



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA DE SISTEMAS) – (TRANSPORTE)

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL AÑO BASE EN UNA AUTOPISTA DE CUOTA;
PROCESO DE PLANEACIÓN DE UN ESTUDIO DE AFOROS, CASO DE ESTUDIO AUTOPISTA
ARMERÍA-MANZANILLO.

TESIS:
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

PRESENTA:
ING. JAIME MERCADO CABRERA

TUTOR:
M. I. JOSÉ ANTONIO RIVERA COLMENERO

CDMX, SEPTIEMBRE 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas, dándome ánimo así como acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Gracias a: Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr otra meta en esta.

A mi padre Jaime que en el cielo esta, le doy las gracias por la formación, la fuerza, el coraje y el ejemplo que día a día demostró y que me hicieron ver la vida de otra manera ya que en su pelea con las adversidades nunca se dejó derrotar y siempre mostro una entereza digna de ejemplo.

A mi mama Trinidad, por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme en todos los caminos de la vida, gracias por todo el apoyo que me diste a lo largo de todos los lapsos, ya sea estudiantil, laboral, pero sobre todo por ser a diario la mejor madre del mundo. No existen palabras que pudieran expresar el gran amor que te tengo y quiero decirte que este al igual que todos los logros que tenga en la vida son tuyos, debido a que tu infinito apoyo, comprensión y amor sé que podre lograr lo me proponga. Gracias por escucharme y por tus consejos (eso es algo que haces muy bien). Gracias por ser parte de mi vida; eres lo mejor que Dios me pudo mandar.

A mis abuelos que desde el cielo me apoyan y me bendice a diario, me encomiendan siempre con Dios para que salga adelante día a día. Yo sé que sus oraciones fueron escuchadas (Y que los dieces de la bolsa de mi mama al fin dieron resultado).

A mi hermana Triny que con su carácter, forma de ser y responsabilidad me demuestra a diario que es posible ser una mejor persona y que esta vida es para vivirla dando lo mejor de uno. Gracias de verdad por ayudarme tanto en todas las cosas que me surjan y siempre darme la mejor solución tan rápidamente.

A Fredy el cual siempre está ahí tendiendo una mano, con una sonrisa que hace que sientas un gran apoyo de su parte, de verdad te agradezco mucho por confiar en mí y ahora si te puedo decir como aquel domingo que los desvele con mis cosas, que si fue posible y que valió la pena que confiaran en mí.

Al M.I. José Antonio Rivera Colmenero por haber confiado en mi persona, por la paciencia, por la dirección de este trabajo, por los consejos, el apoyo y el ánimo que me brindó, ya que desde el primer día estuvo siempre pendiente de las cosas.

A todos ellos muchas gracias, algún día espero poder pagar todo lo que han hecho por mí.

Gracias a todos los que directa o indirectamente participaron en este proyecto de vida. Y si me faltó mencionar a alguien perdón pero ya se acaba la hoja.



CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
PROLOGO	2
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	7
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	8
2.1 ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL PRESENTE TRABAJO	9
3 ENTORNO DE LA AUTOPISTA ARMERIA-MANZANILLO	11
3.1.1 <i>Localización y datos de la población del municipio de Colima</i>	11
3.1.2 <i>Principales actividades económicas en el municipio de Manzanillo</i>	14
3.1.3 <i>Perímetros de contención urbana en la zona de estudio</i>	14
3.2 PUERTO DE MANZANILLO.....	15
3.2.1 <i>Ubicación</i>	16
3.2.2 <i>Movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo</i>	19
3.2.3 <i>Volumen histórico Puerto de Manzanillo</i>	24
3.3 PROYECTOS FUTUROS	26
3.3.1 <i>Proyectos ferroviarios</i>	30
3.3.2 <i>Resumen de proyectos futuros</i>	33
4 METODOLOGIA	35
4.1.1 <i>Análisis de la oferta</i>	36
4.1.2 <i>Análisis de la demanda</i>	36
4.1.3 <i>Modelo de Transporte</i>	38
5 CARACTERIZACION DE LA OFERTA	40
5.1 TRABAJOS DE CAMPO	40
5.1.1 <i>Características físicas de la red vial de influencia</i>	41
5.1.2 <i>Desarrollo de la red de estudio</i>	43
5.1.3 <i>Tiempos de recorrido y velocidades</i>	44
5.2 TARIFAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA	45
5.3 VENTAJAS COMPETITIVAS DE LA AUTOPISTA ARMERÍA-MANZANILLO	47
5.4 INFORMACIÓN DE LA AUTOPISTA ARMERÍA-MANZANILLO	48
5.5 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA VÍA, ESTACIONALIDAD	49
5.5.1 <i>Participación vehicular histórica por tipo de vehículo</i>	52



