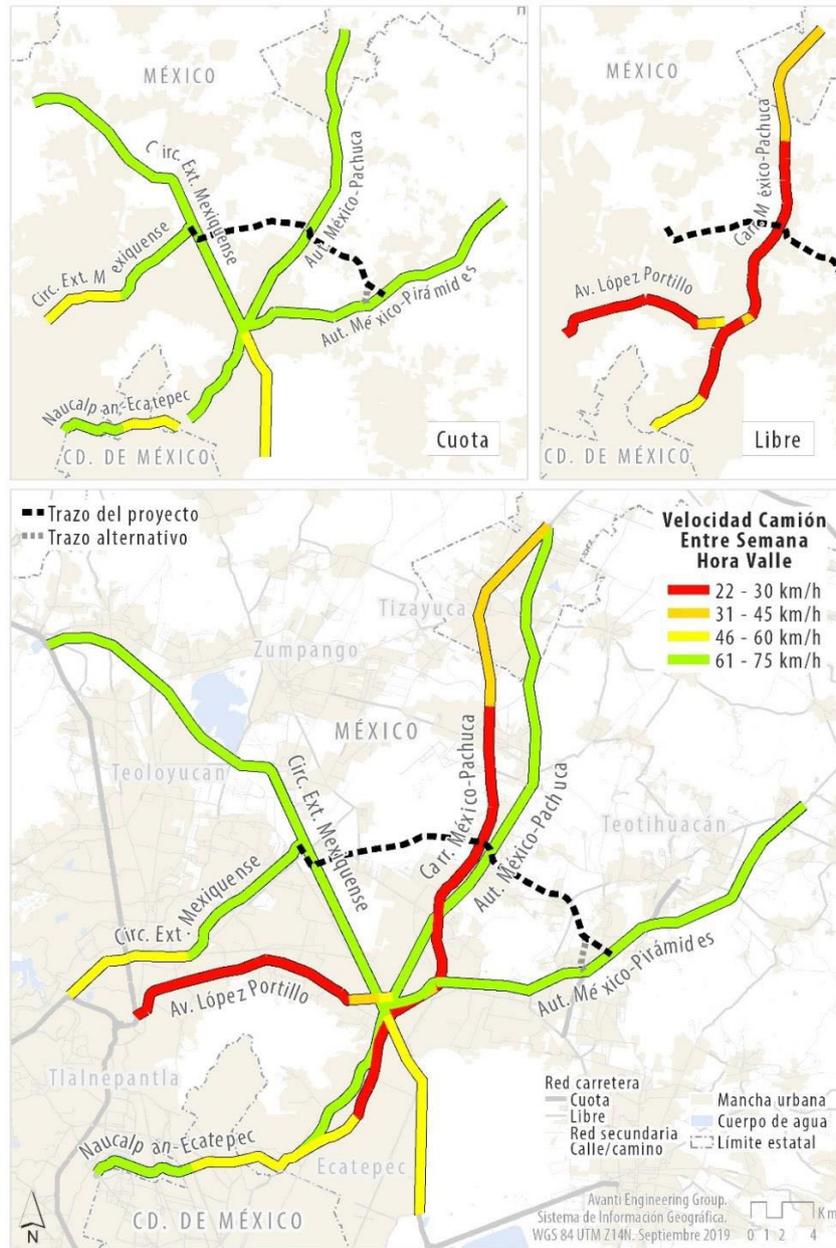


Figura 31. Velocidad camión hora valle entre semana en tramos analizados.

### 2.3.3. Encuesta Origen - Destino y de Preferencia Declarada

#### 2.3.3.1. Encuestas Origen - Destino

Para fines del estudio se llevó a cabo el levantamiento de encuestas de origen - destino y de Preferencia declarada distribuidas en 4 puntos: OD1 al norte, en la caseta Tultepec del Circuito Exterior Mexiquense; OD2 al sur, en la caseta Ojo de Agua de la Autopista México - Pachuca; OD3 más al sur, en la caseta Revolución de la Autopista México - Pachuca; y por último OD4 al sur, en la caseta Ecatepec de la Autopista Ecatepec - Pirámides. Estas encuestas fueron aplicadas a automovilistas y a los operarios de transporte de carga que cruzaban por los 4 puntos de aplicación de encuestas.

En la siguiente figura se aprecia la ubicación a detalle de cada una de las estaciones OD-PD.

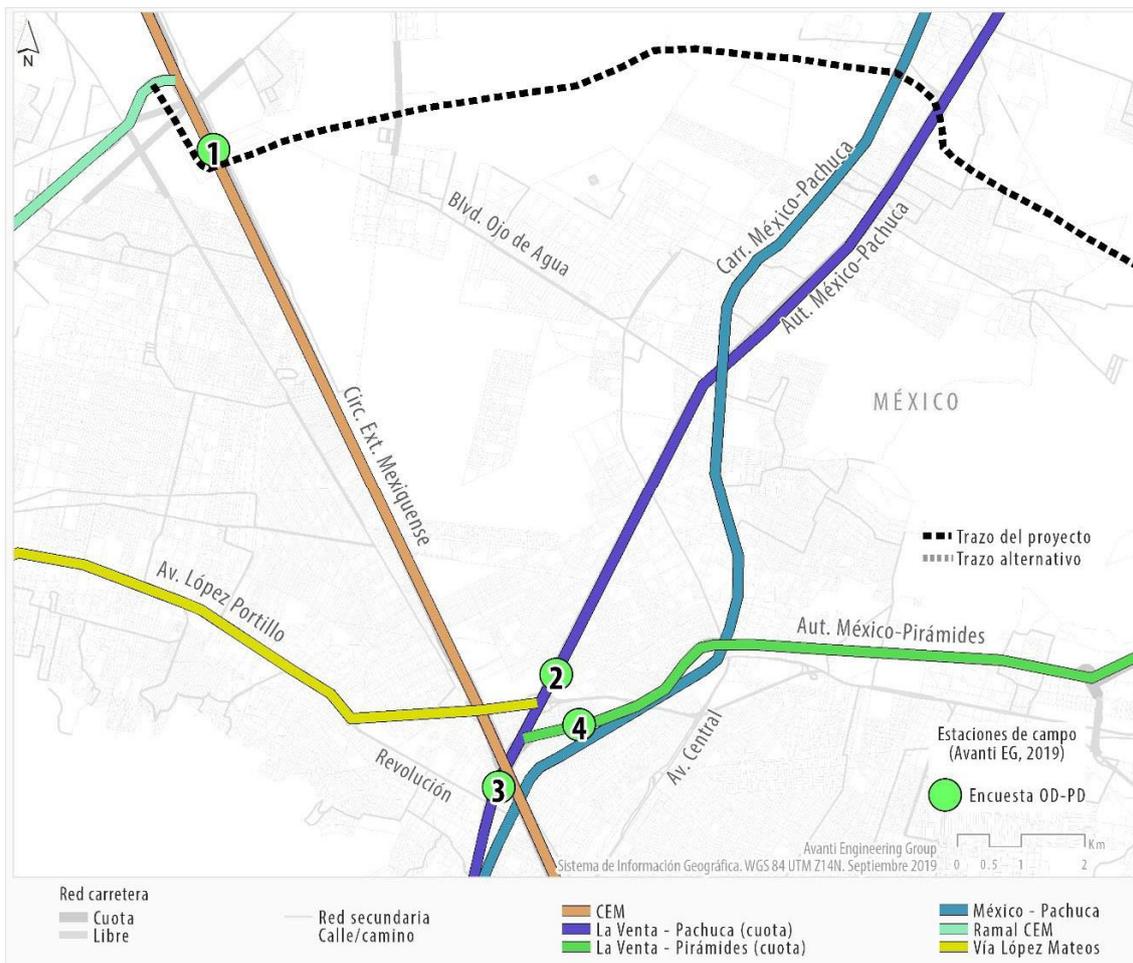


Figura 32. Ubicación de estaciones de aplicación de encuestas origen - destino.

A fin de conocer el comportamiento y la preferencia de viaje de los conductores de automóviles y camiones de carga, se diseñó y aplicó la encuesta origen - destino y algunas encuestas con Preferencia declarada, un día entre semana y un día en fin de semana, para cada una de las estaciones de encuesta, dentro de un periodo de 12 horas, iniciando a las 07:00 horas y finalizando a las 19:00 horas, dando como resultado un total de 15,711 encuestas recopiladas.

Cabe mencionar que para aplicar la encuesta a los conductores se realizó un cierre parcial de la vialidad con conos viales para disminuir y detener la marcha de los vehículos con el fin de poder aproximarse al conductor con el material necesario para poder realizar las preguntas de la encuesta de manera segura y eficaz.

En las figuras a continuación se pueden observar fotografías de cada estación de aplicación de encuestas origen - destino y de Preferencia declarada.

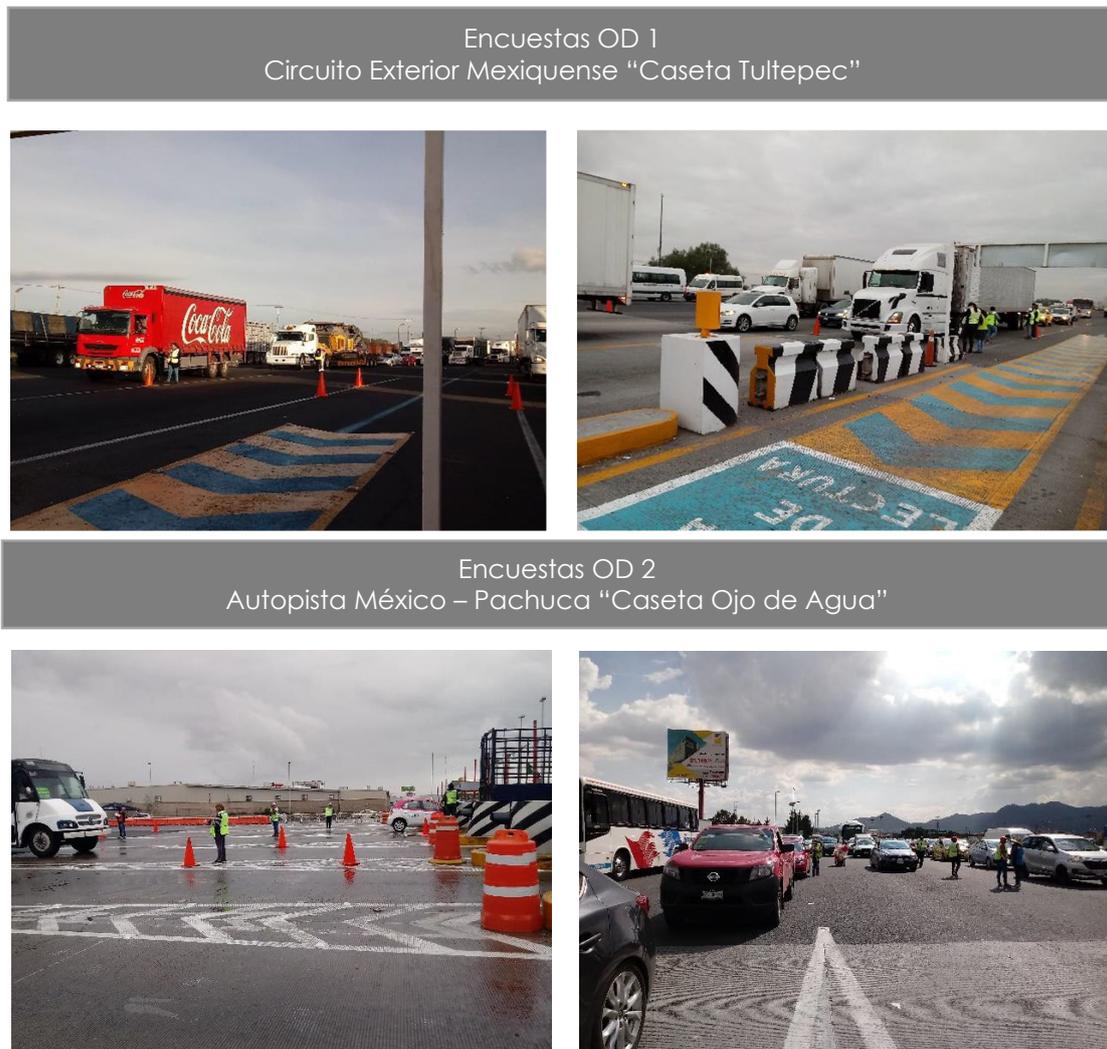


Figura 33. Fotografías aplicación de encuestas origen - destino, estación origen - destino 01 y origen - destino 02.

Para efectos del estudio, se aplicaron encuestas en los puntos donde la vialidad presentaba un flujo continuo de vehículos debido a la presencia de casetas de cobro de acceso y salida de las carreteras de cuota (Ecatepec - Pirámides, México- Pachuca, y Circuito Exterior Mexiquense). Dichas encuestas se hicieron a los conductores por grupos y en lapsos de tiempo donde el flujo de los vehículos fuera óptimo para no afectar la operación de las casetas.

Encuestas OD 3  
Autopista México – Pachuca “Caseta Revolución”



Encuestas OD 4  
Autopista Ecatepec – Pirámides “Caseta Ecatepec”



Figura 34. Fotografías aplicación de encuestas origen - destino, estación origen - destino 03 y origen - destino 04.

El formato utilizado para el levantamiento de las encuestas origen - destino y Preferencia declarada se diseñó con base a las características de la zona de estudio y de acuerdo al tipo de vehículo (automóvil o camión de carga) que sería analizado para efectos de este proyecto. Los formatos se muestran a continuación.



**ENCUESTA ORIGEN - DESTINO "AUTOMÓVILES"**

**Proyecto "Movilidad Carretera Tultepec - Pirámides"**



Estación:  1 Cto. Exterior Mexiquense     2 Ojo de Agua    Fecha: \_\_\_\_\_ de octubre de 2019

3 Revolución     4 Ecatepec-Pirámides

Sentido:     N-S     S-N    Supervisor: \_\_\_\_\_

**Periodo de encuesta**

7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 13	<input type="checkbox"/> 14	<input type="checkbox"/> 15	<input type="checkbox"/> 16	<input type="checkbox"/> 17	<input type="checkbox"/> 18

**1. ¿Dónde inició su viaje?**

ESTADO	MUNICIPIO
LOCALIDAD / COLONIA	

**2. ¿En dónde concluye su viaje?**

ESTADO	MUNICIPIO
LOCALIDAD / COLONIA	

**3. ¿Cuántas veces por semana realiza este mismo viaje?**

1 Ocasionalmente   
  2 Una vez   
  3 Dos a tres veces   
  4 Cuatro a cinco veces   
  5 Seis veces o más

**4. ¿Cuál es el motivo de su viaje?**

1 Trabajo   
  2 Recreación   
  3 Estudio   
  4 Compras   
  5 Visita familia/amigos   
  6 Otro \_\_\_\_\_

<p><b>5. ¿Cuántas personas viajan en el vehículo?</b></p> <p> <input type="checkbox"/> 1 Sólo el conductor    <input type="checkbox"/> 3 3 personas  <input type="checkbox"/> 2 2 personas    <input type="checkbox"/> 4 4 o más personas         </p>	<p><b>6. ¿Cuánto durará su viaje?</b></p> <p style="text-align: center;">           _____ HORAS    _____ MINUTOS         </p>
--	---

**7. ¿En este viaje utilizó o utilizará alguna de estas carreteras?**

1 Aut. México - Pachuca   
  2 Aut. Ecatepec - Pirámides   
  5 Otra \_\_\_\_\_  
 2 Carr. Libre México - Pachuca   
  4 Circuito Exterior Mexiquense

<p><b>8. ¿Quién toma la decisión para el pago de casetas?</b></p> <p> <input type="checkbox"/> 1 Conductor              <input type="checkbox"/> 2 Otro              <input type="checkbox"/> 3 No utiliza carreteras de cuota         </p>	<p><b>9. ¿Considera útil el uso de TAG para el pago de peajes?</b></p> <p> <input type="checkbox"/> 1 Sí    <input type="checkbox"/> 2 No         </p>
---	--

**10. ¿Cuál marca de TAG preferiría utilizar?**

1 IAVE   
  2 PASE   
  3 VIA PASS   
  4 TELEVÍA   
  5 Otro \_\_\_\_\_

**11. Por favor, ordene los siguientes parámetros por orden de importancia, cuando usted elije su ruta: (1 = el más importante, 3 = el menos importante)**

Costo	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/>	Tiempo	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/>	Seguridad	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/>	Otro (servicios, confort, etc)	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="3"/>
-------	--	--------	--	-----------	--	--------------------------------------	--

**12. ¿Cuál es su rango MENSUAL de ingresos?**

<input type="text" value="1"/> \$0 A \$2,000	<input type="text" value="3"/> \$6,001 a \$10,000	<input type="text" value="5"/> \$15,001 a \$20,000
<input type="text" value="2"/> \$2,001 a \$6,000	<input type="text" value="4"/> \$10,001 a \$15,000	<input type="text" value="6"/> Más de \$20,000

**13. Características del vehículo**

Año: \_\_\_\_\_

Marca: \_\_\_\_\_

Submarca: \_\_\_\_\_

**14. Género**

Femenino     Masculino

**15. ¿Cuál es su nivel de estudios?**

Ninguno     Primaria     Secundaria

Preparatoria     Universidad     Otro \_\_\_\_\_

PREFERENCIA DECLARADA

**16. Preferencia del Conductor**

Marcar el número del TARJETERO a usar:        

TARJETAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Opción 1	<input type="checkbox"/>								
Opción 2	<input type="checkbox"/>								
Opción 3	<input type="checkbox"/>								

Figura 35. Formato usado en campo para encuestas O-D/P-D para automóvil



### ENCUESTA ORIGEN - DESTINO "CAMIONES"

Proyecto "Movilidad Carretera Tultepec - Pirámides"



Estación:  Cto. Exterior Mexiquense     Ojo de Agua    Fecha: \_\_\_\_\_ de octubre de 2019

Revolución     Ecatepec-Pirámides

Sentido:         Supervisor: \_\_\_\_\_

**Periodo de encuesta**

7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="11"/>	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="13"/>	<input type="text" value="14"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="18"/>

<p><b>1. ¿Dónde inició su viaje?</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 50%; height: 40px;"></td><td style="width: 50%; height: 40px;"></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESTADO</td><td style="text-align: center;">MUNICIPIO</td></tr> <tr><td colspan="2" style="height: 40px;"></td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LOCALIDAD / COLONIA</td></tr> </table>			ESTADO	MUNICIPIO			LOCALIDAD / COLONIA		<p><b>2. ¿En dónde concluye su viaje?</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td style="width: 50%; height: 40px;"></td><td style="width: 50%; height: 40px;"></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">ESTADO</td><td style="text-align: center;">MUNICIPIO</td></tr> <tr><td colspan="2" style="height: 40px;"></td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LOCALIDAD / COLONIA</td></tr> </table>			ESTADO	MUNICIPIO			LOCALIDAD / COLONIA	
ESTADO	MUNICIPIO																
LOCALIDAD / COLONIA																	
ESTADO	MUNICIPIO																
LOCALIDAD / COLONIA																	

**3. ¿Cuántas veces por semana realiza este mismo viaje?**

Ocasionalmente     Una vez     Dos a tres veces     Cuatro a cinco veces     Seis veces o más

<p><b>4. ¿Cuántos ejes tiene la unidad?</b></p> <p><input type="text" value="1"/> De 2 a 4    <input type="text" value="2"/> De 5 a 6    <input type="text" value="3"/> 7 o más</p>	<p><b>6. Características del vehículo</b></p> <p>Año: _____</p> <p>Marca: _____</p> <p>Submarca: _____</p>
<p><b>5. ¿Trae carga?</b></p> <p><input type="text" value="SÍ"/> Sí _____ PESO TON    <input type="text" value="No. Viene de vacío"/> No. Viene de vacío</p>	

**7. ¿Cuál es el tipo de carga que transporta?**

Abarrotos y bebidas	<input type="text" value="1"/>	Petróleo y derivados	<input type="text" value="5"/>	Inorgánicos	<input type="text" value="9"/>
Agrícolas y forestales	<input type="text" value="2"/>	Electrodomésticos/Electrónica	<input type="text" value="6"/>	Industriales	<input type="text" value="10"/>
Animales y derivados	<input type="text" value="3"/>	Materiales Peligrosos	<input type="text" value="7"/>	Automóviles	<input type="text" value="11"/>
Minerales	<input type="text" value="4"/>	Materiales para construcción	<input type="text" value="8"/>	Otro (Especifique):	

<p><b>8. ¿Tipo de combustible que utiliza?</b></p> <p><input type="text" value="1"/> Gasolina    <input type="text" value="2"/> Diesel    <input type="text" value="3"/> Gas Licuado</p>	<p><b>9. ¿Cuánto durará su viaje?</b></p> <p>_____ HORAS    _____ MINUTOS</p>
--	---

**10. ¿En este viaje utilizó o utilizará alguna de estas carreteras?**

<input type="text" value="1"/> Aut. México - Pachuca	<input type="text" value="3"/> Aut. Ecatepec - Pirámides	<input type="text" value="5"/> Otra _____
<input type="text" value="2"/> Carr. Libre México - Pachuca	<input type="text" value="4"/> Circuito Exterior Mexiquense	

<b>11. ¿Quién toma la decisión para el pago de casetas?</b> <input type="checkbox"/> 1 Conductor <input type="checkbox"/> 2 Otro <input type="checkbox"/> 3 No utiliza carreteras de cuota	<b>12. ¿Considera útil el uso de TAG para el pago de peajes?</b> <input type="checkbox"/> 1 Sí <input type="checkbox"/> 2 No																																								
<b>13. ¿Cuál marca de TAG preferiría utilizar?</b> <input type="checkbox"/> 1 IAVE <input type="checkbox"/> 2 PASE <input type="checkbox"/> 3 VIA PASS <input type="checkbox"/> 4 TELEVÍA <input type="checkbox"/> 5 Otro _____																																									
<b>14. Por favor, ordene los siguientes parámetros por orden de importancia, cuando usted elije su ruta: (1 = el más importante, 3 = el menos importante)</b>																																									
Costo <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">3</td></tr> </table>	1	2	3	Tiempo <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">3</td></tr> </table>	1	2	3	Seguridad <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">3</td></tr> </table>	1	2	3	Otro (servicios, confort, etc) <table style="display: inline-table; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">2</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">3</td></tr> </table>	1	2	3																										
1																																									
2																																									
3																																									
1																																									
2																																									
3																																									
1																																									
2																																									
3																																									
1																																									
2																																									
3																																									
<b>PREFERENCIA DECLARADA</b>																																									
<b>15. Preferencia del Conductor</b> Marcar el número del TARJETERO a usar: <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">TARJETAS</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T1</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T2</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T3</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T4</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T5</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T6</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T7</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T8</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">T9</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>Opción 1</b></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>Opción 2</b></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>Opción 3</b></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>	TARJETAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	<b>Opción 1</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<b>Opción 2</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Opción 3</b>	<input type="checkbox"/>																	
TARJETAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9																																
<b>Opción 1</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
<b>Opción 2</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
<b>Opción 3</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																

Figura 36. Formato usado en campo para encuestas O-D/P-D para camión de carga.

El objetivo por el cual se diseñó la encuesta origen - destino con Preferencia declarada fue para que la información recolectada reflejara de la manera más adecuada y eficiente las condiciones en un futuro real con las que el usuario pudiera identificarse.

Al comienzo de la encuesta se identifican dos aspectos principales, el tipo de usuario y la zona de viajes. Para el tipo de usuario se identifica si utiliza el transporte privado automóvil o si es operador de transporte de carga. Para la zona de viajes, se especifica si el viaje involucra un origen y/o destino en la zona conurbada del estudio o bien si el viaje involucra otra región del país.

En general la encuesta está estructurada en las siguientes secciones:

- Tipo de encuesta
- Características del viaje
- Caracterización socioeconómica

El procedimiento para el correcto llenado de la encuesta comienza con la identificación de acuerdo con el tipo de persona a entrevistar, si es usuario de transporte privado automóvil o si es operador de transporte de carga. De esta manera el encuestador procede a llenar correctamente cada uno de los campos que permiten identificar las características del viaje en cuestión.

En las características del viaje se registra el origen del viaje, el destino del viaje, la frecuencia con que se realiza el viaje, el motivo de viaje, las características del vehículo y en el caso de la carga, la capacidad del vehículo, así como el tipo de carga transportada.

En la caracterización socioeconómica se pregunta y registra el rango de ingreso mensual de los entrevistados, con el fin de conocer el nivel socioeconómico representativo de la zona de estudio.

Como dato importante, en ambos tipos de vehículo (automóvil y camión de carga) se pregunta qué carreteras utiliza durante su viaje y en caso de haber tramos de cuota, quién toma la decisión del pago de casetas.

A raíz de la aplicación de la encuesta origen - destino se pueden reportar detalles del viaje tales como:

- Inicio de viaje. Información de localidad/colonia, municipio/alcaldía y estado donde inició el viaje de la persona encuestada.
- Concluye viaje. Información de localidad/colonia, municipio/alcaldía y estado donde finaliza el viaje de la persona encuestada.
- Frecuencia de viaje. Número total de viajes similares realizados por el entrevistado en el periodo de una semana.
- Motivo de viaje. Propósito que tiene la realización del viaje para el encuestado.
- Personas en el vehículo. Número de personas que realizan el viaje.
- Decisión del pago de la caseta. Persona que toma la decisión de pagar o no por su viaje, en las plazas de cobro establecidas en las carreteras de cuota; pudiendo ser el automovilista o la empresa de transporte de carga.
- Importancia y uso del TAG. Percepción y preferencia del TAG (utilidad y marca).
- Rango de ingresos. Nivel de ingresos que el encuestado obtiene de manera mensual.
- Características del vehículo. Información del año, marca y sub-marca del vehículo que conduce la persona entrevistada.
- Tipo de carga. Clasificación de la carga según once categorías, de las cuales el operador de transporte de carga deberá elegir, una o varias, según la carga transportada en el momento de la entrevista.
- Importancia de parámetros. Jerarquía en costo, tiempo y seguridad en el viaje.

En la tabla siguiente se presenta la muestra total de encuestas origen - destino por estación y por tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Caseta Ecatepec - Pirámides	Caseta Ojo de Agua	Caseta Revolución	Caseta T1 CEM	Total
Automóviles	2,886	3,365	3,363	3,144	<b>12,758</b>
Camiones Unitarios	298	362	300	609	<b>1,569</b>
Camiones Articulados I	258	172	340	607	<b>1,377</b>
Camiones Articulados II	44	47	94	240	<b>425</b>
<b>Total</b>	<b>3,486</b>	<b>3,946</b>	<b>4,097</b>	<b>4,600</b>	<b>16,129</b>

Tabla 21. Muestra obtenida en encuestas origen - destino.

### 2.3.3.2. Encuestas de preferencia declarada

La encuesta de Preferencia declarada se diseñó y aplicó para identificar la inclinación y tendencia de los potenciales usuarios del proyecto y que actualmente utilizan las vialidades existentes.

La sección de preferencias declaradas tiene como finalidad el obtener datos cuantitativos que evalúen la preferencia del entrevistado en hacer uso del proyecto.

En el proceso de la aplicación de encuestas PD se incluyen los siguientes pasos:

- Breve introducción sobre el motivo de la encuesta
- Identificación del tipo de viaje
- Presentación y explicación del tarjetero utilizado en el desarrollo de la encuesta

Para cada uno de los escenarios comparativos en los tarjeteros se debe analizar y elegir entre dos opciones:

- Un primer escenario que representa un tipo de viaje similar al que el encuestado está habituado.
- Un segundo escenario que plantea un tipo de viaje con proyecto.

Para uno de los escenarios comparativos se debe declarar el valor que estaría dispuesto a pagar por realizar un viaje con las mismas condiciones, pero ahora con el proyecto existente:

- Escenario que representa un viaje similar al que el encuestado está habituado.
- Escenario que plantea un tipo de viaje con proyecto el cual incluye una variación de tiempo y costo donde el entrevistado elige la opción u opciones que estaría dispuesto a pagar por utilizar el proyecto.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran los tarjeteros de Preferencia declarada utilizados durante el levantamiento de la encuesta origen - destino con PD para automóviles y camiones de carga.

Tarjeta 1 / 9 | A-C

Autopista Tultepec - Pirámides		Ruta actual	
	Tiempo de recorrido	<b>37 min</b>	
	Tarifa (Pesos)	<b>\$ 176</b>	
	¿Utilizaría la carretera actual?		
Ruta por proyecto		Automóviles	
Tiempo de recorrido	<b>17 min</b>		
Ahorro en tiempo de viaje	<b>20 min</b>		
Tarifa (Pesos)	<b>\$ 221</b>		
¿Utilizaría el proyecto?			<b>2</b>
No es de su interés / No contestó			<b>3</b>

Figura 37. Tarjetero para encuestas PD automóviles.

Tarjeta 1 / 9      A-B

Autopista Tultepec - Pirámides		Ruta actual	
	Tiempo de recorrido	<b>25 min</b>	<input type="checkbox"/> Utilizaría la carretera actual? <b>1</b>
	Tarifa (Pesos)	<b>\$ 239</b>	
	<input type="checkbox"/> Utilizaría el proyecto? <b>2</b>		
<input type="checkbox"/> No es de su interés / No contestó <b>3</b>			

Camiones Unitarios

Figura 38. Tarjetero para encuestas PD camiones unitarios.

Tarjeta 1 / 9

Autopista Tultepec - Pirámides		Ruta actual	
	Tiempo de recorrido	<b>64 min</b>	<input type="checkbox"/> Utilizaría la carretera actual? <b>1</b>
	Tarifa (Pesos)	<b>\$ 578</b>	
	<input type="checkbox"/> Utilizaría el proyecto? <b>2</b>		
<input type="checkbox"/> No es de su interés / No contestó <b>3</b>			

Camiones Articulados

Figura 39. Tarjetero para encuestas PD camiones articulados.

En la tabla siguiente se presenta la muestra total de encuestas de preferencia declarada por estación y por tipo de vehículo.

Tipo de Vehículo	Caseta Ecatepec - Pirámides	Caseta Ojo de Agua	Caseta Revolución	Caseta T1 CEM	Total
Automóviles	377	315	217	323	<b>1,232</b>
Camiones Unitarios	74	64	64	47	<b>249</b>
Camiones Articulados I	26	19	26	23	<b>94</b>
Camiones Articulados II	74	168	100	98	<b>440</b>
<b>Total</b>	<b>551</b>	<b>566</b>	<b>407</b>	<b>491</b>	<b>2,015</b>

Tabla 22. Muestra obtenida en encuestas de preferencia declarada.

### 2.3.4. Pares origen - destino

Con la información recopilada de las encuestas se obtienen, entre otros factores, los principales pares de origen - destino; estos pares se muestran para cada una de las estaciones donde fueron aplicadas las encuestas, y a su vez se revelan por tipo de vehículo y día de estudio (entre semana, fin de semana).

#### 2.3.4.1. Pares origen - destino - Estación 01

En la caseta Tultepec que se encuentra en el Circuito Exterior Mexiquense, las encuestas dieron los siguientes resultados:

El 6% de los encuestados respondieron que el municipio de Cuautitlán Izcalli es el principal destino en automóvil de los viajes provenientes del municipio de Ecatepec de Morelos, esto para los viajes que se realizan entre semana. La relación de este par origen - destino se entiende al existir importantes zonas industriales y actividad comercial en el municipio de Cuautitlán Izcalli (de 2008 a 2013 la producción bruta total de este municipio creció más del 80%). El mismo caso se presenta para el municipio de Ecatepec de Morelos como destino, donde aunado a las zonas residenciales también hay presencia importante de zonas industriales reflejando los viajes existentes desde los municipios del Estado de México al propio Ecatepec de Morelos.

A continuación, se muestra la siguiente tabla para los pares origen - destino de la Estación - 01, Caseta Tultepec, ubicada en el Circuito Exterior Mexiquense.

OD-01. Caseta Tultepec (Circuito Exterior Mexiquense)					
Automóviles Entre Semana			Automóviles Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Ecatepec	Cuautitlán Izcalli	6.0%	Ecatepec	Querétaro	5.5%
Zumpango	Ecatepec	3.9%	Ecatepec	Zumpango	5.5%
Ecatepec	Querétaro	3.1%	Cuautitlán Izcalli	Ecatepec	3.6%
Tultitlán	Ecatepec	2.6%	Huehuetoca	Ecatepec	2.5%
Tultepec	Ecatepec	2.2%	Ecatepec	Tultitlán	2.2%
Ecatepec	Huehuetoca	2.1%	Toluca	Ecatepec	1.9%
Toluca	Ecatepec	2.1%	Ecatepec	Tultepec	1.8%
Ecatepec	Cuautitlán	1.8%	Nezahualcóyotl	Querétaro	1.3%
Nextlalpan	Ecatepec	1.7%	Ecatepec	Tepotztlán	1.3%
Gustavo A. Madero	Ecatepec	1.5%	Gustavo A. Madero	Zumpango	1.3%

Tabla 23. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 01.

OD-01. Caseta Tultepec (Circuito Exterior Mexiquense)					
Camión Unitario Entre Semana			Camión Unitario Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Toluca	Ecatepec	3.9%	Ecatepec	Querétaro	10.5%
Ecatepec	Querétaro	3.3%	Zumpango	Ecatepec	4.3%
Ecatepec	Zumpango	3.0%	Cuautitlán Izcalli	Ecatepec	3.5%
Ecatepec	Tultitlán	2.7%	Monterrey	Iztapalapa	2.6%
Cuautitlán Izcalli	Ecatepec	1.7%	Ecatepec	Huehuetoca	2.6%
Querétaro	Iztapalapa	1.5%	Toluca	Ecatepec	2.5%
Toluca	Nezahualcóyotl	1.4%	Tultitlán	Ecatepec	2.2%
Nezahualcóyotl	Cuautitlán Izcalli	1.4%	Cuautitlán Izcalli	Teotihuacán	1.8%
Ecatepec	Monterrey	1.4%	Tultitlán	Apizaco	1.8%
Zumpango	Nezahualcóyotl	1.3%	Atacomulco	Ecatepec	1.6%

Tabla 24. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 01.

OD-01. Caseta Tultepec (Circuito Exterior Mexiquense)					
Camión Articulado Entre Semana			Camión Articulado Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Ecatepec	Querétaro	3.6%	Ecatepec	León	5.5%
Tepotzotlán	Ecatepec	2.5%	Ecatepec	Querétaro	5.1%
Nuevo Laredo	Ecatepec	2.3%	Ecatepec	Zumpango	4.9%
Ecatepec	Cuautitlán Izcalli	1.6%	Tlalnepantla	Toluca	4.7%
Iztapalapa	Cuautitlán Izcalli	1.1%	Juárez	Iztapalapa	4.3%
Querétaro	Tecámac	1.1%	Ecatepec	San Juan del Río	4.2%
Tula de Allende	Chimalhuacán	0.9%	Tepotzotlán	Ecatepec	3.1%
Ecatepec	San Juan del Río	0.9%	Ecatepec	Huehuetoca	3.0%
Tepeji del Río Ocampo	Tlalnepantla	0.9%	Cuautitlán Izcalli	Chalco	2.5%
Ecatepec	Monterrey	0.9%	Cuautitlán Izcalli	Nezahualcóyotl	2.1%

Tabla 25. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 01.

Para los pares origen - destino de vehículos pesados se observa que varían de acuerdo con el tipo de vehículo y al día de circulación. La ciudad de Querétaro y el municipio de Ecatepec son los destinos más frecuentes por sus zonas comerciales e industriales. Es importante mencionar que para viajes de camiones unitarios en fin de semana el principal destino es Querétaro con el 10.5%, siendo su origen Ecatepec de Morelos. Por su parte, para los camiones articulados en fin de semana, las ciudades de León y Querétaro son los destinos principales con más del 10%, siendo Ecatepec, de nuevo, el origen de estos viajes.

### 2.3.4.2. Pares origen - destino - Estación 02

En la caseta de cobro Ojo de Agua ubicada en la Autopista México - Pachuca, las encuestas dieron los siguientes resultados:

El destino más común en automóvil entre semana es Ecatepec de Morelos procedente de Tecámac, siendo este último el principal origen en los pares origen - destino entre semana. La mayoría de los pares origen - destino son a raíz de los viajes cotidianos de las personas hacia las zonas con actividad económica, hacia las escuelas o porque realizan actividades en la ciudad de Pachuca y alrededores.

OD-02. Caseta Ojo de Agua (Autopista México - Pachuca)					
Automóviles Entre Semana			Automóviles Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Tecámac	Ecatepec	9.8%	Gustavo A. Madero	Tecámac	7.7%
Tecámac	Gustavo A. Madero	7.6%	Tecámac	Ecatepec	7.6%
Tecámac	Cuauhtémoc	6.1%	Gustavo A. Madero	Pachuca de Soto	6.5%
Pachuca de Soto	Cuauhtémoc	5.1%	Ecatepec	Tizayuca	4.6%
Ecatepec	Pachuca de Soto	4.9%	Tecámac	Cuauhtémoc	4.6%
Gustavo A. Madero	Pachuca de Soto	4.4%	Ecatepec	Pachuca de Soto	4.5%
Tizayuca	Gustavo A. Madero	3.9%	Cuauhtémoc	Pachuca de Soto	3.5%
Ecatepec	Tizayuca	3.4%	Gustavo A. Madero	Tizayuca	3.5%
Tizayuca	Cuauhtémoc	2.3%	Tizayuca	Cuauhtémoc	2.2%
Pachuca de Soto	Coacalco de B.	2.2%	Tlalnepantla	Tecámac	2.2%

Tabla 26. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 02.

OD-02. Caseta Ojo de Agua (Autopista México - Pachuca)					
Camión Unitario Entre Semana			Camión Unitario Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Ecatepec	Tecámac	10.0%	Tecámac	Gustavo A. Madero	7.4%
Ecatepec	Tizayuca	7.6%	Tecámac	Ecatepec	7.2%
Ecatepec	Pachuca de Soto	6.6%	Gustavo A. Madero	Tizayuca	5.5%
Pachuca de Soto	Gustavo A. Madero	5.2%	Ecatepec	Pachuca de Soto	5.4%
Gustavo A. Madero	Tecámac	4.9%	Ecatepec	Tizayuca	4.9%
Azcapotzalco	Pachuca de Soto	4.2%	Pachuca de Soto	Iztapalapa	4.0%
Pachuca de Soto	Iztapalapa	3.7%	Pachuca de Soto	Naucalpan	3.2%
Ecatepec	Zumpango	3.3%	Gustavo A. Madero	Pachuca de Soto	3.1%
Tizayuca	Tlalnepantla	2.8%	Tizayuca	Tlalnepantla	3.0%
Gustavo A. Madero	Zumpango	2.0%	Azcapotzalco	Tecámac	2.9%

Tabla 27. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 02.

OD-02. Caseta Ojo de Agua (Autopista México - Pachuca)					
Camión Articulado Entre Semana			Camión Articulado Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Tizayuca	Ecatepec	9.9%	Pachuca de Soto	Ecatepec	9.8%
Ecatepec	Tecámac	9.1%	Tizayuca	Ecatepec	6.7%
Gustavo A. Madero	Tecámac	4.6%	Tizayuca	Azcapotzalco	4.4%
Gustavo A. Madero	Tizayuca	3.8%	Pachuca de Soto	Gustavo A. Madero	3.8%
Tizayuca	Azcapotzalco	3.7%	Toluca	Pachuca de Soto	2.7%
Iztapalapa	Tecámac	3.4%	Pachuca de Soto	Texcoco	2.2%
Tuxpan	Gustavo A. Madero	3.2%	Tulancingo de B.	Tultitlán	2.2%
Zumpango	Azcapotzalco	3.1%	Tecámac	Ecatepec	2.1%
Ecatepec	Zumpango	2.3%	Ecatepec	Puebla	2.0%
Pachuca de Soto	Tultitlán	2.1%	Tecámac	Cuautitlán Izcalli	1.9%

Tabla 28. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 02.

Los destinos más relevantes entre semana para los operadores de transporte de carga son los municipios de Ecatepec de Morelos, Tecámac y Tizayuca, con orígenes en Tizayuca y Ecatepec de Morelos. Para los pares origen - destino en fin de semana, los destinos principales para los vehículos de carga son la alcaldía de Gustavo A. Madero y el municipio de Ecatepec de Morelos, procedentes de los municipios Pachuca de Soto y Tecámac.

### 2.3.4.3. Pares origen - destino - Estación 03

En la caseta Revolución de la Autopista México - Pachuca se presentaron los siguientes resultados en las encuestas:

Para los automóviles, tanto entre semana como en fin de semana, los destinos más usuales son el municipio de Ecatepec de Morelos y la alcaldía de Gustavo A. Madero, con orígenes en la alcaldía de Gustavo A. Madero y el municipio Tecámac respectivamente.

OD-03. Caseta Revolución (Autopista México - Pachuca)					
Automóviles Entre Semana			Automóviles Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Gustavo A. Madero	Ecatepec	9.3%	Tecámac	Gustavo A. Madero	9.9%
Tecámac	Gustavo A. Madero	5.4%	Gustavo A. Madero	Ecatepec	9.0%
Cuauhtémoc	Ecatepec	3.5%	Coacalco de B.	Gustavo A. Madero	4.8%
Tlalnepanitla	Ecatepec	2.9%	Texcoco	Gustavo A. Madero	3.6%
Coacalco de B.	Gustavo A. Madero	2.8%	Ecatepec	Ecatepec	3.3%
Texcoco	Gustavo A. Madero	2.6%	Tecámac	Cuauhtémoc	2.8%
Ecatepec	Tecámac	2.5%	Tecámac	Ecatepec	2.6%
Ecatepec	Azcapotzalco	1.9%	Ecatepec	Cuauhtémoc	2.6%
Cuauhtémoc	Tecámac	1.7%	Texcoco	Ecatepec	2.1%
Gustavo A. Madero	Teotihuacán	1.7%	Gustavo A. Madero	Teotihuacán	1.4%

Tabla 29. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 03.

OD-03. Caseta Revolución (Autopista México - Pachuca)					
Camión Unitario Entre Semana			Camión Unitario Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Gustavo A. Madero	Ecatepec	9.5%	Tula de Allende	Ecatepec	3.5%
Ecatepec	Ecatepec	5.4%	Gustavo A. Madero	Zumpango	2.5%
Ecatepec	Querétaro	4.2%	Gustavo A. Madero	Querétaro	2.4%
Gustavo A. Madero	Tultitlán	4.1%	Ecatepec	Querétaro	2.4%
Iztapalapa	Actopan	4.1%	Nextlalpan	Ecatepec	2.2%
Naucalpan	Ecatepec	4.0%	Ecatepec	Gustavo A. Madero	2.1%
Tecámac	Ecatepec	3.9%	Tecámac	Azcapotzalco	1.8%
Cuauhtémoc	Ecatepec	2.8%	Tultitlán	Naucalpan	1.7%
Nezahualcóyotl	Tultepec	2.2%	Ecatepec	Teoloyucan	1.5%
Querétaro	Cuauhtémoc	2.1%	Monterrey	Gustavo A. Madero	1.4%

Tabla 30. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 03.

OD-03. Caseta Revolución (Autopista México - Pachuca)					
Camión Articulado Entre Semana			Camión Articulado Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Cuernavaca	Querétaro	3.8%	Ecatepec	Querétaro	9.6%
Cuernavaca	Jilotepec	3.4%	Tepotztlán	Ecatepec	4.2%
Ecatepec	Tlalnepantla	3.4%	Cuautitlán	Ecatepec	2.9%
Tultepec	Ecatepec	3.1%	Tuxpan	Tlaxcala	2.0%
Ecatepec	Ecatepec	2.4%	San Nicolás de los Garza	Ecatepec	1.6%
Aguascalientes	Azcapotzalco	2.1%	Tehuacán	Ecatepec	1.6%
Tequixquiac	Gustavo A. Madero	2.1%	Cuautitlán Izcalli	San Luis Potosí	1.6%
Texcoco	Venustiano Carranza	2.1%	Ecatepec	Zumpango	1.5%
Cuernavaca	Monterrey	2.1%	Iztapalapa	Celaya	1.4%
Querétaro	Ecatepec	1.6%	Gustavo A. Madero	Tuxpan	1.3%

Tabla 31. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 03.

Para los camiones unitarios, el destino más relevante entre semana es el municipio de Ecatepec de Morelos, con orígenes en la alcaldía Gustavo A. Madero y en el mismo municipio. El destino más frecuente para los pares origen - destino en fin de semana es, de igual forma, Ecatepec de Morelos, pero proveniente del municipio de Tula de Allende.

Las encuestas para camiones articulados dan como resultado que los principales destinos entre semana son la ciudad de Querétaro y los municipios de Jilotepec, Tlalnepantla de Baz y Ecatepec de Morelos, con origen en Cuernavaca, Ecatepec y Tultepec. Para fin de semana, el principal destino de los operadores de camiones articulados es Querétaro, partiendo del municipio de Ecatepec de Morelos.

#### 2.3.4.4. Pares origen - destino - Estación 04

En la caseta Pirámides ubicada en la Autopista Ecatepec - Pirámides, los datos obtenidos dieron como resultado lo siguiente:

Los destinos principales entre semana para automóviles son la alcaldía de Cuauhtémoc, el municipio de Ecatepec de Morelos y la alcaldía de Gustavo A. Madero, teniendo como principal municipio de origen Teotihuacán. Los pares origen - destino en fin de semana arrojaron que Teotihuacán y Cuauhtémoc son los principales puntos de destino para los automovilistas, teniendo como puntos de origen a Ecatepec de Morelos, Gustavo A. Madero y al mismo Teotihuacán.

OD-04. Caseta Pirámides (Autopista Ecatepec -Pirámides)					
Automóviles Entre Semana			Automóviles Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Teotihuacán	Cuauhtémoc	3.6%	Ecatepec	Teotihuacán	4.0%
Teotihuacán	Ecatepec	3.1%	Gustavo A. Madero	Teotihuacán	3.6%
Teotihuacán	Gustavo A. Madero	3.0%	Teotihuacán	Cuauhtémoc	3.6%
Ecatepec	Tulancingo de Bravo	2.7%	Ecatepec	Tulancingo de Bravo	2.1%
Gustavo A. Madero	Tulancingo de Bravo	2.3%	Acolman	Gustavo A. Madero	2.0%
Tulancingo de Bravo	Cuauhtémoc	2.2%	Acolman	Ecatepec	2.0%
Otumba	Ecatepec	2.2%	Cuauhtémoc	Tulancingo de Bravo	1.9%
Acolman	Ecatepec	1.9%	Gustavo A. Madero	Tulancingo de Bravo	1.8%
Acolman	Gustavo A. Madero	1.9%	Miguel Hidalgo	Teotihuacán	1.2%
Teotihuacán	Tlalnepantla	1.4%	Tlalnepantla	Teotihuacán	1.2%

Tabla 32. Pares origen - destino de Automóvil en origen - destino 04.

OD-04. Caseta Pirámides (Autopista Ecatepec -Pirámides)					
Camión Unitario Entre Semana			Camión Unitario Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Tlalnepantla	Acolman	2.7%	Nuevo Laredo	Iztapalapa	5.0%
Azcapotzalco	Tulancingo de B.	2.3%	Teotihuacán	Azcapotzalco	3.4%
Puebla	Tultitlán	2.3%	Tulancingo de Bravo	Ecatepec	2.9%
Ecatepec	Tulancingo de B.	2.3%	Coatzacoalcos	Coacalco de B.	2.9%
Coacalco de B.	Otumba	2.1%	San M. de las Pirámides	Ecatepec	2.9%
Puebla	Ecatepec	2.0%	Coyoacán	Tulancingo de B.	2.9%
Azcapotzalco	Puebla	2.0%	Tultitlán	Teotihuacán	2.9%
Gustavo A. Madero	Teotihuacán	1.7%	Gustavo A. Madero	Tuxpan	2.7%
Tultitlán	Veracruz	1.7%	Tuxpan	Tepotzotlán	2.3%
Cuautitlán Izcalli	Tulancingo de B.	1.5%	Acolman	Tlalnepantla	1.5%

Tabla 33. Pares origen - destino de Camión Unitario en origen - destino 04.

OD-04. Caseta Pirámides (Autopista Ecatepec -Pirámides)					
Camión Articulado Entre Semana			Camión Articulado Fin de Semana		
Origen	Destino	Viajes	Origen	Destino	Viajes
Tultitlán	Mérida	3.1%	Tlalnepantla	Tuxpan	6.9%
Ecatepec	Puebla	3.0%	Oaxaca de Juárez	Ecatepec	5.3%
Álvaro Obregón	Pachuca de Soto	2.9%	Tlalnepantla	Veracruz	3.2%
Tlalnepantla	Tuxpan	2.6%	Gustavo A. Madero	Tuxpan	2.7%
Ecatepec	Veracruz	2.5%	Apizaco	Azcapotzalco	2.2%
Tulancingo de Bravo	Ecatepec	2.5%	Perote	Cuautitlán	2.2%
Tepotzotlán	Veracruz	2.1%	Puebla	Cuauhtémoc	2.2%
Tulancingo de Bravo	Azcapotzalco	1.8%	Tampico	Venustiano Carranza	2.2%
Cuautitlán Izcalli	Poza Rica de Hidalgo	1.8%	Acolman	Querétaro	2.1%
Coatzacoalcos	Ecatepec	1.7%	Altamira	Ecatepec	2.1%

Tabla 34. Pares origen - destino de Camión Articulado en origen - destino 04.

En el transporte de carga, los orígenes y destinos varían según el tipo de vehículo y los días que circulan por la autopista. En los camiones unitarios entre semana, los municipios de Tulancingo de Bravo, Acolman y Tultitlán son los destinos comunes, con orígenes en la alcaldía de Azcapotzalco, la ciudad de Puebla, y los municipios de Tlalnepantla de Baz y Ecatepec de Morelos. Durante el fin de semana para los camiones unitarios, la alcaldía de Iztapalapa y el municipio de Azcapotzalco son los principales destinos, con orígenes en Nuevo Laredo (Tamaulipas) y Teotihuacán. Por su parte, en los camiones articulados entre semana los destinos principales son las ciudades de Mérida (Yucatán) y Puebla, con orígenes en los municipios de Tultitlán y Ecatepec. En cuanto a los camiones articulados en fin de semana, los destinos más frecuentes por parte de los operadores son Tuxpan y Ecatepec, provenientes de Tlalnepantla y Oaxaca de Juárez (Oaxaca).

### 2.3.5. Caracterización de la demanda

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las respuestas a preguntas de las encuestas origen - destino aplicadas en el estudio. Esta información se presenta para cada una de las estaciones donde fueron aplicadas las encuestas y a su vez se revelan por tipo de vehículo.

#### 2.3.5.1. Caracterización de la demanda - Estación 01

##### Caracterización en automóvil

En las encuestas realizadas en la caseta Tultepec, Circuito Exterior Mexiquense, se preguntó ¿Cuál es el motivo del viaje? Para esta pregunta el 49% de los encuestados que viajaban en automóvil indicó que el motivo de viaje en ese momento estaba relacionado con trabajo; el 21% que realizaba una visita a familiar/amigo; y el 16% que su motivo de viaje era por recreación. Otros motivos que no superaron el 10% fueron compras, estudio y otro/no específico.

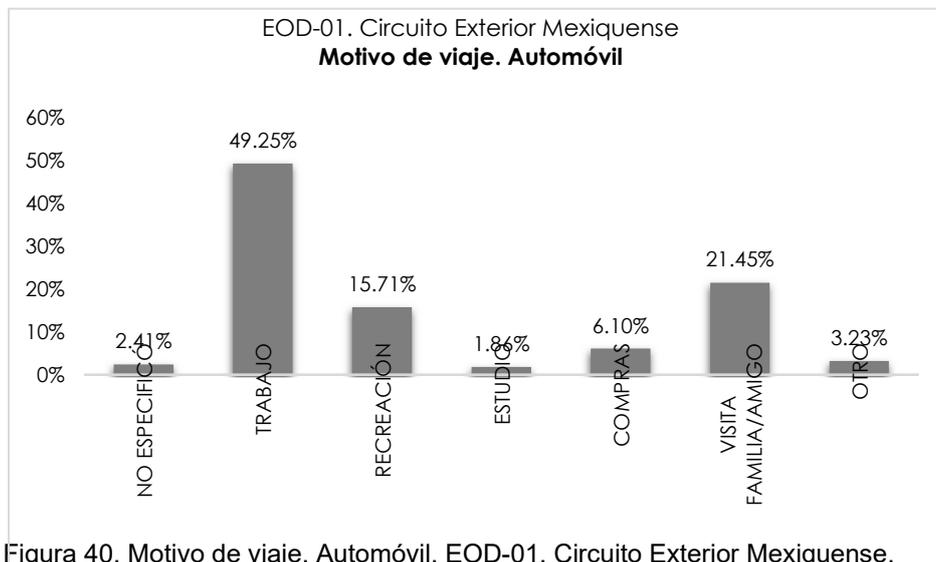


Figura 40. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

La frecuencia de viaje a la semana es otro de los factores que se preguntó en la aplicación de las encuestas. Los resultados arrojaron que el 45% de los conductores de automóviles solo hacía el viaje ocasionalmente, el 20% hacía el mismo viaje 1 vez a la semana, y el 19% de dos a tres veces a la semana. Con un porcentaje menor respondieron que realizaban el viaje de 4 a 5 veces a la semana (9%), más de 6 veces a la semana (5%), y no especificó con qué frecuencia (2%).

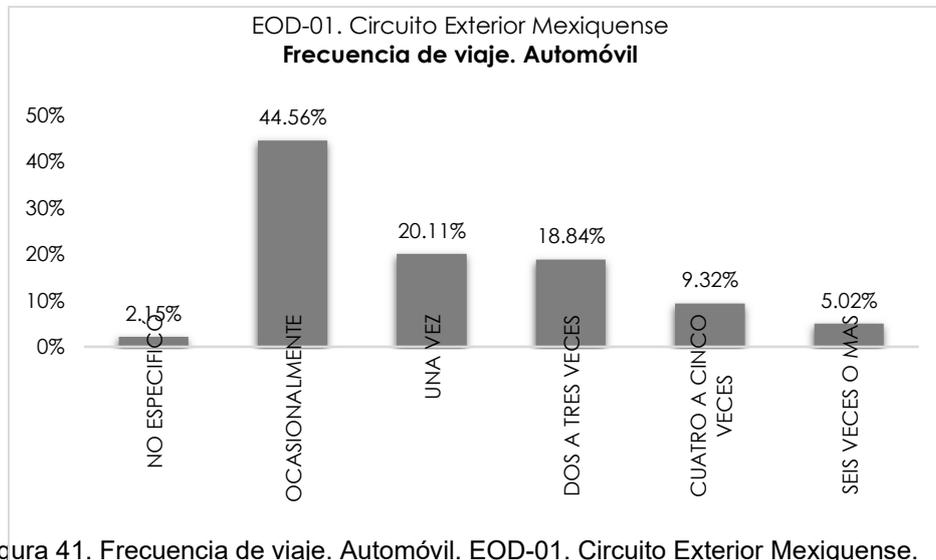


Figura 41. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Otro de los datos importantes es la duración del viaje. En este apartado se observa que más del 50% de los conductores de automóviles realiza el viaje en el período comprendido entre media hora y dos horas, y el 42% respondió que sus viajes duran más de dos horas. El resto de los encuestados afirmó que duran menos de media hora.

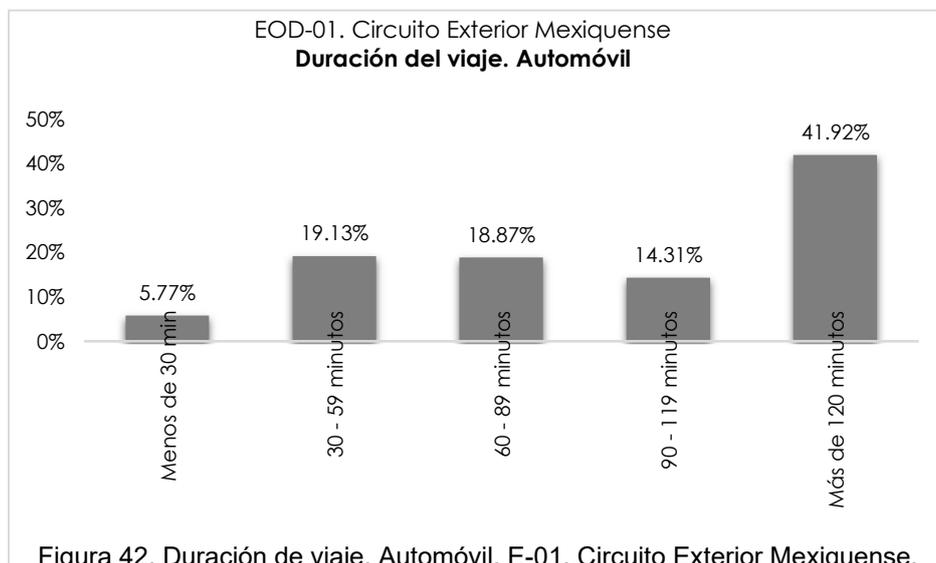


Figura 42. Duración de viaje. Automóvil. E-01. Circuito Exterior Mexiquense.

A lo encuestados se les preguntó sobre que carreteras utilizaban para llegar a su destino y los resultados indicaron que el 95% de los conductores de automóviles utilizaba el Circuito Exterior Mexiquense para sus viajes. El 5% restante, por su parte, contestó que utilizaba alguna otra carretera (Autopista México - Pachuca, Autopista Ecatepec - Pirámides o Carretera libre México - Pachuca, entre otras).

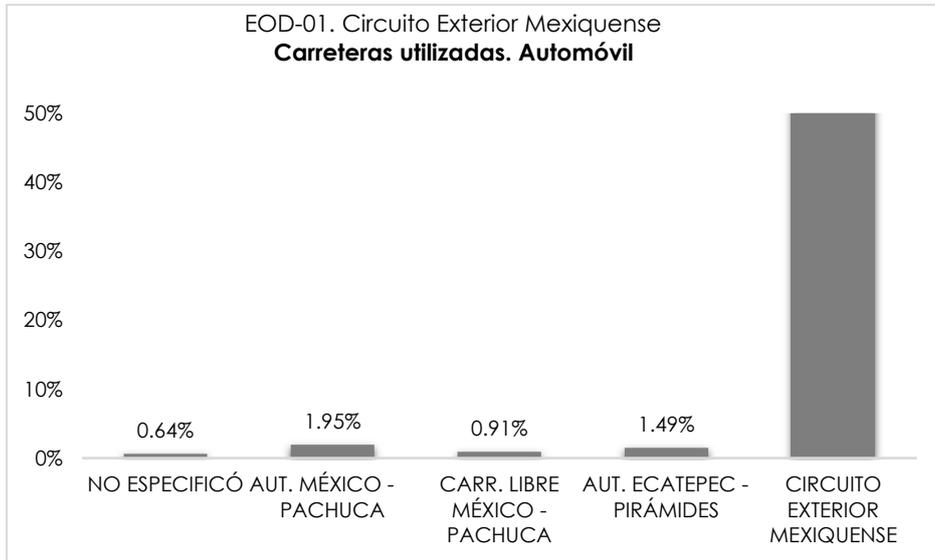


Figura 43. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

En cuanto a la decisión sobre si se paga o no caseta, los resultados revelaron que en el 83% de los casos la decisión la toma el conductor del automóvil, en el 8% de los casos la decisión la toma otra persona o no especificó quien la toma, y en el 1% de los casos que no utiliza vías de cuota.

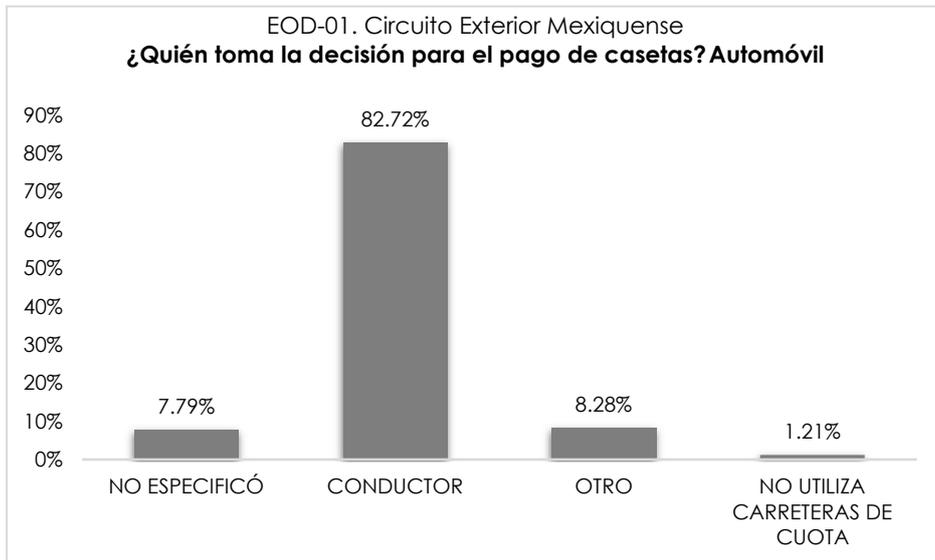
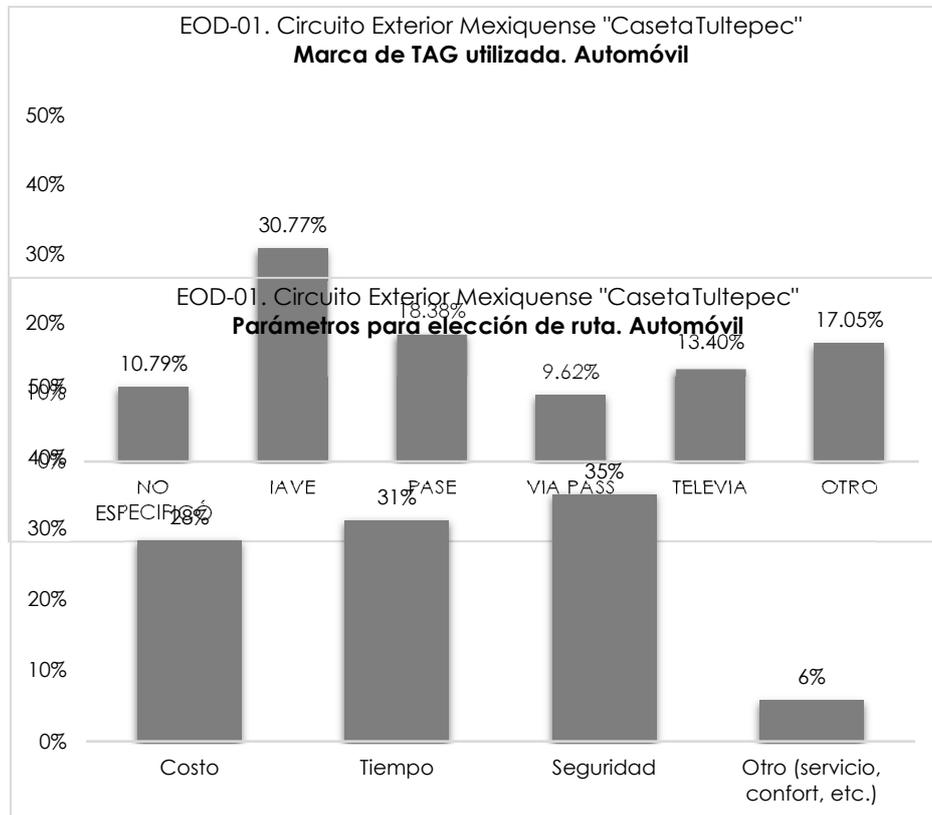


Figura 44. Pago de casetas. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Para el tema relacionado al pago con medios electrónicos para transitar por las vías de cuota en automóvil, los usuarios entrevistados indicaron el tipo de telepeaje que utilizaban. La respuesta más frecuente fue el pago con IAVE (31%), luego le siguen el pago con PASE (18%), otro método de pago (17%), pago con TELEVIA (13%), pago con VÍA PASS (10%), y aquellos que no especificaron el método de pago (11%).

Figura 45. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.



Un punto importante en este tipo de estudios es poder conocer los factores que influyen en la elección de una ruta por parte de los automovilistas. En este apartado se propuso a los encuestados diferentes parámetros, para que ellos indicaran cuál de estos era el más relevante; costo, tiempo, seguridad y otros (servicios, confort, etc.). El parámetro que alcanzó el mayor porcentaje es la seguridad, con un 35%; el segundo factor relevante para elegir una ruta fue el tiempo de duración del viaje, el cual obtuvo el 31%; el costo del viaje, por su parte, se quedó con el 28%. Otros, como son servicios y confort, lo dejaron un poco de lado, y solo representó el 6% de los encuestados.

Figura 46. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

El nivel salarial es otro de los aspectos que se tomó en cuenta, ya que nos permite segmentar el tipo de usuarios que viajan en automóvil por la vialidad. Después de analizar los resultados, se detectó una similitud en tres rangos, de \$6,000 a \$10,000, de \$10,001 a \$15,000 y de \$15,001 a \$20,000 pesos, sumando entre los tres el 77% de las respuestas. Por otro lado, el 15% de los automovilistas respondió obtener un salario mensual menor a \$6,000 pesos, y solo un 5% percibe un salario mensual mayor a \$20,000.

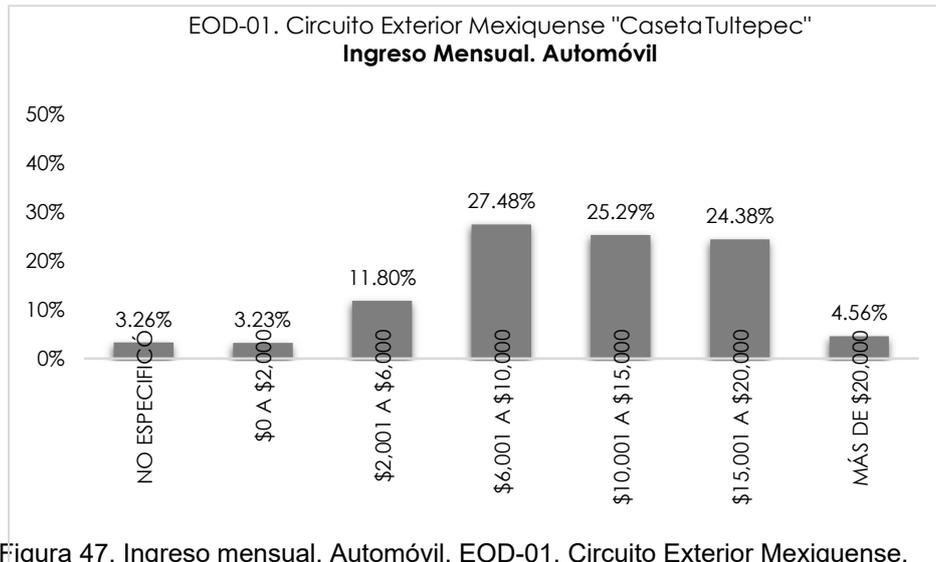


Figura 47. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

### Caracterización en vehículos de carga

Las encuestas a los operadores de vehículos de transporte de carga en la caseta Tultepec, Circuito Exterior Mexiquense, arrojaron que en el 33% de los casos la frecuencia del viaje por esta vialidad era de dos a tres veces por semana. Por su parte, los usuarios que transitan una vez a la semana por esta vía alcanzaron el 23%, mientras que el 22% contestó que la frecuencia de viaje es ocasional. Con valores menores están, el 10% que no especificó su respuesta, el 8% que respondió que su frecuencia era de cuatro a cinco veces por semana, y el 4% que realiza más de seis veces a la semana este viaje.

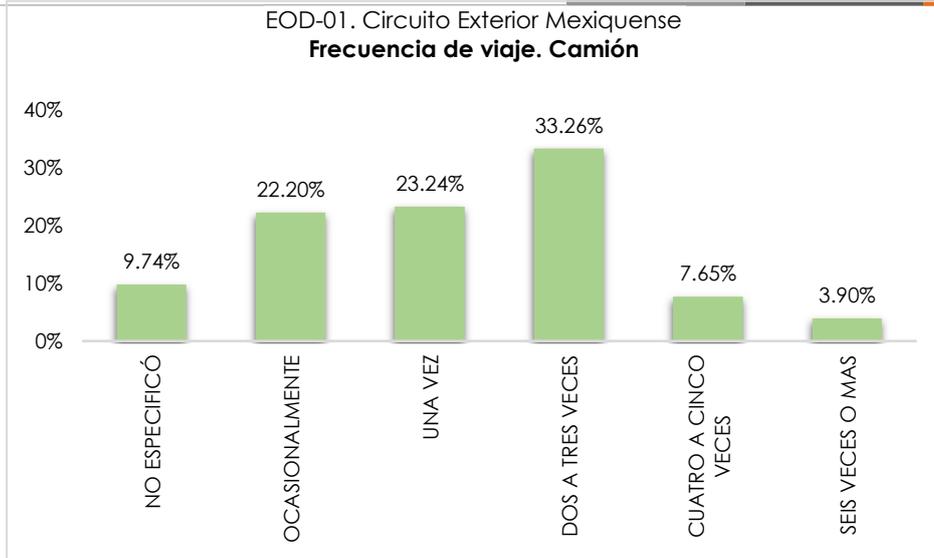
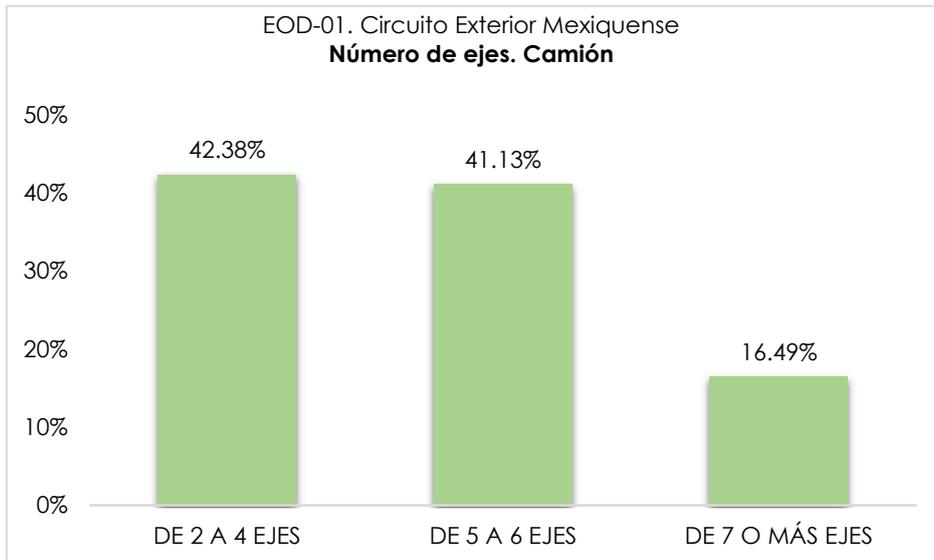


Figura 48. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Para vehículos de carga se obtuvo información del número de ejes, con el fin de conocer el tipo de vehículo; CU, CA1 o CA2. Según los resultados obtenidos, de 2 a 4 ejes es el 42% de los vehículos, porcentaje parecido para 5 a 6 ejes, con 41%, y solo el 16% de los vehículos tienen 7 o más ejes.

Figura 49. Número de ejes. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.



En el apartado del tipo de carga que se transportaba en ese momento, se encontraron una variedad importante de productos. El producto que arrojó el mayor número de respuestas es abarrotes y bebidas con un 30%, el 20% no especificó el tipo de carga que transportaba, y los siguientes productos no rebasaron el 10%; productos agrícolas y forestales (10%), industriales (8%), animales y derivados (6%), materiales para construcción (6%), otros materiales (5%), electrodomésticos y electrónica (4%), minerales (3%), petróleo y derivados (3%), materiales peligrosos (3%), e inorgánicos (1%).

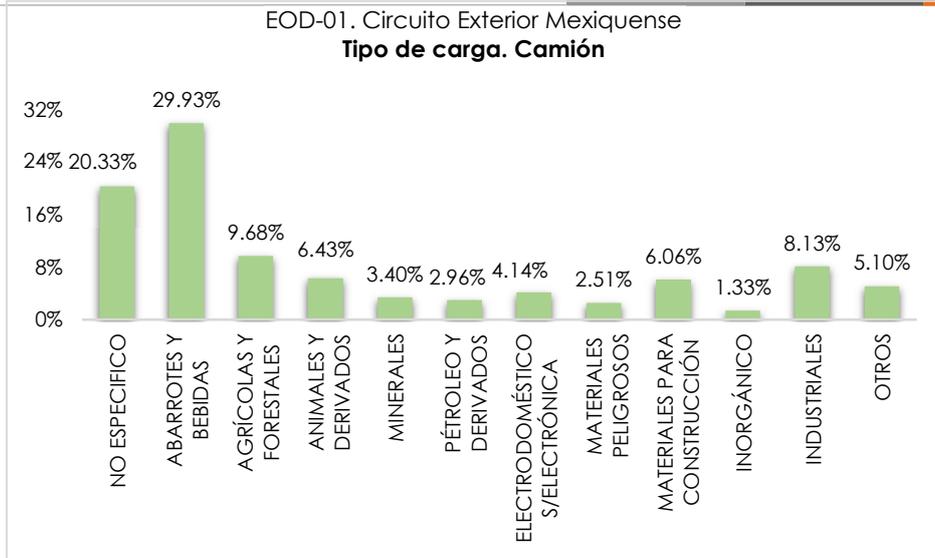


Figura 50. Tipo de carga. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Para conocer la duración de viaje de los encuestados en vehículos de carga, se preguntaron diferentes rangos de tiempo, obteniendo que el 67% de los encuestados tienen viajes de más de dos horas. Para los demás rangos, menos de media hora hasta las dos horas, se obtuvo el 33%, siendo el rango entre 1 hora y una hora y media el mayor de éstos con el 11%.

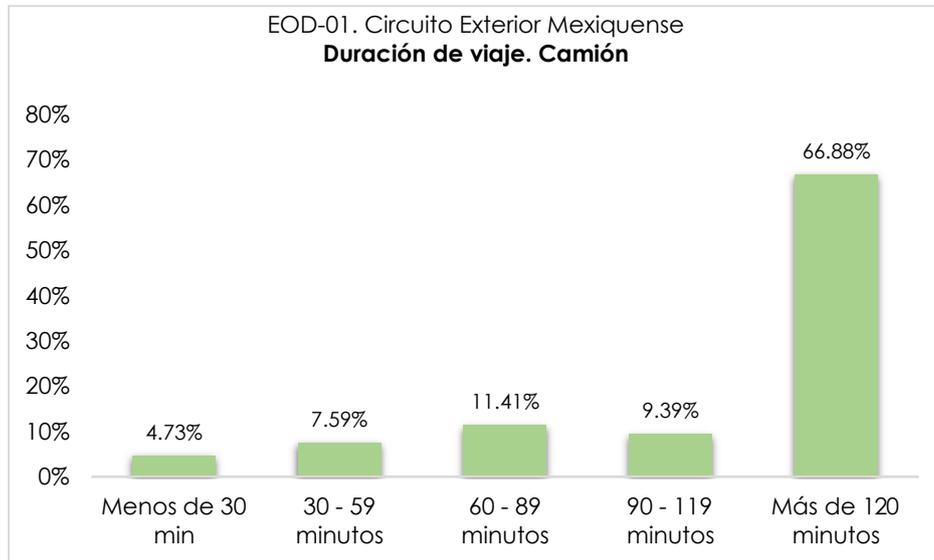


Figura 51. Duración de viaje. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Para pago de casetas los conductores de vehículos de carga contestaron que la decisión del pago de las casetas la realiza otra persona con el 66%, y que el 28% de los casos son ellos, los conductores, los que toman la decisión del pago de las casetas. Solo el 6% no especificó su respuesta y menos del 0.5% no utiliza vías de cuota.

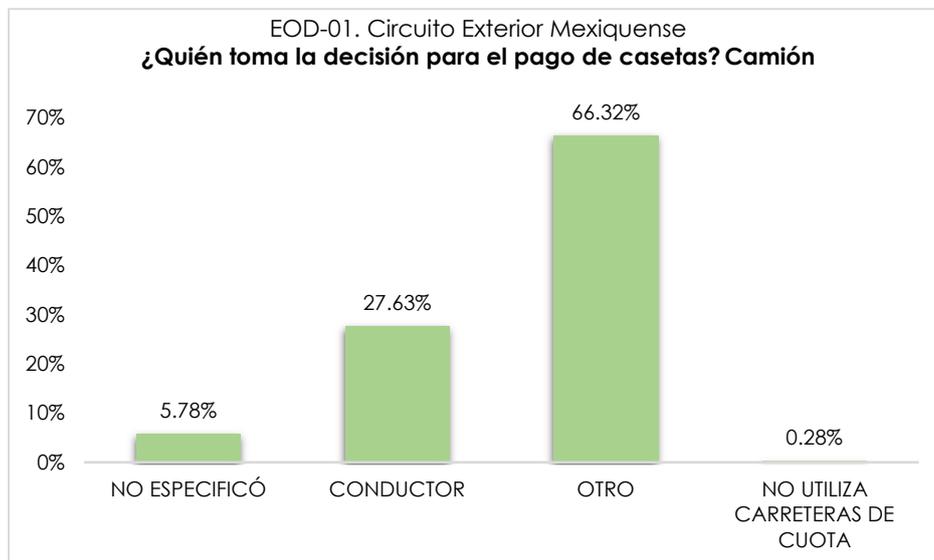


Figura 52. Pago de casetas. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

La pregunta respecto al método electrónico de pago de caseta resultó en que los transportistas de carga utilizan en un 43% el TAG IAVE, seguido de PASE con un 17%, y muy cerca se encuentra TELEVIA con 15%. Por su parte, VIA PASS obtuvo el 10% del total de las respuestas, 8% utiliza otro tipo de dispositivo o método de pago y de los encuestados que no especificaron su respuesta fue el 7%.

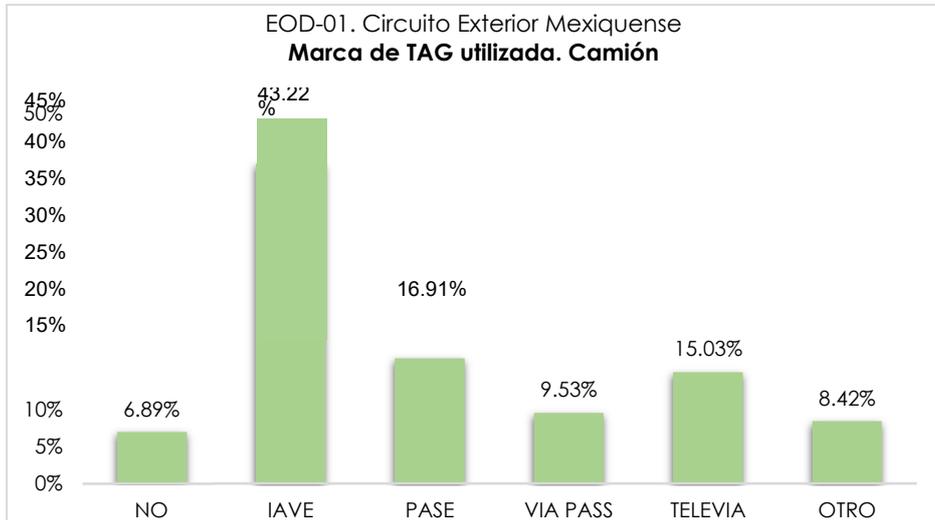


Figura 53. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

Relacionado a los parámetros para elección de la ruta se encontró que para los conductores de transporte de carga el tiempo representa el factor más importante con un 36%; seguido de la seguridad, con el 34%; el tercer parámetro es el costo del peaje con el 23% de los encuestados; y solo el 7% indicó que su elección corresponde a temas como servicios, confort, etc.

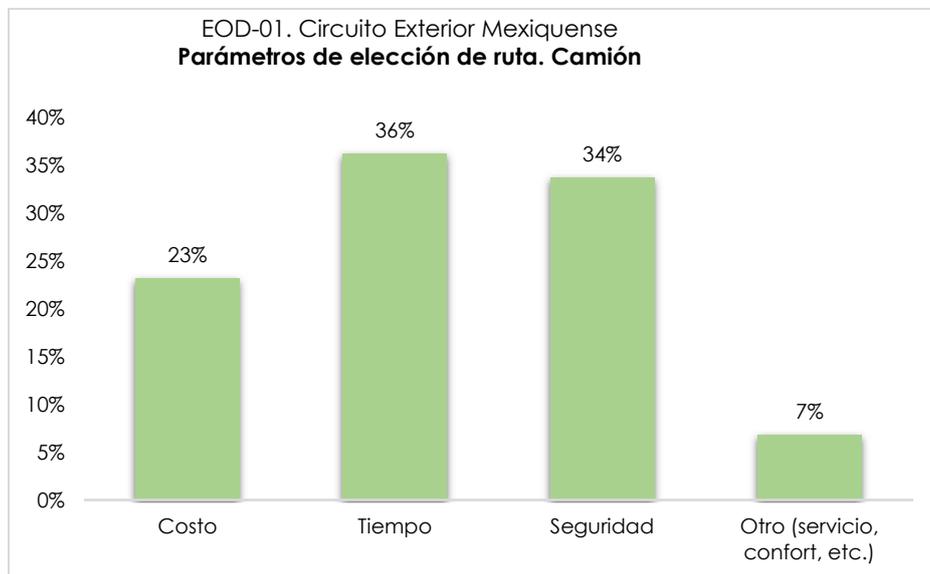


Figura 54. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-01. Circuito Exterior Mexiquense.

2.3.5.2. Caracterización de la demanda - Estación 02

**Caracterización en automóvil**

Más de la mitad de los automovilistas encuestados en la caseta Ojo de Agua, Autopista México - Pachuca, indicó que su motivo de viaje es por trabajo con el 52%. Por su parte el 25% respondió que el motivo de su viaje es para visitar a un familiar o amigo, para recreación obtuvo un 13%, y con un 5% o menos se identificaron motivos como compras, estudio, u otros motivos.

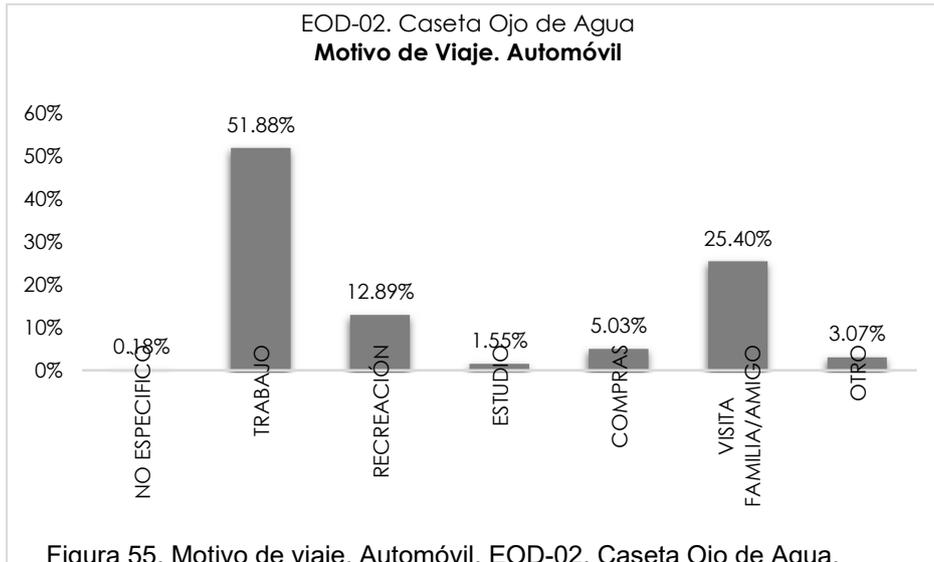


Figura 55. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Respecto a la frecuencia del viaje, se analizó que los conductores de automóvil entrevistados transitan por esta vía de forma ocasional en el 33% de los casos; realizan este viaje una vez a la semana en el 28% de los casos; de dos a tres veces a la semana están el 15% de los encuestados; menos del 12% se encuentra en una frecuencia de cuatro a cinco veces y más de seis veces a la semana; y los que no especificaron su respuesta corresponden al 1%.

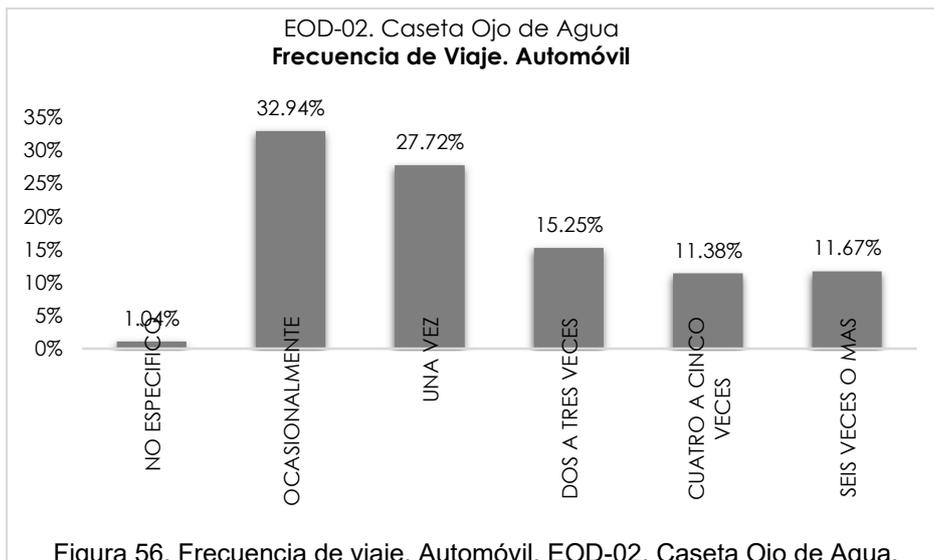


Figura 56. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

El tiempo en que tardan en hacer su viaje los automovilistas encuestados es muy parecido para los rangos de 60 a 89 minutos (27%), de 30 a 59 minutos (24%), más de 120 minutos (23%) y de 90 a 119 minutos (22%) y solo el 4% de los encuestados realizan su viaje en menos de 30 minutos.

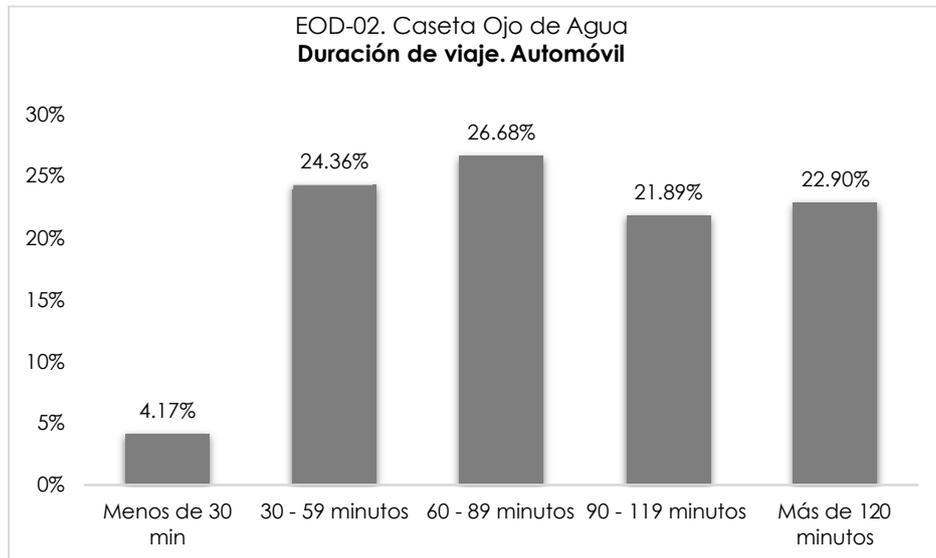


Figura 57. Duración de viaje. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Sobre las vías utilizadas en su viaje los conductores de automóviles respondieron lo siguiente, el 88% de ellos utiliza la autopista México - Pachuca y solo el 8% utiliza la carretera libre México - Pachuca. Hubo respuestas en donde no especificaron una opción, el 3%, y menos del 0.5% utiliza la autopista Ecatepec - Pirámides o el Circuito Exterior Mexiquense.

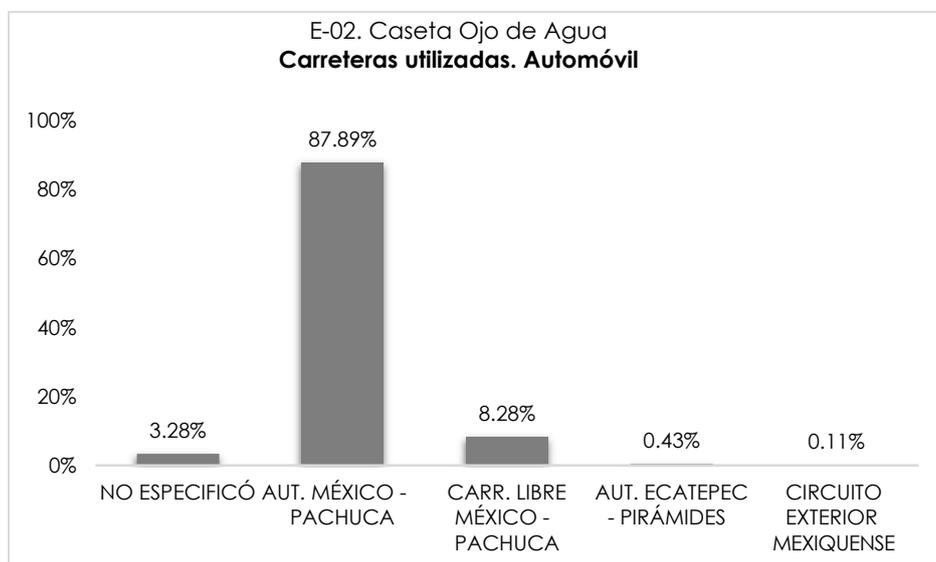
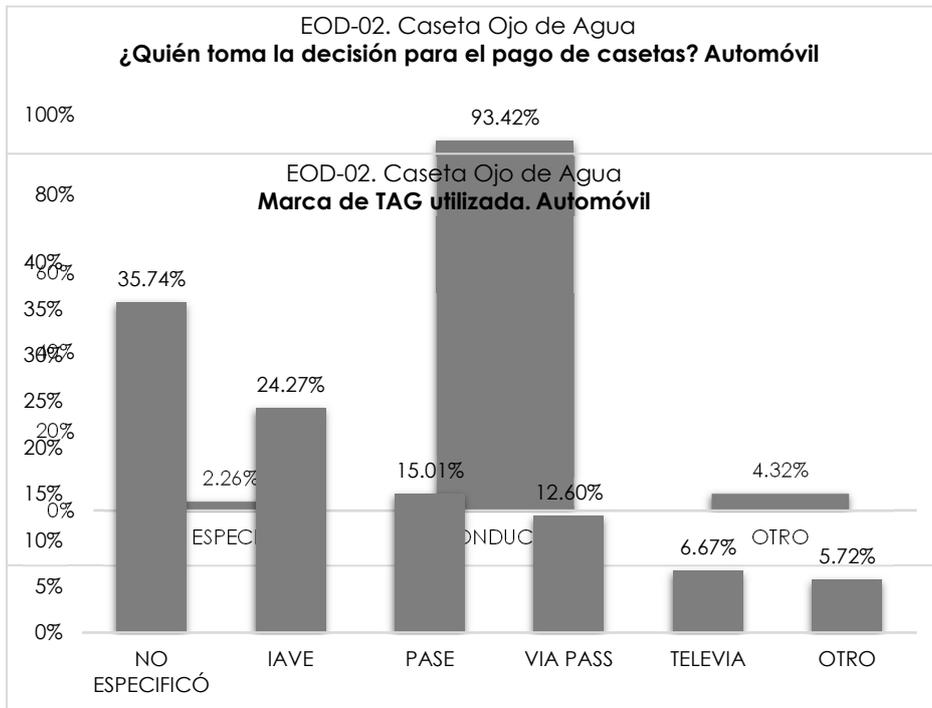


Figura 58. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Sobre la decisión del pago de peajes, más del 90% de los automovilistas respondió que el conductor toma esa decisión y el 7% especificó que alguien más toma la decisión o no especificó su respuesta.

Figura 59. Pago de casetas. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.



De las marcas de TAG utilizadas por los conductores de automóviles en este punto de encuestas se encontró que IAVE fue la marca más utilizada por los encuestados con un 24%, TAG PASE obtuvo el 15%, muy cerca se encuentra VÍA PASS con el 13%, solo el 7% de los encuestados utiliza TELEVIA, y el 41% utiliza otra marca o método de pago o no especificó su respuesta.

Figura 60. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Sobre los parámetros que los usuarios toman en cuenta para elegir la ruta por la que transitan, de los resultados obtenidos se observa una paridad en dos parámetros, tiempo y seguridad, con un 35% cada uno. El costo obtuvo el 25% y por último solo un 5% eligen la ruta por los servicios que presta o por el confort que ofrece.

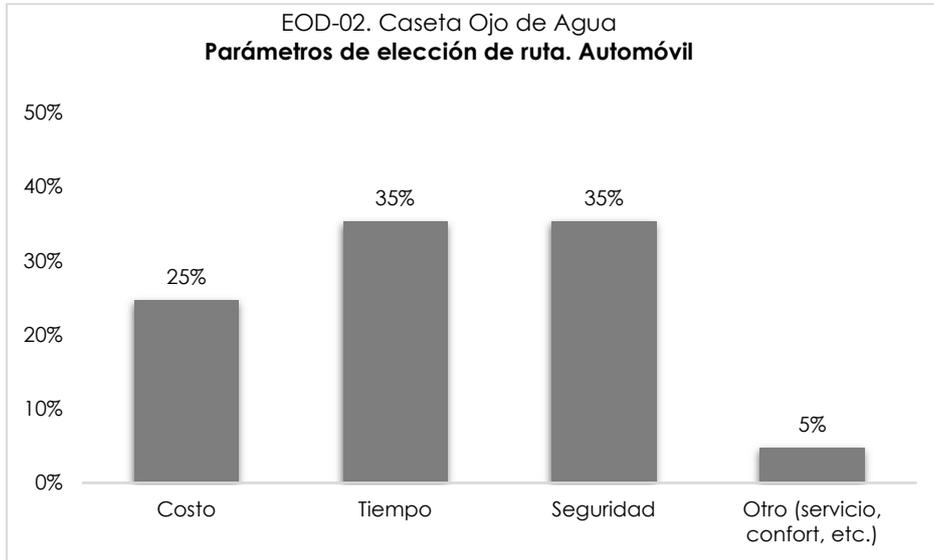


Figura 61. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

En el tema referente al nivel de ingresos mensual en el que se encuentran los encuestados, se obtuvieron tres rangos con porcentaje similar, con 23% se encuentran las personas con un ingreso de \$2,001 a \$6,000 pesos, y con 22% los rangos de \$10,001 a \$15,000 pesos y de \$6,001 a \$10,000 pesos. Las personas que perciben de \$15,001 a \$20,000 pesos representan el 16%, y menos del 10% de los usuarios percibe más de \$20,000 (7%), de \$0 a \$2,000 (6%), o no especificó su respuesta (4%).

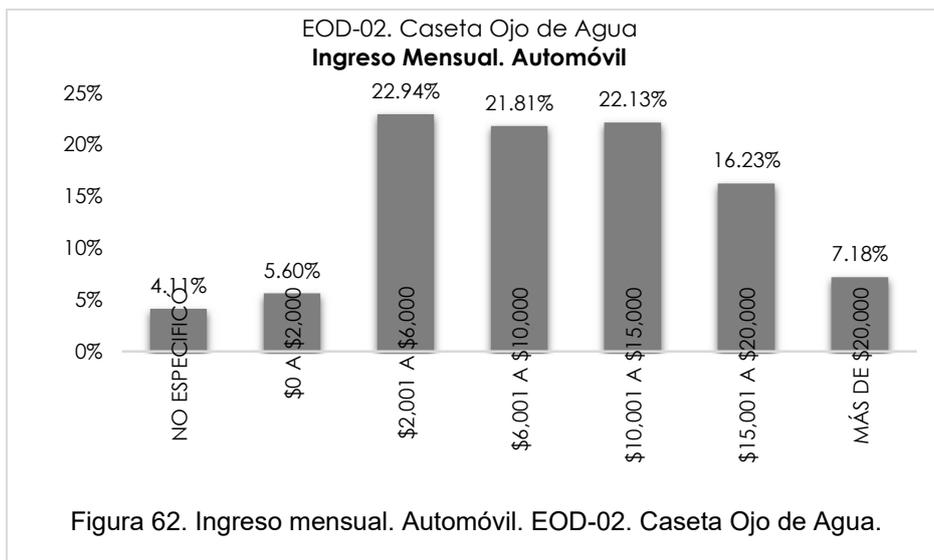
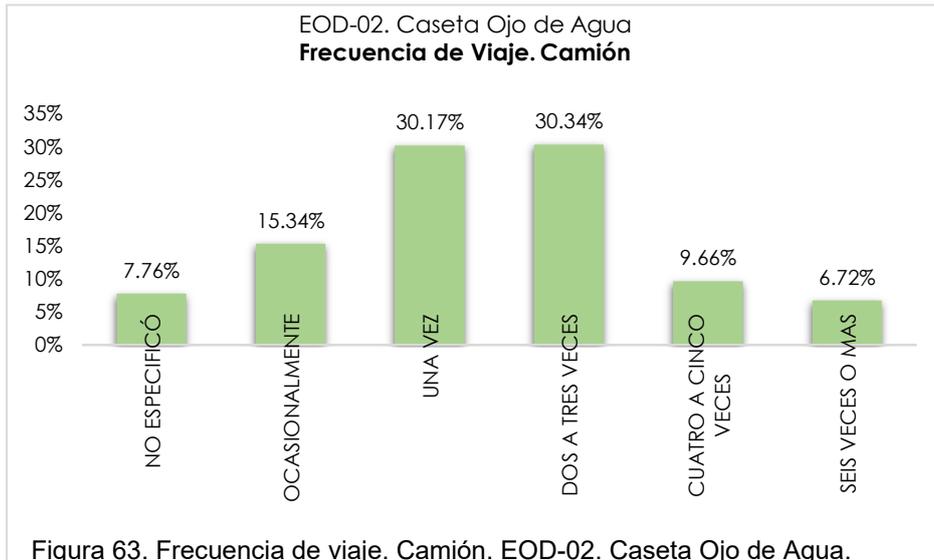


Figura 62. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

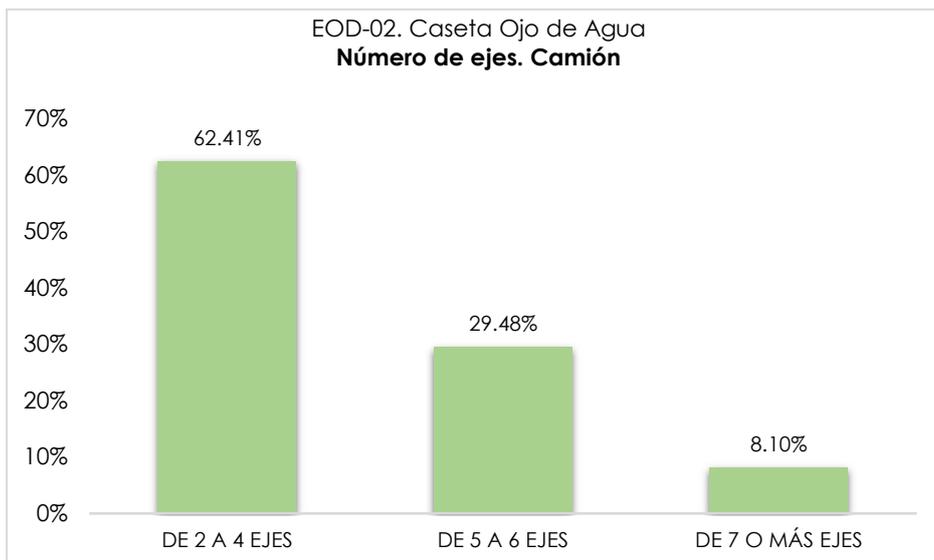
### Caracterización en vehículos de carga

La frecuencia de viaje muestra que los conductores encuestados en la caseta Ojo de Agua, Autopista México - Pachuca, realizan este viaje una vez a la semana y de dos a tres veces por semana en el 30% de los casos respectivamente. Usuarios que solo ocasionalmente utilizan la vialidad son el 15%. De cuatro a cinco veces por semana se obtuvo el 10%, el 7% presenta una frecuencia de seis o más veces a la semana. Los que no especificaron su frecuencia son el 8%.



Para detectar el tipo de vehículo pesado que transita por la Autopista México - Pachuca a la altura de la caseta Ojo de Agua, se realizó una pregunta acerca del número de ejes de la unidad, donde más del 60% de los encuestados se encontraban en un vehículo de 2 a 4 ejes. Vehículos que tienen de 5 a 6 ejes se encuentran con un 30% y menos del 10% los vehículos de 7 o más ejes.

Figura 64. Número de ejes. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.



Acerca de los tipos de carga detectados en este punto, se obtuvo que el 30% de los vehículos encuestados llevaba un tipo de carga diferente a los propuestos, seguido de abarrotes y bebidas con el 27%. Otros tipos de carga obtenidos no sobrepasan el 10% cada uno; materiales para construcción (10%), petróleo y derivados (7%), agrícolas y forestales (6%), industriales (5%), entre otros.

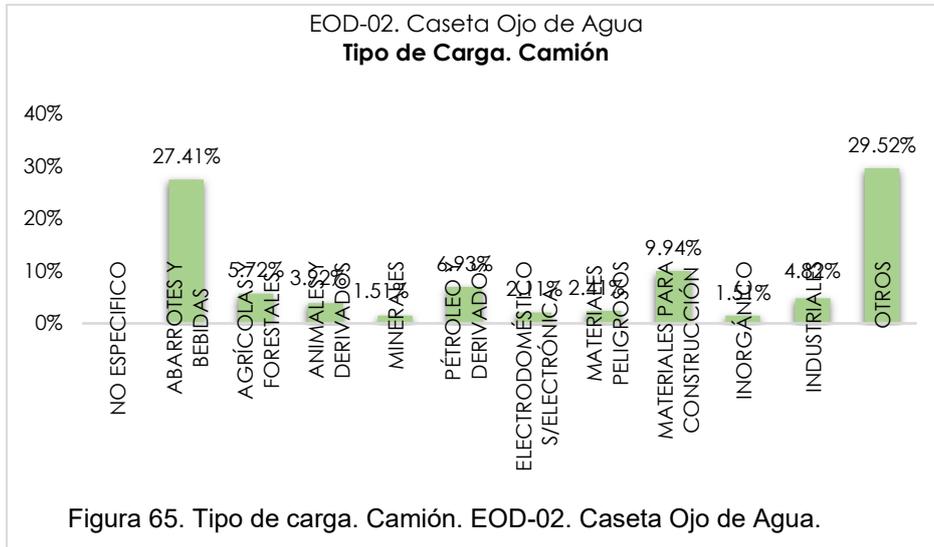


Figura 65. Tipo de carga. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

En la duración del viaje se observó que casi el 45% de los encuestados tardan más de 120 minutos en realizar su viaje. Más del 50% se encuentran distribuidos entre 30 minutos a 119 minutos de duración y solo el 4% tarda menos de 30 minutos.

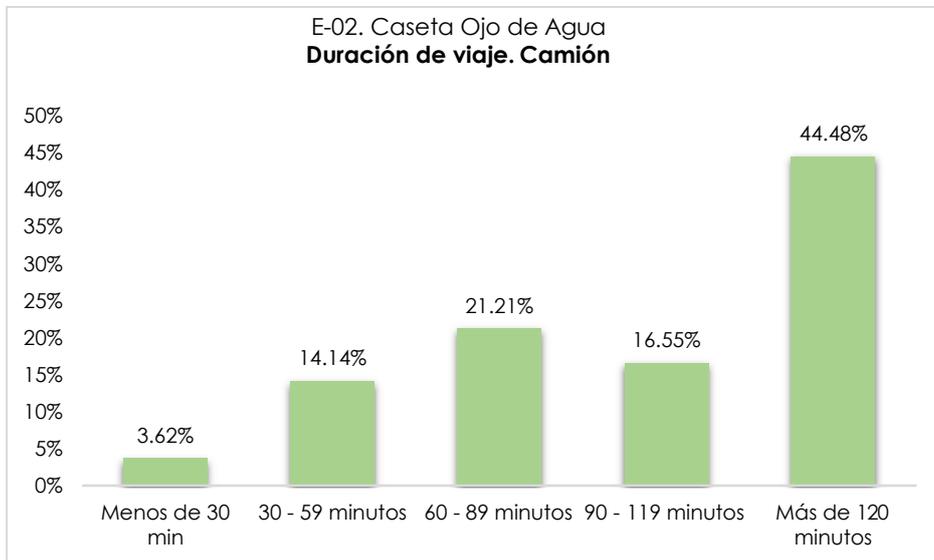


Figura 66. Duración de viaje. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Respecto a la decisión de pago de peaje, se obtuvieron los siguientes resultados: más de la mitad de las encuestas indicaron que la decisión la toma otra persona (59%), en el 39% de los casos lo hace el conductor y solo el 2% no especificó su respuesta.