5.5.2	Comportamiento histórico tarifario.....	53
5.5.3	Captación y competitividad de la Autopista Armería – Manzanillo.....	54
5.5.4	Evolución del tránsito en la Caseta Cuytlán	58
6	CARACTERIZACION DE LA DEMANDA.....	59
6.1	ESTUDIOS DE CAMPO PARA RECOPIACIÓN DE LA DEMANDA.....	59
6.1.1	Aforos manuales y aforos automáticos.....	60
6.1.2	Aforos actuales	60
6.2	ENCUESTAS ORIGEN-DESTINO	63
6.2.1	Encuestas Origen-Destino en la Autopista Armería-Manzanillo.....	65
6.2.2	Resultados de la encuesta OD.....	66
6.2.3	Caracterización de la demanda.....	70
6.2.4	Muestreo, error muestral y expansión de la base OD.....	79
6.3	INFORMACIÓN HISTÓRICA DISPONIBLE	84
6.3.1	Datos históricos.....	84
6.3.2	Identificación de viajes cortos y viajes largos	85
6.4	PRINCIPALES PARES DE VIAJE DE AUTOMÓVILES.....	86
7	MODELO DE TRANSPORTE	91
7.1	MODELO CLÁSICO DE TRANSPORTE	97
7.2	VALORES SUBJETIVOS DEL TIEMPO (VOT).....	100
7.2.1	Introducción	100
7.2.2	Valor Subjetivo del Tiempo (VST), en Autopista Armería-Manzanillo	102
7.2.3	Supuestos y desarrollo.....	103
7.3	ZONIFICACIÓN.....	104
7.4	DESARROLLO DEL MODELO DE TRANSPORTE	109
7.5	SEGMENTACIÓN DE LA DEMANDA UTILIZADA	111
7.6	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	113
7.6.1	Cálculo de los vehículos equivalentes.....	113
7.6.2	Cálculo de la capacidad de los enlaces y velocidad de flujo libre	114
7.6.3	Función - volumen demora.....	115
7.7	MÉTODO DE ASIGNACIÓN	117
7.8	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE TEORÍA	118
7.8.1	Calibración del proyecto Armería – Manzanillo.....	120
7.9	ANÁLISIS DEL MODELO.....	122
7.10	TRÁNSITO ATRAÍDO (O DESVIADO) A VÍA, PROVENIENTE DE OTROS MODOS DE TRANSPORTE.....	123
7.11	ERRORES COMUNES EN LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE.....	125
8	ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO PARA EL AÑO BASE 2018.....	127
9	CONCLUSIONES	129
10	REFERENCIAS	132



ANEXO: PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE LÍNEAS DE DESEO EN UN PROGRAMA GIS (TRANSCAD).....134



FIGURAS

Figura 1. Principales corredores de transporte	5
Figura 2. Principales corredores de transporte	6
Figura 3. Ubicación de la Autopista Armería-Manzanillo	9
Figura 4 Localización del Estado de Colima	11
Figura 5 Composición del Producto Interno Bruto del Estado de Colima	12
Figura 6 Personal ocupado por sector económico	13
Figura 7 Distribución del ingreso en el Estado y Ciudad de Colima, con información del INEGI. 13	
Figura 8. Principales actividades económicas en Manzanillo.....	14
Figura 9. Perímetros de contención urbana	15
Figura 10. Puerto de Manzanillo	15
Figura 11. Ubicación del Puerto de Manzanillo.....	16
Figura 12. Zona de influencia nacional del Puerto de Manzanillo	17
Figura 13 Enlaces carreteros tipo ET y A del puerto con sus mercados relevantes del Valle de México y Bajío - Occidente.....	17
Figura 14 Enlaces carreteros tipo ET y A del puerto con su mercado relevante del noreste	18
Figura 15 Foreland del Puerto de Manzanillo, año 2014.....	19
Figura 16 Modelo de operación y logística del Puerto de Manzanillo.....	20
Figura 17. Movimiento de contenedores en los últimos 10 años (TEU)	26
Figura 18. Matriz FODA del Puerto de Manzanillo	28
Figura 19. Corredor económico del norte	30
Figura 20. Túnel ferroviario del Puerto de Manzanillo	31
Figura 21 Desvío Ferroviario Cuyutlán.....	31
Figura 22 Conectividad del Puerto de Manzanillo y proyectos de Ferromex en su corredor a Monterrey.....	32
Figura 23. Metodología general del estudio	35
Figura 24 Ubicación de trabajos de campo.....	40
Figura 25. No. de carriles de la red de estudio	42
Figura 26 Relieve del Estado de Colima.....	43
Figura 27. Georreferenciación de Imágenes en QGIS.	44
Figura 28. Limpieza de la red con georreferenciación de Imágenes	44
Figura 29. Velocidades en la red de influencia	45