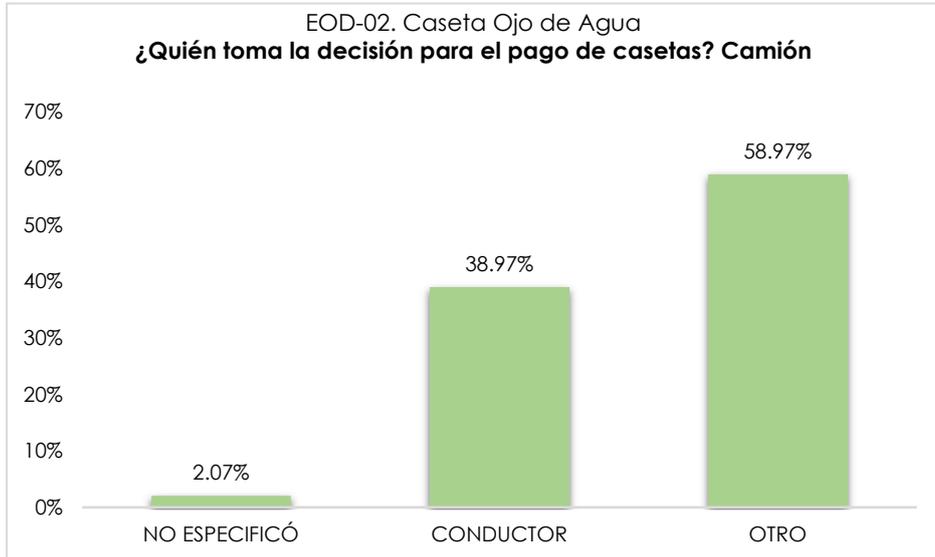


Figura 67. Pago de casetas. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Con relación a la participación que tienen los diferentes tipos de TAG para el pago de cuota, se registró que el TAG más utilizado es IAVE con el 53% de las encuestas, con menos del 15% está PASE, con menos de la mitad del porcentaje de PASE está VIA PASS con un 7%, el 3% utilizó otro método, el 2% empleó TELEVIA y el 20% no especificó el tipo de TAG utilizado.

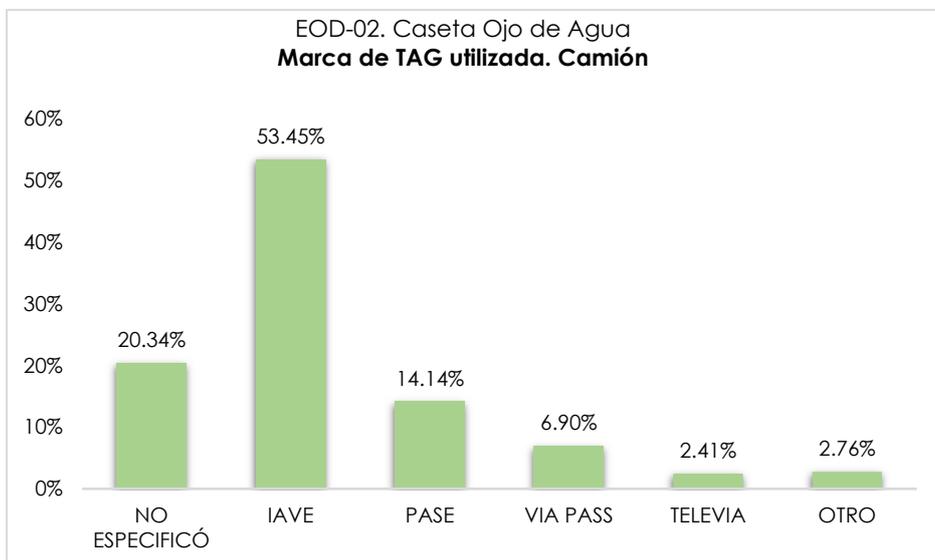
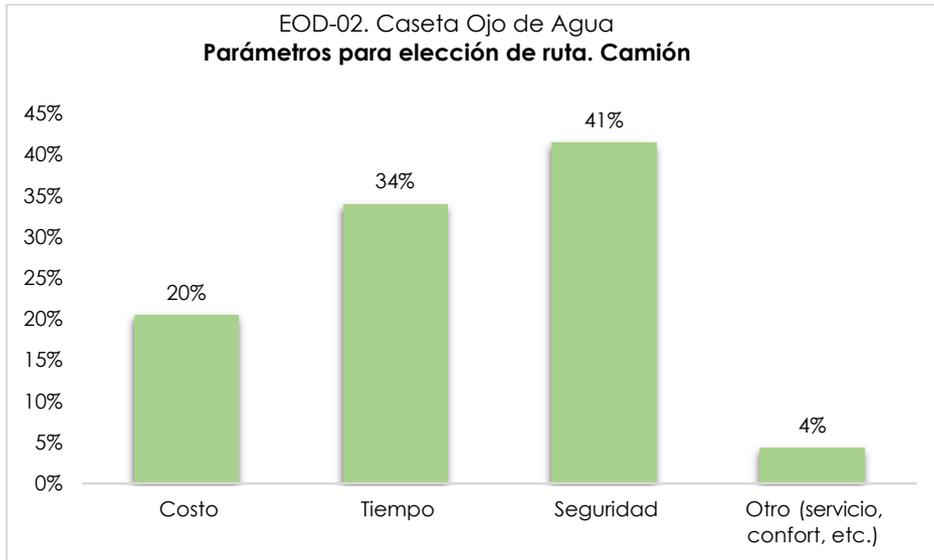


Figura 68. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.

Sobre el motivo de la elección de la ruta se obtuvieron los siguientes resultados, más del 40% de los encuestados indicó que lo hace por la seguridad de la vialidad, el 34% de los encuestados elije esta ruta por el tiempo de duración del viaje, el costo es el tercer parámetro escogido por los usuarios para utilizar esta vialidad con el 20%, y solo el 4% lo hace por otros motivos como servicios o confort.

Figura 69. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-02. Caseta Ojo de Agua.



### 2.3.5.3. Caracterización de la demanda - Estación 03

#### Caracterización en automóvil

En las encuestas realizadas en la caseta Revolución, Autopista México - Pachuca, el principal motivo de viaje para los automovilistas fue por cuestiones de trabajo con el 47%. En segundo lugar, está el 19% que respondió que fue a la zona de estudio por motivos de visita a familiares o amigos. A continuación, está el motivo recreación con el 16% y el motivo compras con el 9%. El rubro con menor porcentaje fue el de estudio con el 7%.

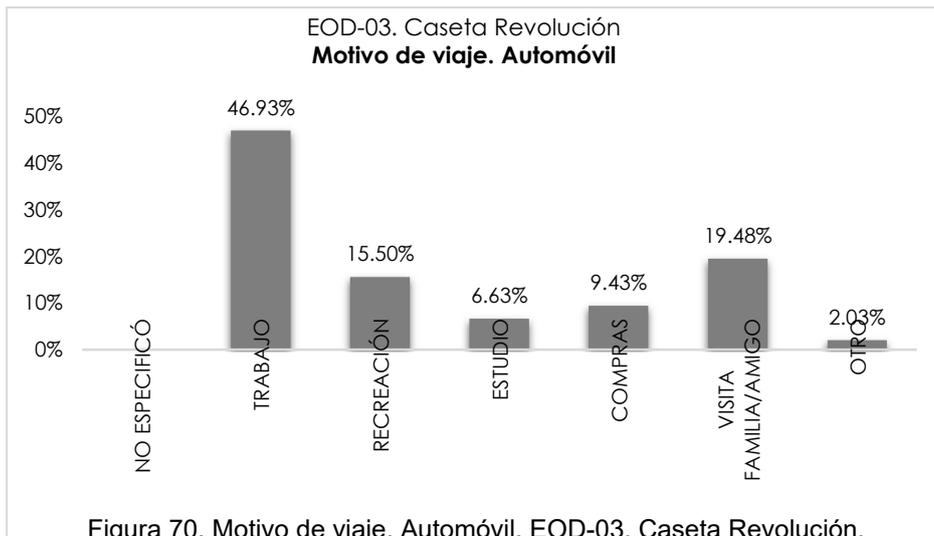


Figura 70. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

Con respecto a la frecuencia con la que realizan su viaje cada uno de los encuestados, el registro más alto fue del 42% para los viajes realizados ocasionalmente, seguido del 18% para los viajes realizados de cuatro a cinco veces por semana. Los viajes que se realizan más de dos a tres veces por semana obtuvieron el 16%, una vez por semana el 15%, y seis veces o más por semana el 8%.

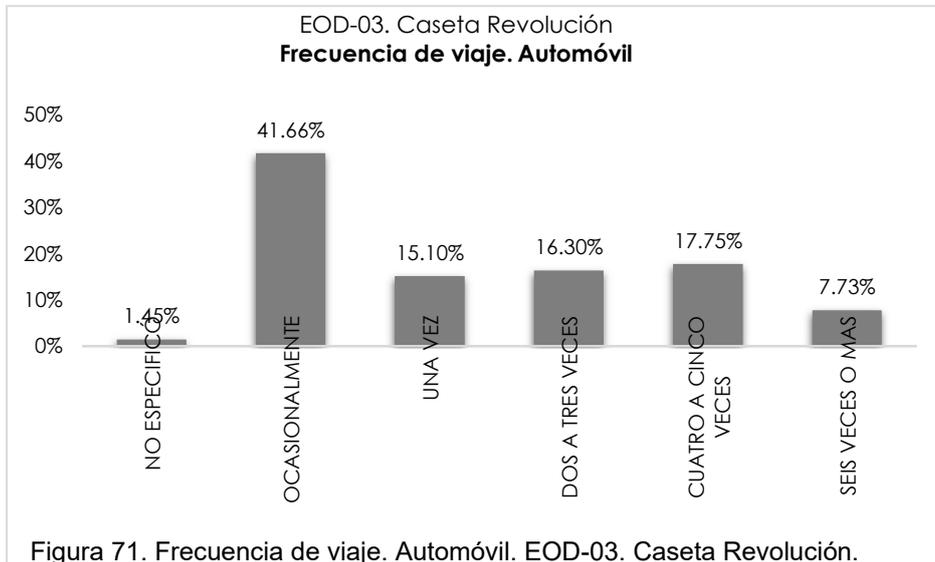


Figura 71. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

El 32% de los conductores de vehículos ligeros declaró que la duración de sus viajes está entre 30 y 59 minutos y el 20% tardan más de 120 minutos en completar el viaje hacia su destino. Entre 60 y 89 minutos está el 19% de los casos, menos de 30 minutos el 18%, y entre 90 y 119 minutos el 11%.

Adicionalmente, de las personas encuestadas, en el 40% de los casos se apreció que únicamente iba el conductor en el vehículo, mientras que en el 33% de los casos iban 2 personas a bordo. Solo el 11% de las encuestas dieron como resultado un número de 4 o más personas a bordo.

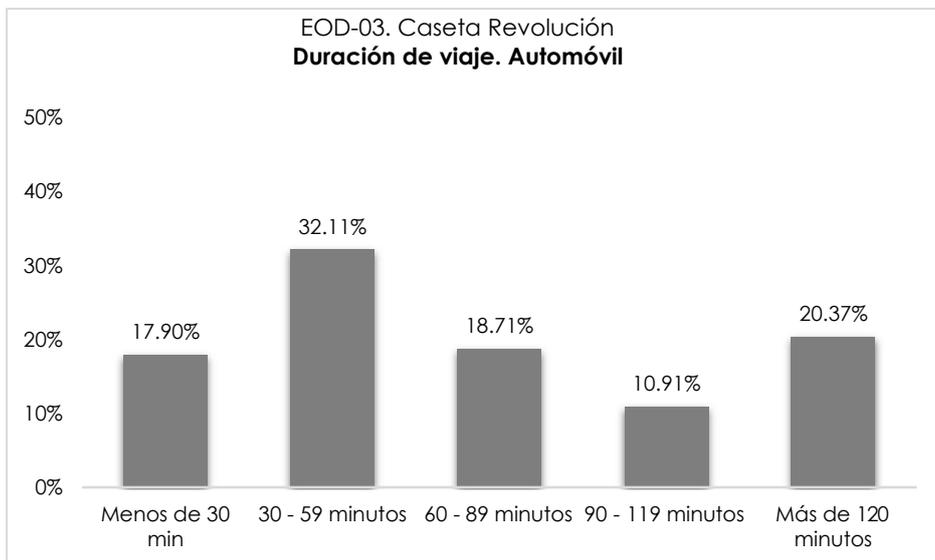


Figura 72. Duración de viaje. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

La pregunta acerca de la carretera o autopista que utilizan los conductores dio como resultado que más del 48% de los encuestados utiliza la Autopista México - Pachuca. En segundo lugar, se utiliza la Carretera Libre México - Pachuca con el 18%. En tercer lugar, está el CEM con 15%. La Autopista Ecatepec - Pirámides es la menos utilizada con solo el 11%.

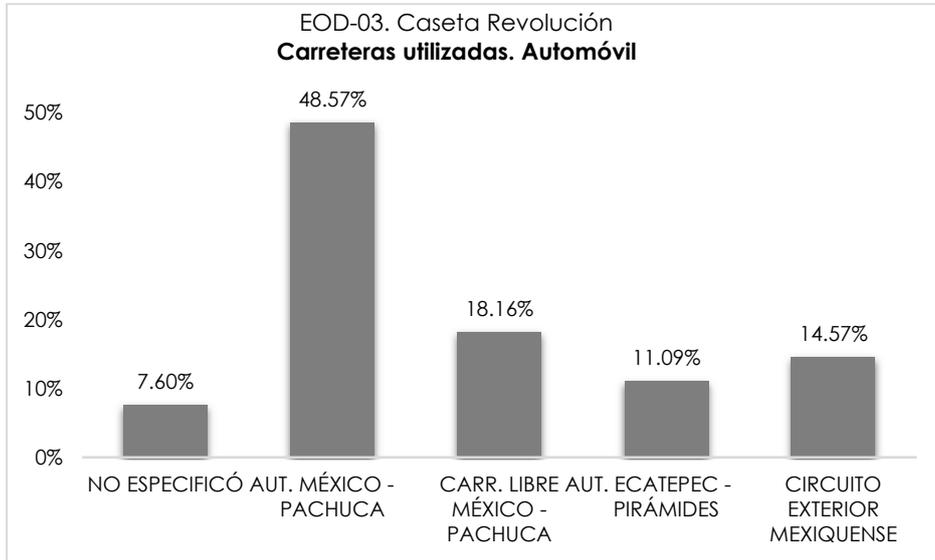


Figura 73. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

Sobre el pago de casetas de cuota, más del 93% de los encuestados declaró que la decisión es propia respecto a pagar o no peaje. Únicamente el 6% respondió que la elección es tomada por otros.

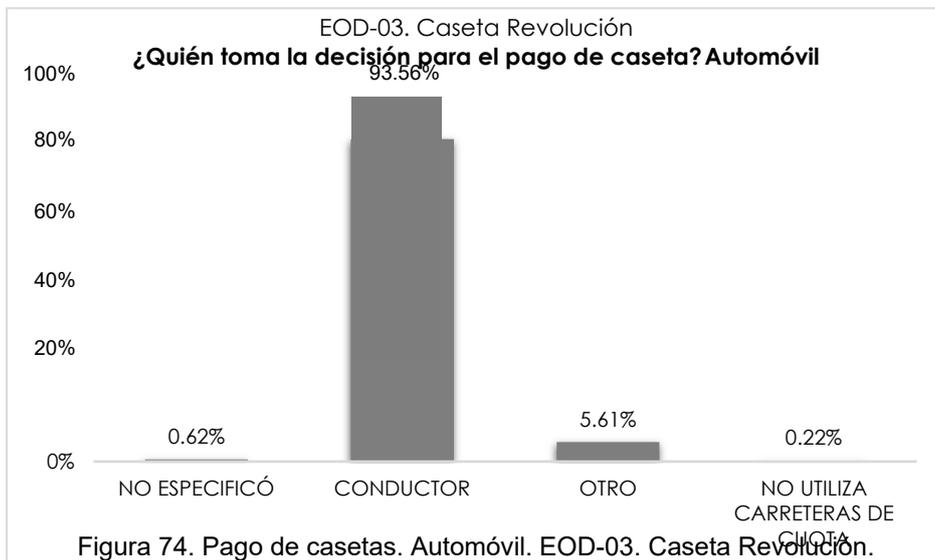


Figura 74. Pago de casetas. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

Acerca de la importancia del TAG para los automovilistas, las encuestas dieron como resultado que las marcas más utilizadas por los conductores son IAVE con 24% del total de los encuestados, PASE recibió el 18%, VIA PASS el 13%, TELEVIA el 9%, otro medio de pago u otra marca el 5%. El 31% no especificó si utiliza TAG o no.

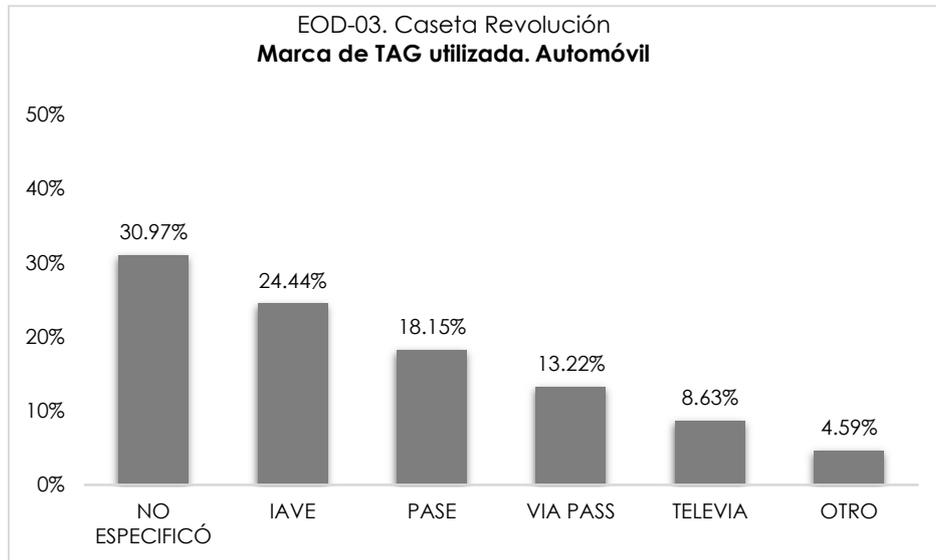


Figura 75. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

En cuanto a las variables que se consideran para la decisión de la ruta, se puede observar que los encuestados le dan importancia a la seguridad durante su recorrido con el 33%, seguido del tiempo con 31% y el costo con el 25%. Servicio y confort solo representan el 11%.

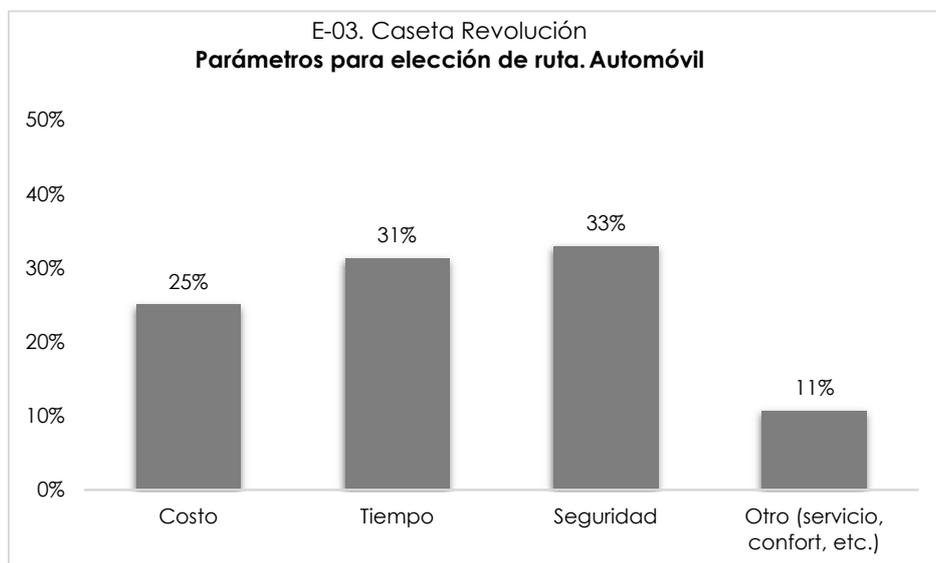
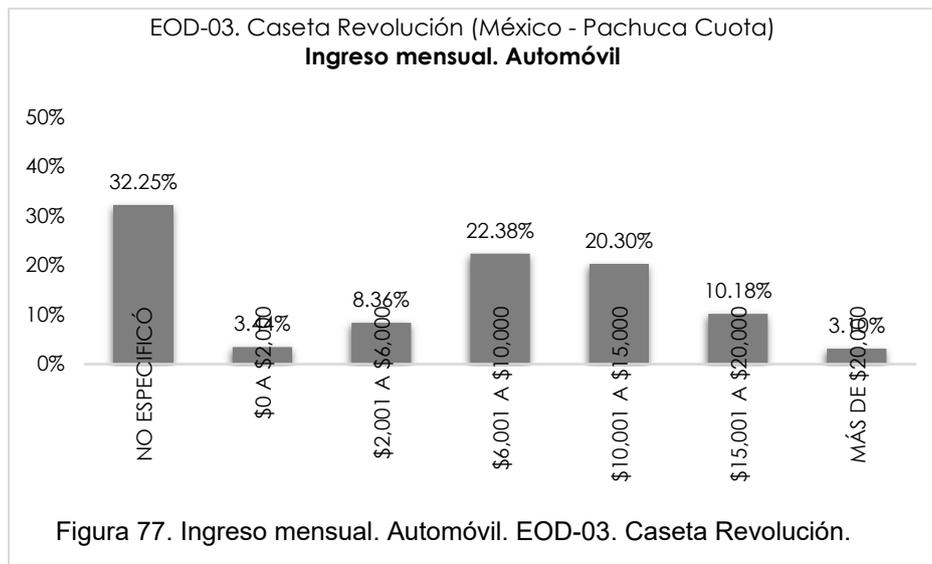


Figura 76. Parámetros para elección de ruta. Automóvil. EOD-03. Caseta Revolución.

Referente al ingreso mensual, aproximadamente el 22% de los encuestados respondieron tener un salario que ronda entre los \$6,001 y \$10,000 pesos al mes, siendo éste el rango de salario con mayor porcentaje. Por otra parte, el 20% de las personas contestaron recibir un salario de \$10,001 a \$15,000 pesos mensuales. El 10% de \$15,000 a \$20,000 pesos mensuales, y el 8% de \$2,000 a \$6,000 pesos mensuales. Solo el 3% recibe más de 20 mil pesos mensualmente o de \$0 a \$2,000 pesos mensuales. Por último, el 32% de los automovilistas encuestados no especificó su ingreso mensual.



### Caracterización en vehículos de carga

La frecuencia con la que realizan los viajes los conductores de vehículos de carga en la caseta Revolución, Autopista México - Pachuca, es en la mayoría de los casos ocasional, con el 36% de los encuestados. Por otro lado, el 20% de los conductores respondió que los viajes los realizan de dos a tres veces por semana. Una vez por semana es el 14%, y cuatro a cinco veces por semana es el 6%. Solo el 2% de las personas respondió que su frecuencia de viaje a la semana es de seis veces o más. Por otro lado, el 23% de los encuestados no especificó la frecuencia de su viaje.

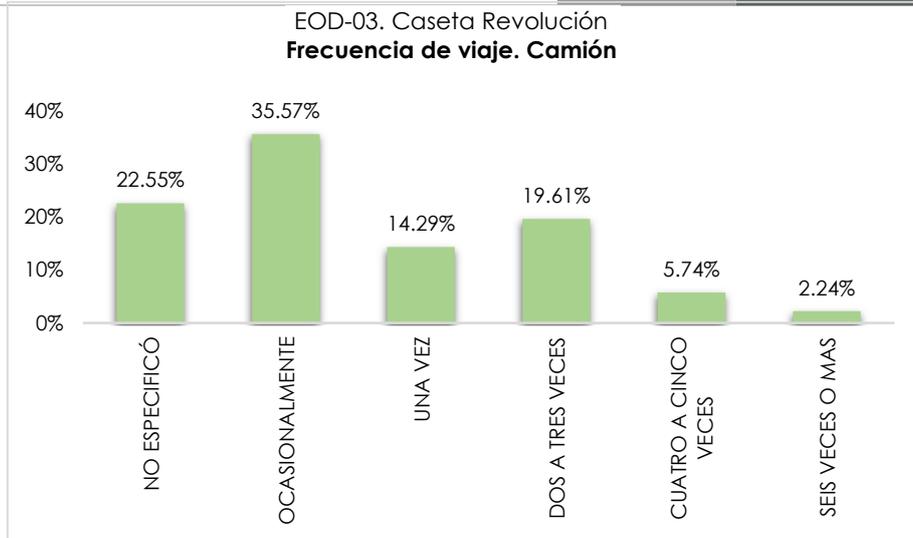


Figura 78. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

Sobre el número de ejes, se observa similitud pues el 46% de los camiones de carga son de 5 o 6 ejes, y el 41% son de 2 a 4 ejes. Solo el 13% de los vehículos fueron de 7 o más ejes. En conclusión, poco más de la mitad de la muestra fue de camiones articulados.

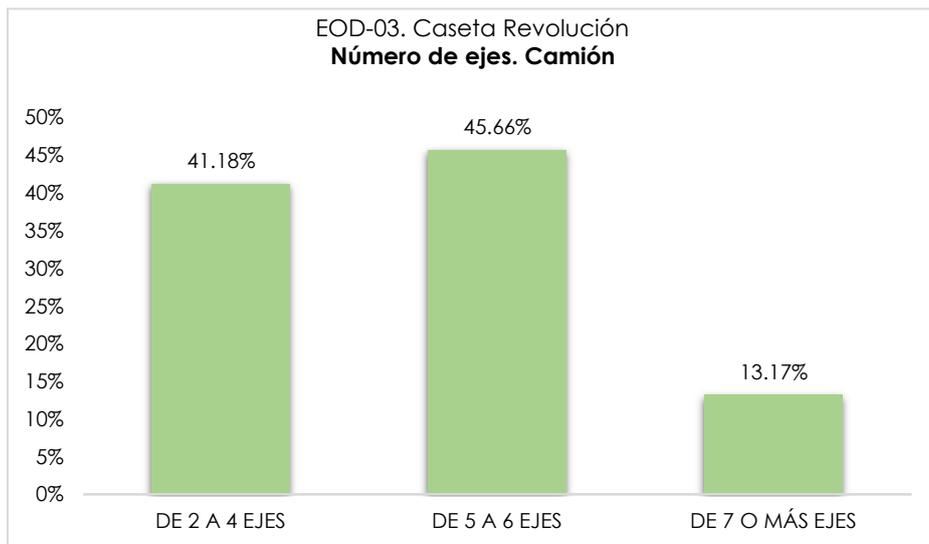


Figura 79. Número de ejes. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

De los vehículos de carga que se encuestaron, alrededor del 40% no especificó la carga de la unidad. De las opciones definidas para ubicar el tipo de carga que trasladaban se registró un 13% de abarrotes y bebidas, un 7% en productos agrícolas y forestales, y en tercer lugar con 6% están los materiales peligrosos, los materiales para construcción y los productos industriales.

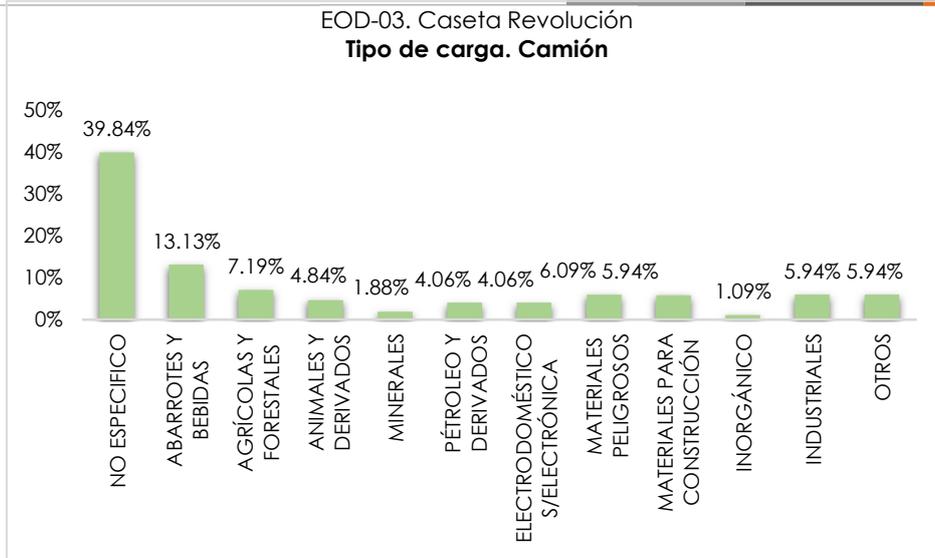


Figura 80. Tipo de carga. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

La duración de viaje declarado por los conductores en vehículos de carga, en su mayoría, es de más de 120 minutos, con el 54%. En segundo lugar, lo ocupan los viajes realizados en menos de 30 minutos y en el rango de 60 a 89 minutos, ambos con 15%. En tercer lugar, están los viajes con duración de 90 a 119 minutos, y por último los viajes de 30 a 59 minutos.

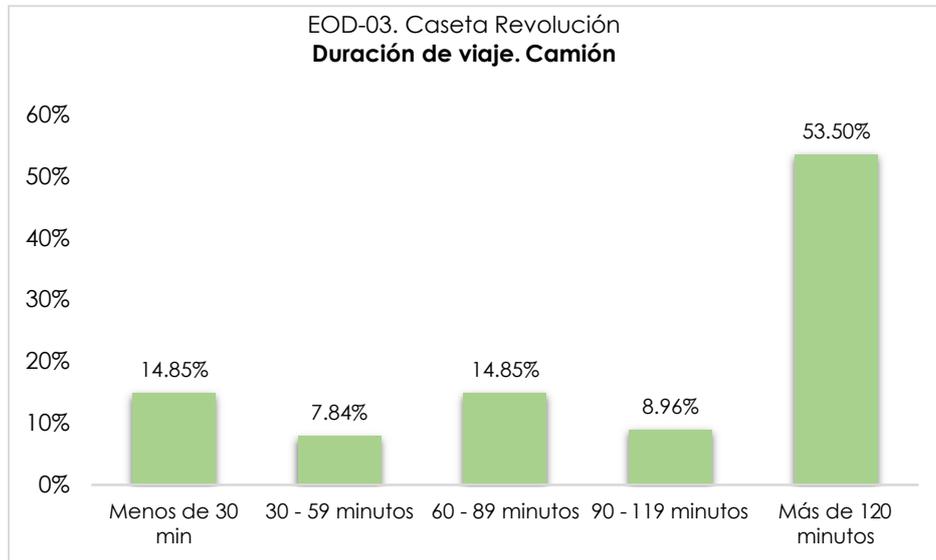
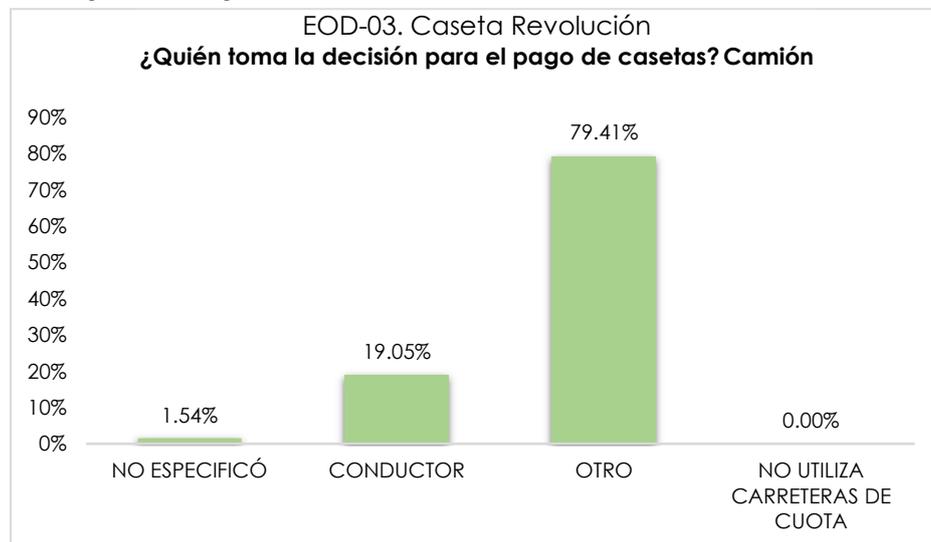


Figura 81. Duración de viaje. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

Respecto a la decisión del pago de casetas, el 79% de los conductores de vehículos de carga declararon que la decisión la toma el cliente y/o personal encargado en el tema dentro de la empresa de transporte y el 19% respondió que es el mismo conductor quién tiene la decisión del pago del peaje.

Figura 82. Pago de casetas. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.



Con respecto a la importancia del TAG, más del 91% de los encuestados considera indispensable el uso de este dispositivo. Las marcas más utilizadas por los conductores son IAVE con el 62%, seguido por TELEVIA con el 14% y PASE con el 11%. Solo el 7% no especificó la marca que utiliza.

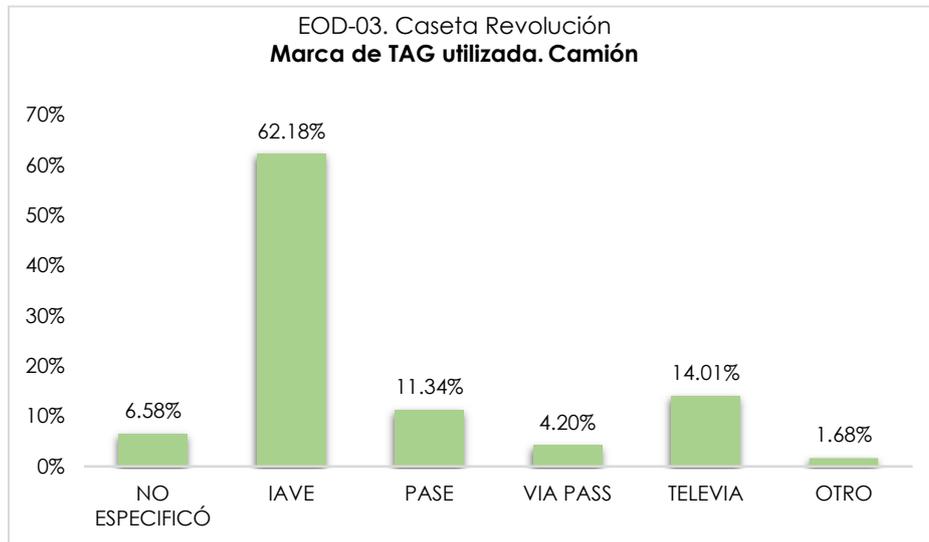


Figura 83. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

En cuanto a las variables que se consideran para la decisión del pago de una vía de cuota, la mayor parte de los encuestados expresó que la seguridad es el factor más importante, obteniendo el 38%. En segunda instancia se tiene el costo con un 26%. A continuación, se tiene el tiempo con un 24%. Por último, están servicio y confort con 13%.

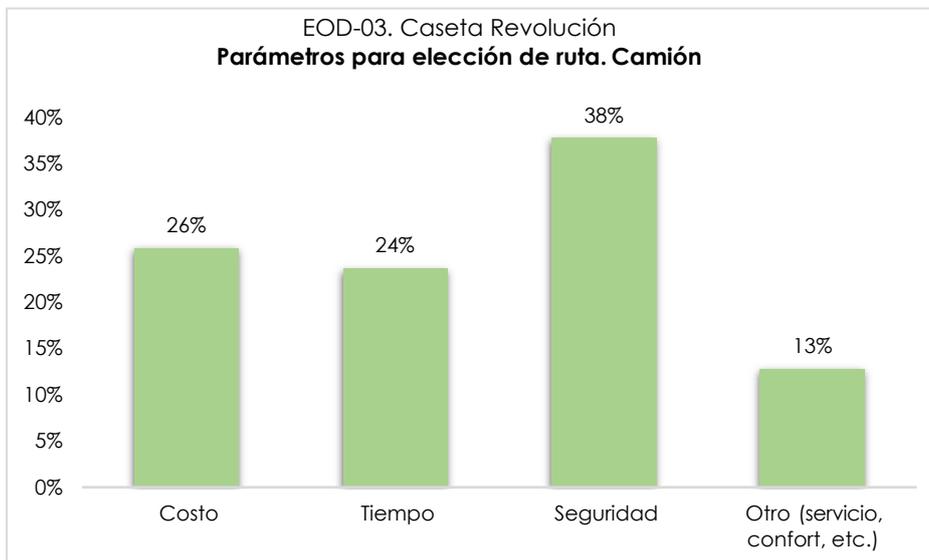


Figura 84. Parámetros para elección de ruta. Camión. EOD-03. Caseta Revolución.

### 2.3.5.4. Caracterización de la demanda - Estación 04

#### Caracterización en automóvil

El principal motivo de viaje que declararon los conductores de vehículos ligeros en la caseta Ecatepec ubicada en la Autopista Ecatepec - Pirámides, fue por trabajo, ocupando el 50% del total de la encuesta. Los siguientes principales motivos declarados por los conductores fueron por visita a familiar o amigos y por recreación, ocupando 21% y 18% respectivamente. Compras como motivo de viaje registró el 7%. El estudio recibió una cantidad menor de viajes, obteniendo solo el 1%.

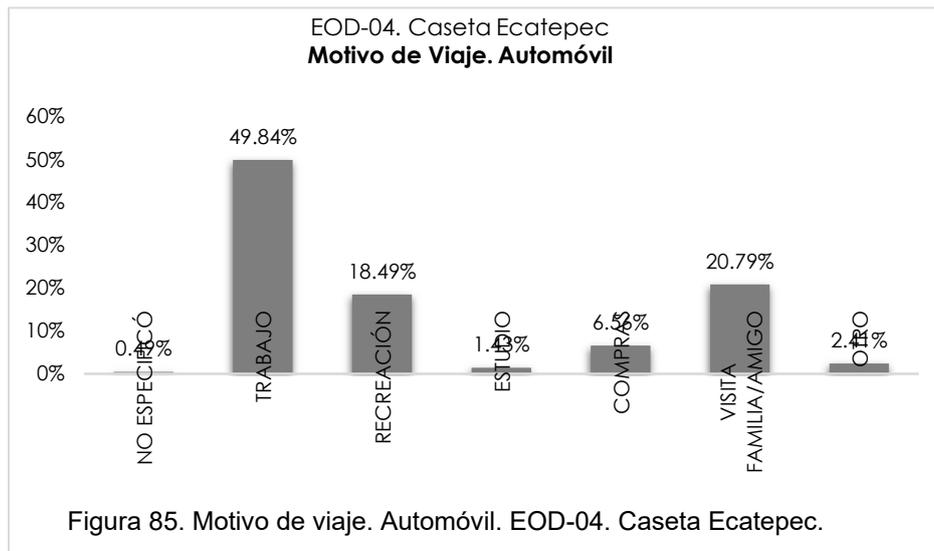


Figura 85. Motivo de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Cerca del 38% expusieron que sus viajes los realizan una vez a la semana, siendo este el registró más alto. Los viajes que se realizan de manera ocasional ocuparon el 35% del total de la encuesta. Dos a tres veces por semana representa el 19%. Cuatro a cinco veces por semana fue el 6%. Únicamente el 3% contestó que su viaje lo realizan seis veces por semana o más.

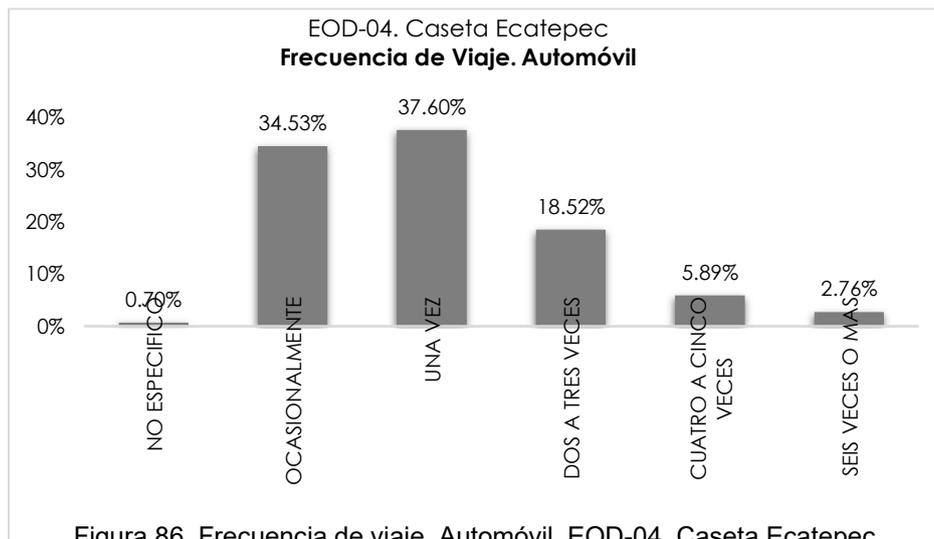
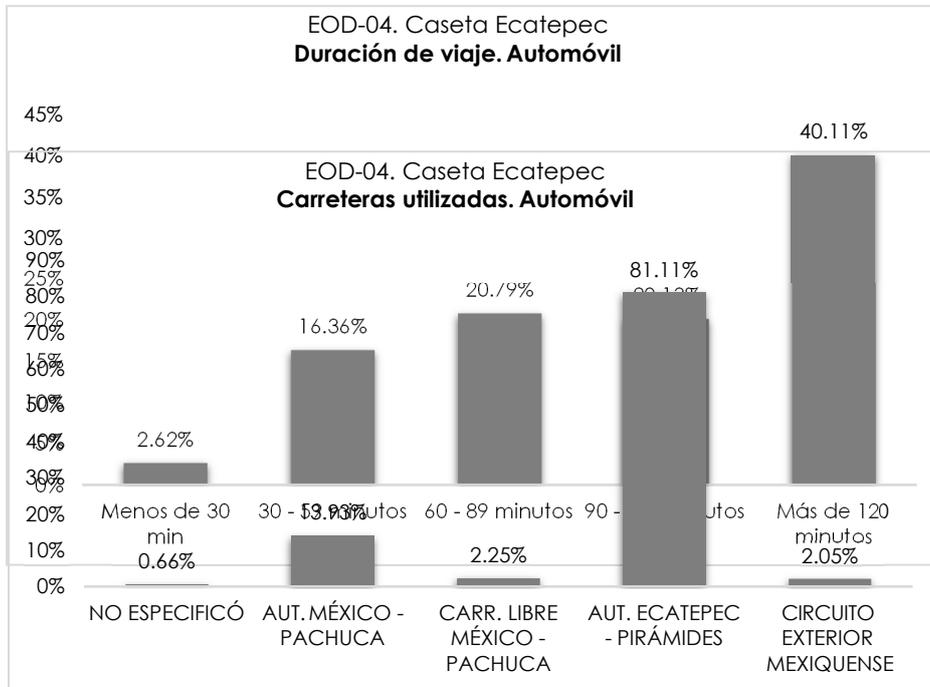


Figura 86. Frecuencia de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Aproximadamente el 40% de los encuestados tardan más de 120 minutos en realizar su recorrido hasta su destino. El 21% asegura que tardan entre 60 y 89 minutos, mientras que el 20% tarda entre 90 y 119 minutos. De 30 a 59 minutos representan el 17%. Solo el 3% realizan su viaje en menos de 30 minutos.

Figura 87. Duración de viaje. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

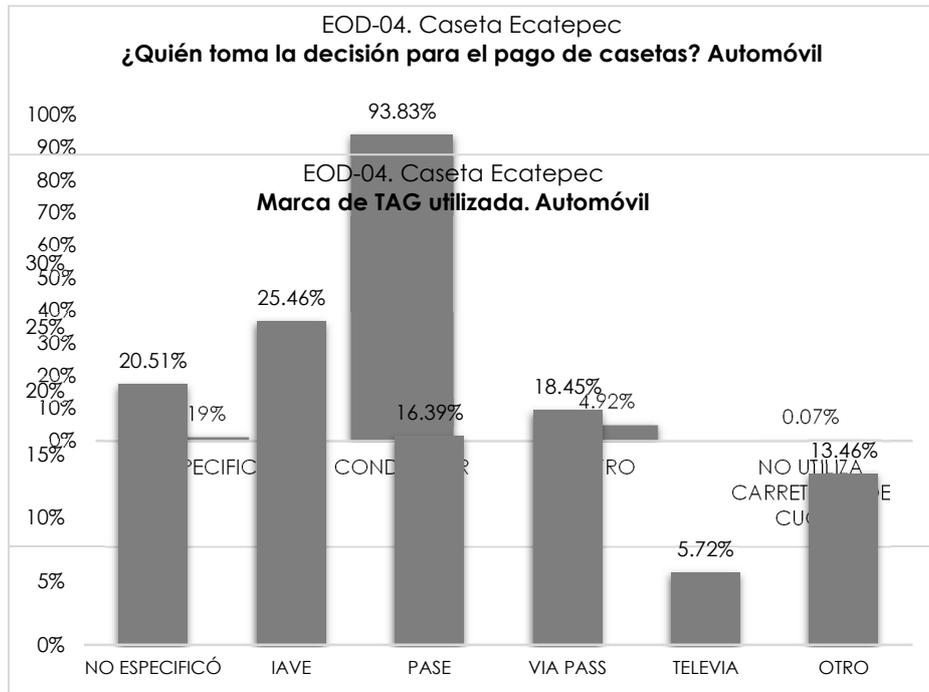


Con más del 80% del total de la muestra, las personas respondieron que la Autopista Ecatepec - Pirámides es la que utilizan para sus viajes. Por otro lado, la Autopista México - Pachuca ocupa el segundo lugar con el 14%. Solo el 2% respondió que utiliza la carretera libre México - Pachuca o el Circuito Exterior Mexiquense como parte de su ruta.

Figura 88. Carreteras utilizadas. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Como se pudo observar en la gráfica anterior, aproximadamente el 97% de las personas que fueron encuestadas utilizan carreteras de cuota en el trayecto de su viaje. De estos viajes, el 94% de ellos declaró tomar la decisión en cuanto al pago de casetas y el 5% asegura que la decisión la toma alguien más.

Figura 89. Pago de casetas. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

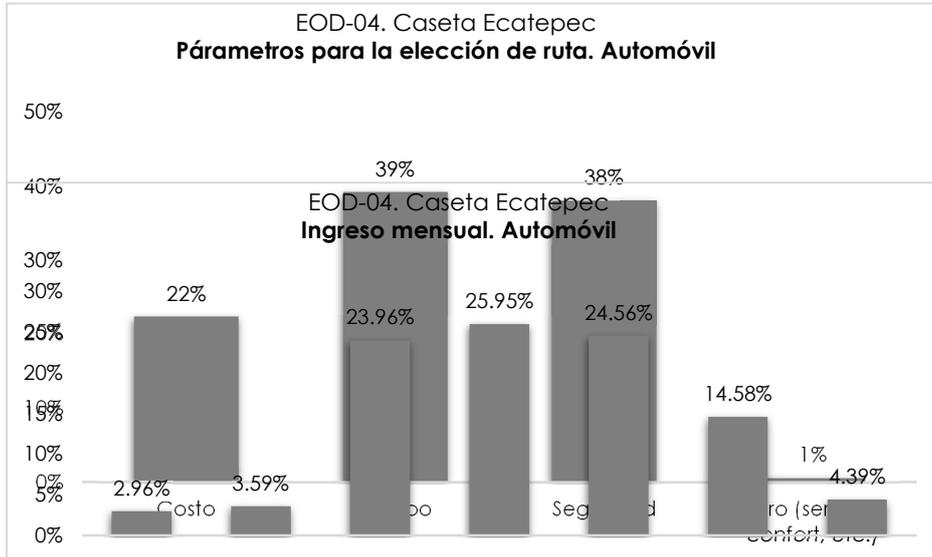


La pregunta sobre la utilidad del TAG entre los usuarios da como resultado que más del 60% de los encuestados considera útil el uso de este dispositivo. La marca preferida por los conductores es IAVE con poco más del 25%. En segundo lugar, está la marca VIA PASS con el 18%. Por último, se tienen las marcas PASE y TELEVIA con 16% y 6% respectivamente.

Figura 90. Marca de TAG utilizada. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

En cuanto a las variables para la elección de una ruta, existe una similitud entre los parámetros tiempo y seguridad, con 39% y 38% respectivamente, mientras que el factor costo pasa a tercer lugar con el 22%.

Figura 91. Parámetros para la elección de ruta. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.



El 26% de la muestra respondió percibir un ingreso mensual de \$6,001 a \$10,000 pesos. En segundo término, se ubican los automovilistas con un salario mensual de \$10,001 a \$15,000, con el 25% de los casos, y en tercer lugar se ubican aquellos con una remuneración de 2 a 6 mil pesos al mes, con el 24%. De \$15,000 a \$20,000 representa el 15%. Por último, los salarios con menor porcentaje son por arriba de \$20,000 y de 0 a 2 mil pesos con solo el 4%.

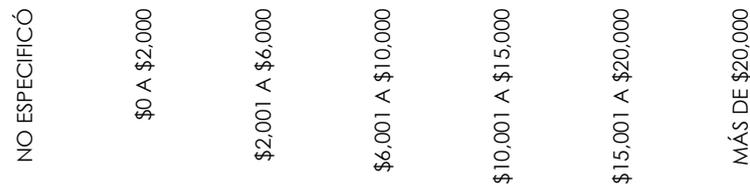


Figura 92. Ingreso mensual. Automóvil. EOD-04. Caseta Ecatepec.

### Caracterización para vehículos de carga

De las encuestas que se aplicaron a operadores de vehículos de carga en la caseta Ecatepec ubicada en la Autopista Ecatepec - Pirámides, el 37% de los encuestados declaró realizar el viaje solo una vez por semana, mientras que el 32% dijo realizar su viaje de dos a tres veces por semana. Por último, se encuentran los viajes que se realizan de manera ocasional, obteniendo el 15% del total de la muestra.

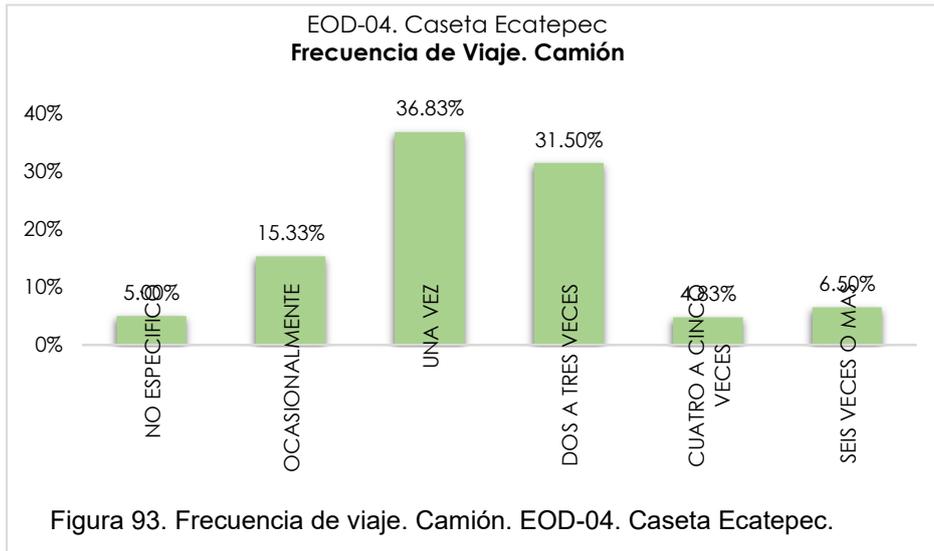


Figura 93. Frecuencia de viaje. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Acerca de las características del vehículo, el más representativo es de 2 a 4 ejes con el 50%, seguido por vehículos de 5 a 6 ejes con el 43%, restando los camiones configurados de 7 o más ejes con el 7%. Con los porcentajes mencionados la circulación de los camiones unitarios representa la mitad de la muestra en esta estación.

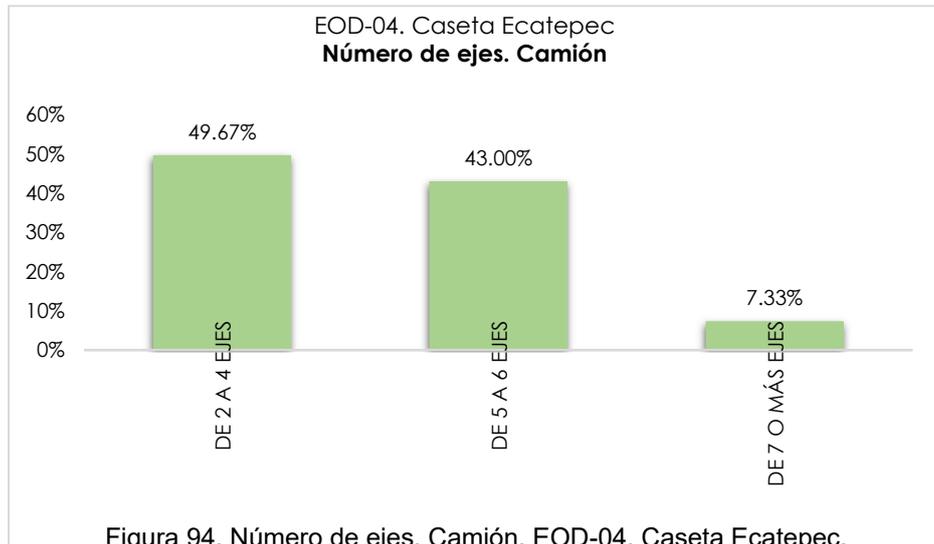


Figura 94. Número de ejes. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Respecto al tipo de carga, el 53% respondió traer carga, mientras que el 47% restante aseguró que no traía. De las opciones definidas en la encuesta, se registró que el 14% transportaba abarrotes y bebidas, y el 8% transportaban petróleo y derivados y materiales para construcción. La mayoría no especificó el tipo de carga que transportaba, obteniendo el 36%.

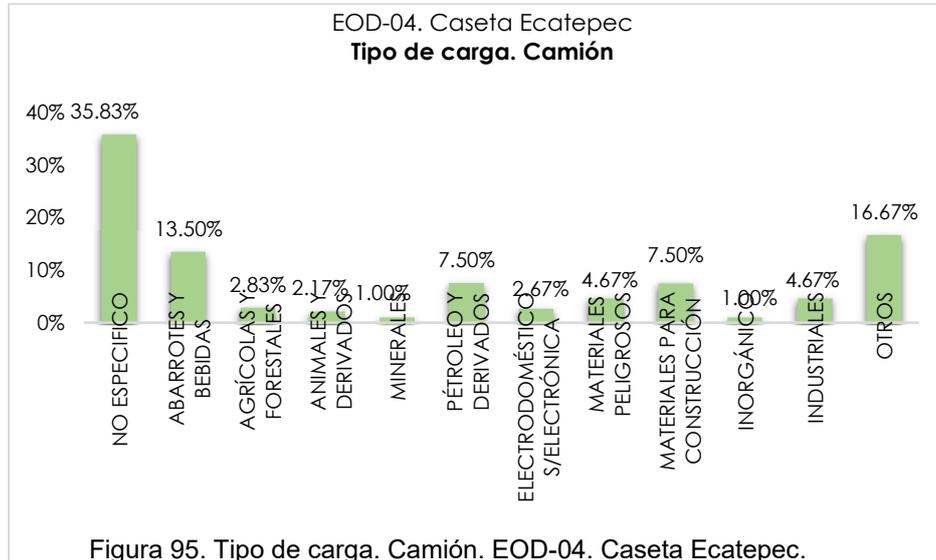


Figura 95. Tipo de carga. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Con relación al tiempo de viaje declarado por los conductores en vehículos de carga se obtuvieron los siguientes resultados: el 74% de los encuestados declaró tardar más de 120 minutos en completar su viaje. Los rangos de 60 a 80 minutos y 90 a 119 minutos representan el 9.3% y 9.5% respectivamente. De 30 a 59 minutos abarca el 5% de los casos. Únicamente el 3% completa su viaje en menos de 30 minutos.

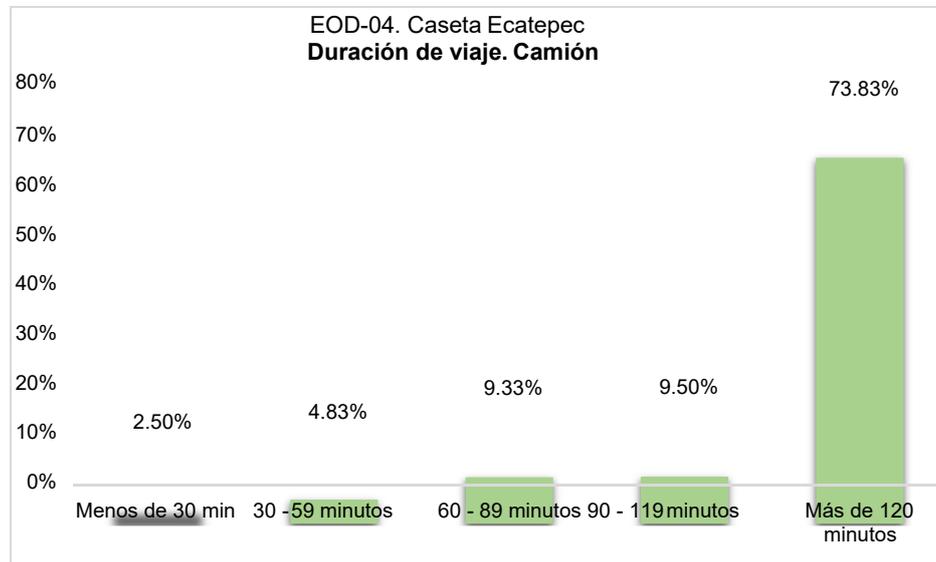


Figura 96. Duración de viaje. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Alrededor del 69% de las personas encuestadas que operan un vehículo de carga contestaron que la decisión para el pago de casetas la toma el cliente y/o el encargado de programar la ruta del transportista. Solo en el 30% de los casos el conductor es quien toma la decisión de pago.

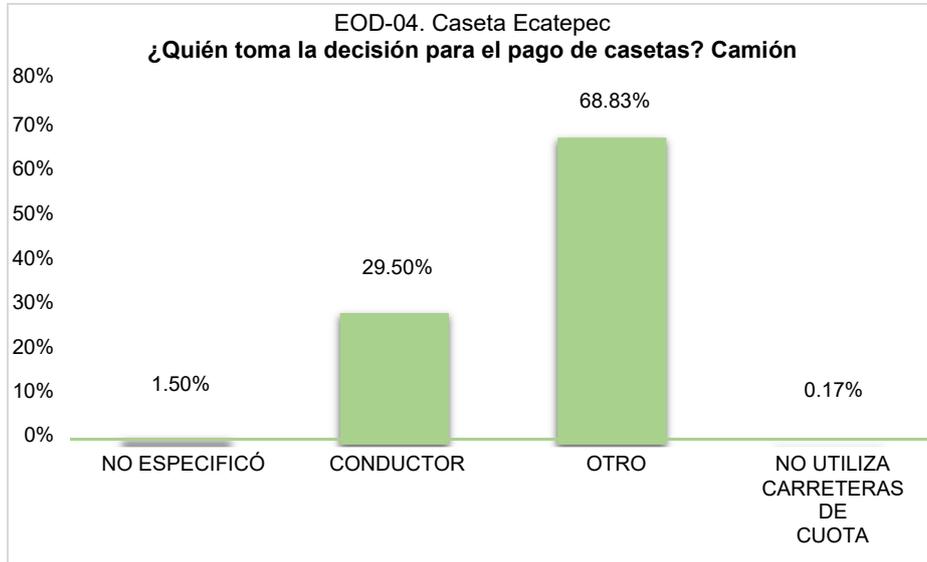


Figura 97. Pago de casetas. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

Con respecto a la percepción del uso del TAG en los conductores de vehículos de carga, un 89% considera que es importante la utilidad de este sistema de pago de casetas. Entre las marcas que más se utilizan entre los encuestados sobresale IAVE con un 61%, en segundo término, se encuentra la marca PASE con el 17% y en tercer lugar la marca VIA PASS con el 8%.

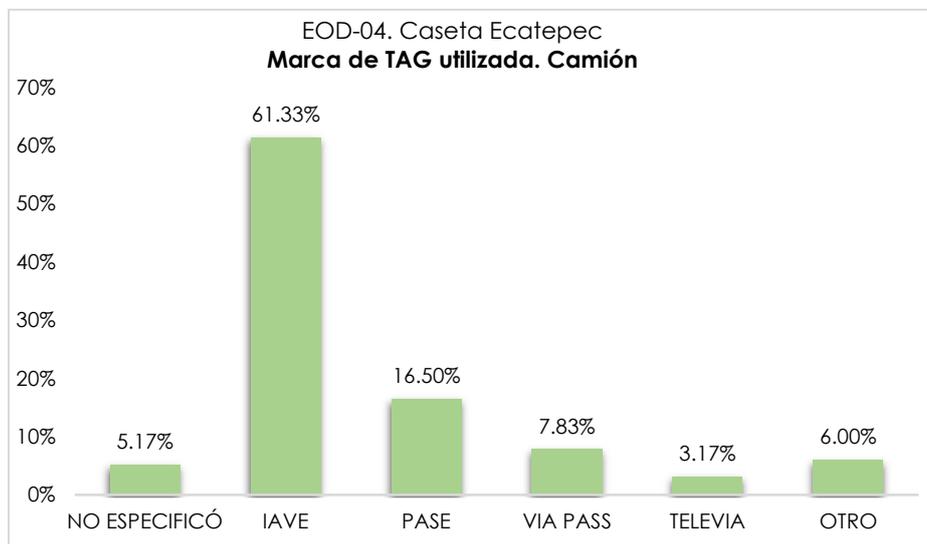
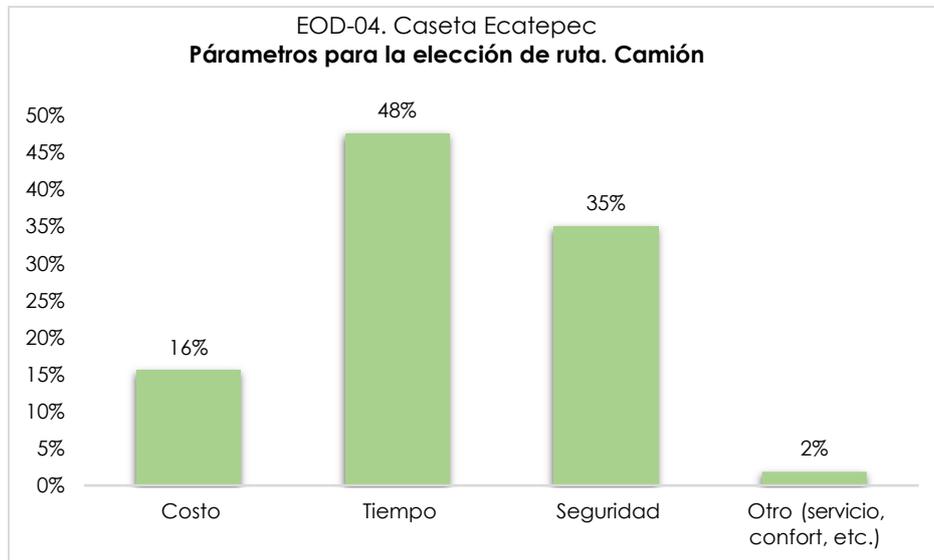


Figura 98. Marca de TAG utilizada. Camión. EOD-04. Caseta Ecatepec.

En cuanto a los parámetros para la toma de elección de la ruta, la mayor parte de los encuestados aseguran considerar el factor tiempo con un 48% del total de la muestra. Por otro lado, la seguridad también abarca un importante número de personas, pues ocupa el 35% del total de las encuestas. A continuación, el costo es el factor que consideran al momento de elegir la ruta, con solo el 16% de la muestra.

Figura 99. Parámetros para la elección de ruta. Camión. E-04. Caseta Ecatepec.



### 2.3.6. Aforos automáticos con clasificación vehicular

El contenido de este apartado muestra la recopilación de información histórica concerniente a datos vehiculares en las carreteras que influyen de manera considerable con el estudio. En segundo lugar, se muestran los resultados del estudio de aforos automáticos con clasificación vehicular realizado por Avanti Engineering Group en la zona de estudio.

#### 2.3.6.1. Análisis de aforos vehiculares históricos

A fin de poder determinar el volumen y comportamiento del tránsito vehicular, se consiguieron los aforos vehiculares de los últimos 14 años. Esta información se obtuvo de los datos publicados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su apartado de Datos Viales. Los tramos en los que se recopiló la información son:

- Carretera México - Pachuca Libre
- Carretera México - Pachuca Cuota
- Carretera Ecatepec - Pirámides
- Av. López Portillo
- Circuito Exterior Mexiquense

En las tablas que se presentan a continuación se muestra el comportamiento histórico del volumen vehicular por estación aforada, de acuerdo con datos viales, en las carreteras mencionadas anteriormente. Igualmente, se muestra su tasa de crecimiento promedio en función de la información obtenida.

México - Pachuca Cuota				
Año	Caseta de Cobro Ojo de Agua	T. Izq. Tecámac	X. C. Otumba - Tizayuca	T. C. México - Pachuca (Libre)
2004	35,462	18,865	18,110	16,154
2005	35,692	18,684	18,156	15,949
2006	40,614	18,823	17,438	15,318
2007	41,645	20,265	23,243	24,596
2008	46,335	20,844	23,720	25,506
2009	47,290	21,452	24,563	26,063
2010	62,434	24,812	26,354	25,645
2011	49,518	27,983	27,857	35,356
2012	49,653	31,703	28,747	38,700
2013	51,454	37,177	29,332	41,558
2014	51,872	42,311	36,069	40,144
2015	54,256	46,909	36,807	40,150
2016	58,516	53,456	39,469	41,469
2017	62,654	54,012	44,816	41,295
2018	64,608	56,490	51,215	41,575
TCMA	4.4%	8.1%	7.7%	7.0%
2016 - 2017	7.1%	1.0%	13.5%	-0.4%
2017 - 2018	3.1%	4.6%	14.3%	0.7%

Tabla 35. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en México - Pachuca (cuota).

En promedio, la tasa de crecimiento media anual para la carretera México - Pachuca es de 6.8%. La estación de aforo Otumba - Tizayuca creció más de 10% en el periodo de 2016-2017 y 2017- 2018. En el periodo de 2016 y 2017, la estación México - Pachuca disminuyó el tránsito de vehículos, pues pasó de 41,469 a 41,295, perdiendo alrededor del 0.4%.

Circuito Exterior Mexiquense							
Año	T. C. México - Querétaro	X. C. Cuautitlán - Zumpango	X. C. Tepexpan - Ecatepec	X. C. México - Pachuca (Cuota)	Plaza de Cobro Conmex	T. Der. Periférico de la Ciudad de México	T. C. Autopista Peñón - Texcoco
2008	12,160						21,227
2009	13,087						20,839
2010	16,580						37,100
2011	16,580						37,100
2012	12,517						22,472
2013	12,517	19,367	35,447	56,178	40,245	40,138	22,472
2014	13,421	20,482	36,577	57,498	41,303	40,785	21,457
2015	12,670	20,988	36,810	55,126	39,615	39,334	23,219
2016	12,748	21,850	37,511	54,614	39,314	38,938	23,604
2017	13,182	22,039	46,282	51,936	38,117	38,497	24,103
2018	15,114	23,180	45,405	59,703	40,296	40,931	27,935
TCMA	2.2%	3.7%	5.1%	1.2%	0.0%	0.4%	2.8%
2016 - 2017	3.4%	0.9%	23.4%	-4.9%	-3.0%	-1.1%	2.1%
2017 - 2018	14.7%	5.2%	-1.9%	15.0%	5.7%	6.3%	15.9%

Tabla 36. Aforo vehicular 2008-2018, TCMA en el Circuito Exterior Mexiquense.

El Circuito Exterior Mexiquense ha presentado un decrecimiento en el periodo de 2016 - 2017 en algunas estaciones de aforo (X.C. México - Pachuca, plaza de cobro Conmex y T. Der. Periférico CDMX). En el periodo de 2017 - 2018 la estación de aforo X.C. México - Pachuca obtuvo un crecimiento mayor del 15% pasando de 51,936 a 59,703 unidades vehiculares.

México - Pachuca Libre									
Año	T. Der. Pirámides	Venta de Carpio	T. Der. Autopista México - Tecámac (Cuota)	T. Izq. Zumpango	Tizayuca	T. C. México - Tizayuca (Cuota)	X. C. Arco Norte de La Ciudad de México	Ent. Colonia	X. C. Libramiento de Pachuca
2004	36,866	35,721	21,125	11,310	7,446	19,385		22,945	43,333
2005	36,562	35,580	20,820	11,380	7,509	19,506		23,197	43,813
2006	33,815	35,261	21,250	11,292	6,730	20,087		24,549	20,959
2007	37,985	45,837	25,517	14,535	7,473	20,953		31,563	28,563
2008	40,544	42,321	27,370	14,717	8,537	22,369		33,283	30,537
2009	41,197	46,653	30,085	14,514	8,452	24,259		33,911	31,837
2010	43,499	44,561	30,652	15,093	8,579	27,708		32,361	33,615
2011	24,133	46,639	40,798	17,316	15,281	38,695	32,485	51,927	58,939
2012	24,497	47,838	42,641	18,805	15,895	40,823	35,266	57,390	61,720
2013	23,728	46,786	44,697	19,432	15,804	43,810	36,651	61,055	67,211
2014	27,310	49,352	52,988	20,369	18,178	44,632	42,077	64,475	68,994
2015	28,842	47,118	51,097	20,972	20,764	46,351	47,256	62,265	73,131
2016	30,156	47,239	54,060	21,280	22,597	48,519	51,985	65,249	77,186
2017	31,311	48,199	59,718	21,703	27,319	52,543	53,544	74,698	76,274
2018	30,917	49,843	60,865	21,775	29,148	53,203	54,750	82,807	72,885
TCMA	-1.2%	2.4%	7.9%	4.8%	10.2%	7.5%	7.7%	9.6%	3.8%
2016 - 2017	3.8%	2.0%	10.5%	2.0%	20.9%	8.3%	3.0%	14.5%	-1.2%
2017 - 2018	-1.3%	3.4%	1.9%	0.3%	6.7%	1.3%	2.3%	10.9%	-4.4%

Tabla 37. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en México - Pachuca (libre).

La carretera México - Pachuca Libre ha registrado un crecimiento promedio de 6.1%. En el último año, las estaciones que presentaron una disminución de su tránsito promedio diario anual fueron Pirámides y el Libramiento de Pachuca.

Ecatepec - Pirámides				
Año	T. C. México - Pachuca (Cuota)	Caseta de Cobro Ecatepec	T. Der. Texcoco	X. C. Venta de Carpio - T. C. (Pachuca - Tulancingo)
2004	14,016		23,495	13,672
2005	14,182		24,564	14,256
2006	13,078		22,215	13,246
2007	14,732		22,927	10,290
2008	15,187	16,714	23,288	11,640
2009	14,858	15,630	24,613	12,133
2010	15,452	14,982	23,892	12,801
2011	15,491	15,765	24,921	14,290
2012	16,067	16,459	26,060	14,869
2013	16,314	15,828	25,884	15,403
2014	17,581	15,722	26,782	16,235
2015	17,101	18,310	27,793	16,363
2016	17,535	19,064	28,570	16,931
2017	18,063	20,124	27,901	18,369
2018	19,327	21,708	28,024	18,548
TCMA	2.3%	2.6%	1.3%	2.2%
2016 - 2017	3.0%	5.6%	-2.3%	8.5%
2017 - 2018	7.0%	7.9%	0.4%	1.0%

Tabla 38. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en Carretera Ecatepec - Pirámides.

La carretera Ecatepec - Pirámides presenta un crecimiento importante de su TPDA en el periodo 2017 - 2018. Cabe mencionar que en la estación X.C. Venta de Carpio - T.C. (Pachuca - Tulancingo) la tasa de crecimiento media anual disminuyó, en los años 2016 y 2017 el crecimiento fue de un 8.5% mientras que en el último periodo sólo se registró 1%. Por otro lado, la estación T. Der. Texcoco, en el periodo 2016 - 2017 disminuyó su tránsito promedio diario anual (TPDA) pasando de 28,570 a 27,901 vehículos, cayendo 2.3%, sin embargo, para el periodo que va de 2017 a 2018 creció un 0.4%.

Año	Av. López Portillo		T. Izq. Tepexpan (Ent. Guadalupe Victoria)
	T. Izq. Lechería	T. Izq. Tultepec	
2004	82,935	94,848	106,999
2005	88,431	97,936	101,625
2006	88,111	99,387	100,808
2007	84,213	106,292	114,678
2008	89,621	102,926	120,320
2009	81,160	101,653	113,502
2010	85,666	114,060	118,224
2011	76,246	78,435	91,216
2012	78,592	79,996	94,847
2013	77,083	77,111	97,877
2014	80,069	82,691	99,109
2015	76,459	71,982	87,707
2016	76,514	70,458	86,854
2017	74,518	83,646	105,769
2018	72,711	85,667	103,927
TCMA	-0.9%	-0.7%	-0.2%
2016 - 2017	-2.6%	18.7%	21.8%
2017 - 2018	-2.4%	2.4%	-1.7%

Tabla 39. Aforo vehicular 2004-2018, TCMA en la Av. López Portillo.

Para la Av. López Portillo, el promedio de crecimiento es de -0.6%. En el periodo 2016 - 2017, la estación de aforo T. Izq. Tepexpan presentó un crecimiento de más del 20% de su TPDA, pasando de 86,854 a 105,769 vehículos. Por otro lado, en el periodo 2017 - 2018, la estación de aforo T. Izq. Tultepec presenta un crecimiento positivo en su TPDA de 2.4%.

### 2.3.6.2. Análisis de aforos vehiculares actuales en la red de estudio

Adicional a la información documental obtenida de los aforos vehiculares de la SCT, se instalaron 8 estaciones de aforo automático con clasificación vehicular durante los 7 días por 24 horas continuas. El tipo de contador utilizado es de la marca Vehicle Counts que presenta una amplia variedad de reportes, por ejemplo, reporte de vehículos, conteo de eventos o ejes, composición vehicular, entre otros. La tabla que se muestra a continuación enlista el cadenamamiento de las estaciones donde fueron colocados los contadores de aforo automático. Por su parte en la siguiente figura se muestra la ubicación de estas estaciones dentro de la zona de influencia del proyecto.

Ubicación de estaciones de aforo automático		
ID	Ubicación	
AA_01	Circuito Exterior Mexiquense	km. 020+170
AA_02	Circuito Exterior Mexiquense	km. 020+756
AA_03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre	km. 040+370
AA_04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota	km. 037+620
AA_05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides	km. 002+030
AA_06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. (Pachuca-Tuxpan)	km. 023+550
AA_07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre	km. 012+350
AA_07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota	km. 012+350
AA_08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec	km. 018+430

Tabla 40. Encadenamiento de las estaciones de aforo automático.

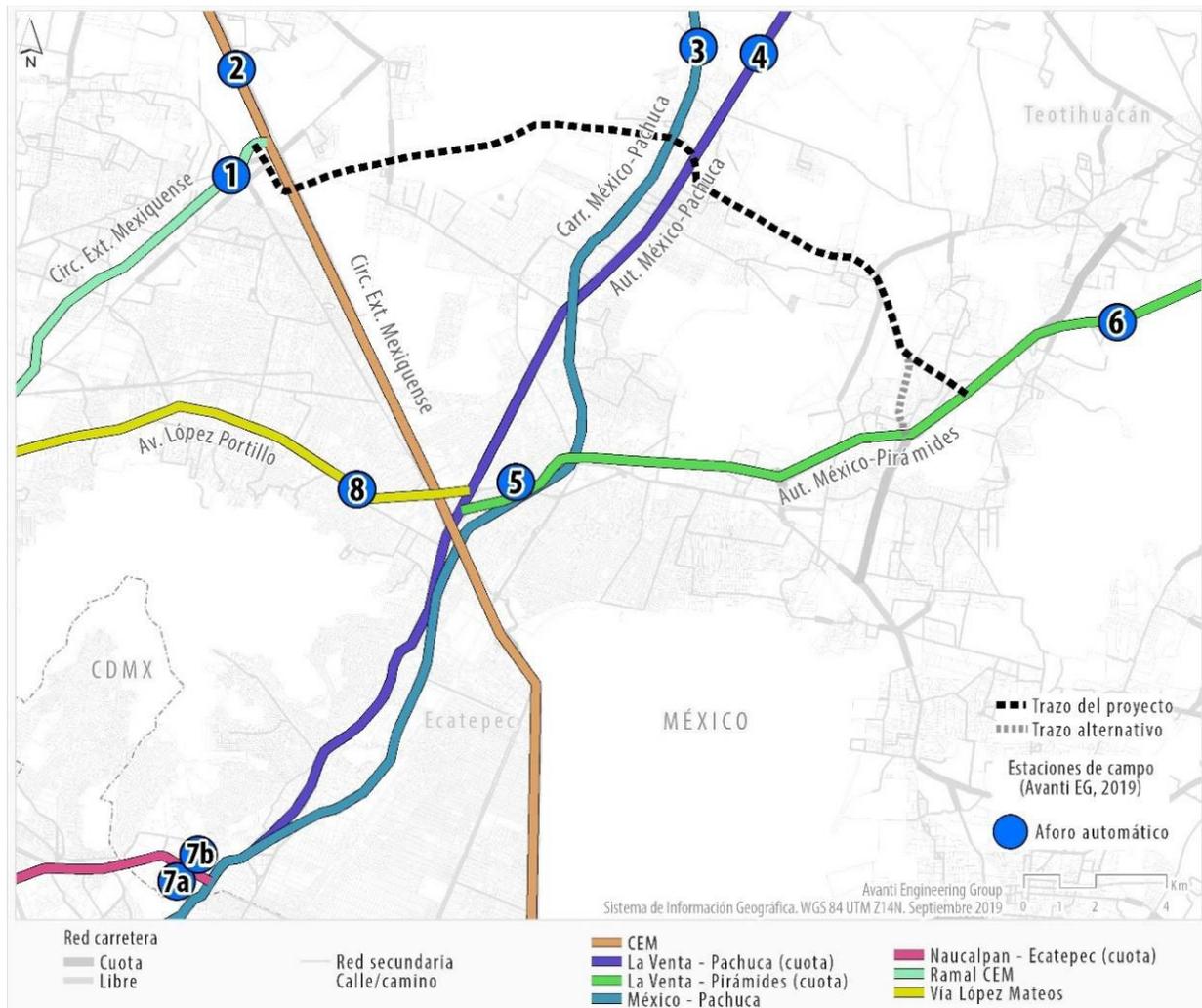


Figura 100. Ubicación estaciones de aforo automático.

El objetivo del estudio de aforos vehiculares consiste en obtener la clasificación vehicular por día y sentido de circulación, clasificación que involucra a automóviles, autobuses y transporte de carga. Otro factor importante que se obtiene de este estudio es el volumen del flujo vehicular horario para cada estación de aforo.

En la siguiente tabla se muestra el tránsito diario promedio anual obtenido en las estaciones de aforo automático.

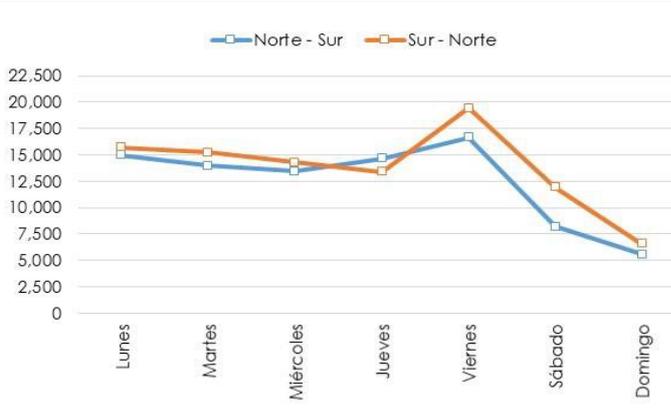
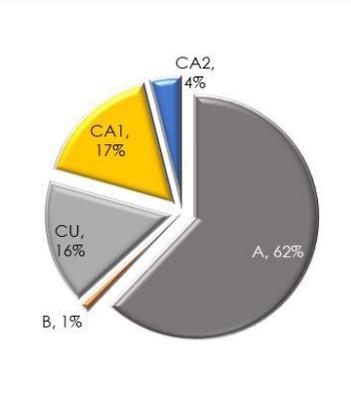
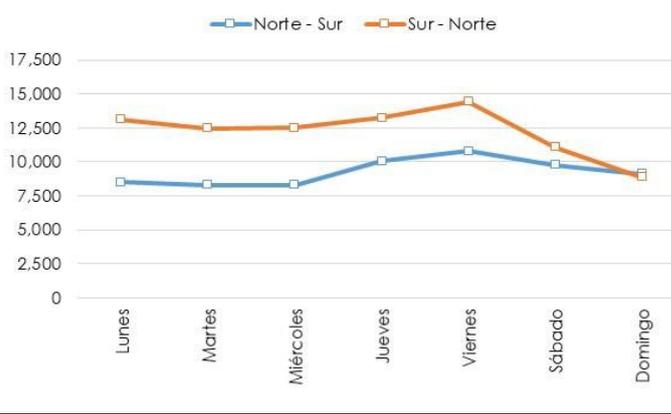
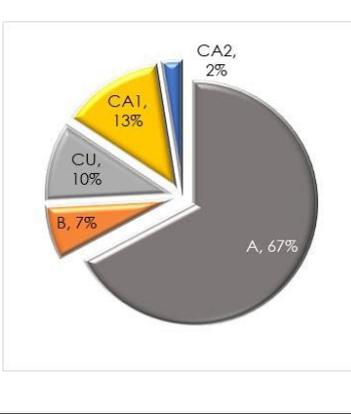
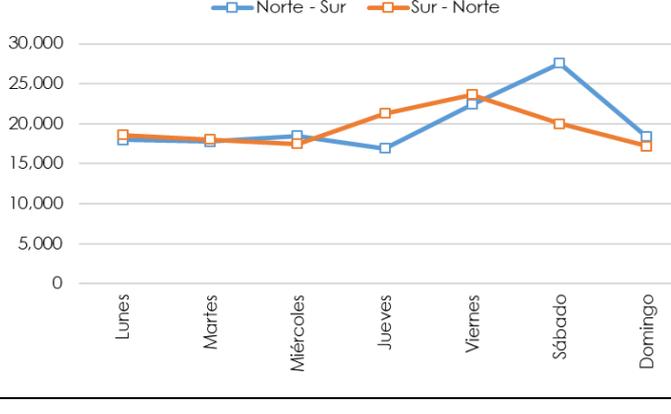
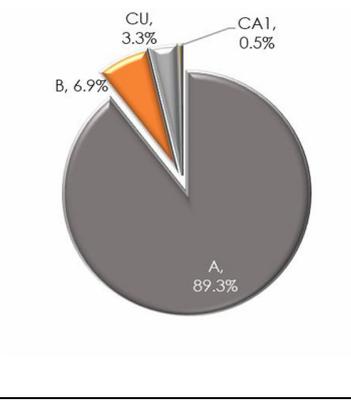
Aforo vehicular automático: Tránsito Promedio Diario Anual		
Estación	Ubicación	TPDA
1	CEM Tultepec	32,035
2	CEM Jaltenco	23,155
3	México - Pachuca Libre	38,184
4	Autopista México - Pachuca	43,877
5	Caseta Ecatepec-Pirámides	19,267
6	Carretera MEX-132	24,090
7a	Río de los Remedios	28,700
7b	Autopista Naucalpan-Ecatepec	31,590
8	Av. José López Portillo	95,513

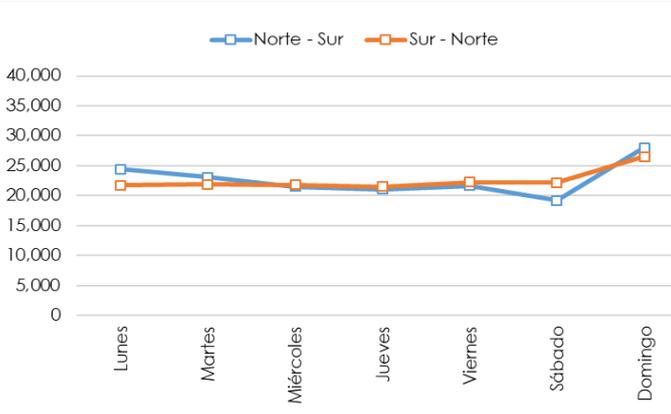
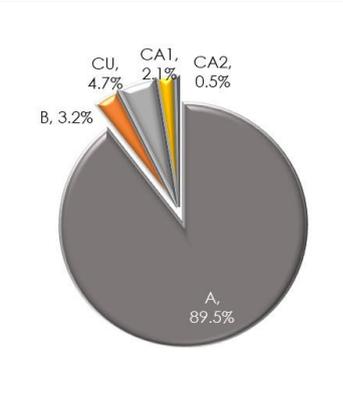
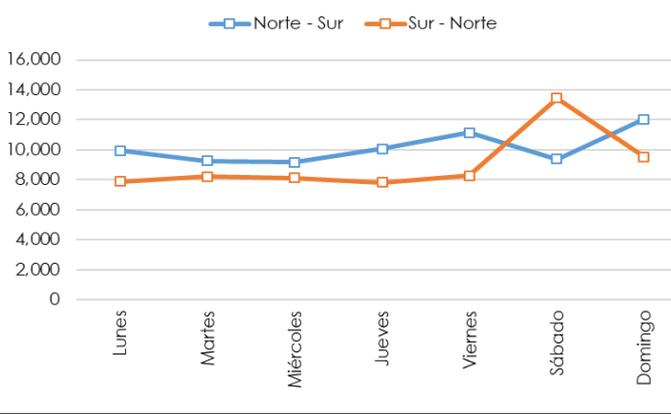
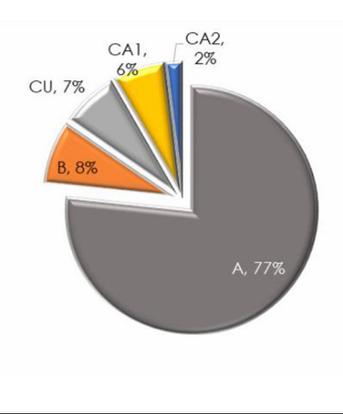
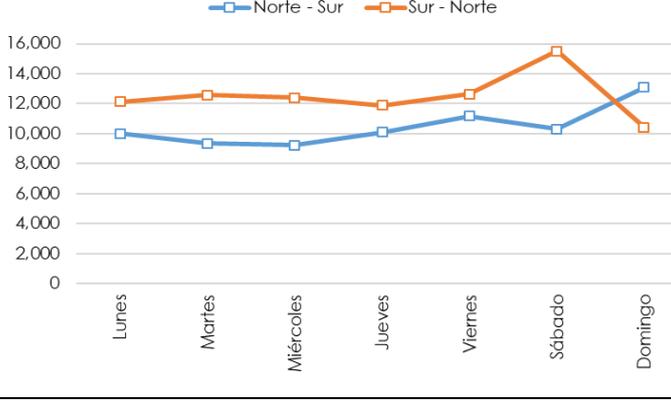
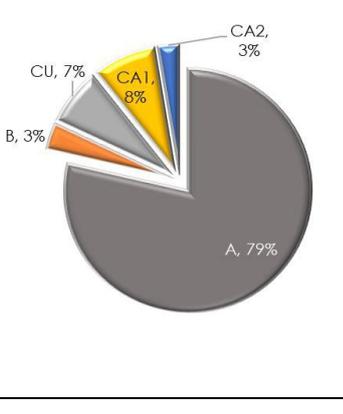
Tabla 41. Tránsito Diario Promedio Anual.

Cabe mencionar que la instalación de los equipos se hace sobre la vialidad, contando con personal capacitado para realizar indicaciones a los conductores para que estos disminuyan la velocidad de sus vehículos, de tal forma que cuando se aproximen a la zona de instalación lo hagan con precaución. Dicha instalación no se realiza en ningún tipo de curva, sitios cercanos a reductores de velocidad ni al cruce de vialidades, pues por sus características operativas modifican la toma de información.

Por tratarse de vías con un tránsito vehicular constante, se realiza una supervisión que garantice que los equipos de conteo automático estén trabajando de manera correcta. Entre los factores que se revisan están el registro adecuado del paso de vehículos en el equipo de conteo y que las mangueras utilizadas no estén dañadas ni se hayan reventado o zafado. Para esta revisión se destina a una brigada.

El comportamiento vehicular obtenido del estudio de aforo automático con clasificación vehicular realizado entre el 9 y el 23 de octubre de 2019 se muestra en la tabla siguiente.

Estaciones de aforo automático con clasificación vehicular			
ID	Ubicación	Variación total del tránsito en ambos sentidos	Composición vehicular en ambos sentidos
AA_01	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+170		
AA_02	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756		
AA_03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre km. 040+370		

Estaciones de aforo automático con clasificación vehicular																																							
ID	Ubicación	Variación total del tránsito en ambos sentidos	Composición vehicular en ambos sentidos																																				
AA_04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota km. 037+620	 <table border="1"> <caption>Traffic Variation Data for AA_04</caption> <thead> <tr> <th>Día</th> <th>Norte - Sur</th> <th>Sur - Norte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lunes</td><td>24,000</td><td>21,000</td></tr> <tr><td>Martes</td><td>22,000</td><td>21,000</td></tr> <tr><td>Miércoles</td><td>21,000</td><td>21,000</td></tr> <tr><td>Jueves</td><td>21,000</td><td>21,000</td></tr> <tr><td>Viernes</td><td>21,000</td><td>22,000</td></tr> <tr><td>Sábado</td><td>19,000</td><td>21,000</td></tr> <tr><td>Domingo</td><td>27,000</td><td>26,000</td></tr> </tbody> </table>	Día	Norte - Sur	Sur - Norte	Lunes	24,000	21,000	Martes	22,000	21,000	Miércoles	21,000	21,000	Jueves	21,000	21,000	Viernes	21,000	22,000	Sábado	19,000	21,000	Domingo	27,000	26,000	 <table border="1"> <caption>Vehicle Composition Data for AA_04</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>89.5%</td></tr> <tr><td>B</td><td>3.2%</td></tr> <tr><td>CU</td><td>4.7%</td></tr> <tr><td>CA1</td><td>2.1%</td></tr> <tr><td>CA2</td><td>0.5%</td></tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	A	89.5%	B	3.2%	CU	4.7%	CA1	2.1%	CA2	0.5%
Día	Norte - Sur	Sur - Norte																																					
Lunes	24,000	21,000																																					
Martes	22,000	21,000																																					
Miércoles	21,000	21,000																																					
Jueves	21,000	21,000																																					
Viernes	21,000	22,000																																					
Sábado	19,000	21,000																																					
Domingo	27,000	26,000																																					
Categoría	Porcentaje																																						
A	89.5%																																						
B	3.2%																																						
CU	4.7%																																						
CA1	2.1%																																						
CA2	0.5%																																						
AA_05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides km. 002+030	 <table border="1"> <caption>Traffic Variation Data for AA_05</caption> <thead> <tr> <th>Día</th> <th>Norte - Sur</th> <th>Sur - Norte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lunes</td><td>10,000</td><td>8,000</td></tr> <tr><td>Martes</td><td>9,000</td><td>8,000</td></tr> <tr><td>Miércoles</td><td>9,000</td><td>8,000</td></tr> <tr><td>Jueves</td><td>10,000</td><td>8,000</td></tr> <tr><td>Viernes</td><td>11,000</td><td>8,000</td></tr> <tr><td>Sábado</td><td>9,000</td><td>13,500</td></tr> <tr><td>Domingo</td><td>12,000</td><td>9,500</td></tr> </tbody> </table>	Día	Norte - Sur	Sur - Norte	Lunes	10,000	8,000	Martes	9,000	8,000	Miércoles	9,000	8,000	Jueves	10,000	8,000	Viernes	11,000	8,000	Sábado	9,000	13,500	Domingo	12,000	9,500	 <table border="1"> <caption>Vehicle Composition Data for AA_05</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>77%</td></tr> <tr><td>B</td><td>8%</td></tr> <tr><td>CU</td><td>7%</td></tr> <tr><td>CA1</td><td>6%</td></tr> <tr><td>CA2</td><td>2%</td></tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	A	77%	B	8%	CU	7%	CA1	6%	CA2	2%
Día	Norte - Sur	Sur - Norte																																					
Lunes	10,000	8,000																																					
Martes	9,000	8,000																																					
Miércoles	9,000	8,000																																					
Jueves	10,000	8,000																																					
Viernes	11,000	8,000																																					
Sábado	9,000	13,500																																					
Domingo	12,000	9,500																																					
Categoría	Porcentaje																																						
A	77%																																						
B	8%																																						
CU	7%																																						
CA1	6%																																						
CA2	2%																																						
AA_06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. (Pachuca-Tuxpan) km. 023+550	 <table border="1"> <caption>Traffic Variation Data for AA_06</caption> <thead> <tr> <th>Día</th> <th>Norte - Sur</th> <th>Sur - Norte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lunes</td><td>10,000</td><td>12,000</td></tr> <tr><td>Martes</td><td>9,000</td><td>12,500</td></tr> <tr><td>Miércoles</td><td>9,000</td><td>12,500</td></tr> <tr><td>Jueves</td><td>10,000</td><td>11,500</td></tr> <tr><td>Viernes</td><td>11,000</td><td>12,500</td></tr> <tr><td>Sábado</td><td>10,000</td><td>15,500</td></tr> <tr><td>Domingo</td><td>13,000</td><td>10,500</td></tr> </tbody> </table>	Día	Norte - Sur	Sur - Norte	Lunes	10,000	12,000	Martes	9,000	12,500	Miércoles	9,000	12,500	Jueves	10,000	11,500	Viernes	11,000	12,500	Sábado	10,000	15,500	Domingo	13,000	10,500	 <table border="1"> <caption>Vehicle Composition Data for AA_06</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>79%</td></tr> <tr><td>B</td><td>3%</td></tr> <tr><td>CU</td><td>7%</td></tr> <tr><td>CA1</td><td>8%</td></tr> <tr><td>CA2</td><td>3%</td></tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	A	79%	B	3%	CU	7%	CA1	8%	CA2	3%
Día	Norte - Sur	Sur - Norte																																					
Lunes	10,000	12,000																																					
Martes	9,000	12,500																																					
Miércoles	9,000	12,500																																					
Jueves	10,000	11,500																																					
Viernes	11,000	12,500																																					
Sábado	10,000	15,500																																					
Domingo	13,000	10,500																																					
Categoría	Porcentaje																																						
A	79%																																						
B	3%																																						
CU	7%																																						
CA1	8%																																						
CA2	3%																																						

Estaciones de aforo automático con clasificación vehicular			
ID	Ubicación	Variación total del tránsito en ambos sentidos	Composición vehicular en ambos sentidos
AA_07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre km. 012+350		
AA_07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota km. 012+350		
AA_08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec km. 018+430		

Tabla 42. Resultados de aforo automático con clasificación vehicular.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 1. Circuito Exterior Mexiquense, km. 020+170**

El día con mayor tránsito en la estación 01 del Circuito Exterior Mexiquense fue el viernes en el sentido sur - norte con 19,441 vehículos, del mismo modo para el sentido norte - sur el mismo día representa el mayor flujo de vehículos registrados con 16,672 vehículos. En esta estación se registró que el 62% de los vehículos capturados son del tipo automóvil, 1% son autobuses, 16% representa a los camiones unitarios, el 17% a camiones articulados y el resto a camiones biarticulados. Para el caso de esta carretera se identificó que el periodo de máxima demanda en el sentido norte - sur se da entre las 07:00 y las 09:00 horas, y para el caso del sentido sur - norte el periodo con mayor aforo vehicular se identificó entre las 15:00 y las 18:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 2. Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756**

Para el caso de la estación 02 ubicada en el ramal del Circuito Exterior Mexiquense con rumbo a la Autopista Chamapa - La Venta, se observó que, en el sentido norte - sur, con 10,790 vehículos, el viernes fue el día con mayor tránsito vehicular, de igual forma para el sentido sur - norte, con 14,411 vehículos contabilizados. Esta estación se compone en un 67% de vehículos ligeros, 7% autobuses, 10% camiones unitarios, 13% camiones articulados y el resto camiones doble articulados. El periodo de máxima demanda registrado para el sentido norte - sur fue desde las 18:00 hasta las 20:00 horas, mientras que para el sentido sur - norte el periodo de máxima demanda registrado fue desde las 16:00 hasta las 18:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 3. Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre, km. 040+370**

La estación 03 en el sentido norte - sur presenta un aforo vehicular máximo el día sábado con 27,579 vehículos registrados, mientras que en el sentido sur - norte el viernes fue el día donde se registró un mayor flujo de vehículos con 23,663 vehículos contabilizados. La estación 03 se compone de 89% vehículos ligeros, 7% autobuses, 3% camiones unitarios y menos del 1% camiones articulados y doblemente articulados. El periodo de máxima demanda se registró entre las 10:00 y 11:00 horas y entre las 14:00 y 15:00 horas en el sentido norte - sur. Para el sentido opuesto, la hora de máxima demanda registrada se da entre las 7:00 y las 18:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 4. Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota, km. 037+620**

El resultado de los aforos vehiculares obtenidos en esta estación muestra que el día con mayor volumen vehicular es el domingo donde se registraron 28,009 vehículos para el sentido norte - sur y 26,493 vehículos para el sentido sur - norte. Para el caso de la composición vehicular se obtuvo que 89% son vehículos ligeros, 3% autobuses, 5% camiones unitarios, 2% camiones articulados y el resto le corresponde a los camiones doblemente articulados. El periodo de mayor demanda en el sentido norte - sur se da entre las 13:00 y las 18:00 horas mientras que en el sentido sur - norte se aprecia entre las 10:00 y las 15:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 5. Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides, km. 002+030**

Este punto de aforo vehicular se colocó sobre la Carretera Ecatepec - Pirámides. El comportamiento de los vehículos muestra que el 77% son automóviles, el 8% son autobuses, el 7% son camiones unitarios, el 6% son camiones articulados y el 2% son camiones doblemente articulados. El día con mayor volumen en esta estación para el sentido norte - sur es el domingo, con un total de 12,031 vehículos, y para el sentido sur - norte es el sábado, con un total de 13,443 vehículos. Del resultado obtenido se observa que el periodo de mayor afluencia de vehículos en el sentido norte - sur se da entre las 06:00 y las 19:00 horas. Para el sentido sur - norte se da entre las 08:00 y las 14:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 6. Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. (Pachuca-Tuxpan), km. 023+550**

Para el caso de la estación 06 colocada sobre la Carretera México - Pachuca se identificó que el día con mayor tránsito vehicular para el sentido norte - sur es el domingo con un total de 13,099 vehículos. Por otro lado, en el sentido sur - norte el día con mayor volumen de vehículos es el sábado con 15,517 vehículos contabilizados. La composición vehicular en esta estación es de 79% vehículos ligeros, 3% autobuses, 7% camiones unitarios, 8% camiones articulados y 3% camiones biarticulados. Para el caso de esta carretera, la hora de máxima demanda registrada se da entre las 14:00 y las 19:00 horas en el sentido norte - sur y para el sentido opuesto se da entre las 07:00 y las 15:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 7A. Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre, km. 012+350**

La composición vehicular de esta estación es la siguiente, 89% corresponden a automóviles, 7% a camiones unitarios, 3% a camiones articulados y 1% a camiones biarticulados. Los días en donde se registraron el mayor volumen de vehículos fueron jueves para el sentido oriente - poniente, con 15,614 vehículos, y viernes para el sentido poniente - oriente, con 13,745 vehículos. La hora de máxima demanda se da entre las 05:00 y las 08:00 horas para el sentido oriente - poniente y entre las 14:00 y las 17:00 horas para el sentido poniente - oriente.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 7B. Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota, km. 012+350**

Para el caso de la estación 07B ubicada en la Autopista Naucalpan - Ecatepec, el día en que se registró mayor afluencia de vehículos, para el sentido oriente - poniente, es el viernes con 17,492 vehículos, y para el sentido poniente - oriente, es el miércoles con 15,770 vehículos. Su composición vehicular es de 90% vehículos ligeros, 1% autobuses, 8% camiones unitarios y 1% camiones articulados. El periodo de máxima demanda para el sentido oriente - poniente se da entre las 08:00 y las 17:00 horas, mientras que en el sentido poniente - oriente se da entre las 06:00 y las 20:00 horas.

### **Comportamiento del aforo vehicular en la estación 8. Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec, km. 018+430**

El comportamiento del aforo vehicular observado en esta estación muestra que el día con mayor tránsito vehicular es el domingo, para el sentido oriente - poniente, con 47,586 vehículos, mientras que para el sentido poniente - oriente es el miércoles, con 50,054 vehículos. Para ambos sentidos, la composición vehicular es de la siguiente manera, 95% corresponde a automóviles, 1% autobuses, 3% camiones unitarios y 1% camiones articulados. El periodo de máxima demanda se identificó entre las 07:00 y las 19:00 horas en el sentido oriente - poniente, mientras que para el otro sentido fue entre las 07:00 y las 18:00 horas.

A partir de la clasificación vehicular y el análisis del tránsito diario por estación de aforo automático se estimó el flujo vehicular horario para cada punto de estudio como se muestra a continuación.

Para el caso de la estación colocada en el Circuito Exterior Mexiquense sentido norte - sur, la hora con mayor tránsito vehicular se da entre las 07:00 y las 09:00.

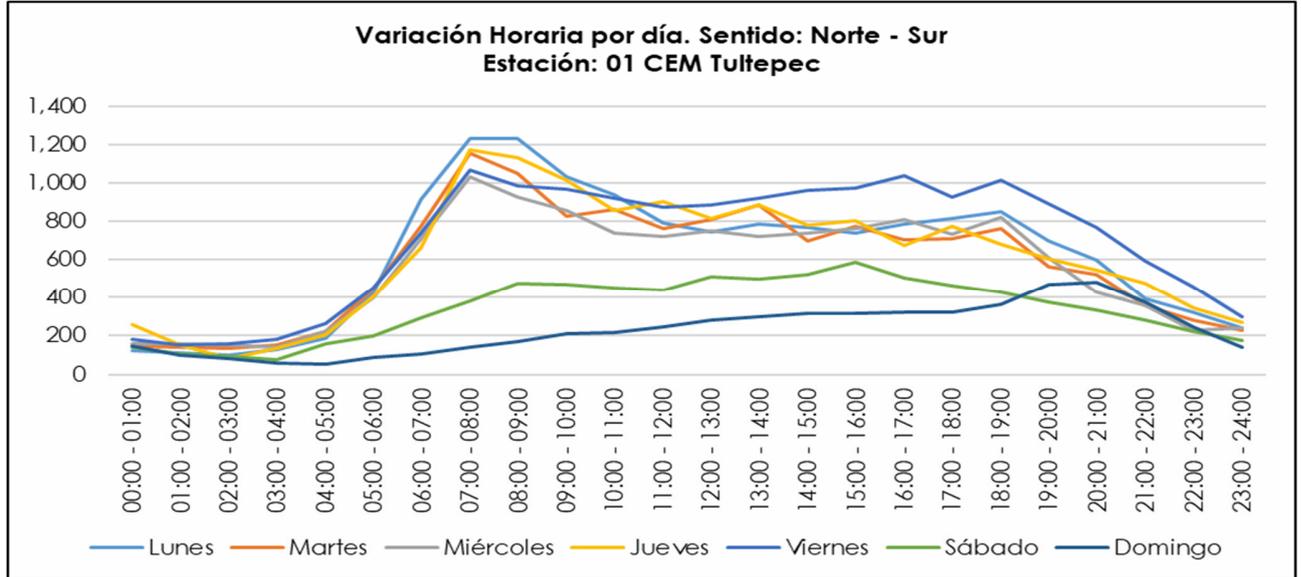


Figura 101. Flujo vehicular. Variación horaria. E-01 (N-S).

En el sentido sur - norte, la hora pico se aprecia entre las 17:00 y las 18:00 horas, el incremento de vehículos se da a partir de las 06:00 horas, mientras que, después de las 18:00 horas, el volumen de tránsito vehicular por la zona comienza a disminuir.

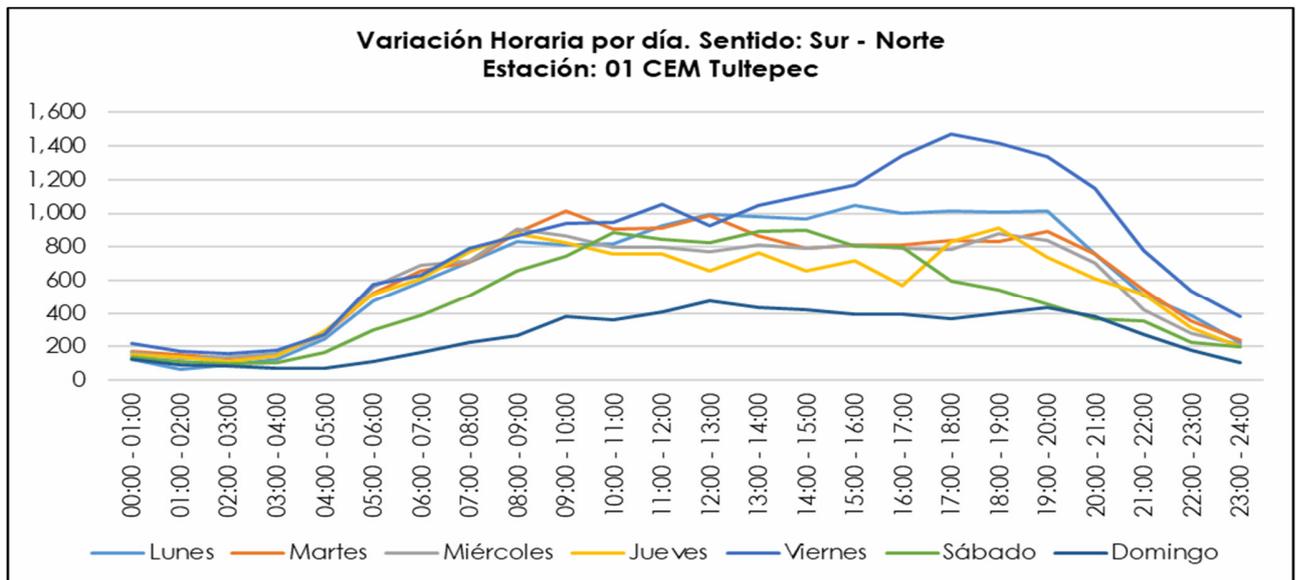


Figura 102. Flujo vehicular. Variación horaria. E-01 (S-N).

En la estación 02, ubicada en el ramal del Circuito Exterior Mexiquense, se aprecia que el mayor volumen de tránsito de vehículos, en el sentido norte - sur, se da entre las 19:00 y 20:00 horas, provocado por el número de automovilistas que utilizan el Circuito Exterior Mexiquense para llegar a los centros de actividades comerciales y zonas industriales.

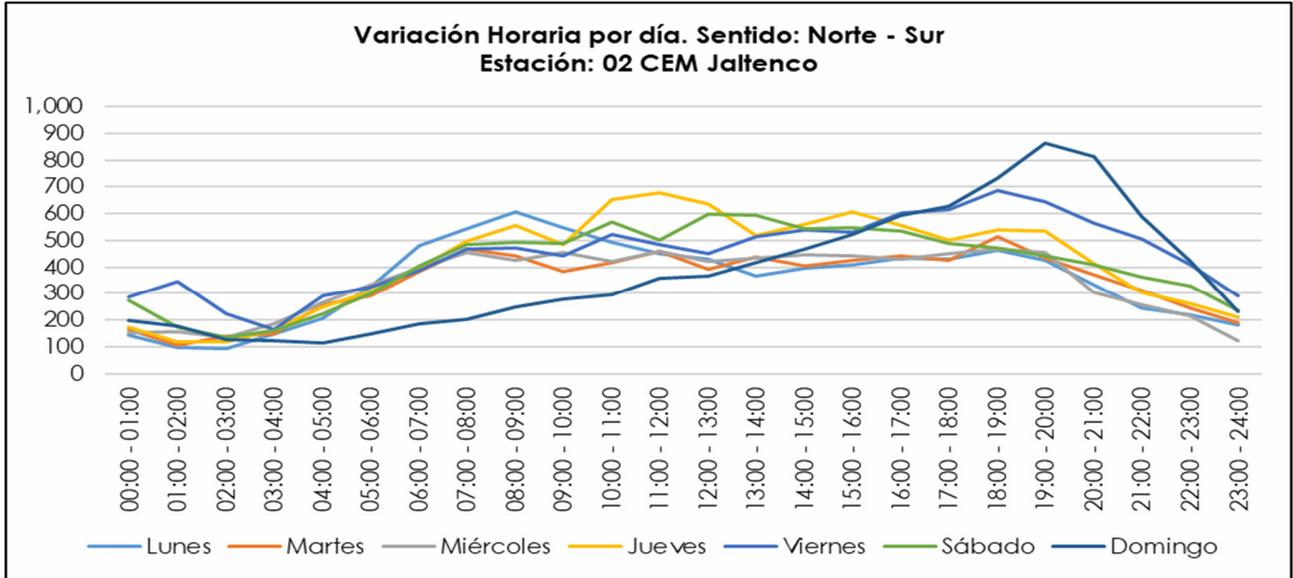


Figura 103. Flujo vehicular. Variación horaria. E-02 (N-S).

En el sentido sur - norte se presenta un constante flujo vehicular con algunas variantes entre los días de la semana, manifestándose varios horarios pico; el primero de ellos se da entre las 08:00 y 09:00, el segundo entre las 18:00 y las 19:00, y por último entre las 17:00 y las 18:00, como se aprecia en la figura siguiente.

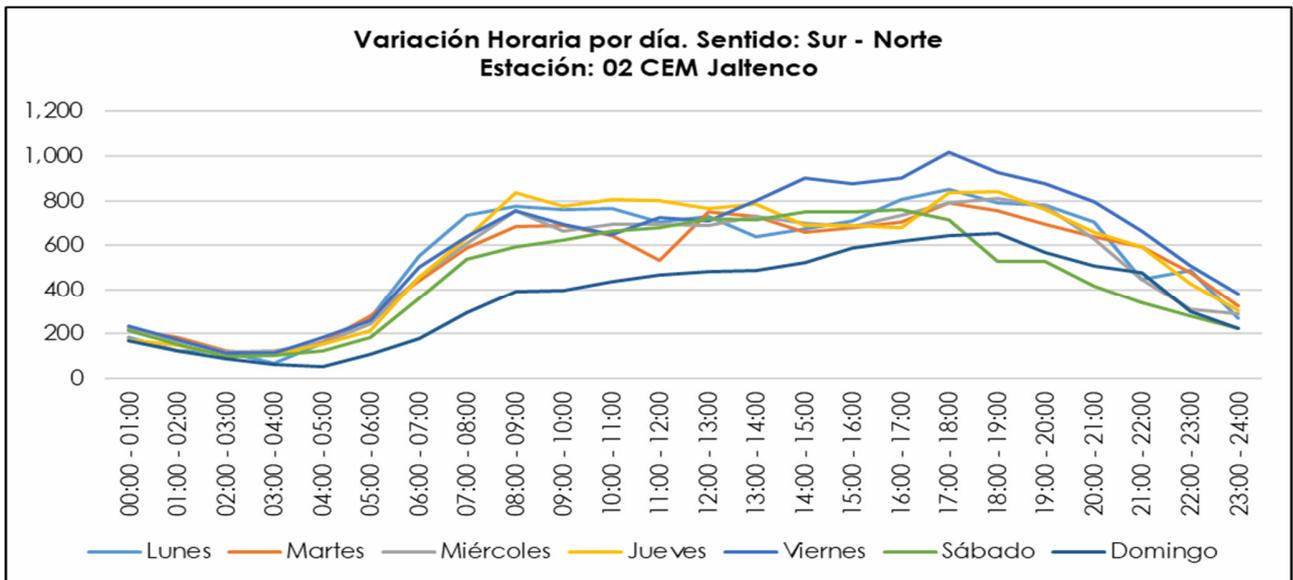


Figura 104. Flujo vehicular. Variación horaria. E-02 (S-N).

En la estación 03 de aforo automático, colocada sobre la Carretera México - Pachuca Libre, la variación horaria semanal muestra un comportamiento constante a partir de las 09:00 horas. Las horas pico registradas en este sentido son entre las 10:00 y las 11:00, entre las 16:00 y las 17:00, y por último entre las 14:00 y las 15:00 horas.

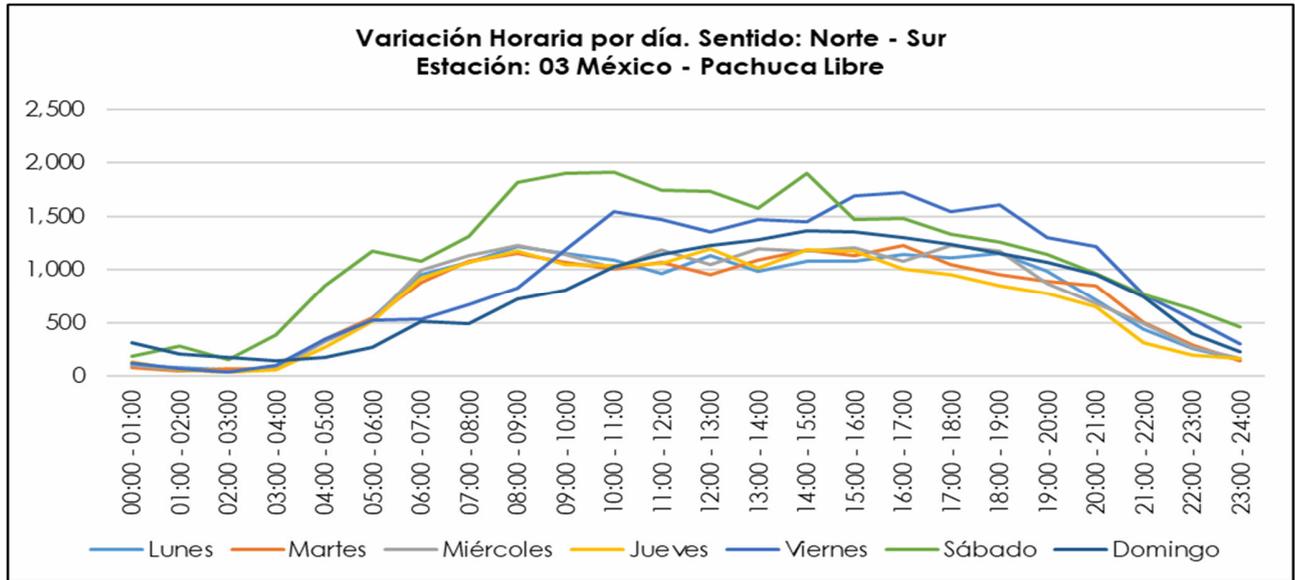
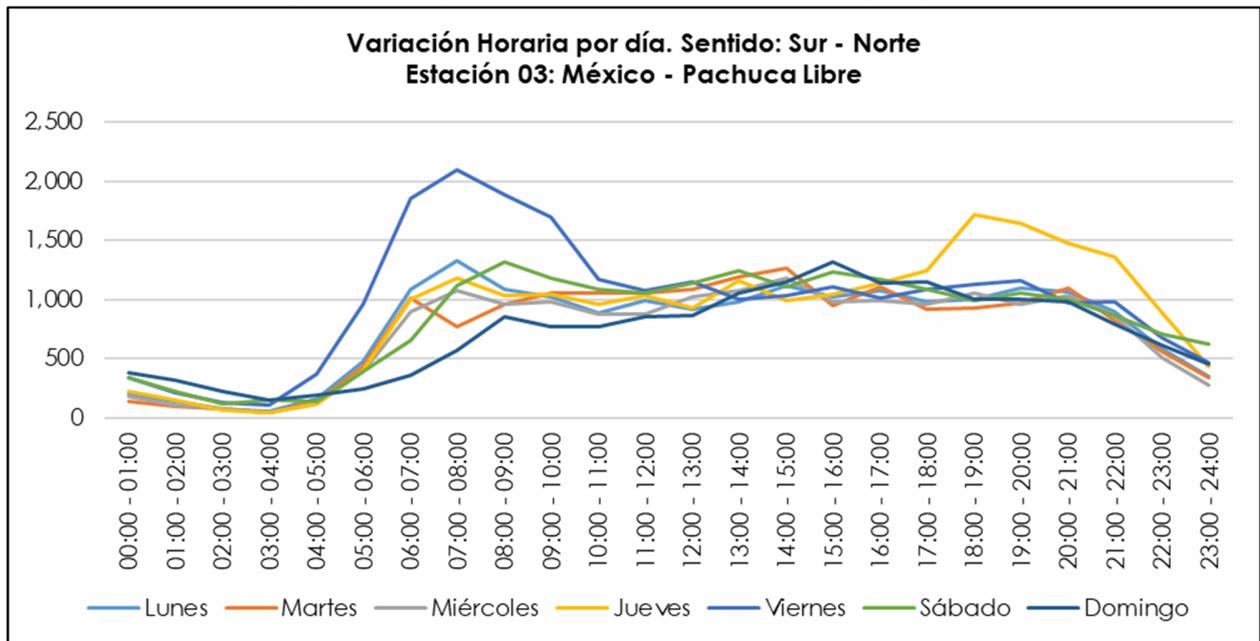


Figura 105. Flujo vehicular. Variación horaria. E-03 (N-S).

Para el sentido sur - norte se registra que la hora con mayor flujo de vehículos se da el día el viernes entre las 07:00 y las 08:00 horas. A partir de las 10:00 se presenta un flujo de vehículos constante.

Figura 106. Flujo vehicular. Variación horaria. E-03 (S-N).



El resultado de la estación 04 ubicada en la Autopista México - Pachuca, evidencia que el día en que se presenta un mayor volumen de vehículos es el domingo entre las 16:00 y las 17:00 horas. Los días faltantes, presentan un flujo constante que se presenta a partir de las 07:00 horas.

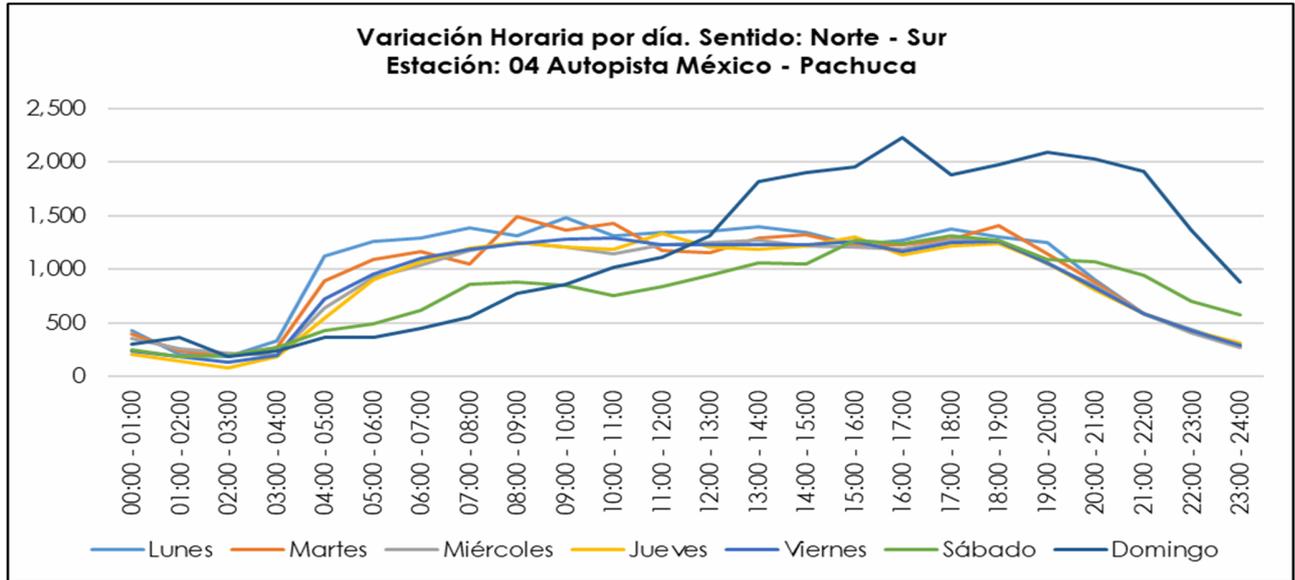


Figura 107. Flujo vehicular. Variación horaria. E-04 (N-S).

En el sentido sur - norte, el flujo vehicular comienza a crecer a partir de las 05:00 horas hasta llegar a su máximo punto a las 12:00 horas, donde se presenta la hora pico. A partir de ese punto comienza su declive como se muestra en la siguiente figura.

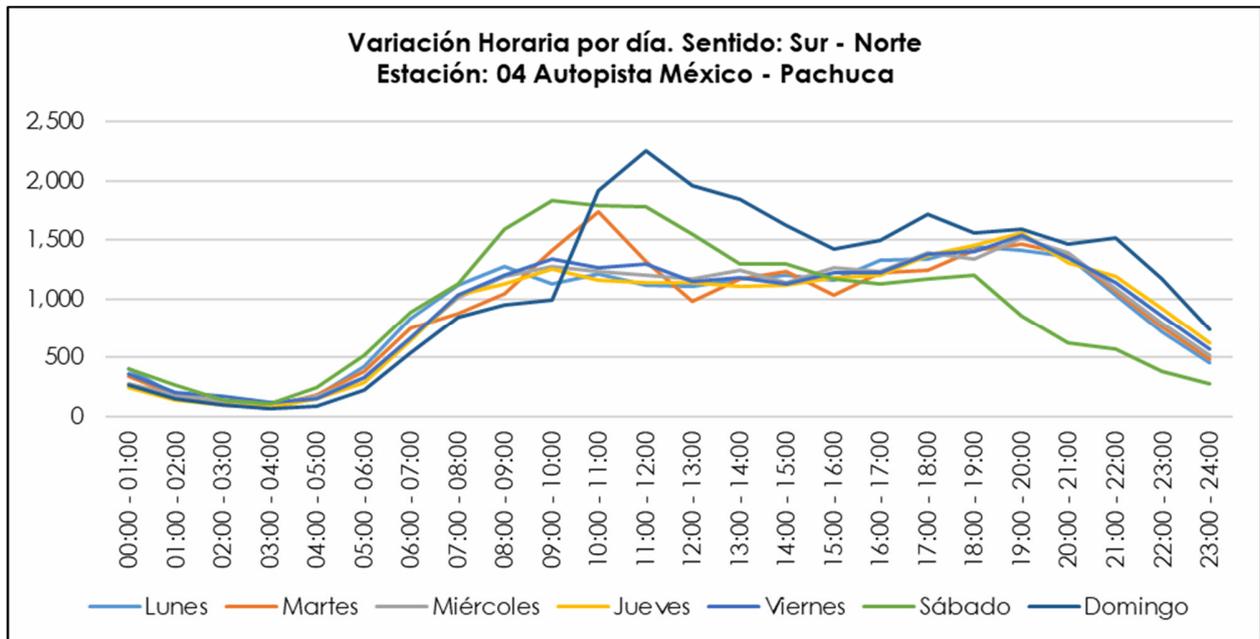
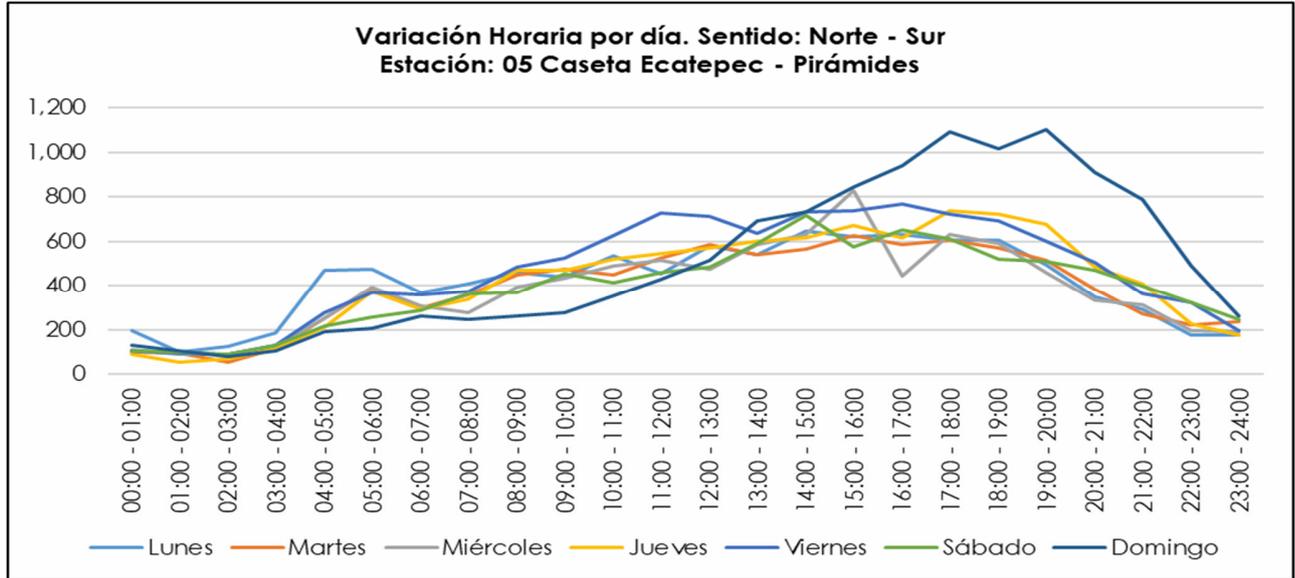


Figura 108. Flujo vehicular. Variación horaria. E-04 (S-N).

La estación 05, colocada sobre la Autopista Ecatepec - Pirámides, tuvo un importante crecimiento del volumen de vehículos a partir de las 13:00 horas hasta las 20:00 horas. Posteriormente, el volumen de vehículos disminuye con el paso del tiempo, esto para el sentido norte - sur.

Figura 109. Flujo vehicular. Variación horaria. E-05 (N-S).



En el sentido sur - norte de la estación 05 comienza a crecer el flujo vehicular a partir de las 05:00 horas alcanzando su máximo punto entre las 10:00 y las 12:00 horas. Comienza a decrecer en ese punto y después se mantiene constante hasta las 23:00 horas.

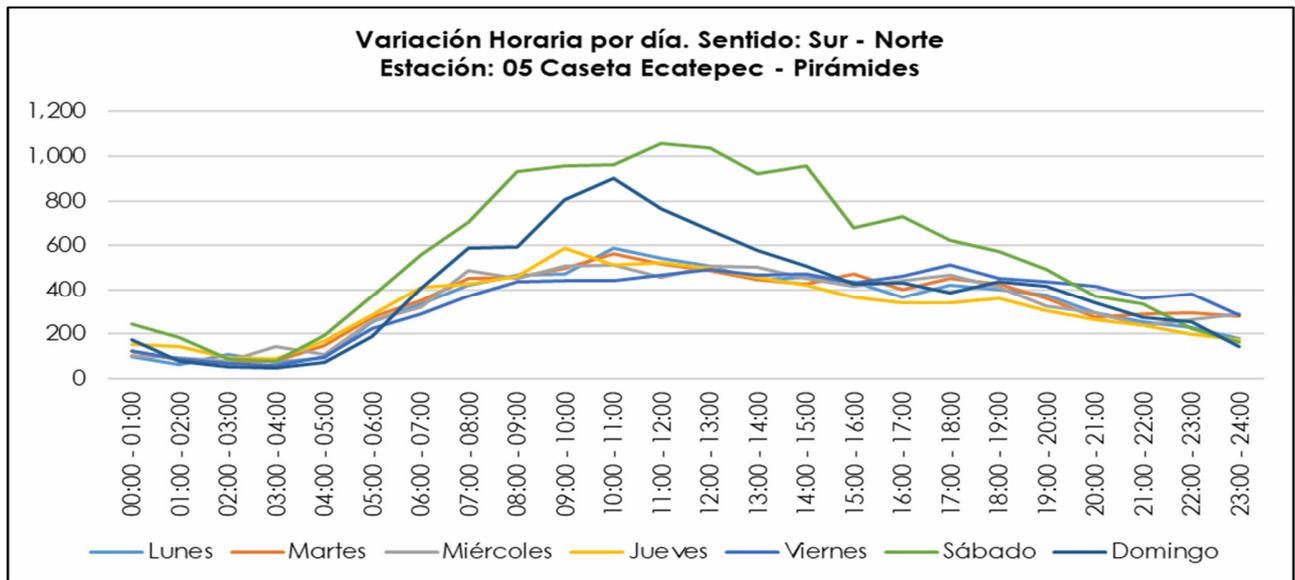
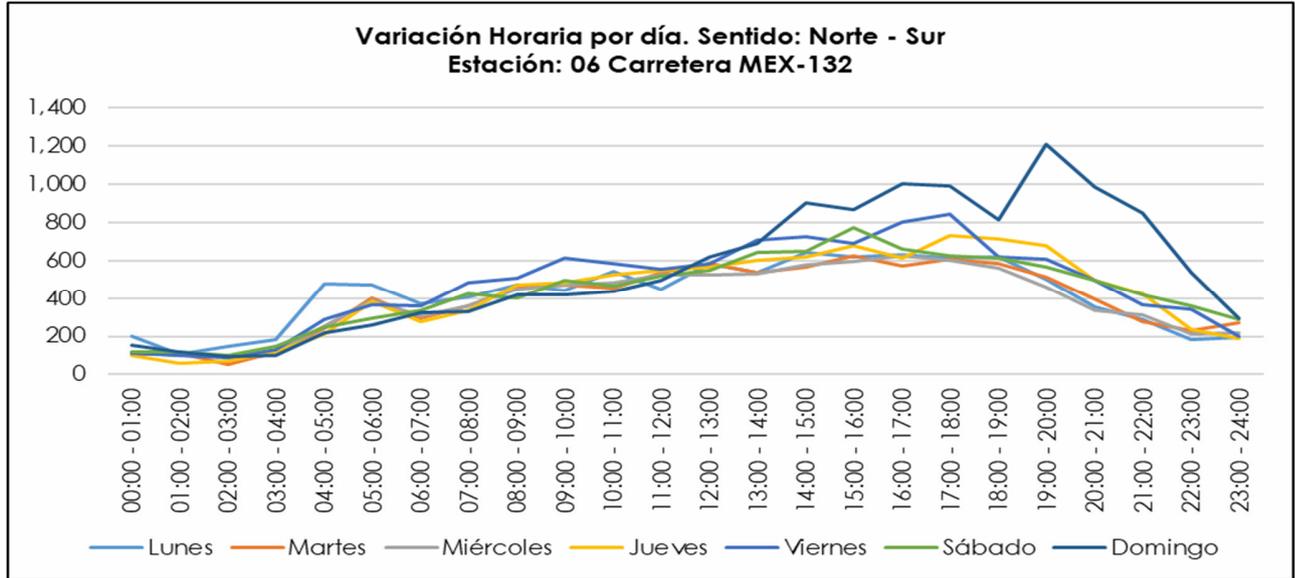


Figura 110. Flujo vehicular. Variación horaria. E-05 (S-N).

La información obtenida en la estación 06 en el sentido norte - sur muestra que el incremento del volumen de vehículos comienza a partir de las 06:00 horas alcanzando su punto máximo entre las 17:00 y las 18 horas. Sin embargo, en el domingo la hora pico es entre las 19:00 y las 20:00 horas.

Figura 111. Flujo vehicular. Variación horaria. E-06 (N-S).



Para el sentido sur - norte se identificó que la hora con mayor presencia de vehículos se da entre las 10:00 y las 11:00 horas. Cabe mencionar que el sábado es donde se presenta un flujo mayor comparado con los días restantes. La hora en donde se identificó un mayor número de vehículos fue entre las 11:00 y las 12:00 horas.

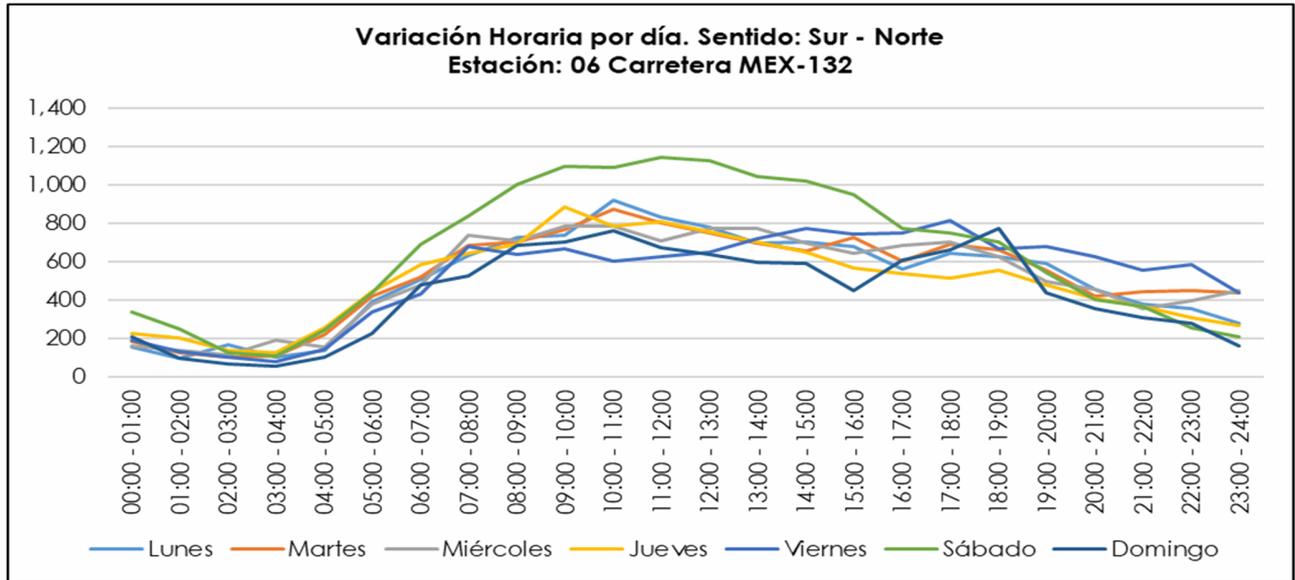


Figura 112. Flujo vehicular. Variación horaria. E-06 (S-N).

En la estación 07A ubicada en Río de los Remedios se puede observar que el mayor volumen de vehículos en el sentido oriente - poniente se da entre las 08:00 y las 09:00 horas. A partir de esa hora se observa que el flujo vehicular comienza a disminuir para llegar a un flujo constante de vehículos que se da a partir de las 12:00 horas.

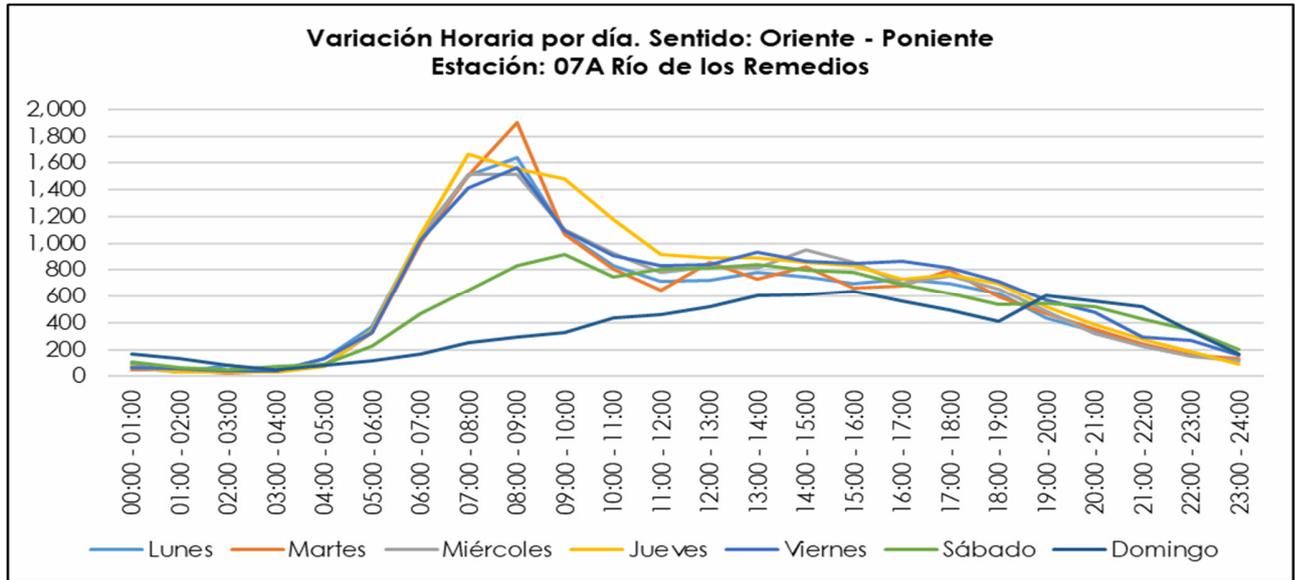
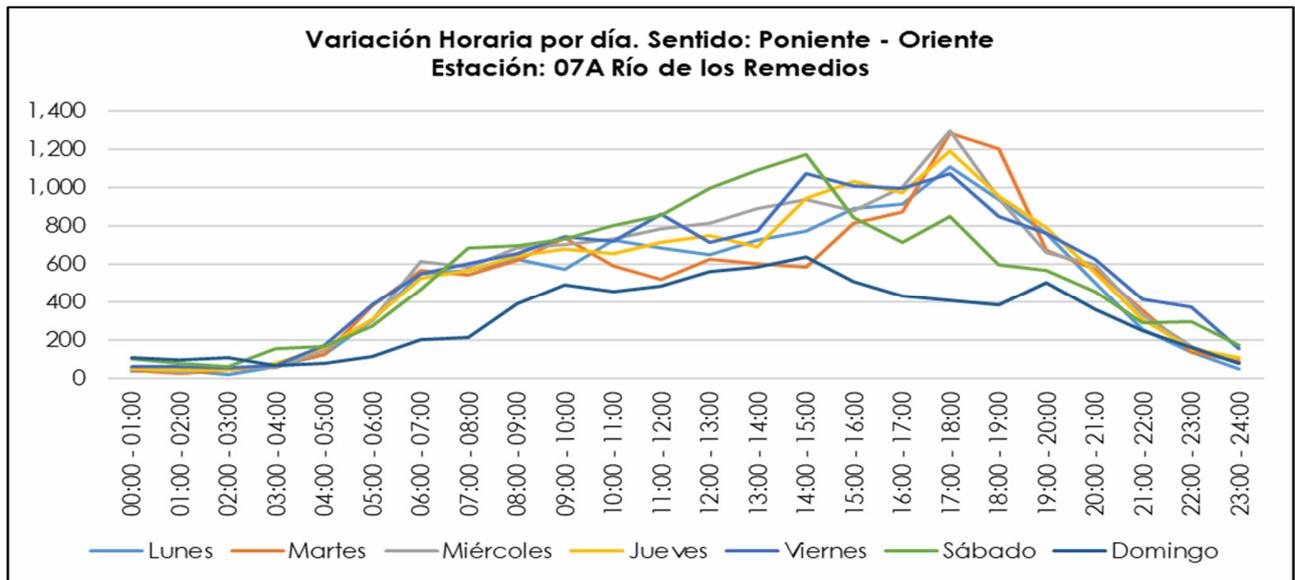


Figura 113. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 A (O-P).

Para el sentido poniente - oriente, se puede observar en la siguiente figura que cada día de la semana tiene un comportamiento diferente. Sin embargo, la hora pico coincide para algunos días de la semana entre las 17:00 y las 18:00 horas. Para el sábado, la hora pico se ubica entre las 14:00 y las 15:00 horas.

Figura 114. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 A (P-O).



Los resultados que arroja la estación 07B ubicada en la Autopista Naucalpan - Ecatepec muestran un comportamiento constante a partir de las 07:00 hasta las 20:00 horas. Sin embargo, el día viernes, el mayor volumen de vehículos se registró entre las 08:00 y las 09:00 horas, mientras que para el día domingo, se ubicó entre las 17:00 y las 18:00 horas.

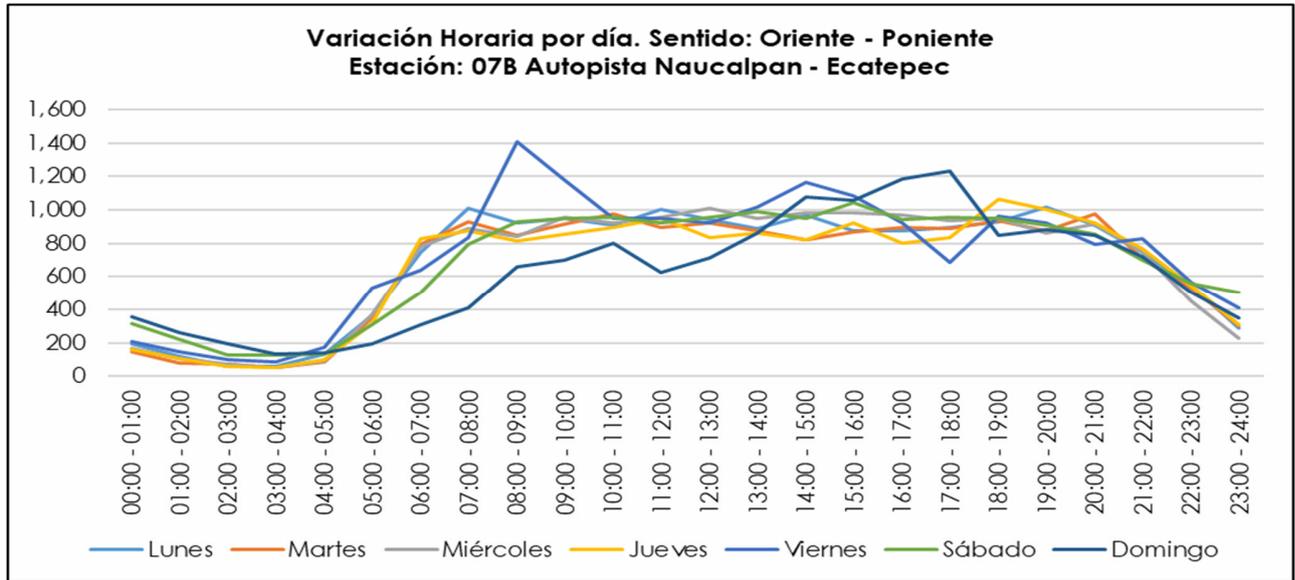
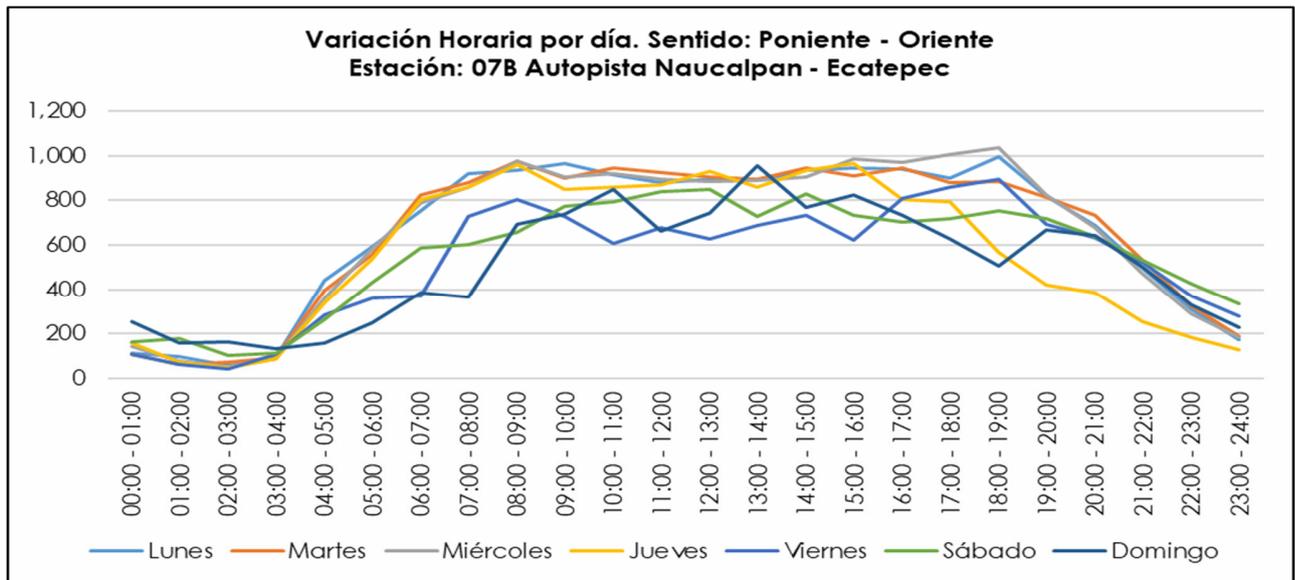


Figura 115. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 B (O-P).

Para el sentido poniente - oriente, se registra un flujo constante a partir de las 08:00 horas. Sin embargo, se registra la hora pico aproximadamente entre las 18:00 y las 19:00 horas. Es importante mencionar que, para el domingo, entre las 13:00 y las 14:00 horas se presenta el mayor volumen de vehículos.

Figura 116. Flujo vehicular. Variación horaria. E-07 B (P-O).



La información obtenida en la estación 08 ubicada en la Av. José López Portillo sentido oriente - poniente muestra que a lo largo de las horas del día el flujo vehicular es constante sobresaliendo algunos picos, el mayor de ellos se encuentra entre las 07:00 y las 08:00 horas del martes. Sin embargo, para los días sábado y domingo, la hora pico se da entre las 14:00 y las 15:00 horas.

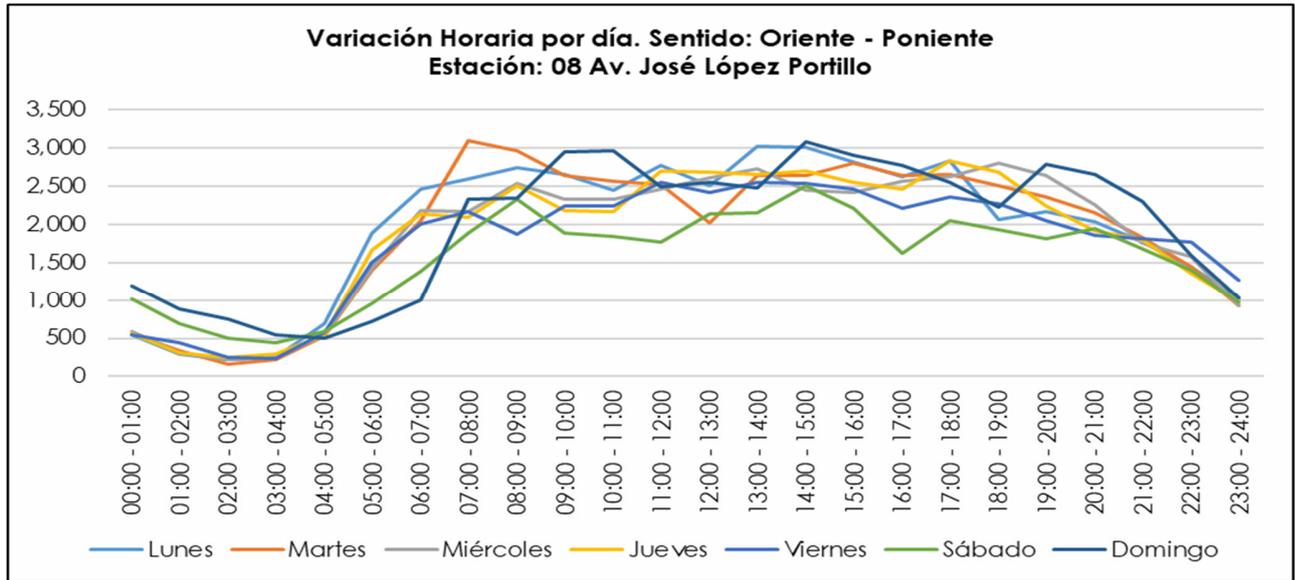


Figura 117. Flujo vehicular. Variación horaria. E-08 (O-P).

Para el caso del sentido poniente - oriente, se obtuvo que la hora pico se da entre las 07:00 y las 08:00 horas entre semana. Cabe mencionar que para el fin de semana se tiene que el sábado la hora donde se registró el mayor volumen de vehículos se da entre las 15:00 y 16:00 horas, mientras que para el domingo la hora pico se da entre las 13:00 y 14:00 horas.

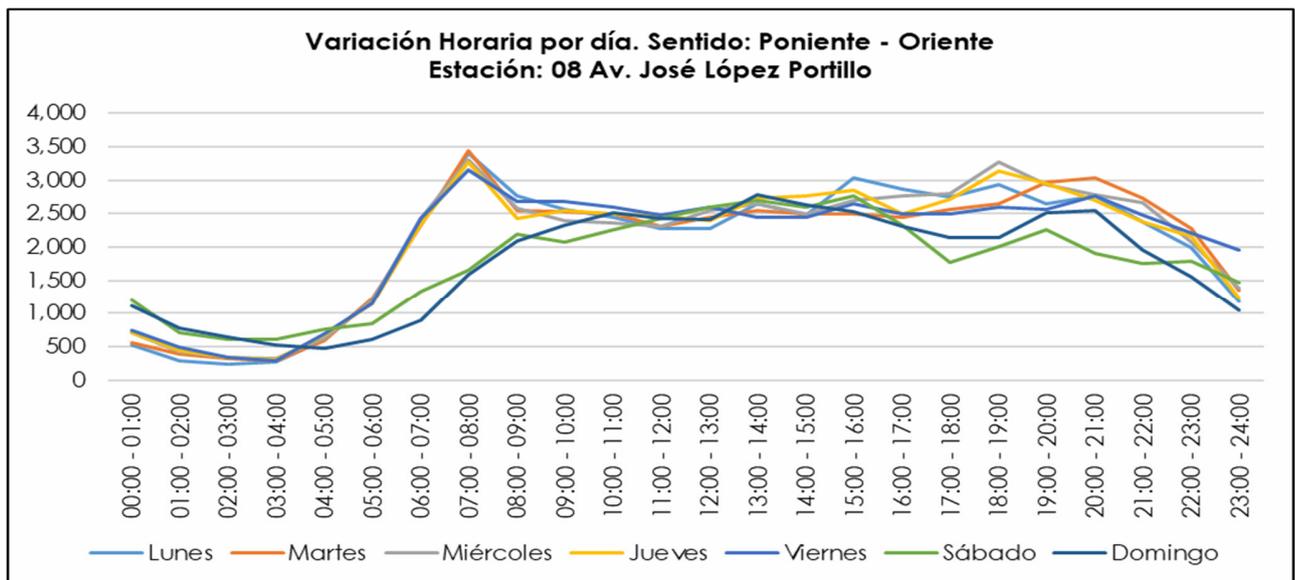


Figura 118. Flujo vehicular. Variación horaria. E-08 (P-O).

Del aforo automático con clasificación vehicular realizado en el presente estudio, se obtuvo el estimado total por tipo de vehículo que pasa en cada una de las vialidades analizadas, así como el tránsito promedio entre semana, el tránsito promedio en fin de semana y el tránsito promedio diario anual, mostrando el número de vehículos de acuerdo con su clasificación, así como el porcentaje que representa.

Aforo vehicular automático: Total aforo por estación [ambos sentidos]							
ID	Ubicación	Automóvil (A)	Autobuses (B)	Camión Unitario (CU)	Camión Articulado 1 (CA1)	Camión Articulado 2 (CA2)	Total
AA-01	Circuito Exterior Mexiquense, km. 020+170	114,151 62.04%	2,159 1.17%	29,801 16.20%	30,690 16.68%	7,207 3.92%	184,008
AA-02	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756	101,107 67.22%	10,456 6.95%	15,236 10.13%	19,858 13.20%	3,759 2.50%	150,416
AA-03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre km. 040+370	246,445 89.34%	18,902 6.85%	9,156 3.32%	1,275 0.46%	63 0.02%	275,841
AA-04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota km. 037+620	283,530 89.45%	10,199 3.22%	15,009 4.74%	6,792 2.14%	1,435 0.45%	316,965
AA-05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides km. 002+030	103,517 77.06%	10,036 7.47%	9,572 7.13%	8,638 6.43%	2,564 1.91%	134,327
AA-06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. km. 023+550	126,413 78.56%	5,474 3.40%	11,867 7.37%	12,964 8.06%	4,191 2.60%	160,909
AA-07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre km. 012+350	159,784 89.37%	263 0.15%	12,283 6.87%	5,259 2.94%	1,194 0.67%	178,783
AA-07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota km. 012+350	191,192 89.94%	2,865 1.35%	15,997 7.53%	2,462 1.16%	52 0.02%	212,568
AA-08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec km. 018+430	610,429 95.22%	3,712 0.58%	20,132 3.14%	6,492 1.01%	340 0.05%	641,105

Tabla 43. Composición del aforo vehicular total observado.

Aforo vehicular automático: Promedio entre semana [ambos sentidos]							
ID	Ubicación	Automóvil	Autobuses	Camión Unitario	Camión Articulado 1	Camión Articulado 2	Total
		(A)	(B)	(CU)	(CA1)	(CA2)	
AA-01	Circuito Exterior Mexiquense, km. 020+170	18,345	380	5,224	5,170	1,231	30,351
		60.44%	1.25%	17.21%	17.03%	4.06%	
AA-02	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756	14,332	1,731	2,387	3,244	626	22,321
		64.21%	7.75%	10.69%	14.54%	2.81%	
AA-03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre km. 040+370	34,124	2,639	1,578	189	8	38,539
		88.54%	6.85%	4.10%	0.49%	0.02%	
AA-04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota km. 037+620	38,628	1,516	2,710	1,137	219	44,210
		87.38%	3.43%	6.13%	2.57%	0.50%	
AA-05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides km. 002+030	13,143	1,459	1,565	1,404	417	17,988
		73.07%	8.11%	8.70%	7.81%	2.32%	
AA-06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. km. 023+550	16,855	800	1,996	2,029	631.6	22,312
		75.54%	3.59%	8.95%	9.10%	2.83%	
AA-07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre km. 012+350	24,153	34	2,160	895	197	27,439
		88.03%	0.12%	7.87%	3.26%	0.72%	
AA-07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota km. 012+350	27,279	420	2,853	449	9	31,010
		87.97%	1.36%	9.20%	1.45%	0.03%	
AA-08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec km. 018+430	88,739	549	3,640	1,155	43	94,126
		94.28%	0.58%	3.87%	1.23%	0.05%	

Tabla 44. Composición del aforo vehicular promedio entre semana observado.

Aforo vehicular automático: Promedio fin semana [ambos sentidos]							
ID	Ubicación	Automóvil	Autobuses	Camión Unitario	Camión Articulado 1	Camión Articulado 2	Total
		(A)	(B)	(CU)	(CA1)	(CA2)	
AA-01	Circuito Exterior Mexiquense, km. 020+170	11,212	129	1,840	2,421	525	16,127
		69.53%	0.80%	11.41%	15.01%	3.26%	
AA-02	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756	14,723	901	1,651	1,818	313	19,406
		75.87%	4.64%	8.51%	9.37%	1.62%	
AA-03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre km. 040+370	37,912	2,854	633	165	11	41,573
		91.19%	6.86%	1.52%	0.40%	0.03%	
AA-04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota km. 037+620	45,194	1,310	731	554	170	47,958
		94.24%	2.73%	1.52%	1.16%	0.35%	
AA-05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides km. 002+030	18,900	1,371	875	808	240	22,194
		85.16%	6.18%	3.94%	3.64%	1.08%	
AA-06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. km. 023+550	21,070	737	943	1,409	516	24,675
		85.39%	2.99%	3.82%	5.71%	2.09%	
AA-07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre km. 012+350	19,510	47	743	392	104	20,795
		93.82%	0.23%	3.57%	1.89%	0.50%	
AA-07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota km. 012+350	27,399	382	866	110	2	28,759
		95.27%	1.33%	3.01%	0.38%	0.01%	
AA-08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec km. 018+430	83,367	484	966	360	62	85,237
		97.81%	0.57%	1.13%	0.42%	0.07%	

Tabla 45. Composición del aforo vehicular promedio en fin de semana observado.

Aforo vehicular automático: Tránsito Promedio Diario Anual [ambos sentidos]							
ID	Ubicación	Automóvil	Autobuses	Camión Unitario	Camión Articulado 1	Camión Articulado 2	Total
		(A)	(B)	(CU)	(CA1)	(CA2)	
AA-01	Circuito Exterior Mexiquense, km. 020+170	19,873 62.04%	376 1.17%	5,188 16.20%	5,343 16.68%	1,255 3.92%	32,035
AA-02	Circuito Exterior Mexiquense km. 020+756	15,564 67.22%	1,610 6.95%	2,345 10.13%	3,057 13.20%	578 2.50%	23,155
AA-03	Carretera MEX-085 México - Pachuca Libre km. 040+370	34,115 89.34%	2,617 6.85%	1,267 3.32%	176 0.46%	9 0.02%	38,184
AA-04	Carretera MEX-85D México - Pachuca Cuota km. 037+620	39,248 89.45%	1,412 3.22%	2,078 4.74%	940 2.14%	199 0.45%	43,877
AA-05	Carretera MEX-132D Ecatepec-Pirámides km. 002+030	14,848 77.06%	1,439 7.47%	1,373 7.13%	1,239 6.43%	368 1.91%	19,267
AA-06	Carretera MEX-132 Venta de Carpio-T.C. km. 023+550	18,926 78.56%	820 3.40%	1,777 7.37%	1,941 8.06%	627 2.60%	24,090
AA-07 A	Autopista Naucalpan-Ecatepec Libre km. 012+350	25,650 89.37%	42 0.15%	1,972 6.87%	844 2.94%	191 0.67%	28,700
AA-07 B	Autopista Naucalpan-Ecatepec Cuota km. 012+350	28,413 89.94%	426 1.35%	2,377 7.53%	366 1.16%	7 0.02%	31,590
AA-08	Carretera San Pedro Barrientos-Ecatepec km. 018+430	90,943 95.22%	553 0.58%	2,999 3.14%	967 1.01%	50 0.05%	95,513

Tabla 46. Composición del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) observado.

### 2.3.7. Cálculo del nivel de servicio en la red vial analizada

La evaluación del nivel de servicio en la red vial analizada para el proyecto de movilidad carretera Tultepec - AIFA - Pirámides es un elemento primordial que permitirá identificar las condiciones de operación existentes, determinando si con el número de carriles existentes, la velocidad de flujo libre y el porcentaje de vehículos pesados, entre otros, estos tramos carreteros operan en condiciones adecuadas. Resulta importante mencionar que para realizar esta evaluación Avanti EG se basó en la metodología presentada por el Highway Capacity Manual en su versión 2010.

El HCM 2010 establece seis niveles de servicio para cada tipo de facilidad vial, que son designados por letras que van desde la A hasta la F, siendo el nivel de servicio A el que representa las mejores condiciones operativas y el F el que representa las condiciones de operación más desfavorables.

Asimismo, el HCM 2010 permite determinar el nivel de servicio para diferentes tipos de vías como autopistas, carreteras de dos carriles, vías multicarril, intersecciones semaforizadas, intersecciones no semaforizadas, peatones y bicicletas, entre otros.

Para poder estimar el nivel de servicio actual (2019) se consideró el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) obtenido de los estudios de campo, asimismo se consideraron las velocidades promedio de viaje obtenidas en la red vial analizada.

El conocimiento del nivel de servicio en el que operan las carreteras permite establecer una comunicación entre la oferta y la demanda del servicio, reflejando su grado de eficiencia. En la siguiente tabla se muestra la estimación del nivel de servicio para los tramos carreteros analizados en el presente estudio.

	Carretera	Longitud (km)	Velocidad HMD (km/hr)	Nivel de servicio
1	México - Pachuca Cuota	45.50	91.85	C
2	México - Pachuca Libre	49.25	31.94	F
3	Ecatepec - Pirámides	31.90	88.30	B
4	Circuito Exterior Mexiquense	47.80	77.95	C
5	Ramal Circuito Exterior Mexiquense	19.40	51.00	E
6	Naucalpan - Ecatepec	12.64	63.22	C
7	Av. López Portillo	19.45	29.34	F

Tabla 47. Nivel de servicio observado en la red de estudio.

En la siguiente figura se puede observar a detalle el nivel de servicio para cada uno de los tramos carreteros analizados.

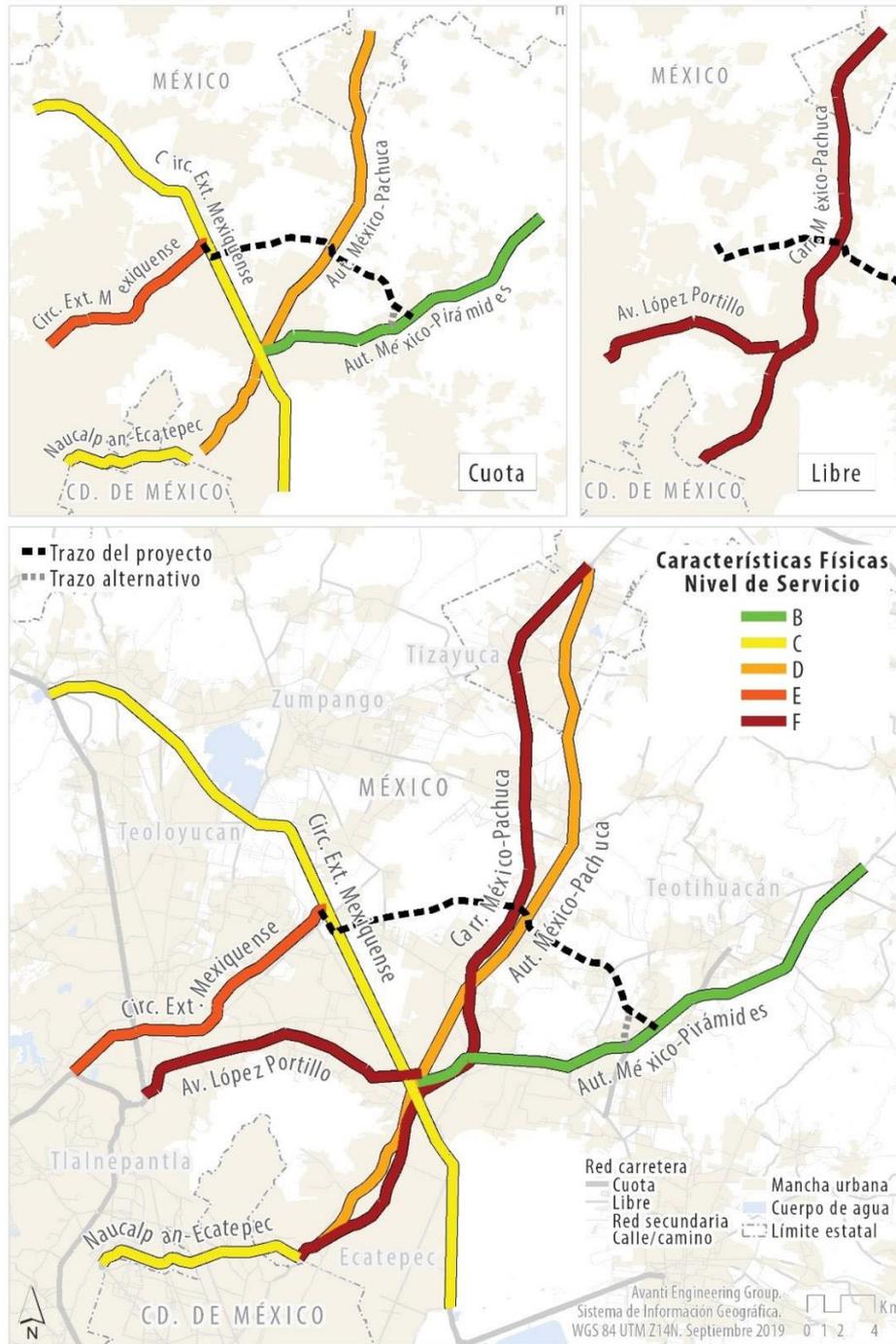


Figura 119. Nivel de servicio.





Figura 121 Zonificación a nivel nacional.

### 3.2. Modelo de oferta

Con base en la información recopilada en campo y la información documental obtenida, relacionada con las características físicas y operativas de la red de análisis, se desarrolla un modelo analítico de esta red y se construye una herramienta de análisis, mediante la cual se represente la oferta y se puedan hacer modificaciones de las condiciones físicas y de operación de la red vial actual como resultado de la modernización o construcción de nuevos tramos. El modelo de oferta se desarrolló en ArcGIS.

En los párrafos siguientes se describe el proceso de modelación de las redes de transporte haciendo énfasis en la conveniencia de establecer una modelación completa de la movilidad de la ZMVM a nivel regional, que permita:

- Analizar el reparto modal con una caracterización que incluya la interacción entre las diferentes rutas libres y de cuota a un nivel de detalle que permita distinguir los desplazamientos existentes.

- Realizar la evaluación de proyectos de infraestructura futuros o programados que supongan cambios sustanciales en la movilidad y el sistema de transporte existente.
- Analizar el comportamiento de la demanda ante los escenarios y los horizontes de estudio establecidos en los términos de referencia.
- Para la elaboración de la red del modelo, se tomó por un lado la red vial principal en el área de estudio. La siguiente imagen presenta un ejemplo de la codificación de la red vial en Visum y los distintos atributos que son incluidos dentro del modelo.
- En total, la red cuenta con 540 nodos, 1,492 enlaces y 4 sistemas de transportes codificados dentro de Visum. Para cada uno de estos enlaces se introdujo información referente a la longitud, número de carriles, capacidad, velocidad límite de recorrido, así como información adicional referente a las características físicas y operativas de la red. Tal información fue recopilada a partir de los recorridos realizados en la zona de influencia del proyecto. La red modelada acumula un total de 3,622 kilómetros a lo largo de las alcaldías de la Ciudad de México y municipios del Estado de México e Hidalgo.

La figura siguiente muestra la codificación del proyecto en Visum.

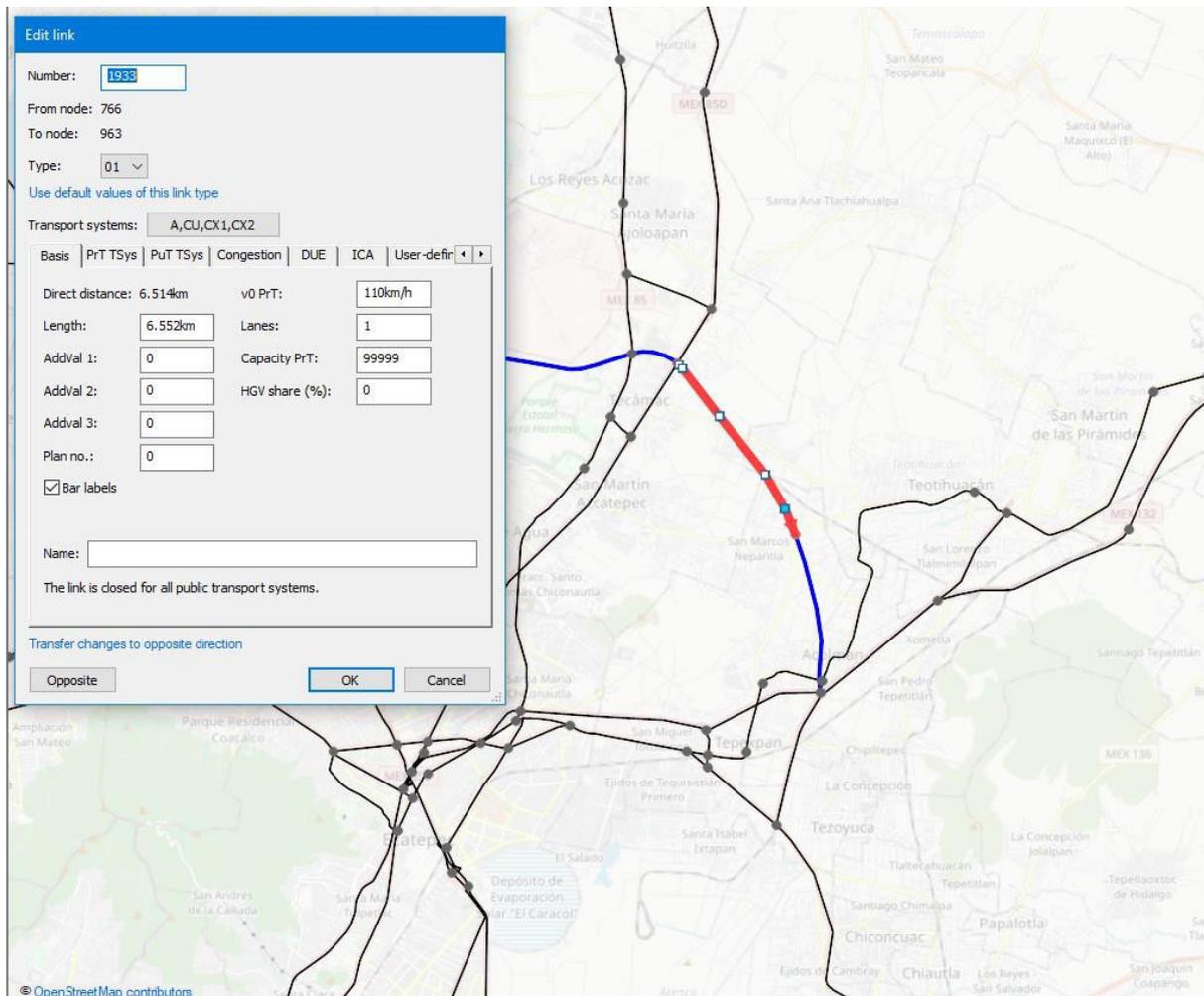


Figura 122 Codificación de la red en Visum.

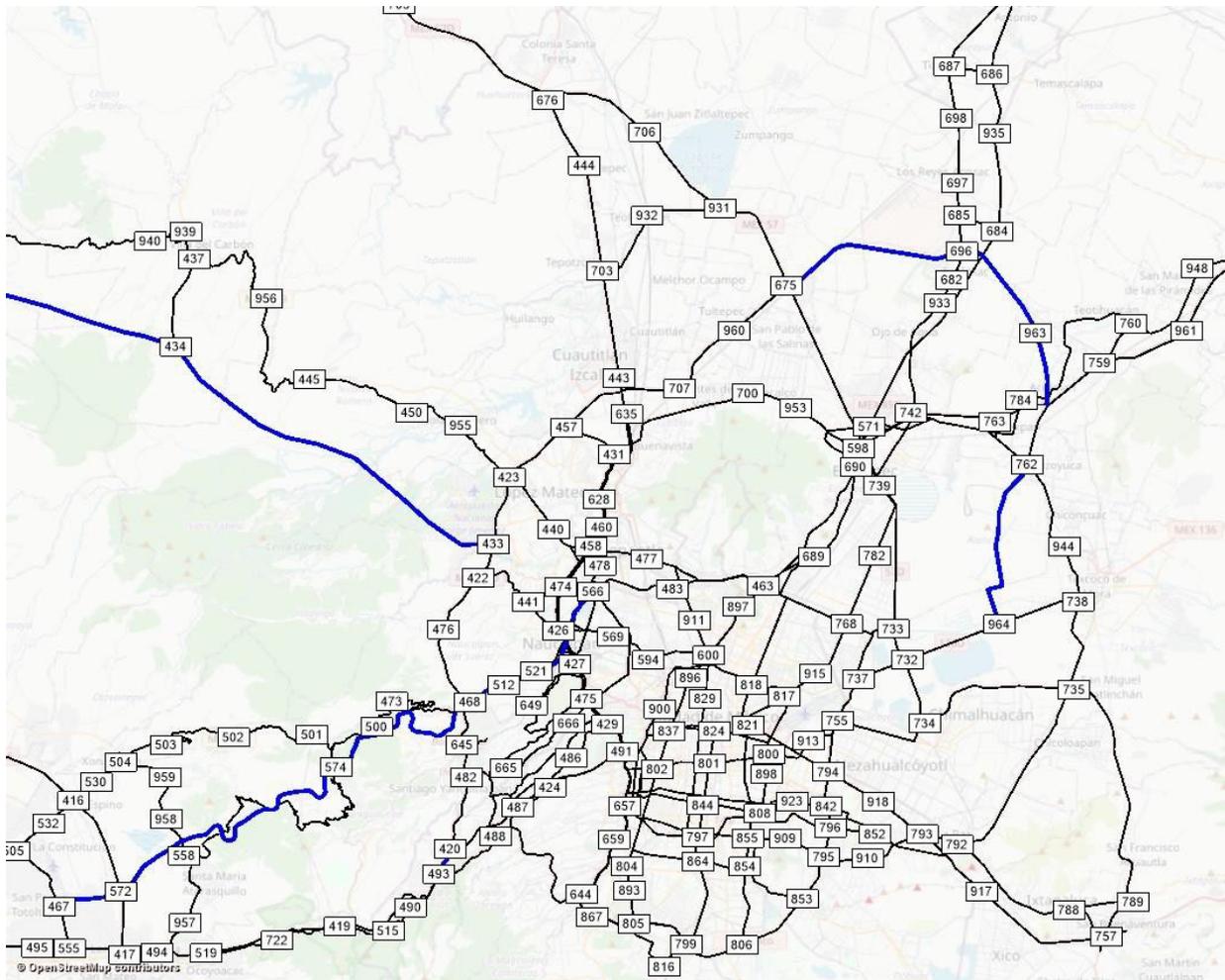


Figura 123 Red vial incluida en el modelo Visum.

### 3.3. Modelo de demanda

El modelo de demanda en este caso representa los viajes realizados en el área de estudio por los conductores a bordo de los distintos segmentos de demanda incluidos. Estos datos son obtenidos a partir de un proceso de análisis y expansión de las encuestas origen - destino y los conteos vehiculares recopilados en campo.

#### 3.3.1. Metodología de expansión

La muestra de encuestas origen-destino representa una parte del total del tránsito que circula por las vías en estudio, por lo que se requiere expandir la muestra para estimar matrices origen- destino que representen el patrón y cantidad de viajes para el periodo de modelación seleccionado. La muestra encuestada está afectada por una estacionalidad que varía de acuerdo con el día y mes en los cuales se recopiló la información. Dicha estacionalidad debe ser normalizada para que la información sea representativa de un día de operación promedio

de la vía durante cualquier época del año. Esta estacionalidad es representada por épocas vacacionales o periodos de baja actividad económica.

Los factores de expansión, como su nombre lo señalan, esparcen la muestra para que representen la totalidad del tráfico de la vía y además remuevan la estacionalidad del periodo en que se levantaron las encuestas. La metodología se ilustra en la Figura 40 y cada factor de expansión se describe a continuación.

Factor horario (Fh): este factor sirve para expandir la muestra de encuestas tomada durante una hora al total de vehículos que circularon durante la misma hora. Se estima un factor por cada hora de encuesta, por tipo de vehículo, por sentido de circulación, por fecha y por sitio de encuesta, utilizando la expresión de la ecuación siguiente.

$$Fh_{ijkl} = \frac{n_{ijkl}}{N_{ijkl}}$$

Donde  $Fh_{ijkl}$  es el factor hora,  $N_{ijkl}$  es el número de encuestas recopiladas; y  $n_{ijkl}$  es el aforo vehicular; i es la hora de encuesta, j es el tipo de vehículo; k es el sentido de circulación; y l es la fecha de encuesta.

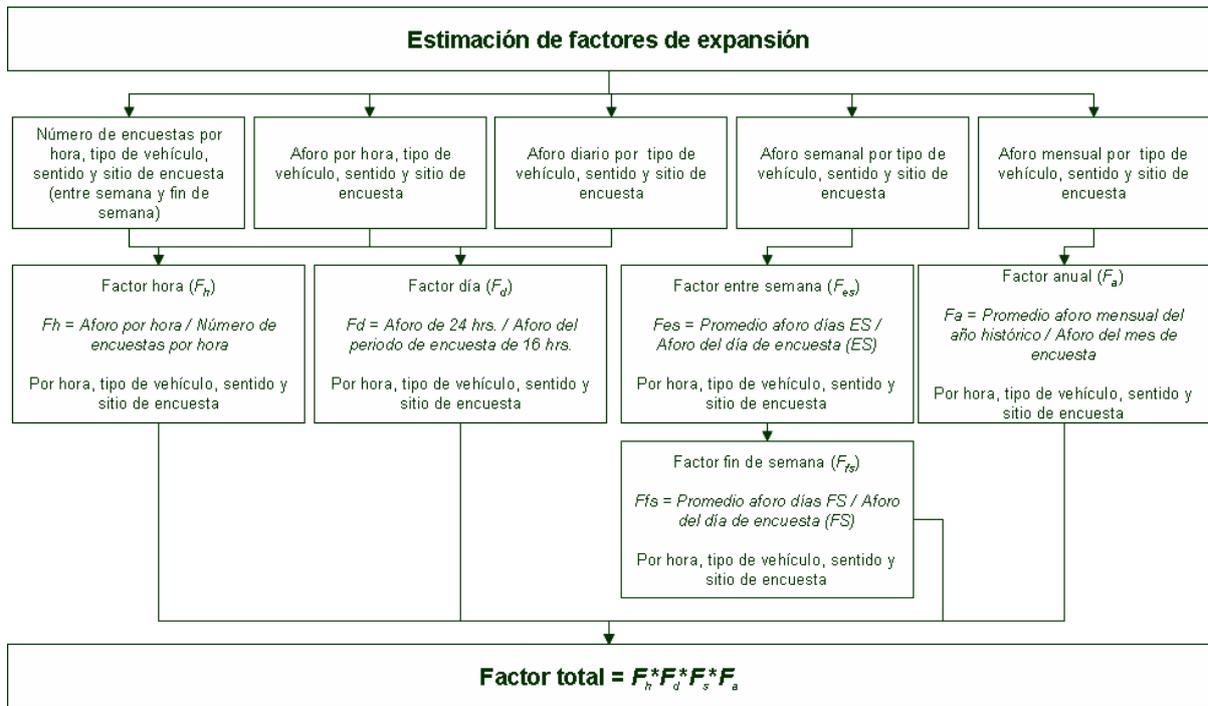


Figura 124 Metodología para estimar factores de expansión.

En caso de que no existan encuestas de un vehículo en particular para algunas horas del periodo de aforo, la expresión anterior puede ser sustituida por la ecuación siguiente.

$$Fh_{ijkl} = \frac{n_{jkl}}{N_{jkl}}$$

Donde  $F_{h_{ijkl}}$  es el factor hora,  $\Sigma N_{ijkl}$  es la suma de encuestas recopiladas durante todo el periodo de encuesta (24 hrs.); y  $\Sigma n_{ijkl}$  es la suma aforo vehicular para el mismo periodo (24 hrs.); j es el tipo de vehículo; k es el sentido de circulación; y l es la fecha de encuesta.

Factor diario (Fd): este factor sirve para expandir la muestra de encuestas tomada durante el horario de levantamiento de información al total de vehículos aforados en el día. Este factor se aplica si el periodo de encuesta fue menor a 24 horas. Se estima un factor por tipo de vehículo, por sentido de circulación, por fecha y por sitio de encuesta, de acuerdo a la expresión de la ecuación siguiente.

$$F_{d_{ijk}} = \frac{Aforo_{24_{ijk}}}{Aforo_{n_{ijk}}}$$

Donde  $F_{d_{ijk}}$  es el factor día;  $Aforo_{24_{ijk}}$  es el total del aforo vehicular de 24 horas;  $Aforo_{n_{ijk}}$  es el aforo vehicular total de n horas; i es el tipo de vehículo; j es el sentido de circulación; y k es la fecha de encuesta. En este caso que se encuestan las 24 horas, este factor no aplica.

Factor semanal (Fs): debido a que los comportamientos de los flujos vehiculares son diferentes para cada día de la semana, es necesario estimar factores de expansión para cada periodo (entre semana y fin de semana). Se estima un factor por tipo de vehículo, por sentido de circulación, por fecha y por sitio de encuesta, utilizando la expresión mostrada en la ecuación siguiente.

$$F_{s_{ijk}} = \frac{Aforo_{Semana_{ij}}}{Aforo_{Día_{ijk}}}$$

Donde  $F_{s_{ijk}}$  es el factor de día entre semana ó fin de semana;  $Aforo_{Semana_{ijk}}$  es el promedio del aforo vehicular entre semana ó fin de semana;  $Aforo_{Día_{ijk}}$  es el aforo vehicular total del día que se levantó la encuesta; i es el tipo de vehículo; j es el sentido de circulación; y k es la fecha de encuesta.

Factor anual (Fa): este factor se debe a las variaciones de flujo mensual (estacionalidad anual) que se presentan en el tránsito vehicular a lo largo de un año. Se estima un factor por tipo de vehículo solamente, de acuerdo con la expresión contenida en la ecuación siguiente

$$F_{a_i} = \frac{Aforo_{Mensual_i}}{Aforo_{Mes_i}}$$

Donde  $F_{a_i}$  es el factor anual para el tipo de vehículo i;  $Aforo_{Mensual_{ijk}}$  es el promedio del aforo vehicular de los 12 meses del año para el tipo de vehículo i; y  $Aforo_{Mes_i}$  es el aforo vehicular total del mes en que se levantó la encuesta para el tipo de vehículo i.

Factor total (Ft): este factor abarca la expansión horaria y diaria de las encuestas junto con la desestacionalización por el día y mes en que se levantaron las encuestas. La estimación se hace de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$F_{t_{ijkl}} = F_{h_{ijkl}} \times F_{d_{ijkl}} \times F_{s_{jkl}} \times F_{a_j}$$

Donde  $F_{t_{ijkl}}$  es el factor total;  $F_{h_{ijkl}}$  es el factor hora;  $F_{d_{ijkl}}$  es el factor día;  $F_{s_{jkl}}$  es el factor semana;  $F_{a_j}$  es el factor anual; i es la hora de encuesta, j es el tipo de vehículo; k es el sentido de circulación; y l es la fecha de encuesta. Al final del proceso de expansión, se obtendrán matrices origen - destino para cada estrato de demanda que se considere significativo.

La expansión es realizada por segmento de demanda que fueron los siguientes:

- Viajes en automóvil en fin de semana
- Viajes en automóvil entre semana
- Viajes en camión unitario en fin de semana
- Viajes en camión unitario entre semana
- Viajes en camión articulado I en fin de semana
- Viajes en camión articulado I entre semana
- Viajes en camión articulado II en fin de semana
- Viajes en camión articulado II entre semana

### 3.3.2. Metodología de eliminación de dobles conteos

Debido a la ubicación de las estaciones de encuesta origen - destino, es posible que un viaje se identificado de manera doble. Por ejemplo, es posible haber identificado un viaje en la Caseta Tultepec del Circuito Exterior Mexiquense y en la Caseta Ecatepec en la Autopista Ecatepec - Pirámides.

Sin embargo, para objeto de la modelación se requiere contar con una sola matriz origen - destino, por cada uno de los estratos definidos, que permita representar el deseo de viajes presentados en toda la red en estudio.

De tal forma, es requerido llevar a cabo una eliminación de dobles conteos de origen - destino que permita estimar dicha matriz global.

Este procedimiento consiste en la aplicación de un algoritmo que permita verificar la existencia de viajes en pares origen - destino que se hayan sido captados por medio de los estudios de campo en más de una estación; y mediante algún criterio de selección (máximo, promedio) escoger un valor final para ese par origen - destino. Posteriormente, la matriz final obtenida a través de la eliminación de dobles conteos debe cumplir una condición tal que, al momento de su asignación a la red, los flujos observados deben ser similares a los flujos asignados por medio del modelo, con un porcentaje bajo de error.

Una vez realizada la expansión y desestacionalización de las matrices de viaje obtenidas por medio de las encuestas y llevada a cabo la segmentación por estratos, se procedió a efectuar el proceso de eliminación de dobles conteos.

Se utilizaron dos criterios de selección de valores de celda de la matriz diferentes: el criterio de valor promedio y el criterio de selección del máximo. El objetivo para utilizar ambos criterios es el de comparar los resultados de cada uno de ellos y seleccionar la opción que arroje los mejores resultados. Esta selección de criterio es hecha para cada tipo de vehículo, siendo posible que, por ejemplo, para la matriz de automóviles se haya seleccionado el criterio de valor promedio, en cambio para las demás matrices se escogiera el valor máximo. Esto nos permite seleccionar el mejor criterio por tipo de vehículo y, por lo tanto, disminuir el grado de error posible.

### 3.3.3. Matrices origen - destino

Una vez realizado el proceso de eliminación de dobles conteos se pueden analizar espacialmente los patrones de viaje que presenta cada una de las matrices origen - destino obtenidas.

A continuación, se presentan las líneas de deseo de cuatro segmentos de demanda:

- Automóviles
- Camiones Unitarios
- Camiones Articulados I
- Camiones Articulados II

En el caso de los automóviles, se puede observar las matrices estimadas muestran patrones de viaje principalmente en la dirección norte-sur, es decir, de viajes que son generados en Pachuca y tienen destino en la Ciudad de México o la zona norte del Estado de México.

Los patrones de los viajes identificados en camiones unitarios también presentan principalmente un desplazamiento norte-sur. Sin embargo, se presenta una menor concentración en orígenes y destinos que los vehículos ligeros.

En el caso de los viajes de los camiones articulados, tienen un patrón muy distinto y aunque una parte importante de viajes siguen generándose en Pachuca y Tulancingo y se dirigen a la zona metropolitana de la Ciudad de México, se agrega una cantidad de viajes importantes que provienen del estado de Veracruz, especialmente del puerto de Tuxpan y la zona de Poza Rica.

En las imágenes siguientes se muestran las líneas de deseo identificadas para cada tipo de vehículo de las matrices obtenidas a partir de la expansión y del proceso de eliminación de dobles conteos.

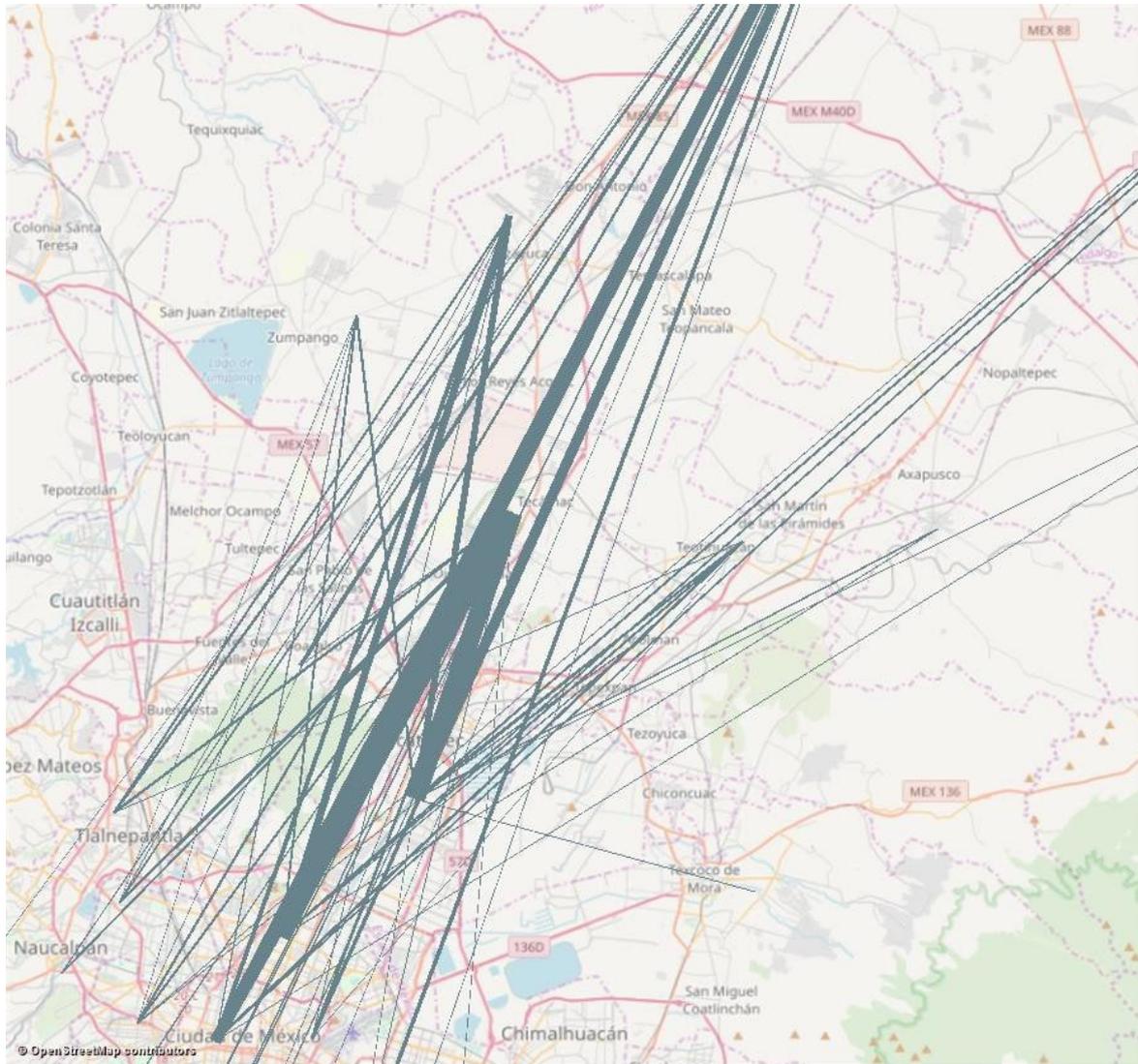


Figura 125 Líneas de deseo - Automóviles.

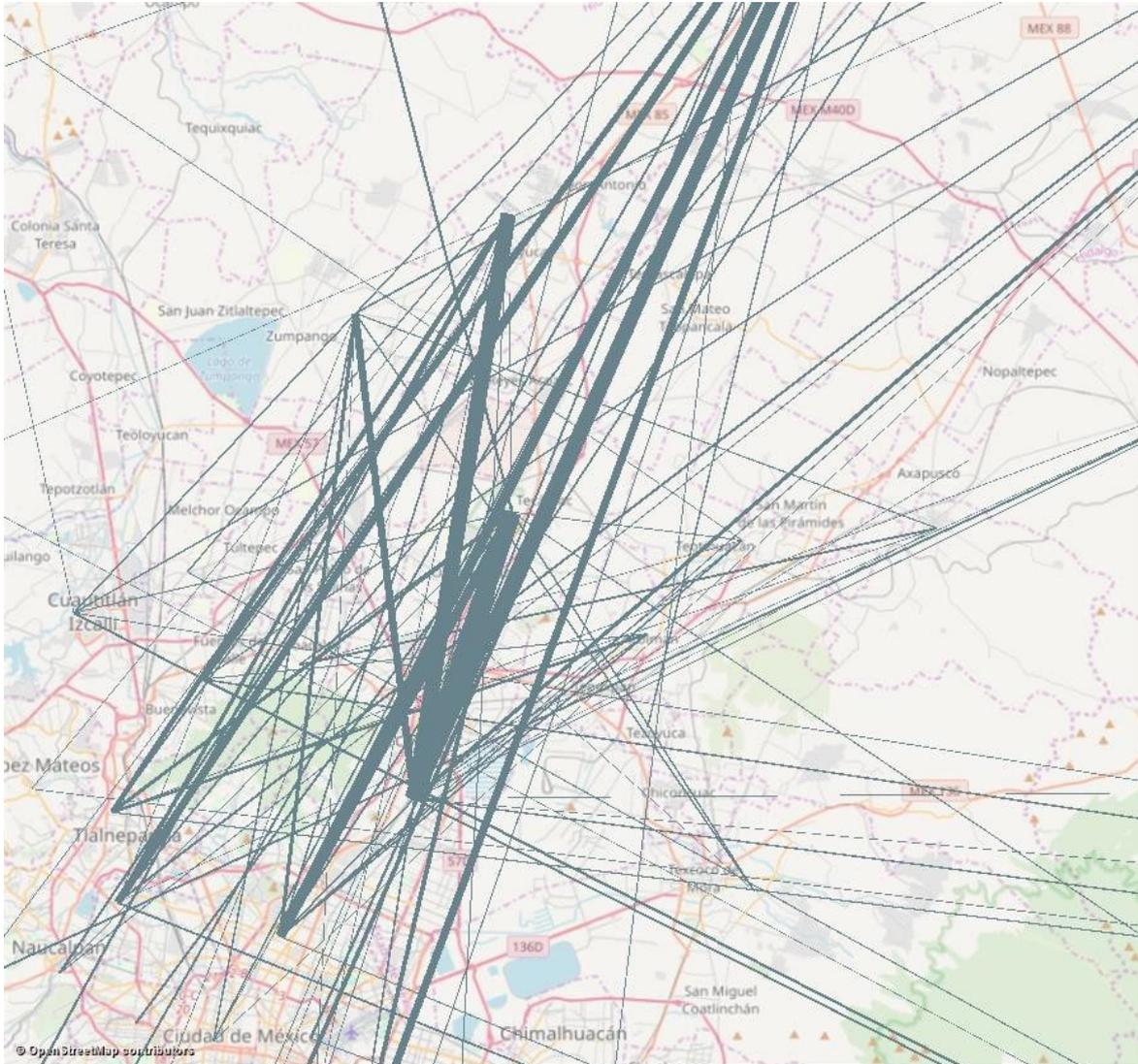


Figura 126 Líneas de deseo - Camiones Unitarios.

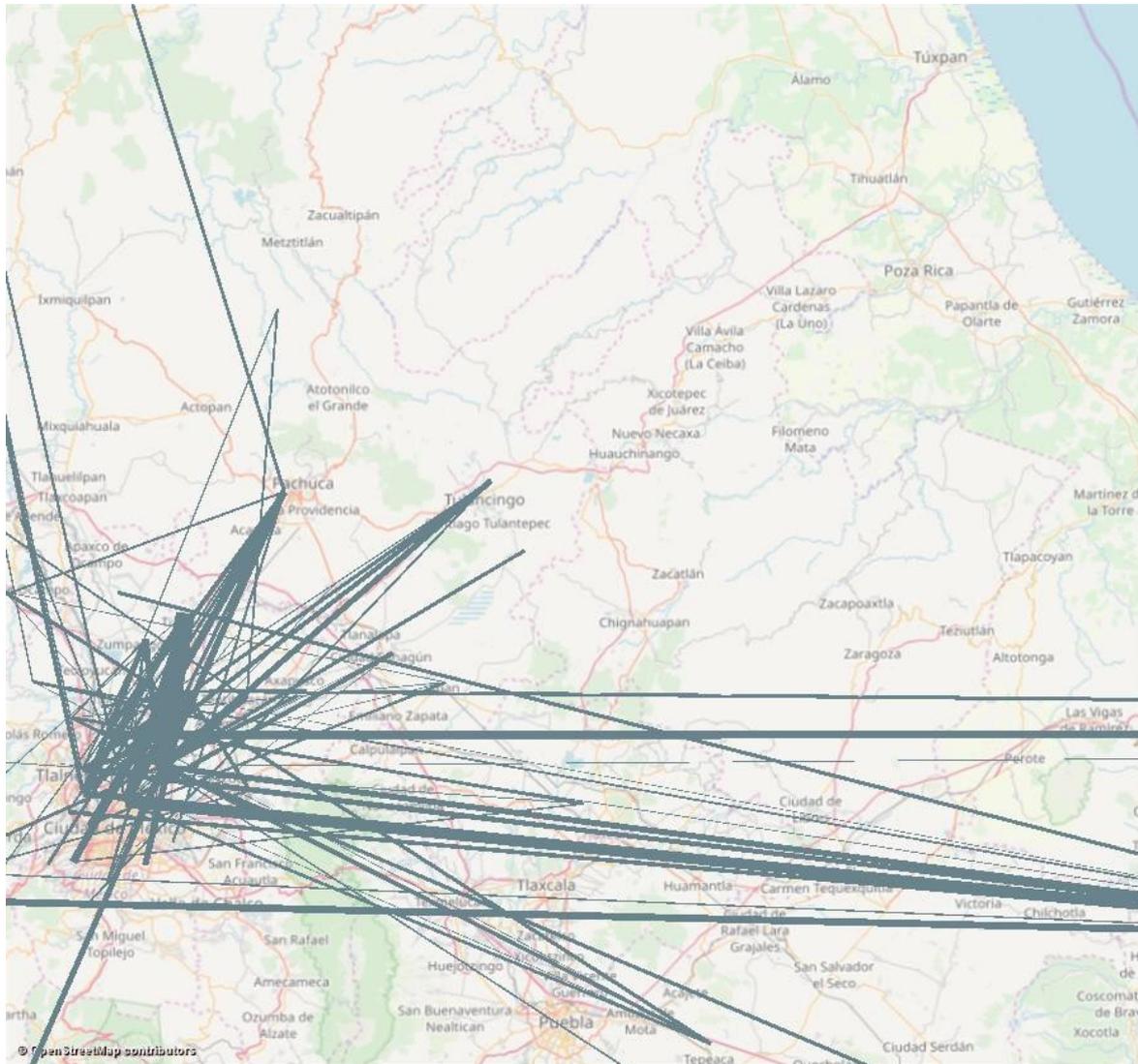


Figura 127 Líneas de deseo - Camiones Articulados I.

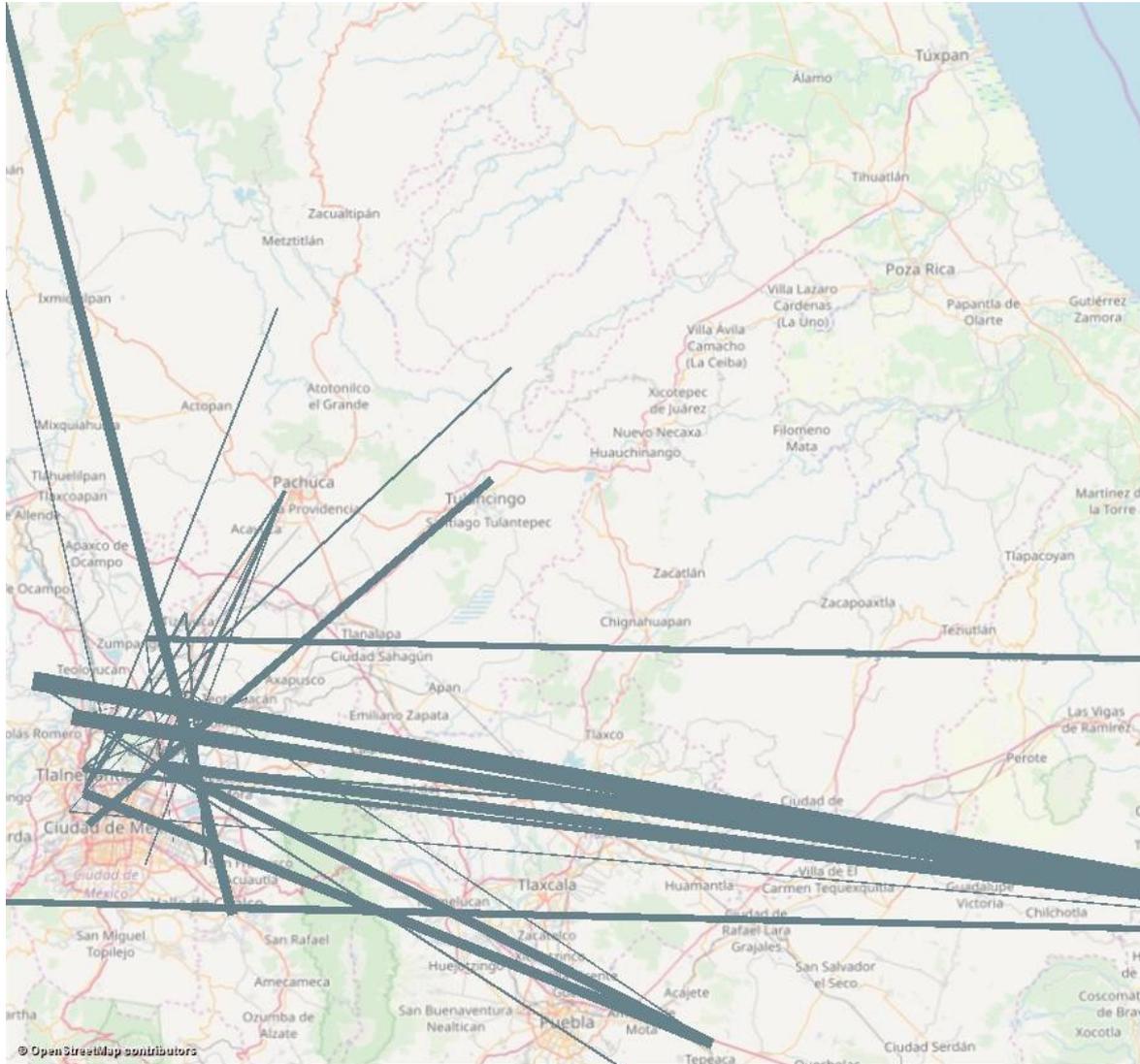


Figura 128 Líneas de deseo - Camiones Articulados II.

### 3.4. Modelo de elección discreta

Las encuestas de preferencia declarada son parte de una familia de técnicas que utilizan las respuestas de los usuarios sobre sus preferencias, cuando se les presentan alternativas predefinidas en función de atributos de interés. Los atributos evaluados en la encuesta de preferencia declarada en este caso son el tiempo de recorrido y el costo de cuotas de peaje.

El ahorro de tiempo de viaje es uno de los beneficios más importantes que resultan de los recursos y esfuerzos invertidos en mejorar la infraestructura de los sistemas de transportes en todo el mundo. El costo de cuotas de peaje también es un factor muy importante que los usuarios evalúan en la elección de la ruta de viaje. Aun cuando otros atributos, como incrementos en la seguridad, mejoramiento ambiental y confort del usuario tengan importancia sobre su comportamiento, el impacto de estos últimos sobre las decisiones no es tan relevante, como lo son las alternativas planteadas que permiten una disminución considerable de los tiempos de viaje de los usuarios.

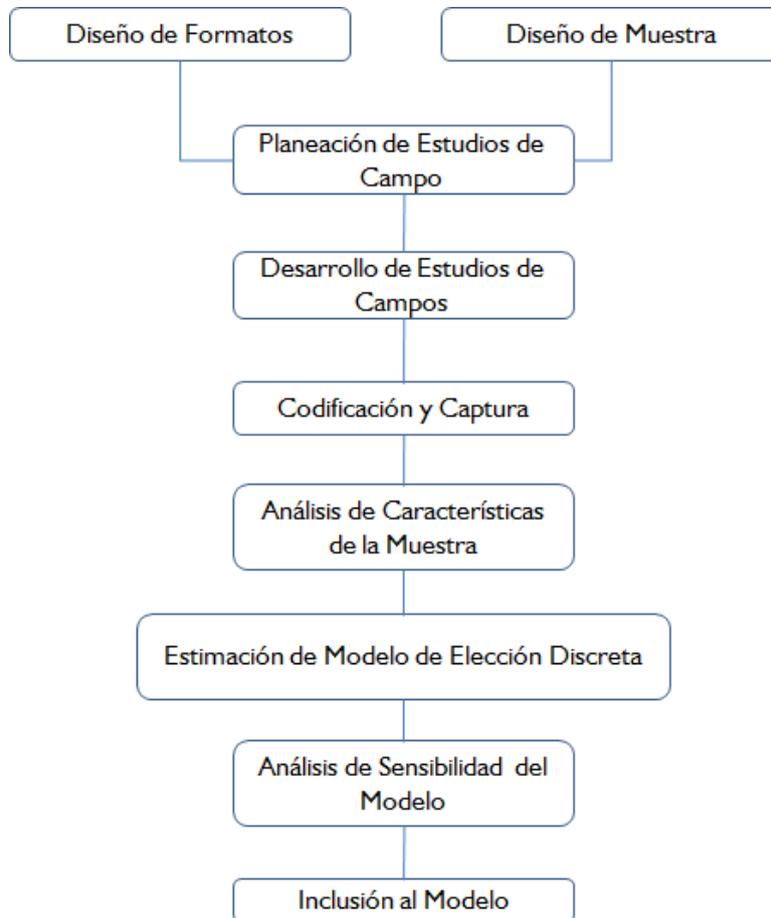


Figura 129 Metodología de Estimación de Modelo de Captación.

Para el caso del Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides, en donde los beneficios se ofrecen al usuario a cambio del pago de una cuota, es muy importante determinar la cantidad que el usuario está dispuesto a pagar por ellos, es decir, cuál es el valor que los usuarios atribuyen a su

tiempo (VST ó Valor Subjetivo del Tiempo). A pesar de que las autopistas permiten también ahorros importantes en los costos de operación de los vehículos, la influencia de esta reducción es muy limitada en el proceso de toma de decisiones, ya que se ha comprobado que los usuarios solamente perciben un porcentaje muy bajo de los costos reales de operación de un vehículo.

El valor subjetivo del tiempo (VST) es un parámetro de vital importancia para estimar la disponibilidad de pago de cuotas de peaje a cambio de ahorros en tiempo de viaje. Esta disponibilidad depende de las características del tipo de usuario, los cuales tendrán distintas apreciaciones del VST en función de factores como el nivel de ingresos, el motivo del viaje, tipo de carga transportada, etc. Generalmente, el comportamiento de los usuarios se analiza de acuerdo con el modo de transporte; en el caso particular de la autopista se evaluaron por separado los automóviles particulares y los camiones.

El VST se logró estimar mediante el análisis de las respuestas proporcionadas por los usuarios a las encuestas de preferencia declarada y revelada; a través de este análisis es posible calibrar funciones de utilidad que se utilizan dentro de un modelo de selección de ruta o modelo de captación. Para definir el VST primero es necesario explicar la utilidad, denominada "U". La noción de utilidad es un artificio teórico muy conveniente, consistente en asociar un índice al nivel de satisfacción relativo a consumir un bien en particular, por unidad de tiempo. La utilidad consiste en la apreciación del usuario de un beneficio al utilizar una ruta en particular para trasladarse desde su origen hasta su destino. Se asume que el usuario conoce las rutas disponibles para realizar su viaje y seleccionar la que le produzca mayor satisfacción, es decir, la que le proporcione una mayor utilidad.

La apreciación de la utilidad, como se mencionó antes, depende de la evaluación de diversos factores que producen satisfacción al usuario. En el caso de autopistas de cuota, generalmente se da prioridad a la evaluación del tiempo de recorrido y el pago de cuotas de peaje que el usuario experimentará al seleccionar una ruta, aunque existen algunos otros factores de importancia como lo puede ser la comodidad, la seguridad, el confort, etc. Una forma general de expresar la utilidad en términos matemáticos se puede encontrar en la siguiente ecuación.

$$U_{iq} = V_{iq} + \epsilon_{iq}$$

Donde  $U_{iq}$  es la utilidad aleatoria de la alternativa  $i$  y el individuo o grupo homogéneo  $q$ ;  $V_{iq}$  es la componente representativa en función de atributos observables,  $\epsilon_{iq}$  componente aleatorio o perturbaciones estocásticas en el transporte (idiosincrasias, errores de medición, etc.).

Por ejemplo, la autopista de cuota ( $V_a$ ) usualmente ofrece mejores tiempos de recorrido ( $t_a$ ) a cambio de una cuota de peaje ( $\$a$ ), mientras que la vía alterna ( $V_b$ ) por lo general no cobra cuota ( $\$b$ ) pero el tiempo de recorrido ( $t_b$ ) suele ser mayor, como se ilustra en la siguiente figura.

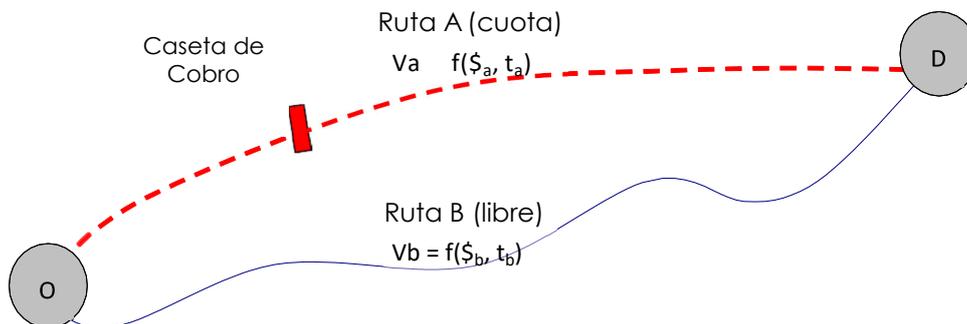


Figura 130 Diagrama de selección de ruta.

Una vez obtenidas las funciones de utilidad para cada ruta y segmento de demanda a partir de las encuestas de preferencia declarada, se aplican tales funciones en el modelo Logit. El modelo logit tiene la siguiente forma:

$$p(K) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_x}}$$

Donde:

$p(K)$  es la probabilidad de seleccionar la ruta  $K$   $U_k$  es la utilidad del modo  $K$ .

### Especificación del modelo

Diversas estructuras de las funciones de utilidad por tipo de vehículo fueron probadas utilizando las variables incluidas en los experimentos de preferencia declarada (diferencia de cuota, ahorro de tiempo) así como las variables categóricas que caracterizan los viajes y los factores socioeconómicos de la población. Las pruebas de especificación incluyeron la evaluación de diversas alternativas de constantes específicas, la inclusión de términos explicativos cuadráticos, términos cruzados entre las variables continuas y términos correlacionados entre las variables continuas y las categóricas.

### Coefficientes del modelo de elección discreta - Vehículos ligeros - Modelo Logit

A continuación, se presentan los resultados para los usuarios conductores de vehículos ligeros encuestados sin considerar el lugar donde fue encuestado.

Parámetro	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico o Z	Nivel de Probabilidad	Valor del Tiempo (\$/min)
Constante	-0.95493	0.14036	-6.80400	0.00%	
Tarifa de Autopista	-0.02997	0.00274	-10.92300	0.00%	
Tiempo de Viaje	-0.06293	-0.00485	-12.97900	0.00%	\$2.10
Fin de Semana	0.47727	0.08354	5.71300	0.00%	
Trabajo	0.32880	0.08286	3.96800	0.01%	

Tabla 48. Modelo de elección discreta para conductores en vehículos ligeros.

La interpretación del modelo de elección discreta permite inferir conclusiones acerca de la disposición de pago de los usuarios potenciales de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides. En primer lugar, los encuestados declararon preferencias negativas hacia las variables de tiempo de viajes y tarifa del proyecto. Es decir, los usuarios consideran menos atractiva la alternativa propuesta si el tiempo de viaje o la tarifa del proyecto aumenta. Al relacionar ambos coeficientes, es posible estimar el valor del tiempo el cual se estima en \$2.10 pesos por minuto de viaje para los usuarios residentes.

En cuanto a los demás parámetros, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- La constante modal es negativa y tiene un valor importante. Esto implica que, si las condiciones de tiempo y costo en las distintas rutas son iguales, la probabilidad de que

los usuarios utilizarían el proyecto sería menor. En el caso de los conductores de vehículos ligeros, la constante modal representa 15 minutos en tiempo de viaje o 30 pesos de cuota adicional para cada ruta.

- Por otra parte, se estimaron constantes para los viajes en fin de semana y por motivo trabajo. Para ambas variables, el valor es positivo y significativo. Sin embargo, aun con la suma de ambos no superan la constante negativa estimada.

Las inferencias antes mencionadas presentan un comportamiento esperado en viajes interurbanos para el segmento de vehículos ligeros. También se puede concluir que el valor del tiempo estimado es similar que lo observado en proyectos carreteros interurbanos.

En la siguiente imagen se muestra una evaluación del modelo estimado para vehículos ligeros que muestra el porcentaje de probabilidad de elegir el proyecto bajo distintos niveles tarifarios y distintos niveles de ahorro en tiempo de viaje. Nótese cómo el nivel de probabilidad disminuye a medida que la tarifa aumenta y así mismo, el nivel de probabilidad de elección del proyecto aumenta a medida que el ahorro en tiempo de viaje incrementa. Por lo tanto, se considera que el modelo representa el comportamiento esperado.

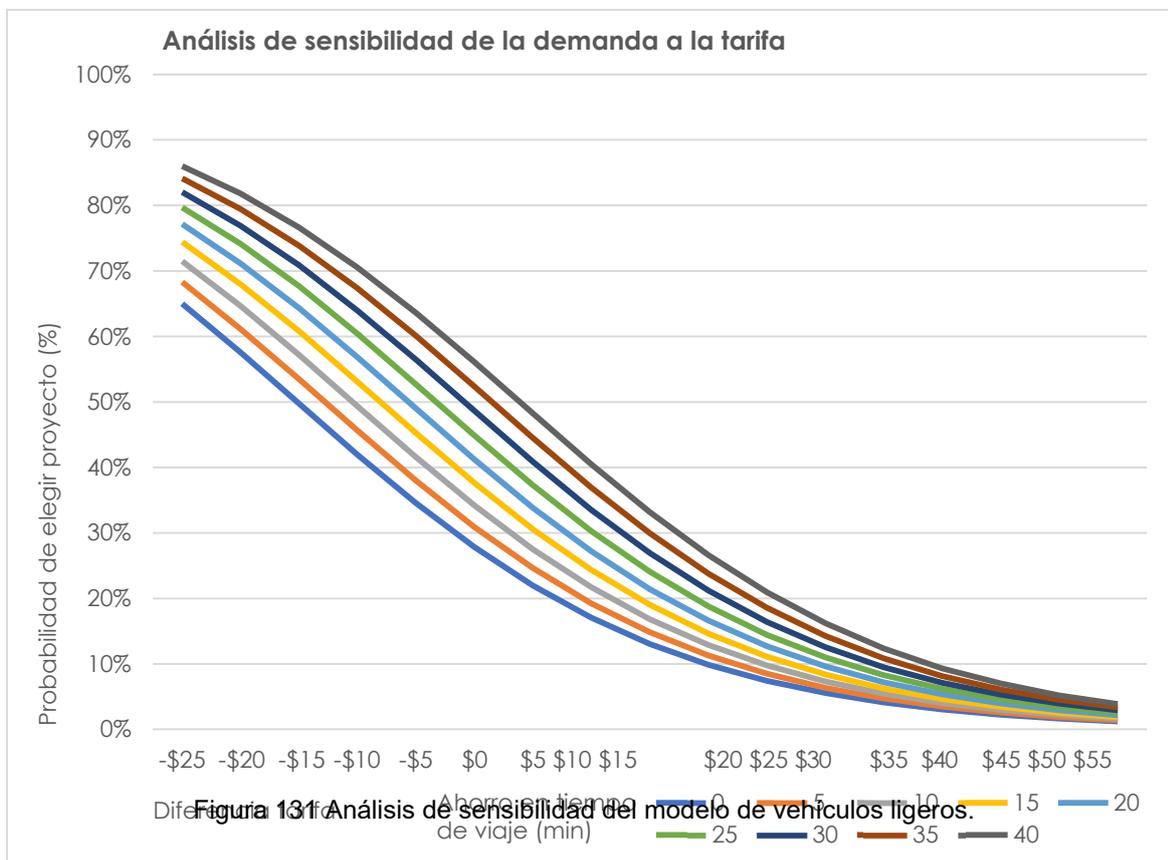


Figura 131 Análisis de sensibilidad del modelo de vehículos ligeros.

#### Coefficientes del modelo de elección discreta - Camiones unitarios - Modelo Logit

A continuación, se presentan los resultados para los usuarios conductores de camiones unitarios encuestados sin considerar el lugar donde fue encuestado.

Parámetro	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico Z	Nivel de Probabilidad	Valor del Tiempo (\$/min)
Constante	-1.40828	0.11458	-12.29100	0.00%	
Tiempo de Viaje	-0.02216	0.00125	-5.04700	0.00%	\$3.79
Tarifa de Autopista	-0.08400	-0.00451	-18.61000	0.00%	

Tabla 49. Modelo de elección discreta para conductores en camiones unitarios.

La interpretación del modelo de elección discreta permite inferir conclusiones acerca de la disposición de pago de los usuarios potenciales de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides. En primer lugar, los encuestados declararon preferencias negativas hacia las variables de tiempo de viajes y tarifa del proyecto. Es decir, los usuarios consideran menos atractiva la alternativa propuesta si el tiempo de viaje o la tarifa del proyecto aumenta. Al relacionar ambos coeficientes, es posible estimar el valor del tiempo el cual se estima en \$3.79 pesos por minuto de viaje para los usuarios residentes.

En cuanto a los demás parámetros, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- La constante modal es negativa. Esto implica que, si las condiciones de tiempo y costo en las distintas rutas son iguales, la probabilidad de que los usuarios utilizarían el proyecto sería menor.

Las inferencias antes mencionadas presentan un comportamiento esperado en viajes interurbanos para el segmento de camiones unitarios. También se puede concluir que el valor del tiempo estimado es similar que lo observado en proyectos carreteros interurbanos.

#### Coefficientes del modelo de elección discreta - Camiones articulados - Modelo Logit

A continuación, se presentan los resultados para los usuarios conductores de camiones articulados encuestados sin considerar el lugar donde fue encuestado.

Parámetro	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico Z	Nivel de Probabilidad	Valor del Tiempo (\$/min)
Constante	-0.97948	0.25734	-3.80600	0.01%	
Tiempo de Viaje	-0.03000	0.00258	-11.60900	0.00%	\$5.25
Tarifa de Autopista	-0.15756	-0.01303	-12.09200	0.00%	

Tabla 50. Modelo de elección discreta para conductores en camiones articulados I.

La interpretación del modelo de elección discreta permite inferir conclusiones acerca de la disposición de pago de los usuarios potenciales de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides. En primer lugar, los encuestados declararon preferencias negativas hacia las variables de tiempo de viajes y tarifa del proyecto. Es decir, los usuarios consideran menos atractiva la alternativa propuesta si el tiempo de viaje o la tarifa del proyecto aumenta. Al relacionar ambos coeficientes, es posible estimar el valor del tiempo el cual se estima en \$5.25 pesos por minuto de viaje para los usuarios residentes.

En cuanto a los demás parámetros, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- La constante modal es negativa y tiene un valor importante. Esto implica que, si las condiciones de tiempo y costo en las distintas rutas son iguales, la probabilidad de que los usuarios utilizarían el proyecto sería menor.

Las inferencias antes mencionadas presentan un comportamiento esperado en viajes interurbanos para el segmento de camiones articulados. También se puede concluir que el valor del tiempo estimado es similar que lo observado en proyectos carreteros interurbanos.

### 3.5. Supuestos de modelación

Un modelo de transporte es una representación simplificada de una parte del mundo real. El objetivo del proceso de modelación es el análisis del sistema entero o de las partes que lo conforman, predicciones y evaluaciones de variables de impactos futuros y decisiones que pueden ser tomadas en el mundo real a partir del modelo creado. Por ello es necesario establecer los supuestos de modelación empleados para la ejecución del presente estudio:

- Se modela para cada tipo de vehículo: Automóvil, Camión Unitario, Camiones Articulados I y Camiones Articulados II. Los autobuses son analizados fuera del modelo. De esta manera se consideran:
  - Automóviles (A): aquellos vehículos de tipo automóvil, combi u otro vehículo que cuente hasta con 10 asientos para transporte de pasajeros.
  - Camiones Unitarios (CU): Camiones de carga con una sola unidad de 2, 3 y 4 ejes.
  - Camiones Articulados Tipo I (CA1): Tractocamiones con semirremolque de 5 y 6 ejes.
  - Camiones Articulados Tipo II (CAII): Tracto-remolque de más de 6 ejes.
- Se consideran dos períodos de modelación representando un día típico entre semana y otro en fin de semana.
- El tipo de asignación es del tipo estocástica, el cual estima la probabilidad de utilizar la vía de cuota bajo ciertas condiciones de operación y tarifarias.
- El modelo de asignación asume que el usuario conoce todas las rutas disponibles entre su origen y destino y conoce todas las características de cada una de ellas como el tiempo, costo, distancia, etc.
- El modelo también asume que cada usuario busca unilateralmente la mejor ruta entre su origen y destino.
- El modelo finalmente asume que el tiempo de viaje o costo de viaje de cada tramo analizado no depende de las condiciones de operación de los tramos de análisis restantes.
- El año base que se presenta en este estudio corresponde al año 2019.

### 3.6. Modelo de asignación

La asignación de la demanda consiste en colocar los distintos viajes que se dan en la zona de estudio en las distintas rutas posibles entre cada par origen - destino. En el caso del proyecto de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides utiliza el método de asignación de equilibrio estocástico de usuario utilizando una función del tipo Logit para la selección de rutas.

La asignación de equilibrio de usuario estocástico consiste en asignar la demanda para cada par origen - destino en las rutas que presenten el menor costo de recorrido. Usualmente se utiliza

el tiempo de viaje como el costo de recorrido, pero es posible además combinar otras variables como tarifas de peaje, costos de operación, etc. En el caso del presente estudio, el costo de cada ruta está definido por una combinación entre el tiempo de recorrido y la tarifa de peaje necesaria para cubrir cada ruta.

Este método toma en consideración la interacción que existe entre la oferta y la demanda en el transporte. Es decir, en una carretera cualquiera, a medida que el flujo de tránsito se incrementa en la misma, el tiempo de viaje, o en forma más general, el costo del viaje se incrementa. Esta interacción está definida a partir de funciones volumen - demora estimada a partir de los datos obtenidos de los conteos vehiculares y los estudios de tiempos de recorrido. Así, al incluir esta interacción se modela de forma adecuada la operación del sistema de transporte dentro de los periodos de modelación que se consideren. Adicionalmente, este método tiene un componente estocástico, es decir, asume que la percepción sobre el tiempo de viaje de los usuarios no es determinística, sino que tiene una distribución de probabilidad asociada.

El método de equilibrio de usuario estocástico es adecuado para las condiciones de operación de la red en estudio y para el proceso de modelación con datos de demanda y de oferta diarios.

### 3.7. Calibración y validación

La calibración del modelo de transporte consiste en la estimación de los modelos antes mencionados y que posteriormente debe validarse para asegurar que representa las condiciones de demanda y oferta observadas en campo.

La validación del sistema consistió en verificar que el modelo estimado sea capaz de reproducir dentro del modelo de transporte los volúmenes vehiculares observados en campo para automóviles y camiones, así como los tiempos de recorrido tomados sobre los principales corredores. Es decir, el modelo reproduce la situación actual del sistema de transporte. En la figura siguiente se presenta la metodología empleada para la validación del modelo de transporte.

De esta manera, el patrón de validación es la comparación de flujos observados vs. flujos asignados. Las siguientes figuras muestran la dispersión obtenida para los tránsitos promedios diarios anuales por tipo de vehículo para el periodo de modelación matutino entre semana, en donde se obtiene una correlación mayor a 0.90 en cada caso. Esta calibración fue realizada para cada periodo de modelación y para cada tipo de vehículo.

También se realizó la verificación a través del estadístico GEH<sup>1</sup>. El cual es útil para comparar dos flujos diferentes en un enlace. Sean V1 y V2, entonces el GEH se define:

$$GEH = \sqrt{\frac{(V_2 - V_1)^2}{0.5 * (V_1 + V_2)}}$$

La razón para introducir este estadístico es la incapacidad que tiene la diferencia absoluta o la diferencia relativa para hacer frente a un amplio rango de flujos. Por ejemplo, una diferencia absoluta de 100 Automóviles/día puede tener una gran relevancia si el flujo está en el orden de 100 Automóviles/día, pero podría considerarse sin importancia para flujos del orden de varios miles de Automóviles/día. De manera similar, un error de 10% sobre 100 Automóviles/día podría no ser importante; mientras que un error de 10% de 3,000 Automóviles/día podría significar la diferencia entre construir un carril extra o no.

---

<sup>1</sup> Geoff Havers of the Greater London Council - SATURN User Manual.

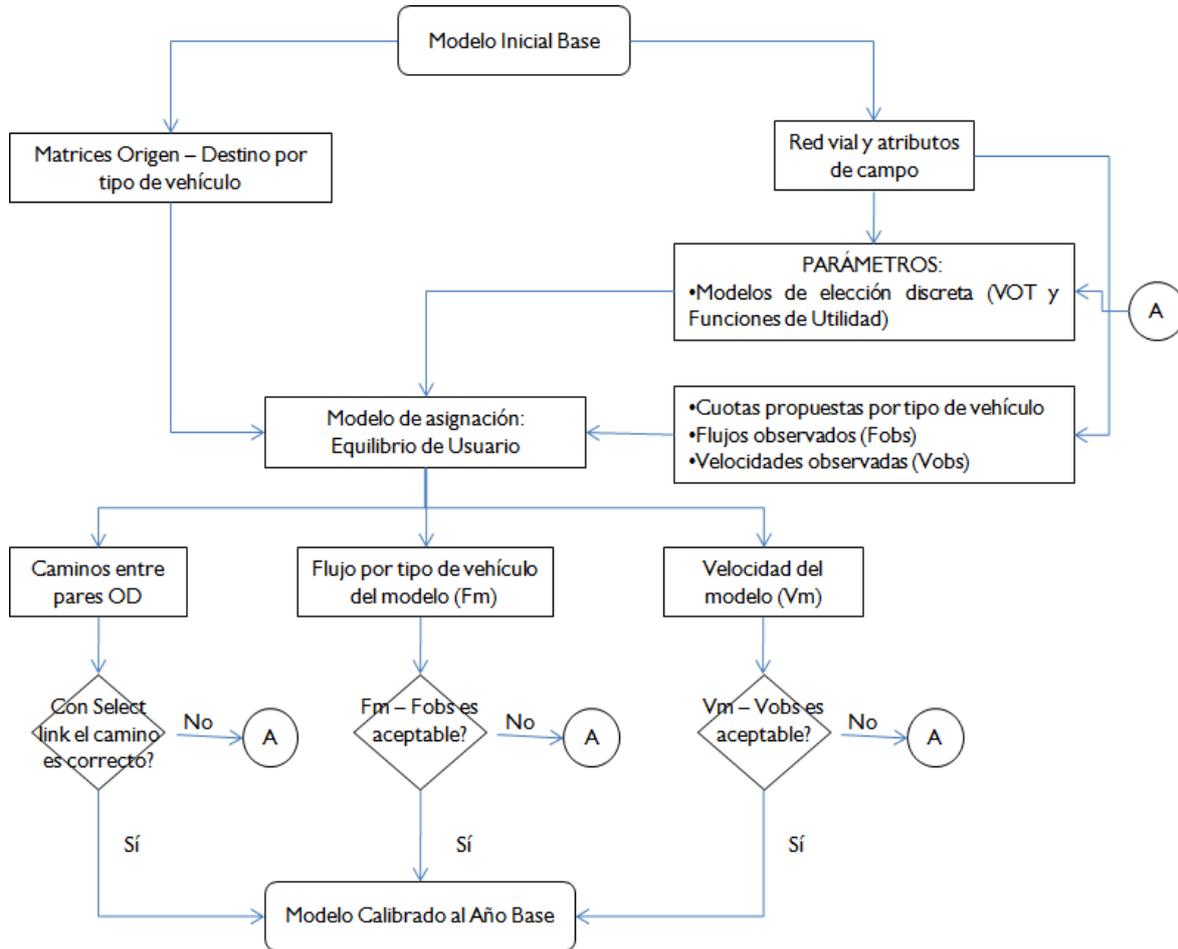


Figura 132 Metodología de calibración del modelo.

Generalmente, el parámetro GEH es menos sensible a tales problemas ya que un modelador probablemente sienta que un error del 20 en 100 podría ser casi tan malo como un error del 90 en 2,000 y, en ambos casos podría tener un valor de GEH casi de 2. Como regla general, en comparación con volúmenes asignados VS volúmenes observados. Un parámetro de  $GEH < 5$  podría significar un ajuste aceptable, mientras que un  $GEH > 10$  podría requerir atención.

En términos simples, la validación del modelo de asignación indica que el modelo cumple con los criterios establecidos anteriormente en cuanto al grado de error permitido para considerar calibrado y validado el modelo desarrollado en Visum. En las figuras siguientes se presenta la comparación entre el flujo de tránsito diario observado y el flujo inferido a partir del modelo. Como se puede apreciar, en los cuatro tipos de vehículo la comparación arroja resultados positivos al tener cuando menos un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.98. Así mismo, la pendiente de la línea de regresión estimada es cercana a la unidad en menos del 10%. Por lo tanto, bajo las condiciones antes descritas se concluye que el modelo está calibrado y validado y por lo tanto se puede inferir la información necesaria para evaluar los distintos escenarios previstos en este estudio.



## 4. RESULTADOS

En el presente apartado se presentan los resultados de la aplicación del modelo de transporte para estimar la demanda de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides ante dos escenarios de operación. En primera instancia se presentan los resultados del escenario donde no se consideran los viajes que podría generar el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles. Posteriormente, se presenta el escenario en el cual sí se consideran los viajes que podrían generar la operación del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles y, por lo tanto, se estima el aforo e ingreso adicional captado por el proyecto.

### 4.1. Supuestos base

Este escenario considera los siguientes supuestos:

- El año base de análisis es 2019.
- El proyecto tiene una longitud de 27.02 kilómetros.
- El proyecto cuenta con 3 entronques:
  - Tultepec
  - Autopista México - Pachuca
  - Autopista Ecatepec - Pirámides
- Los entronques del proyecto permiten todos los movimientos posibles.
- Las velocidades de recorrido son aquellas observadas en campo para el año base.
- La velocidad de diseño del tramo propuesta es de 100 kilómetros por hora.
- La tarifa por kilómetro analizadas en este escenario base son las siguientes e incluyen el IVA.

○ Automóviles	\$3.50
○ Autobuses	\$7.35
○ Camiones Unitarios	\$7.35
○ Camiones Articulados I	\$11.55
○ Camiones Articulados II	\$13.30
- Se asume que existirá un sistema de peaje abierto o cerrado pero que cobre efectivamente solo la distancia recorrida por vehículo sobre el proyecto.
- El tramo analizado contará con infraestructura para el cobro de tarifa por telepeaje.

Las tarifas consideradas en el escenario base fueron establecidas tomando en consideración las tarifas por kilómetro existentes en los tramos carreteros de peaje existentes. La tabla siguiente presenta las tarifas por kilómetro vigentes, así como la estimación del promedio aritmético observado.

Autopista	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II
México – Pachuca	45.8	\$1.22	\$2.47	\$2.47	\$4.98	\$7.51
Los Remedios - Ecatepec	12.7	\$4.96	\$12.52	\$12.52	\$14.96	\$21.42
Ecatepec - Pirámides	22.2	\$3.74	\$7.12	\$14.10	\$17.48	\$24.59
Circuito Exterior Mexiquense Caseta T1	18.9	\$4.70	\$7.45	\$7.45	\$9.41	\$12.36
Circuito Exterior Mexiquense Caseta T2	13.5	\$4.68	\$7.43	\$7.43	\$9.44	\$12.34
Peñón – Texcoco	16.5	\$2.91	\$5.76	\$5.76	\$8.67	\$11.58
	Promedio	\$3.70	\$7.12	\$8.29	\$10.82	\$14.97

Tabla 51 Tarifas vigentes en tramos carreteros en la zona de influencia del proyecto por kilómetro (Incluyen IVA).

#### 4.2. Mercado potencial del proyecto

El proyecto de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides beneficiaría directamente a los siguientes mercados en función de su origen y destino (esta lista se presenta en orden de magnitud del mercado potencial):

- Viajes con origen o destino en Pachuca y que tienen destino el corredor del Periférico Norte en el Estado de México y la Ciudad de México. En este corredor se incluyen las alcaldías de Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, así como los municipios de Naucalpan, Atizapán, Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán Izcalli y Cuautitlán.
- Viajes con origen o destino en Tulancingo y el corredor que se extiende hasta el Golfo de México que concluye en el norte de Veracruz y sur de Tamaulipas y que tienen origen o destino en el corredor de Periférico Norte antes mencionado.
- Viajes con origen o destino en el corredor de la carretera federal 142 Los Reyes - Texcoco - Tepexpan y que se dirigen hacia Pachuca, el corredor Periférico Norte o hacia la Autopista México - Querétaro.
- Viajes con origen en Pachuca, Tulancingo o el corredor Los Reyes - Texcoco - Tepexpan y con dirección hacia la zona de Huehuetoca o Tepeji.

Para identificar gráficamente los mercados potenciales por tipo de vehículo, se hicieron asignaciones de la demanda a la red vial que incluyen el proyecto, pero sin la aplicación de peajes en la asignación. Es decir, que los vehículos asignados al proyecto serían todos aquellos que serían beneficiados por el proyecto al reducir el tiempo de recorrido entre el origen y destino de cada viaje sin que la tarifa tenga un efecto en la decisión de seleccionar la ruta deseada.

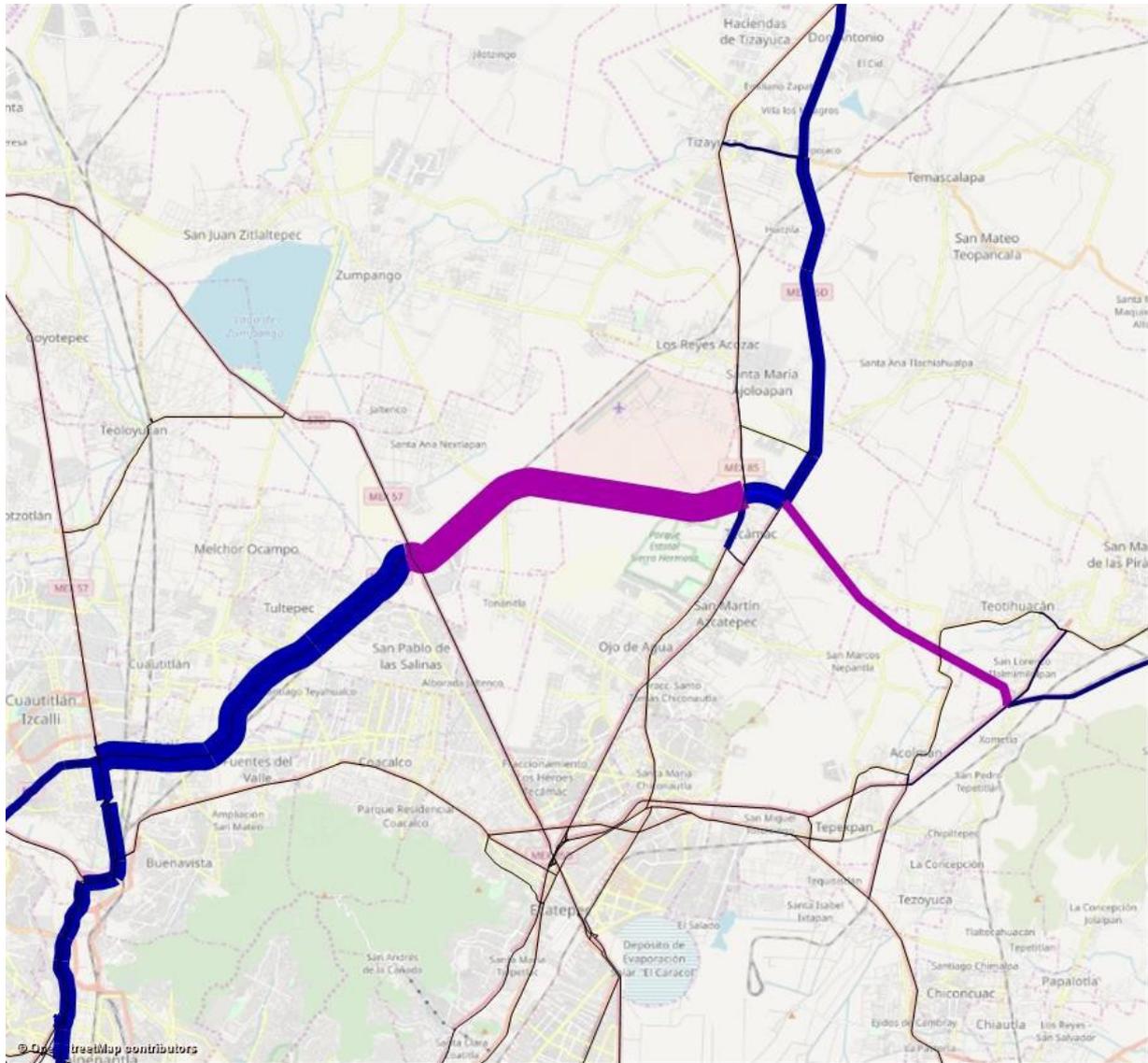


Figura 134 Asignación de demanda potencial de automóviles al proyecto.

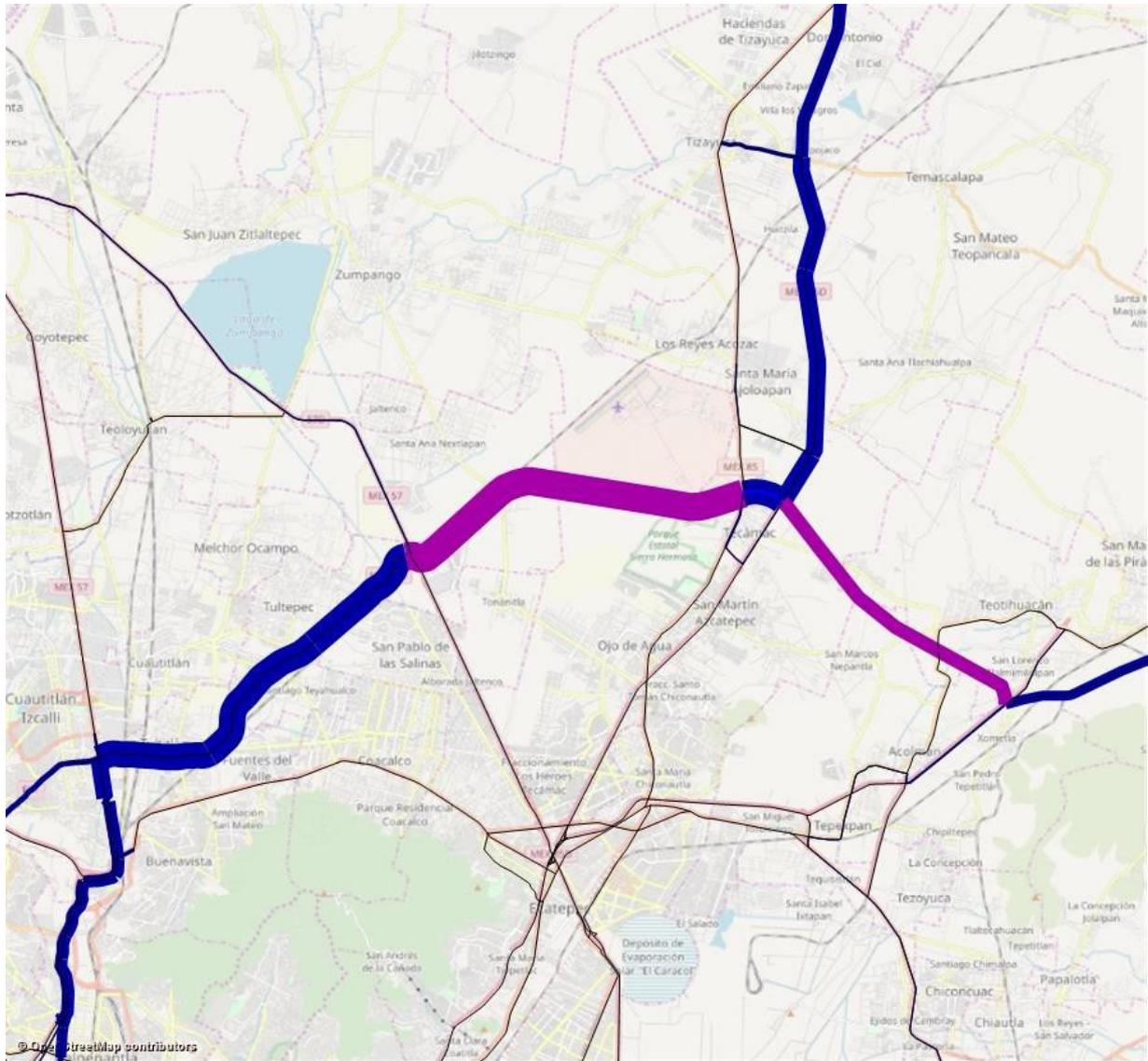


Figura 135 Asignación de demanda potencial de camiones unitarios al proyecto.



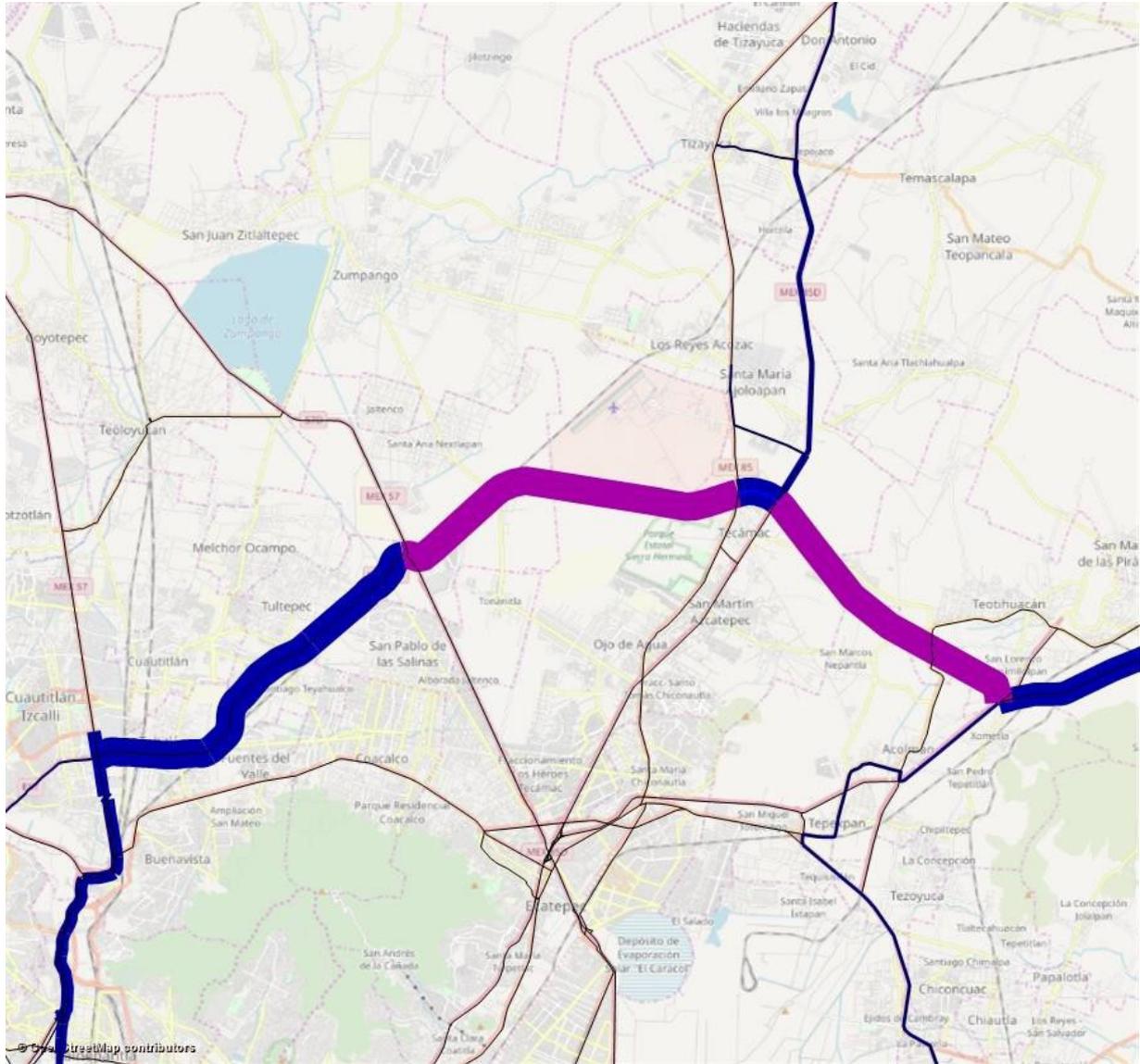


Figura 137 Asignación de demanda potencial de camiones articulados II al proyecto.

El mercado potencial del proyecto sin considerar el AIFA se estima que sea de 10,900 vehículos diarios. El mercado potencial es definido como el número de usuarios que podrían emplear el proyecto si este se habilitara y no se cobrara una tarifa por su uso. El mercado potencial considera el tránsito que circula actualmente por los tramos que alimentarían o competirían con el proyecto en estudio como las vías libres y de peaje entre México y Pachuca, Ecatepec y Tulancingo y Circuito Exterior Mexiquense.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	8,912	557	1,384	1,716	804	13,373
Tecámac-Pirámides	11.95	4,718	322	658	1,388	644	7,730
	27.02	7,057	453	1,063	1,571	733	10,877

Tabla 52 Mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA – Pirámides sin Aeropuerto.

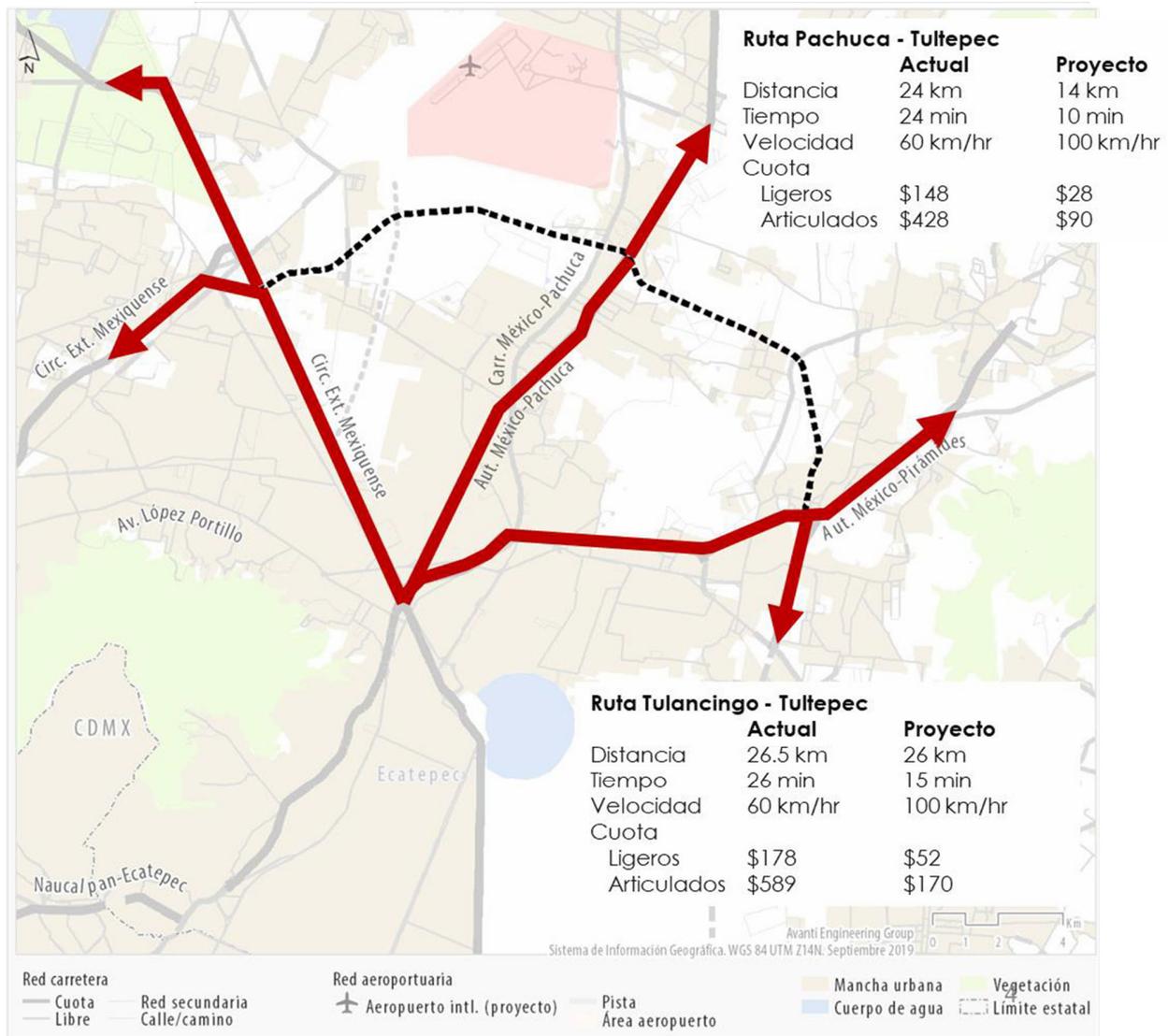
Como puede apreciarse en las imágenes anteriores, el principal mercado potencial del proyecto en el escenario sin Aeropuerto está actualmente utilizando la Autopista México - Pachuca y la Autopista Ecatepec - Pirámides para conectarse con el Circuito Exterior Mexiquense en su tramo Ecatepec - Tultepec y posteriormente dirigirse hacia Lechería. En el caso del escenario con Aeropuerto, el mercado potencial incrementa considerablemente ya que el proyecto sería uno de los principales accesos al nuevo aeropuerto.

En el caso de los automóviles, el mercado potencial se origina principalmente en Pachuca y posteriormente en Tulancingo o el corredor hacia el Golfo. Sin embargo, en vehículos de carga y a medida que el número de ejes aumenta, la mayoría de los viajes proviene del corredor del Golfo y menos de Pachuca. Finalmente, nótese que el destino principal de los viajes se da en la zona del corredor Periférico Norte.



Actualmente, el viaje entre el entronque Tultepec en el Circuito Exterior Mexiquense y la posible ubicación del entronque Tecámac del proyecto con la Autopista México - Pachuca (KM 35-500) tiene una longitud de 24 kilómetros y un tiempo de recorrido en periodos de máxima demanda de 24 minutos, es decir, una velocidad promedio de 60 kilómetros por hora. En cambio, el proyecto conectaría estos dos puntos mediante un tramo de 14 kilómetros de longitud y un tiempo de recorrido de 10 minutos. Por lo tanto, los ahorros que ofrecería el proyecto a los usuarios que se originan en Pachuca sería de aproximadamente 15 minutos y 10 kilómetros de viaje. Por otra parte, actualmente, los conductores de vehículos ligeros que realizan este recorrido pagan una tarifa de peaje de 148 pesos (Circuito Exterior + Autopista México - Pachuca) por ese recorrido de 24 kilómetros. De tal forma que, si la tarifa en el proyecto fuese de \$3.50 pesos por kilómetro o \$49 pesos por el tramo, el conductor podría obtener también un ahorro de casi \$100 pesos en este recorrido. La siguiente imagen presenta la comparación de rutas en distancia, tiempo de viaje y tarifas de peaje para un vehículo ligero y articulado.

Figura 139 Comparación de rutas y tarifas entre rutas existentes y ruta de proyecto.



En conclusión, el proyecto en estudio ofrece ahorros significativos en términos de tiempo de viaje y, dependiendo de la tarifa aplicada, del costo de este. Por lo tanto, se espera que, dado que la mayoría de los viajes potenciales del proyecto circulan por estas vías de cuota, el porcentaje de captación del proyecto sea elevado con respecto a otros proyectos evaluados donde usualmente el proyecto ofrece beneficios en tiempos de viaje, pero con el pago de una tarifa mayor al costo existente.

Finalmente, es importante mencionar que la zona donde se encuentra este nodo vial presenta condiciones de inseguridad pública importante. Por lo tanto, se espera que el proyecto ofreciera además de reducir los tiempos de viaje, una ruta para evadir una zona de alta ocurrencia de delitos.

Bajo los supuestos considerados para el escenario base, que incluyen la definición de trazo, entronques, velocidad de recorrido y tarifas, se estima que la asignación del escenario base sea de 5,530 vehículos diarios. En función de las tarifas y tiempos de recorrido empleados en el modelo, se estima que el porcentaje de captación por el total de los vehículos por un 51%.

Los resultados obtenidos permiten estimar que se estarían generando ingresos por \$287 millones de pesos anuales incluyendo el IVA.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	60%	49%	69%	45%	40%	57%
Tecámac-Pirámides	11.95	38%	35%	56%	35%	32%	38%
	27.02	53%	44%	65%	41%	36%	51%

Tabla 53 Captación del mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	5,326	272	954	770	318	7,640
Tecámac-Pirámides	11.95	1,770	112	368	479	204	2,933
	27.02	3,735	200	692	640	267	5,558

Tabla 54 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II
Tultepec-Tecámac	15.07	\$52.75	\$110.76	\$110.76	\$174.06	\$200.43
Tecámac-Pirámides	11.95	\$41.83	\$87.84	\$87.84	\$138.03	\$158.94
	27.02	\$94.57	\$198.60	\$198.60	\$312.09	\$359.37

Tabla 55 Tarifa por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	\$96.62	\$10.36	\$36.34	\$46.10	\$21.92	\$211.34
Tecámac-Pirámides	11.95	\$26.00	\$3.46	\$11.35	\$23.22	\$11.39	\$75.43
	27.02	\$122.62	\$13.82	\$47.70	\$69.32	\$33.31	\$286.76

Tabla 56 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

En cuanto a las características del mercado asignado al proyecto, se reitera que en los vehículos ligeros el mercado más importante es el que se origina en Pachuca y tiene origen o destino en la zona norponiente de la Ciudad de México y del Estado de México. En cuanto a los camiones unitarios, hay una similitud entre los viajes que se originan en Pachuca o Tulancingo y que tienen un destino en el corredor Periférico Norte. Sin embargo, en cuanto a los camiones articulados, el mercado principal es aquel que tiene origen en la zona norte del Estado de Veracruz o sur del Estado de Tamaulipas y que tienen como destino la zona industrial el Estado de México. En este caso, estos usuarios recorrerían en su mayoría la totalidad del proyecto a diferencia de los automóviles que principalmente recorrerían el tramo entre Tecámac y Tultepec.

#### 4.3.2. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

El escenario aquí descrito considera el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA) y el tránsito que podría generar este desarrollo. Las estimaciones realizadas están basadas en lo publicado por la Secretaría de Defensa Nacional y en el Plan Maestro de Desarrollo del AIFA realizado por la empresa Aeroports de Paris Ingenierie. La consulta de este documento fue realizada en el mes de noviembre del año 2019 y fue consultado en la siguiente página: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510123/007\\_PLAN\\_MAESTRO\\_DE\\_DESARROLL\\_O.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510123/007_PLAN_MAESTRO_DE_DESARROLL_O.pdf).

En tal documento se estima que al año 2032, el AIFA tendría un tráfico anual de pasajeros de 19.46 millones, al 2042 en la fase 2 el tráfico sería de 43.2 millones y al 2052 un tráfico de 84.9 millones. Se espera que estos pasajeros serán los correspondientes a las aerolíneas Interjet y Vivaaerobus que se anticipa sean las dos principales aerolíneas comerciales del AIFA. Esto implica que, en un día promedio, el número de pasajeros en el AIFA sería de 53,300 en promedio.

Con base en información recopilada anteriormente por Avanti EG, se estima que el reparto modal para el AICM de acceso y salida del AICM de pasajeros es del 20% en transporte público y 89% en transporte privado o de alquiler. Por otra parte, en esos estudios se identificó además que por cada viaje de pasajero del AICM que entra o sale del AICM, se generan además 0.82 viajes de empleados o acompañantes.

La información publicada por la Sedena indica que el 17% de los viajes del AIFA serían de transferencia, es decir, que harán conexión en el aeropuerto para otro destino que no sea la Ciudad de México y por lo tanto estos pasajeros no salen de las terminales del aeropuerto y no generan viajes locales. De tal manera, se espera que en la primera fase el AIFA generará 44,200 viajes diarios relacionados con los pasajeros y 36,300 viajes generados por empleados o acompañantes al AIFA. Considerando los repartos modales identificados, se espera que el AIFA generará 42,000 viajes-vehículo diarios en la primera fase del AIFA que utilizarán las vías de acceso al aeropuerto.

Para estimar la demanda que podría utilizar el proyecto, se asumió que los orígenes y destinos del AIFA son similares a los identificados en los estudios realizados con anterioridad en pasajeros del AICM. Adicionalmente, se asume que la disponibilidad de pago de los viajes generados por el AIFA es similar a la encontrada en el estudio realizado para este proyecto y por lo tanto se aplica el mismo modelo de elección discreta que se presentó en el capítulo anterior del presente documento.

Este escenario además considera que el proyecto tendrá un entronque adicional entre los entronques Tultepec y Tecámac que daría acceso al AIFA. Para realizar la asignación de este escenario, se asumió que el entronque estaría a 7.1 kilómetros del entronque Tultepec y a la misma distancia del entronque Tecámac. Adicionalmente, se consideró en este escenario que se construirá una vía libre de peaje que partiría del nodo vial Ecatepec, cruzaría con el proyecto en el entronque AIFA y continuaría hacia la zona de la terminal del aeropuerto.

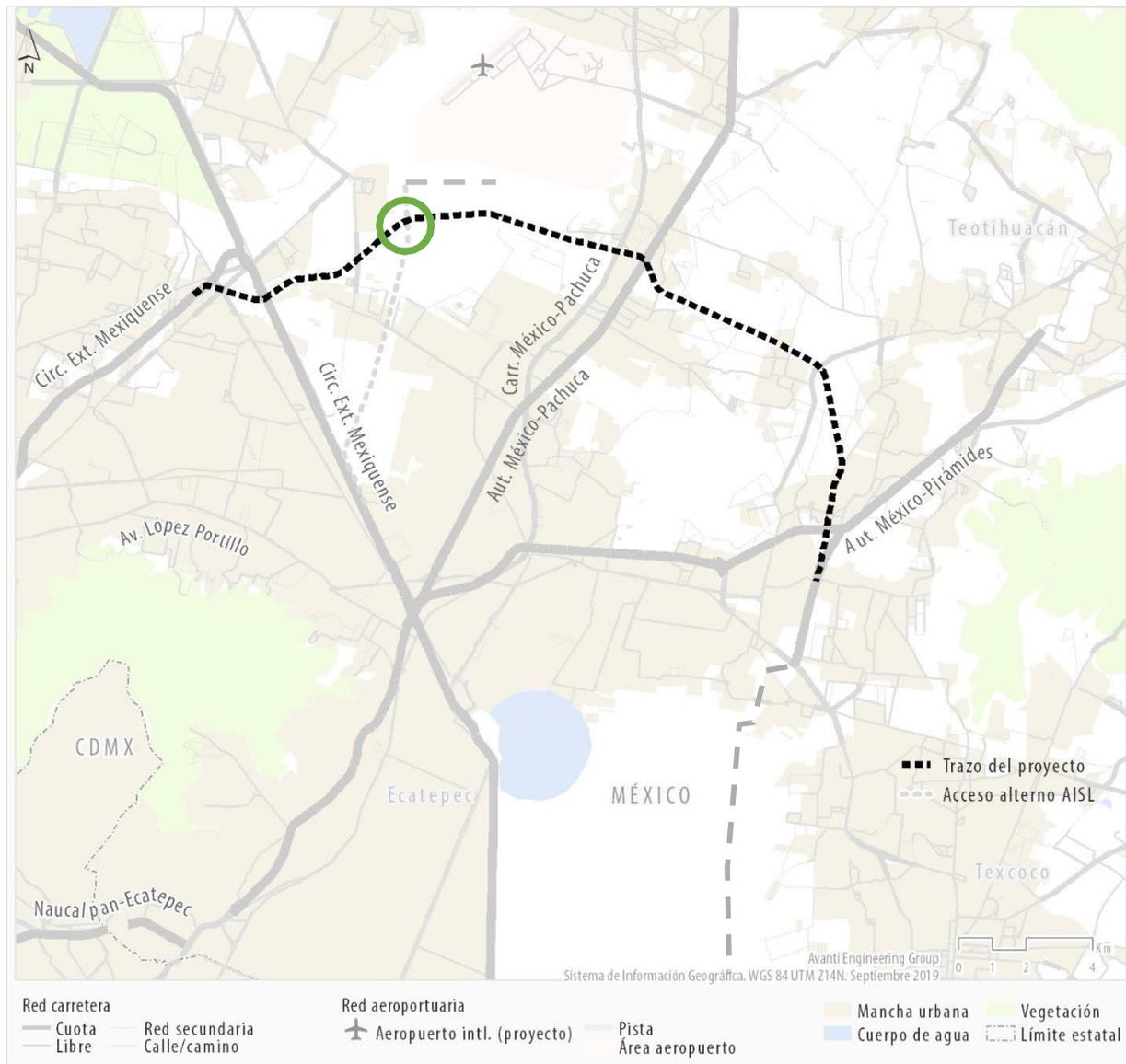


Figura 140 Ubicación de entronque adicional para acceso al AIFA.

En la siguiente página se presenta los resultados del escenario con la operación del AIFA, suponiendo que este operara en su primera fase en el año 2019. El mercado potencial del proyecto casi es cinco veces mayor al escenario base con un total de 31,460 viajes al día. El escenario base presenta un mercado potencial con una distribución vehicular de 63% de vehículos ligeros y 37% de vehículos de carga. En cambio, el escenario con el AIFA presenta un 76% de vehículos ligeros y un 24% de vehículos de carga. Esto es ocasionado por el incremento de viajes potenciales del proyecto que generaría el AIFA.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	29,912	1,309	3,484	2,766	1,329	38,800
Tecámac-Pirámides	11.95	17,318	966	1,918	2,018	959	23,179
	27.02	24,342	1,157	2,791	2,435	1,165	31,891

Tabla 57 Mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	23%	26%	34%	34%	29%	25%
Tecámac-Pirámides	11.95	13%	15%	24%	30%	27%	16%
	27.02	20%	22%	31%	32%	28%	22%

Tabla 58 Captación del mercado potencial de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II
Tultepec-Tecámac	15.07	\$52.75	\$110.76	\$110.76	\$174.06	\$200.43
Tecámac-Pirámides	11.95	\$41.83	\$87.84	\$87.84	\$138.03	\$158.94
	27.02	\$94.57	\$198.60	\$198.60	\$312.09	\$359.37

Tabla 59 Tarifa por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	6,403	321	1,114	882	364	9,083
Tecámac-Pirámides	11.95	2,228	138	449	574	245	3,633
	27.02	4,556	240	820	746	311	6,673

Tabla 60 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	\$123.26	\$12.98	\$45.03	\$56.02	\$26.63	\$263.92
Tecámac-Pirámides	11.95	\$34.01	\$4.41	\$14.40	\$28.91	\$14.19	\$95.94
	27.02	\$157.27	\$17.39	\$59.43	\$84.93	\$40.83	\$359.85

Tabla 61 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

La asignación de viajes al proyecto en el escenario con el AIFA sería de 7,050 vehículos diarios, siendo el tramo más transitado el que se encontraría entre el entronque Tultepec y Tecámac con casi 9,100 vehículos al día. El segundo tramo tendría un aforo diario de 3,600 vehículos al día.

El porcentaje de captación del proyecto sería significativamente diferente ya que se captaría un número menor del mercado originado por el AIFA ante la posibilidad que tendrían los usuarios del AIFA para llegar por un acceso libre de peaje. Es importante considerar que, por ejemplo, un pasajero del AIFA con origen de su viaje en la zona de Polanco y que va al Aeropuerto tendría tres grandes opciones:

- Utilizar la ruta Circuito Interior, Insurgentes, Autopista México - Pachuca y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.
- Utilizar la ruta Circuito Interior, Insurgentes, Autopista México - Pachuca y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.
- Utilizar la ruta Periférico Norte, Circuito Exterior Mexiquense y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.
- Utilizar la ruta Viaducto Bicentenario, Circuito Exterior Mexiquense y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Nótese que solo tendrían una opción factible libre de peaje y que las opciones de cuota implican el pago de al menos dos concesiones por lo que el acceso al AIFA sería caro en comparación con la alternativa libre.

En términos de ingresos, este escenario captaría \$360 millones de pesos anuales incluyendo el IVA en comparación de los \$287 millones del escenario base, es decir, un 25% adicional. Estos resultados nos permiten concluir que el escenario con el AIFA es un escenario muy distinto al escenario base y que, suponemos, tendría resultados de rentabilidad financiera mucho más atractivos para los desarrolladores públicos o privados del proyecto.

Finalmente, es importante mencionar que, si se concluye la construcción de la Autopista Texcoco - Pirámides, el proyecto en conjunto con esta autopista podrían conformar la ruta más rápida entre el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y el AIFA en horarios de máxima demanda.

#### 4.4. Pronóstico de aforo e ingreso

El pronóstico de aforo e ingreso de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides está basado en el pronóstico de variables socioeconómicas de la zona en influencia. Las variables utilizadas en el pronóstico son población, empleo y el nivel de producción interna bruta. El pronóstico de variables socioeconómicas es utilizado para la generación de viajes en los distintos años del horizonte de proyecto. El horizonte de proyecto comprende entre el año 2019 y el año 2049. Los pronósticos son realizados para cada año en ese periodo.

Los pronósticos de las variables socioeconómicas utilizados en este pronóstico están basados en pronósticos realizados por CONAPO en el caso de la variable población, por Avanti EG en el caso de la variable producto interno bruto y la variable empleo. Adicionalmente, el pronóstico de aforo e ingreso considera el crecimiento del tránsito observado en el corredor México - Pachuca y México - Tulancingo.

El pronóstico de aforo e ingreso desarrollado para la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides toma en cuenta los siguientes supuestos:

- El inicio de operación del proyecto se daría en el inicio del año 2019.
- La tarifa de peaje es constante en términos reales al año 2019 durante todo el horizonte de proyecto.
- El pronóstico en el escenario base presentado toma en cuenta la puesta en operación del proyecto del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles. El pronóstico presentado no toma en cuenta el inicio de proyectos de desarrollo económico en la zona en estudio.
- El escenario presentado no considera un periodo de “ramp-up” en los primeros años del proyecto.

Es importante mencionar que existen varias fuentes de incertidumbre en la estimación de los pronósticos, siendo los principales tipos:

- a) Incertidumbre en la medición. Es el error en las cantidades observadas, tales como la captura.
- b) Incertidumbre en el proceso. Es la aleatoriedad subyacente en la dinámica inherente a cada variable pronosticada.
- c) Incertidumbre en el modelo. Es la especificación errónea de la estructura del modelo.
- d) Incertidumbre en la estimación. Es la que puede resultar de cualquier combinación de las anteriores.
- e) Incertidumbre en la implementación. Es la consecuencia de la variabilidad que resulta de una política o decisión al modificar los parámetros del modelo o de las variables empleadas.

Por lo tanto, mientras los pronósticos de aforo e ingreso son una aproximación al tránsito real futuro, sí representan, desde el punto de vista de Avanti EG, una aproximación aceptable del futuro basada en la información disponible a la fecha de realización del presente reporte. El pronóstico aquí presentado contiene múltiple supuestos y juicios y son influenciados por cambios que se pueden materializar en el futuro. Finalmente, los pronósticos aquí presentados se basan en información desarrollada por terceros. Avanti EG ha desarrollado revisiones de tal información, sin embargo, no se garantiza el nivel de exactitud de esta.

#### 4.4.1. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

A continuación, se presenta el pronóstico de aforo e ingreso para la Autopista Tultepec – Pirámides considerando el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	6,403	6,698	7,006	9,477	9,985	10,533	13,925	18,299	23,845	31,326	41,965
Autobuses	321	328	340	429	447	466	586	734	909	1,146	1,485
Camiones Unitarios	1,114	1,157	1,202	1,397	1,459	1,524	1,935	2,431	2,988	3,718	4,739
Camiones Articulados I	882	913	945	1,074	1,117	1,163	1,444	1,767	2,146	2,640	3,308
Camiones Articulados II	364	376	388	464	482	501	618	759	935	1,161	1,471
<b>Total</b>	<b>9,083</b>	<b>9,472</b>	<b>9,881</b>	<b>12,841</b>	<b>13,489</b>	<b>14,187</b>	<b>18,507</b>	<b>23,989</b>	<b>30,823</b>	<b>39,991</b>	<b>52,967</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$123.26	\$128.94	\$134.88	\$182.46	\$192.24	\$202.78	\$268.07	\$352.29	\$459.07	\$603.09	\$807.91
Autobuses	\$12.98	\$13.28	\$13.73	\$17.32	\$18.06	\$18.83	\$23.68	\$29.66	\$36.75	\$46.35	\$60.03
Camiones Unitarios	\$45.03	\$46.78	\$48.60	\$56.47	\$58.97	\$61.60	\$78.23	\$98.30	\$120.79	\$150.30	\$191.59
Camiones Articulados I	\$56.02	\$57.98	\$60.01	\$68.22	\$70.96	\$73.90	\$91.76	\$112.23	\$136.32	\$167.70	\$210.14
Camiones Articulados II	\$26.63	\$27.50	\$28.41	\$33.94	\$35.26	\$36.68	\$45.21	\$55.51	\$68.44	\$84.97	\$107.58
<b>Total</b>	<b>\$263.92</b>	<b>\$274.49</b>	<b>\$285.63</b>	<b>\$358.42</b>	<b>\$375.48</b>	<b>\$393.78</b>	<b>\$506.94</b>	<b>\$647.98</b>	<b>\$821.36</b>	<b>\$1,052.41</b>	<b>\$1,377.25</b>

Tabla 62 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	2,228	2,331	2,438	3,899	4,119	4,356	5,822	7,779	10,403	14,043	19,291
Autobuses	138	141	146	199	208	217	276	351	444	572	757
Camiones Unitarios	449	467	485	596	624	652	834	1,058	1,321	1,672	2,169
Camiones Articulados I	574	594	615	697	725	755	936	1,145	1,389	1,707	2,136
Camiones Articulados II	245	253	261	309	321	334	411	504	619	766	967
<b>Total</b>	<b>3,633</b>	<b>3,785</b>	<b>3,944</b>	<b>5,700</b>	<b>5,996</b>	<b>6,314</b>	<b>8,279</b>	<b>10,835</b>	<b>14,175</b>	<b>18,760</b>	<b>25,320</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$34.01	\$35.58	\$37.22	\$59.52	\$62.88	\$66.50	\$88.88	\$118.75	\$158.81	\$214.38	\$294.50
Autobuses	\$4.41	\$4.52	\$4.67	\$6.39	\$6.67	\$6.97	\$8.86	\$11.25	\$14.23	\$18.35	\$24.27
Camiones Unitarios	\$14.40	\$14.96	\$15.54	\$19.12	\$19.99	\$20.91	\$26.74	\$33.92	\$42.34	\$53.60	\$69.53
Camiones Articulados I	\$28.91	\$29.92	\$30.97	\$35.10	\$36.51	\$38.01	\$47.18	\$57.67	\$69.97	\$85.98	\$107.60
Camiones Articulados II	\$14.19	\$14.66	\$15.14	\$17.93	\$18.62	\$19.36	\$23.83	\$29.21	\$35.91	\$44.44	\$56.08
<b>Total</b>	<b>\$95.93</b>	<b>\$99.64</b>	<b>\$103.54</b>	<b>\$138.06</b>	<b>\$144.67</b>	<b>\$151.76</b>	<b>\$195.48</b>	<b>\$250.79</b>	<b>\$321.27</b>	<b>\$416.75</b>	<b>\$551.99</b>

Tabla 63 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramos ponderados por distancia</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	4,556	4,766	4,986	7,010	7,391	7,801	10,341	13,646	17,900	23,682	31,937
Autobuses	240	245	254	327	341	356	449	564	703	892	1,163
Camiones Unitarios	820	852	885	1,043	1,089	1,138	1,448	1,824	2,250	2,813	3,602
Camiones Articulados I	746	772	799	907	943	982	1,220	1,491	1,811	2,227	2,789
Camiones Articulados II	311	321	332	395	411	427	526	646	796	987	1,248
<b>Total</b>	<b>6,673</b>	<b>6,957</b>	<b>7,255</b>	<b>9,683</b>	<b>10,175</b>	<b>10,705</b>	<b>13,984</b>	<b>18,172</b>	<b>23,460</b>	<b>30,601</b>	<b>40,739</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Total</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$157.27	\$164.52	\$172.10	\$241.98	\$255.12	\$269.28	\$356.95	\$471.04	\$617.88	\$817.47	\$1,102.41
Autobuses	\$17.39	\$17.79	\$18.39	\$23.71	\$24.73	\$25.80	\$32.54	\$40.90	\$50.98	\$64.69	\$84.30
Camiones Unitarios	\$59.43	\$61.74	\$64.15	\$75.59	\$78.96	\$82.51	\$104.96	\$132.22	\$163.12	\$203.90	\$261.12
Camiones Articulados I	\$84.93	\$87.90	\$90.98	\$103.32	\$107.46	\$111.91	\$138.93	\$169.90	\$206.30	\$253.68	\$317.74
Camiones Articulados II	\$40.83	\$42.17	\$43.55	\$51.88	\$53.88	\$56.04	\$69.04	\$84.72	\$104.35	\$129.41	\$163.67
<b>Total</b>	<b>\$359.85</b>	<b>\$374.13</b>	<b>\$389.17</b>	<b>\$496.48</b>	<b>\$520.15</b>	<b>\$545.54</b>	<b>\$702.43</b>	<b>\$898.77</b>	<b>\$1,142.62</b>	<b>\$1,469.16</b>	<b>\$1,929.24</b>

Tabla 64 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

#### 4.4.2. Análisis de probabilidad de cumplimiento del año base

Utilizando las distribuciones de probabilidad definidas para cada variable de pronóstico, se extrajeron 15,000 valores de manera aleatoria utilizando la técnica de simulación de Monte Carlo; la cual permite obtener valores de una o varias distribuciones definidas. La simulación Monte Carlo es uno de los métodos más utilizados para simulación por computadora, así como para experimentos numéricos. Puede ser definida como un método para generar muestras aleatorias de datos basados en alguna distribución conocida para experimentos numéricos. Estrictamente hablando, la simulación Monte Carlo siempre incluye números aleatorios, y es una emulación de la realidad basada en un modelo matemático.

Las características principales de la simulación Monte Carlo son las siguientes:

- Generación de muestras aleatorias.
- La distribución inicial es conocida.
- Experimentos numéricos.

Una vez simulados los valores de las tasas de crecimiento de las tres variables seleccionadas, se aplicaron los modelos econométricos calibrados para el modelo de pronóstico del tránsito del proyecto para cada tipo de vehículo y su respectiva variable explicativa.

Se reevaluaron 15,000 iteraciones con los modelos econométricos mediante el software RiskAmp, y se calcularon 15,000 posibles escenarios para el tránsito proyectado por cada tipo de vehículo; a su vez, esta cantidad de escenarios ha permitido tener una aproximación confiable para la distribución de probabilidad del TPDA en cada caso.

En las siguientes tablas, se resumen los resultados de probabilidades de cumplimiento halladas para los escenarios P50, P70 y P90 para cada tramo y por tipo de vehículo.

#### 4.4.2.1. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles – Escenario Pronóstico P50%

A continuación, se presenta el pronóstico de aforo e ingreso para la Autopista Tultepec – Pirámides considerando el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	6,403	6,704	7,015	9,494	10,005	10,553	13,980	18,418	24,033	31,616	42,450
Autobuses	321	329	340	429	447	466	587	737	914	1,154	1,497
Camiones Unitarios	1,114	1,157	1,203	1,398	1,460	1,525	1,940	2,442	3,004	3,741	4,777
Camiones Articulados I	882	913	945	1,075	1,118	1,164	1,448	1,774	2,157	2,657	3,335
Camiones Articulados II	364	376	388	464	482	502	619	762	940	1,169	1,483
<b>Total</b>	<b>9,083</b>	<b>9,478</b>	<b>9,891</b>	<b>12,860</b>	<b>13,513</b>	<b>14,210</b>	<b>18,575</b>	<b>24,134</b>	<b>31,048</b>	<b>40,337</b>	<b>53,541</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$123.26	\$129.06	\$135.05	\$182.77	\$192.62	\$203.16	\$269.15	\$354.59	\$462.68	\$608.68	\$817.24
Autobuses	\$12.98	\$13.28	\$13.73	\$17.34	\$18.07	\$18.85	\$23.74	\$29.79	\$36.94	\$46.64	\$60.52
Camiones Unitarios	\$45.03	\$46.80	\$48.63	\$56.52	\$59.03	\$61.66	\$78.42	\$98.73	\$121.44	\$151.26	\$193.15
Camiones Articulados I	\$56.02	\$57.99	\$60.04	\$68.28	\$71.03	\$73.97	\$91.99	\$112.72	\$137.06	\$168.78	\$211.85
Camiones Articulados II	\$26.63	\$27.51	\$28.42	\$33.97	\$35.30	\$36.72	\$45.32	\$55.76	\$68.80	\$85.51	\$108.46
<b>Total</b>	<b>\$263.92</b>	<b>\$274.64</b>	<b>\$285.86</b>	<b>\$358.89</b>	<b>\$376.04</b>	<b>\$394.36</b>	<b>\$508.62</b>	<b>\$651.59</b>	<b>\$826.92</b>	<b>\$1,060.86</b>	<b>\$1,391.21</b>

Tabla 65 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	2,228	2,333	2,441	3,906	4,127	4,364	5,845	7,829	10,485	14,173	19,514
Autobuses	138	141	146	199	208	218	277	352	446	576	763
Camiones Unitarios	449	467	485	597	624	653	836	1,063	1,328	1,683	2,186
Camiones Articulados I	574	594	615	697	725	755	939	1,150	1,396	1,718	2,153
Camiones Articulados II	245	253	261	309	321	334	412	506	622	771	975
<b>Total</b>	<b>3,633</b>	<b>3,787</b>	<b>3,948</b>	<b>5,709</b>	<b>6,006</b>	<b>6,324</b>	<b>8,309</b>	<b>10,900</b>	<b>14,278</b>	<b>18,920</b>	<b>25,592</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$34.01	\$35.61	\$37.26	\$59.63	\$63.00	\$66.62	\$89.23	\$119.52	\$160.06	\$216.36	\$297.91
Autobuses	\$4.41	\$4.52	\$4.67	\$6.39	\$6.68	\$6.98	\$8.88	\$11.30	\$14.31	\$18.46	\$24.47
Camiones Unitarios	\$14.40	\$14.96	\$15.55	\$19.14	\$20.01	\$20.94	\$26.80	\$34.07	\$42.57	\$53.94	\$70.10
Camiones Articulados I	\$28.91	\$29.93	\$30.99	\$35.13	\$36.54	\$38.05	\$47.30	\$57.92	\$70.35	\$86.53	\$108.48
Camiones Articulados II	\$14.19	\$14.66	\$15.15	\$17.95	\$18.64	\$19.38	\$23.89	\$29.34	\$36.10	\$44.73	\$56.54
<b>Total</b>	<b>\$95.93</b>	<b>\$99.69</b>	<b>\$103.62</b>	<b>\$138.23</b>	<b>\$144.88</b>	<b>\$151.97</b>	<b>\$196.11</b>	<b>\$252.15</b>	<b>\$323.39</b>	<b>\$420.03</b>	<b>\$557.49</b>

Tabla 66 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramos ponderados por distancia**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	4,556	4,770	4,992	7,022	7,405	7,816	10,382	13,735	18,041	23,902	32,306
Autobuses	240	246	254	327	341	356	450	567	707	898	1,172
Camiones Unitarios	820	852	885	1,044	1,090	1,139	1,452	1,832	2,262	2,831	3,631
Camiones Articulados I	746	772	799	908	944	983	1,223	1,498	1,821	2,241	2,812
Camiones Articulados II	311	322	332	396	411	428	528	649	800	993	1,258
<b>Total</b>	<b>6,673</b>	<b>6,961</b>	<b>7,262</b>	<b>9,697</b>	<b>10,193</b>	<b>10,723</b>	<b>14,034</b>	<b>18,281</b>	<b>23,631</b>	<b>30,865</b>	<b>41,180</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Total**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$157.27	\$164.67	\$172.31	\$242.40	\$255.62	\$269.78	\$358.38	\$474.12	\$622.74	\$825.04	\$1,115.15
Autobuses	\$17.39	\$17.80	\$18.40	\$23.73	\$24.75	\$25.83	\$32.62	\$41.08	\$51.25	\$65.11	\$84.98
Camiones Unitarios	\$59.43	\$61.76	\$64.18	\$75.66	\$79.04	\$82.60	\$105.23	\$132.80	\$164.00	\$205.20	\$263.24
Camiones Articulados I	\$84.93	\$87.93	\$91.02	\$103.41	\$107.57	\$112.02	\$139.28	\$170.65	\$207.41	\$255.30	\$320.33
Camiones Articulados II	\$40.83	\$42.18	\$43.57	\$51.92	\$53.94	\$56.10	\$69.21	\$85.10	\$104.91	\$130.24	\$165.00
<b>Total</b>	<b>\$359.85</b>	<b>\$374.33</b>	<b>\$389.48</b>	<b>\$497.12</b>	<b>\$520.92</b>	<b>\$546.33</b>	<b>\$704.72</b>	<b>\$903.74</b>	<b>\$1,150.32</b>	<b>\$1,480.89</b>	<b>\$1,948.70</b>

Tabla 67 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

#### 4.4.2.2. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles – Escenario Pronóstico P70%

A continuación, se presenta el pronóstico de aforo e ingreso para la Autopista Tultepec – Pirámides considerando el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	6,403	6,607	6,877	9,230	9,690	10,236	13,100	16,561	21,148	27,201	35,194
Autobuses	321	326	335	419	436	454	550	658	796	979	1,216
Camiones Unitarios	1,114	1,150	1,188	1,367	1,422	1,486	1,818	2,181	2,616	3,176	3,880
Camiones Articulados I	882	907	933	1,051	1,089	1,134	1,357	1,584	1,879	2,255	2,708
Camiones Articulados II	364	374	384	454	470	489	581	681	819	992	1,204
<b>Total</b>	<b>9,083</b>	<b>9,364</b>	<b>9,717</b>	<b>12,522</b>	<b>13,108</b>	<b>13,798</b>	<b>17,406</b>	<b>21,664</b>	<b>27,257</b>	<b>34,604</b>	<b>44,200</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$123.26	\$127.19	\$132.39	\$177.70	\$186.56	\$197.06	\$252.19	\$318.82	\$407.13	\$523.68	\$677.54
Autobuses	\$12.98	\$13.20	\$13.56	\$16.96	\$17.61	\$18.36	\$22.26	\$26.60	\$32.17	\$39.60	\$49.14
Camiones Unitarios	\$45.03	\$46.49	\$48.03	\$55.27	\$57.50	\$60.06	\$73.51	\$88.16	\$105.76	\$128.41	\$156.84
Camiones Articulados I	\$56.02	\$57.62	\$59.30	\$66.77	\$69.20	\$72.05	\$86.23	\$100.65	\$119.36	\$143.28	\$172.04
Camiones Articulados II	\$26.63	\$27.34	\$28.07	\$33.22	\$34.39	\$35.77	\$42.48	\$49.79	\$59.92	\$72.59	\$88.07
<b>Total</b>	<b>\$263.92</b>	<b>\$271.84</b>	<b>\$281.35</b>	<b>\$349.91</b>	<b>\$365.26</b>	<b>\$383.30</b>	<b>\$476.67</b>	<b>\$584.02</b>	<b>\$724.35</b>	<b>\$907.56</b>	<b>\$1,143.64</b>

Tabla 68 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	2,228	2,299	2,393	3,797	3,997	4,233	5,477	7,040	9,226	12,194	16,178
Autobuses	138	140	144	195	203	212	260	315	389	489	620
Camiones Unitarios	449	464	479	584	608	636	784	949	1,156	1,428	1,775
Camiones Articulados I	574	590	608	682	707	736	880	1,027	1,216	1,458	1,748
Camiones Articulados II	245	251	258	303	313	325	386	452	542	655	791
<b>Total</b>	<b>3,633</b>	<b>3,744</b>	<b>3,881</b>	<b>5,560</b>	<b>5,828</b>	<b>6,142</b>	<b>7,786</b>	<b>9,781</b>	<b>12,529</b>	<b>16,223</b>	<b>21,114</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$34.01	\$35.10	\$36.53	\$57.97	\$61.02	\$64.62	\$83.61	\$107.47	\$140.85	\$186.15	\$246.98
Autobuses	\$4.41	\$4.49	\$4.61	\$6.25	\$6.51	\$6.80	\$8.32	\$10.09	\$12.46	\$15.67	\$19.87
Camiones Unitarios	\$14.40	\$14.87	\$15.36	\$18.71	\$19.50	\$20.39	\$25.13	\$30.42	\$37.07	\$45.80	\$56.92
Camiones Articulados I	\$28.91	\$29.74	\$30.61	\$34.35	\$35.60	\$37.07	\$44.34	\$51.72	\$61.27	\$73.46	\$88.09
Camiones Articulados II	\$14.19	\$14.57	\$14.96	\$17.55	\$18.16	\$18.88	\$22.40	\$26.20	\$31.44	\$37.97	\$45.91
<b>Total</b>	<b>\$95.93</b>	<b>\$98.76</b>	<b>\$102.07</b>	<b>\$134.83</b>	<b>\$140.78</b>	<b>\$147.76</b>	<b>\$183.79</b>	<b>\$225.89</b>	<b>\$283.09</b>	<b>\$359.05</b>	<b>\$457.78</b>

Tabla 69 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramos ponderados por distancia**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	4,556	4,701	4,894	6,827	7,173	7,581	9,728	12,350	15,875	20,564	26,784
Autobuses	240	244	251	320	333	347	422	506	616	762	952
Camiones Unitarios	820	847	874	1,021	1,062	1,110	1,361	1,636	1,970	2,403	2,949
Camiones Articulados I	746	767	789	888	920	958	1,146	1,338	1,586	1,903	2,284
Camiones Articulados II	311	319	328	387	401	417	495	579	697	843	1,021
<b>Total</b>	<b>6,673</b>	<b>6,878</b>	<b>7,136</b>	<b>9,443</b>	<b>9,888</b>	<b>10,412</b>	<b>13,152</b>	<b>16,409</b>	<b>20,743</b>	<b>26,475</b>	<b>33,990</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Total**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$157.27	\$162.29	\$168.92	\$235.66	\$247.58	\$261.67	\$335.80	\$426.29	\$547.98	\$709.83	\$924.53
Autobuses	\$17.39	\$17.69	\$18.18	\$23.21	\$24.11	\$25.16	\$30.58	\$36.68	\$44.63	\$55.27	\$69.01
Camiones Unitarios	\$59.43	\$61.36	\$63.39	\$73.98	\$77.00	\$80.46	\$98.64	\$118.58	\$142.83	\$174.20	\$213.77
Camiones Articulados I	\$84.93	\$87.36	\$89.90	\$101.12	\$104.80	\$109.12	\$130.56	\$152.37	\$180.63	\$216.74	\$260.12
Camiones Articulados II	\$40.83	\$41.91	\$43.03	\$50.77	\$52.54	\$54.65	\$64.88	\$75.99	\$91.36	\$110.56	\$133.99
<b>Total</b>	<b>\$359.85</b>	<b>\$370.60</b>	<b>\$383.42</b>	<b>\$484.75</b>	<b>\$506.04</b>	<b>\$531.06</b>	<b>\$660.46</b>	<b>\$809.92</b>	<b>\$1,007.43</b>	<b>\$1,266.60</b>	<b>\$1,601.42</b>

Tabla 70 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

#### 4.4.2.3. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles – Escenario Pronóstico P90%

A continuación, se presenta el pronóstico de aforo e ingreso para la Autopista Tultepec – Pirámides considerando el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	6,403	6,467	6,680	8,859	9,250	9,790	11,917	14,188	17,560	21,863	26,803
Autobuses	321	323	330	406	419	437	501	558	652	773	900
Camiones Unitarios	1,114	1,139	1,167	1,324	1,370	1,430	1,656	1,851	2,142	2,507	2,871
Camiones Articulados I	882	899	917	1,017	1,049	1,092	1,236	1,345	1,538	1,780	2,004
Camiones Articulados II	364	370	377	440	453	471	529	578	671	783	891
<b>Total</b>	<b>9,083</b>	<b>9,199</b>	<b>9,470</b>	<b>12,046</b>	<b>12,541</b>	<b>13,221</b>	<b>15,839</b>	<b>18,521</b>	<b>22,563</b>	<b>27,705</b>	<b>33,469</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$123.26	\$124.50	\$128.60	\$170.55	\$178.08	\$188.49	\$229.42	\$273.16	\$338.07	\$420.90	\$516.01
Autobuses	\$12.98	\$13.07	\$13.32	\$16.42	\$16.96	\$17.68	\$20.27	\$22.58	\$26.35	\$31.25	\$36.37
Camiones Unitarios	\$45.03	\$46.07	\$47.18	\$53.51	\$55.38	\$57.83	\$66.96	\$74.84	\$86.60	\$101.35	\$116.07
Camiones Articulados I	\$56.02	\$57.09	\$58.25	\$64.64	\$66.64	\$69.38	\$78.54	\$85.45	\$97.74	\$113.08	\$127.32
Camiones Articulados II	\$26.63	\$27.08	\$27.58	\$32.17	\$33.11	\$34.44	\$38.69	\$42.27	\$49.06	\$57.29	\$65.18
<b>Total</b>	<b>\$263.92</b>	<b>\$267.82</b>	<b>\$274.93</b>	<b>\$337.29</b>	<b>\$350.16</b>	<b>\$367.80</b>	<b>\$433.88</b>	<b>\$498.29</b>	<b>\$597.81</b>	<b>\$723.87</b>	<b>\$860.95</b>

Tabla 71 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	2,228	2,250	2,324	3,644	3,816	4,049	4,982	6,031	7,661	9,800	12,321
Autobuses	138	139	141	189	195	204	236	267	318	386	459
Camiones Unitarios	449	459	471	565	586	612	714	806	947	1,127	1,314
Camiones Articulados I	574	585	597	660	680	708	802	871	996	1,151	1,294
Camiones Articulados II	245	249	253	293	301	313	352	383	444	517	586
<b>Total</b>	<b>3,633</b>	<b>3,682</b>	<b>3,786</b>	<b>5,351</b>	<b>5,578</b>	<b>5,887</b>	<b>7,086</b>	<b>8,359</b>	<b>10,366</b>	<b>12,981</b>	<b>15,974</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$34.01	\$34.35	\$35.48	\$55.64	\$58.25	\$61.81	\$76.06	\$92.07	\$116.96	\$149.61	\$188.10
Autobuses	\$4.41	\$4.45	\$4.53	\$6.05	\$6.26	\$6.55	\$7.58	\$8.56	\$10.20	\$12.37	\$14.70
Camiones Unitarios	\$14.40	\$14.73	\$15.09	\$18.12	\$18.77	\$19.64	\$22.89	\$25.83	\$30.35	\$36.14	\$42.13
Camiones Articulados I	\$28.91	\$29.47	\$30.07	\$33.26	\$34.28	\$35.69	\$40.38	\$43.91	\$50.17	\$57.98	\$65.19
Camiones Articulados II	\$14.19	\$14.44	\$14.70	\$16.99	\$17.49	\$18.18	\$20.40	\$22.24	\$25.75	\$29.97	\$33.98
<b>Total</b>	<b>\$95.93</b>	<b>\$97.43</b>	<b>\$99.87</b>	<b>\$130.06</b>	<b>\$135.06</b>	<b>\$141.86</b>	<b>\$167.31</b>	<b>\$192.61</b>	<b>\$233.42</b>	<b>\$286.07</b>	<b>\$344.10</b>

Tabla 72 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramos ponderados por distancia**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	4,556	4,602	4,754	6,553	6,847	7,251	8,850	10,581	13,182	16,528	20,398
Autobuses	240	242	246	310	320	334	384	430	504	602	705
Camiones Unitarios	820	839	859	988	1,023	1,069	1,239	1,389	1,613	1,897	2,182
Camiones Articulados I	746	760	775	859	886	922	1,044	1,136	1,298	1,502	1,690
Camiones Articulados II	311	317	322	375	386	401	451	492	570	665	756
<b>Total</b>	<b>6,673</b>	<b>6,759</b>	<b>6,956</b>	<b>9,085</b>	<b>9,462</b>	<b>9,977</b>	<b>11,968</b>	<b>14,027</b>	<b>17,169</b>	<b>21,193</b>	<b>25,731</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Total**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$157.27	\$158.86	\$164.08	\$226.18	\$236.33	\$250.29	\$305.48	\$365.23	\$455.03	\$570.51	\$704.11
Autobuses	\$17.39	\$17.52	\$17.86	\$22.47	\$23.22	\$24.22	\$27.85	\$31.14	\$36.55	\$43.62	\$51.07
Camiones Unitarios	\$59.43	\$60.80	\$62.27	\$71.63	\$74.15	\$77.47	\$89.84	\$100.67	\$116.95	\$137.49	\$158.20
Camiones Articulados I	\$84.93	\$86.55	\$88.32	\$97.90	\$100.92	\$105.06	\$118.92	\$129.36	\$147.90	\$171.06	\$192.51
Camiones Articulados II	\$40.83	\$41.52	\$42.27	\$49.16	\$50.60	\$52.62	\$59.09	\$64.51	\$74.81	\$87.26	\$99.16
<b>Total</b>	<b>\$359.85</b>	<b>\$365.25</b>	<b>\$374.80</b>	<b>\$467.34</b>	<b>\$485.22</b>	<b>\$509.66</b>	<b>\$601.19</b>	<b>\$690.90</b>	<b>\$831.24</b>	<b>\$1,009.94</b>	<b>\$1,205.05</b>

Tabla 73 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

## 5. CONCLUSIONES

El presente documento constituye el informe final del estudio el cual describe la metodología aplicada, el análisis de la información recopilada y los resultados obtenidos por la empresa de consultoría Avanti Engineering Group, Soluciones en Infraestructura Sustentable, S.C. para la realización del estudio de movilidad en la carretera Tultepec - AIFA - Pirámides, ubicada en el Estado de México.

Los escenarios aquí incluidos consideran la información disponible para nuestro equipo de trabajo sobre el trazo del proyecto y los distintos escenarios considerados para al final del mes de diciembre del año 2019.

### 5.1. Descripción del proyecto

El trazo del proyecto mide aproximadamente 27.02 km de longitud y está considerando para servir a los conductores de vehículos privados y vehículos de carga (camiones unitarios, articulados y biarticulados) que transitan por el norte del Estado de México en límites con la Ciudad de México (CDMX). El propósito del proyecto es facilitar la movilidad de personas y mercancías al conectar la Autopista México - Pachuca, con la Autopista México - Pirámides y con el Circuito Exterior Mexiquense reduciendo así, el tiempo de recorrido existente, las distancias recorridas y de manera indirecta, la disminución de emisiones de contaminantes, accidentes y los costos de operación vehiculares incurridos por el tránsito que circula por esta región.

El proyecto se ubica dentro de los municipios del Estado de México como Tultepec, Nextlalpan, Tecámac, Acolman y Teotihuacán e incluye dentro de su área de influencia a otros municipios del Estado de México, Hidalgo y la Ciudad de México.

### 5.2. Delimitación del área de estudio

El objetivo de este apartado se centra en la recopilación y análisis de la oferta - demanda comprendida por el sistema de transporte privado automóvil y por el sistema de transporte de carga, que actualmente circulan por las autopistas México - Pachuca, Ecatepec - Pirámides y el Circuito Exterior Mexiquense.

El trazo del proyecto con aproximadamente 27.02 kilómetros de longitud, está considerado para servir a los automóviles y vehículos de carga (camiones unitarios, articulados y biarticulados) que diariamente transitan por las carreteras de cuota antes mencionadas.

El proyecto tiene dos vocaciones: inicialmente facilita la conexión entre las autopistas México - Pirámides, México - Pachuca y el Circuito Exterior Mexiquense, permitiendo el traslado de los vehículos en esta zona en un menor tiempo y eliminando la necesidad de transcurrir por el nodo vial que se da entre las carreteras de cuota y libres en la zona de Ecatepec que actualmente presenta niveles de congestión importantes. El proyecto, además, permite acceder al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles ofreciendo una alternativa con pago de peaje para los usuarios y empleados del AIFA.

### 5.3. Nivel de servicio de la red actual

La evaluación del nivel de servicio en la red vial analizada para el proyecto de movilidad carretera Tultepec - AIFA - Pirámides es un elemento primordial que permitirá identificar las condiciones de operación existentes, determinando si con el número de carriles existentes, la velocidad de flujo libre y el porcentaje de vehículos pesados, entre otros, estos tramos carreteros operan en condiciones adecuadas. Resulta importante mencionar que para realizar esta

evaluación Avanti EG se basó en la metodología presentada por el Highway Capacity Manual en su versión 2010.

El conocimiento del nivel de servicio en el que operan las carreteras permite establecer una comunicación entre la oferta y la demanda del servicio, reflejando su grado de eficiencia. En la siguiente tabla se muestra la estimación del nivel de servicio para los tramos carreteros analizados en el presente estudio.

Carretera	Longitud (km)	Velocidad HMD (km/hr)	Nivel de servicio
1 México - Pachuca Cuota	45.50	91.85	C
2 México - Pachuca Libre	49.25	31.94	F
3 Ecatepec - Pirámides	31.90	88.30	B
4 Circuito Exterior Mexiquense	47.80	77.95	C
5 Ramal Circuito Exterior Mexiquense	19.40	51.00	E
6 Naucalpan - Ecatepec	12.64	63.22	C
7 Av. López Portillo	19.45	29.34	F

Tabla 74. Nivel de servicio observado en la red de estudio.

#### 5.4. Mercado potencial del proyecto

El proyecto de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides beneficiaría directamente a los siguientes mercados en función de su origen y destino (esta lista se presenta en orden de magnitud del mercado potencial):

- Viajes con origen o destino en Pachuca y que tienen destino el corredor del Periférico Norte en el Estado de México y la Ciudad de México. En este corredor se incluyen las alcaldías de Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, así como los municipios de Naucalpan, Atizapán, Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán Izcalli y Cuautitlán.
- Viajes con origen o destino en Tulancingo y el corredor que se extiende hasta el Golfo de México que concluye en el norte de Veracruz y sur de Tamaulipas y que tienen origen o destino en el corredor de Periférico Norte antes mencionado.
- Viajes con origen o destino en el corredor de la carretera federal 142 Los Reyes - Texcoco - Tepexpan y que se dirigen hacia Pachuca, el corredor Periférico Norte o hacia la Autopista México - Querétaro.
- Viajes con origen en Pachuca, Tulancingo o el corredor Los Reyes - Texcoco - Tepexpan y con dirección hacia la zona de Huehuetoca o Tepeji.

#### 5.5. Vocación del proyecto

Como se mencionó anteriormente, el proyecto en esencia tiene una vocación similar a un libramiento, es decir, permite evitar una zona con velocidades de recorrido bajas dadas condiciones locales de congestión o por las características físicas y operativas de las vías existentes. En este caso, el proyecto permite evitar el nodo vial que se genera en el municipio de Ecatepec y la conexión de hasta 8 carreteras libres y de peaje.

Además de la reducción de velocidad que implica la conexión entre las carreteras que forman este nodo vial, también es relevante que la conexión entre algunas de estas vías no es ágil e

implica movimientos lentos, con poco señalamiento y con radios de giro bajos para vehículos de carga. Por lo tanto, el proyecto resulta ser muy atractivo para aquellos usuarios que viajan por esta región pero que no requieren ir a este nodo vial para completar su viaje,

El proyecto en estudio ofrece ahorros significativos en términos de tiempo de viaje y, dependiendo de la tarifa aplicada, del costo de este. Por lo tanto, se espera que, dado que la mayoría de los viajes potenciales del proyecto circulan por estas vías de cuota, el porcentaje de captación del proyecto sea elevado con respecto a otros proyectos evaluados donde usualmente el proyecto ofrece beneficios en tiempos de viaje, pero con el pago de una tarifa mayor al costo existente.

Finalmente, es importante mencionar que la zona donde se encuentra este nodo vial presenta condiciones de inseguridad pública importante. Por lo tanto, se espera que el proyecto ofreciera además de reducir los tiempos de viaje, una ruta para evadir una zona de alta ocurrencia de delitos.

### 5.6. Escenario sin Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

Bajo los supuestos considerados para el escenario sin la operación del AIFA, que incluyen la definición de trazo, entronques, velocidad de recorrido y tarifas, se estima que la asignación del escenario base sea de 5,530 vehículos diarios. En función de las tarifas y tiempos de recorrido empleados en el modelo, se estima que el porcentaje de captación por el total de los vehículos por un 51%.

Los resultados obtenidos permiten estimar que se estarían generando ingresos por \$287 millones de pesos anuales incluyendo el IVA.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	5,326	272	954	770	318	7,641
Tecámac-Pirámides	11.95	1,770	112	368	479	204	2,933
	27.02	3,735	200	692	640	267	5,534

Tabla 75 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-Tecámac	15.07	\$96.62	\$10.37	\$36.36	\$46.10	\$21.92	\$211.37
Tecámac-Pirámides	11.95	\$26.01	\$3.44	\$11.34	\$23.22	\$11.40	\$75.41
	27.02	\$122.63	\$13.82	\$47.70	\$69.32	\$33.32	\$286.78

Tabla 76 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

### 5.7. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

El escenario aquí descrito considera el inicio de operaciones del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA) y el tránsito que podría generar este desarrollo. Las estimaciones realizadas están basadas en lo publicado por la Secretaría de Defensa Nacional y en el Plan Maestro de Desarrollo

del AIFA realizado por la empresa Aeroports de Paris Ingenierie. La consulta de este documento fue realizada en el mes de Noviembre del año 2019 y fue consultado en la siguiente página: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510123/007\\_PLAN\\_MAESTRO\\_DE\\_DESARROLLO.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510123/007_PLAN_MAESTRO_DE_DESARROLLO.pdf).

La asignación de viajes al proyecto en el escenario con el AIFA sería de 6,600 vehículos diarios, siendo el tramo más transitado el que se encontraría entre el entronque Tultepec y Tecámac con casi 9,000 vehículos al día. El segundo tramo tendría un aforo diario de 3,700 vehículos al día.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-AIFA	7.49	6,403	321	1,114	882	364	9,083
Tecámac-Pirámides	11.95	2,228	138	449	574	245	3,633
	27.02	4,556	240	820	746	311	6,673

Tabla 77 Tránsito asignado de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides.

Inicio	Longitud (km)	Automóviles	Autobuses	Camiones Unitarios	Camiones Articulados I	Camiones Articulados II	Total
Tultepec-AIFA	7.49	\$123.26	\$12.98	\$45.03	\$56.02	\$26.63	\$263.92
Tecámac-Pirámides	11.95	\$34.01	\$4.41	\$14.40	\$28.91	\$14.19	\$95.94
	27.02	\$157.27	\$17.39	\$59.43	\$84.93	\$40.83	\$359.85

Tabla 78 Ingresos anuales por tipo de vehículo (Incluyendo el IVA).

El porcentaje de captación del proyecto sería significativamente diferente ya que se captaría un número menor del mercado originado por el AIFA ante la posibilidad que tendrían los usuarios del AIFA para llegar por un acceso libre de peaje. Es importante considerar que, por ejemplo, un pasajero del AIFA con origen de su viaje en la zona de Polanco y que va al Aeropuerto tendría tres grandes opciones:

- Utilizar la ruta Circuito Interior, Insurgentes, Autopista México - Pachuca y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides
- Utilizar la ruta Circuito Interior, Insurgentes, Autopista México - Pachuca y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides
- Utilizar la ruta Periférico Norte, Circuito Exterior Mexiquense y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides
- Utilizar la ruta Viaducto Bicentenario, Circuito Exterior Mexiquense y Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides

Nótese que solo tendrían una opción factible libre de peaje y que las opciones de cuota implican el pago de al menos dos concesiones por lo que el acceso al AIFA sería caro en comparación con la alternativa libre.

En términos de ingresos, este escenario captaría \$360 millones de pesos anuales incluyendo el IVA en comparación de los \$287 millones del escenario base, es decir, un 24% adicional. Estos

resultados nos permiten concluir que el escenario con el AIFA es un escenario muy distinto al escenario base y que, suponemos, tendría resultados de rentabilidad financiera mucho más atractivos para los desarrolladores públicos o privados del proyecto.

Por otra parte, si se concluye la construcción de la Autopista Texcoco - Pirámides, el proyecto en conjunto con esta autopista podrían conformar la ruta más rápida entre el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y el AIFA en horarios de máxima demanda.

Finalmente, es importante mencionar que consideramos que el escenario con el AIFA tiene un alto grado de incertidumbre ya que, al momento de estimación de este pronóstico (Diciembre 2019), la información sobre el futuro aeropuerto está aún en desarrollo y que se empleó información de referencia de otros proyectos para llegar a ese cálculo.

### 5.8. Pronóstico de aforo e ingreso

El pronóstico de aforo e ingreso de la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides está basado en el pronóstico de variables socioeconómicas de la zona en influencia. Las variables utilizadas en el pronóstico son población, empleo y el nivel de producción interna bruta. El pronóstico de variables socioeconómicas es utilizado para la generación de viajes en los distintos años del horizonte de proyecto. El horizonte de proyecto comprende entre el año 2019 y el año 2049. Los pronósticos son realizados para cada año en ese periodo. Los pronósticos de las variables socioeconómicas utilizados en este pronóstico están basados en pronósticos realizados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) en el caso de la variable población, por Avanti EG en el caso de la variable producto interno bruto y la variable empleo. Adicionalmente, el pronóstico de aforo e ingreso considera el crecimiento del tránsito observado en el corredor México - Pachuca y México - Tulancingo y las vialidades incluidas dentro del área de influencia del estudio en los últimos 15 años o desde el inicio de operación.

El pronóstico de aforo e ingreso desarrollado para la Autopista Tultepec - AIFA - Pirámides toma en cuenta los siguientes supuestos:

- El inicio de operación del proyecto se daría en el inicio del año 2019.
- La tarifa de peaje es constante en términos reales al año 2019 durante todo el horizonte de proyecto.
- El pronóstico en el escenario base presentado toma en cuenta la puesta en operación del proyecto del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.
- El pronóstico presentado no toma en cuenta el inicio de proyectos de desarrollo económico en la zona en estudio.
- El escenario presentado no considera un periodo de “ramp-up” en los primeros años del proyecto.

Es importante mencionar que existen varias fuentes de incertidumbre en la estimación de los pronósticos, siendo los principales tipos:

- f) Incertidumbre en la medición. Es el error en las cantidades observadas, tales como la captura.
- g) Incertidumbre en el proceso. Es la aleatoriedad subyacente en la dinámica inherente a cada variable pronosticada.
- h) Incertidumbre en el modelo. Es la especificación errónea de la estructura del modelo.

- i) Incertidumbre en la estimación. Es la que puede resultar de cualquier combinación de las anteriores.
- j) Incertidumbre en la implementación. Es la consecuencia de la variabilidad que resulta de una política o decisión al modificar los parámetros del modelo o de las variables empleadas.

### 5.8.1. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles

A continuación, se presenta el pronóstico de aforo e ingreso para la Autopista Tultepec – Pirámides considerando el Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

<b>Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles</b>											
<b>Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	6,403	6,698	7,006	9,477	9,985	10,533	13,925	18,299	23,845	31,326	41,965
Autobuses	321	328	340	429	447	466	586	734	909	1,146	1,485
Camiones Unitarios	1,114	1,157	1,202	1,397	1,459	1,524	1,935	2,431	2,988	3,718	4,739
Camiones Articulados I	882	913	945	1,074	1,117	1,163	1,444	1,767	2,146	2,640	3,308
Camiones Articulados II	364	376	388	464	482	501	618	759	935	1,161	1,471
<b>Total</b>	<b>9,083</b>	<b>9,472</b>	<b>9,881</b>	<b>12,841</b>	<b>13,489</b>	<b>14,187</b>	<b>18,507</b>	<b>23,989</b>	<b>30,823</b>	<b>39,991</b>	<b>52,967</b>

<b>Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tultepec - Tecámac</b>											
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$123.26	\$128.94	\$134.88	\$182.46	\$192.24	\$202.78	\$268.07	\$352.29	\$459.07	\$603.09	\$807.91
Autobuses	\$12.98	\$13.28	\$13.73	\$17.32	\$18.06	\$18.83	\$23.68	\$29.66	\$36.75	\$46.35	\$60.03
Camiones Unitarios	\$45.03	\$46.78	\$48.60	\$56.47	\$58.97	\$61.60	\$78.23	\$98.30	\$120.79	\$150.30	\$191.59
Camiones Articulados I	\$56.02	\$57.98	\$60.01	\$68.22	\$70.96	\$73.90	\$91.76	\$112.23	\$136.32	\$167.70	\$210.14
Camiones Articulados II	\$26.63	\$27.50	\$28.41	\$33.94	\$35.26	\$36.68	\$45.21	\$55.51	\$68.44	\$84.97	\$107.58
<b>Total</b>	<b>\$263.92</b>	<b>\$274.49</b>	<b>\$285.63</b>	<b>\$358.42</b>	<b>\$375.48</b>	<b>\$393.78</b>	<b>\$506.94</b>	<b>\$647.98</b>	<b>\$821.36</b>	<b>\$1,052.41</b>	<b>\$1,377.25</b>

Tabla 79 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tultepec - Tecámac. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	2,228	2,331	2,438	3,899	4,119	4,356	5,822	7,779	10,403	14,043	19,291
Autobuses	138	141	146	199	208	217	276	351	444	572	757
Camiones Unitarios	449	467	485	596	624	652	834	1,058	1,321	1,672	2,169
Camiones Articulados I	574	594	615	697	725	755	936	1,145	1,389	1,707	2,136
Camiones Articulados II	245	253	261	309	321	334	411	504	619	766	967
<b>Total</b>	<b>3,633</b>	<b>3,785</b>	<b>3,944</b>	<b>5,700</b>	<b>5,996</b>	<b>6,314</b>	<b>8,279</b>	<b>10,835</b>	<b>14,175</b>	<b>18,760</b>	<b>25,320</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Tramo Tecámac - Pirámides**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$34.01	\$35.58	\$37.22	\$59.52	\$62.88	\$66.50	\$88.88	\$118.75	\$158.81	\$214.38	\$294.50
Autobuses	\$4.41	\$4.52	\$4.67	\$6.39	\$6.67	\$6.97	\$8.86	\$11.25	\$14.23	\$18.35	\$24.27
Camiones Unitarios	\$14.40	\$14.96	\$15.54	\$19.12	\$19.99	\$20.91	\$26.74	\$33.92	\$42.34	\$53.60	\$69.53
Camiones Articulados I	\$28.91	\$29.92	\$30.97	\$35.10	\$36.51	\$38.01	\$47.18	\$57.67	\$69.97	\$85.98	\$107.60
Camiones Articulados II	\$14.19	\$14.66	\$15.14	\$17.93	\$18.62	\$19.36	\$23.83	\$29.21	\$35.91	\$44.44	\$56.08
<b>Total</b>	<b>\$95.93</b>	<b>\$99.64</b>	<b>\$103.54</b>	<b>\$138.06</b>	<b>\$144.67</b>	<b>\$151.76</b>	<b>\$195.48</b>	<b>\$250.79</b>	<b>\$321.27</b>	<b>\$416.75</b>	<b>\$551.99</b>

Tabla 80 Pronóstico de aforo e ingreso - Tramo Tecámac - Pirámides. Escenario con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

**Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Angeles**

**Pronóstico de Aforo (Tránsito Promedio Diario Anual): Tramos ponderados por distancia**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	4,556	4,766	4,986	7,010	7,391	7,801	10,341	13,646	17,900	23,682	31,937
Autobuses	240	245	254	327	341	356	449	564	703	892	1,163
Camiones Unitarios	820	852	885	1,043	1,089	1,138	1,448	1,824	2,250	2,813	3,602
Camiones Articulados I	746	772	799	907	943	982	1,220	1,491	1,811	2,227	2,789
Camiones Articulados II	311	321	332	395	411	427	526	646	796	987	1,248
<b>Total</b>	<b>6,673</b>	<b>6,957</b>	<b>7,255</b>	<b>9,683</b>	<b>10,175</b>	<b>10,705</b>	<b>13,984</b>	<b>18,172</b>	<b>23,460</b>	<b>30,601</b>	<b>40,739</b>

**Pronóstico de Ingreso (Millones de Pesos Anuales con IVA): Total**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2029	2034	2039	2044	2049
Automóviles	\$157.27	\$164.52	\$172.10	\$241.98	\$255.12	\$269.28	\$356.95	\$471.04	\$617.88	\$817.47	\$1,102.41
Autobuses	\$17.39	\$17.79	\$18.39	\$23.71	\$24.73	\$25.80	\$32.54	\$40.90	\$50.98	\$64.69	\$84.30
Camiones Unitarios	\$59.43	\$61.74	\$64.15	\$75.59	\$78.96	\$82.51	\$104.96	\$132.22	\$163.12	\$203.90	\$261.12
Camiones Articulados I	\$84.93	\$87.90	\$90.98	\$103.32	\$107.46	\$111.91	\$138.93	\$169.90	\$206.30	\$253.68	\$317.74
Camiones Articulados II	\$40.83	\$42.17	\$43.55	\$51.88	\$53.88	\$56.04	\$69.04	\$84.72	\$104.35	\$129.41	\$163.67
<b>Total</b>	<b>\$359.85</b>	<b>\$374.13</b>	<b>\$389.17</b>	<b>\$496.48</b>	<b>\$520.15</b>	<b>\$545.54</b>	<b>\$702.43</b>	<b>\$898.77</b>	<b>\$1,142.62</b>	<b>\$1,469.16</b>	<b>\$1,929.24</b>

Tabla 81 Pronóstico de aforo e ingreso - Total ponderado. Escenario Con Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

|