Figura 30. Tarifas en las autopistas de la red de influencia	46
Figura 31 Ventaja competitiva auto.....	47
Figura 32 Fuentes de recopilación de información.....	49
Figura 33. Estacionalidad para Automóviles en la caseta Cuyutlán	50
Figura 34. Estacionalidad para Autobuses en la caseta Cuyutlán.....	50
Figura 35 Estacionalidad para Camiones Unitarios (CU) en la caseta Cuyutlán	51
Figura 36. Estacionalidad para Camiones Articulado I (CaI), en la caseta Cuyutlán	51
Figura 37. Estacionalidad para Camiones Articulados II (CaII) en la caseta Cuyutlán	52
Figura 38. Participación vehicular histórica, Caseta Cuyutlán.....	52
Figura 39. Costo por kilómetro.....	54
Figura 40. Ubicación de puntos de aforo en accesos al puerto de Manzanillo	55
Figura 41. Captación histórica de la vía de cuota Armería – Manzanillo	57
Figura 42. Evolución del tránsito, Caseta Cuyutlán, (TPD)	58
Figura 43. Ubicación de estaciones de campo	59
Figura 44. Gráfico de tráfico Promedio Diario	62
Figura 45. Aforo total por tipo de vehículo, Estación Caseta Cuyutlán.....	63
Figura 46. Pregunta ¿Por qué utilizan la Autopista? Todos los vehículos	67
Figura 47. Pregunta ¿Qué servicios adicionales a los existentes le gustaría encontrar en la Autopista? Vehículos de carga	67
Figura 48. Pregunta ¿Qué servicios adicionales a los existentes le gustaría encontrar en la Autopista? Automóvil.....	68
Figura 49. Pregunta En este viaje ¿Usted va a emplear la Autopista?.....	68
Figura 50. Pregunta, ¿En su viaje, cuanto tiempo cree que podría ahorrarle la Autopista Armería-Manzanillo?	69
Figura 51. Pregunta, ¿Qué servicios adicionales a los existentes, le gustaría encontrar en la Autopista Armería-Manzanillo?.....	69
Figura 52. Pregunta, ¿Por qué razón decidió usar la vía libre en su viaje?	70
Figura 53. Porcentaje de encuestas en la estación de cuota de la Caseta Cuyutlán	71
Figura 54. Porcentaje de encuestas en la estación de vía libre	71
Figura 55. Principales pares entre los municipios O-D, Caseta Cuyutlán.....	72
Figura 56. Principales pares entre los municipios O-D, Vía libre.....	72
Figura 57. Motivo de viaje – Autos Est 01 Caseta Cuyutlán.....	73
Figura 58. Motivo de viaje – Autos Est 02 Vía Libre.....	73



Figura 59. Ingresos – Autos Estación 01 Caseta Cuyutlán	74
Figura 60. Ingresos – Autos Estación 02 Vía Libre	74
Figura 61. Frecuencia de viaje –Autos Estación 01 Caseta Cuyutlán	75
Figura 62. Frecuencia de viaje –Autos Estación 02 Vía Libre	75
Figura 63. Número de ejes de Camiones Estación 01 Caseta Cuyutlán	76
Figura 64. Número de ejes de Camiones Estación 02 Vía Libre	76
Figura 65. Financiamiento de la cuota en los Camiones Estación 01 Caseta Cuyutlán	77
Figura 66. Financiamiento de la cuota en los Camiones Estación 02 Vía Libre	77
Figura 67. Tipo de caja, Estación 01 Camiones.....	78
Figura 68. Tipo de caja, Estación 02 Camiones.....	78
Figura 69. Tipo de carga, Estación 01	79
Figura 70. Tipo de carga, Estación 02	79
Figura 71 Metodología para la Expansión de la muestra.	84
Figura 72 Imagen de Datos Viales 2017 en la zona en TPDA	85
Figura 73. Isócronas del puerto de Manzanillo a 30 y 60 min, respectivamente.....	86
Figura 74. Líneas de deseo Autos Autopista Armería-Manzanillo	87
Figura 75. Líneas de deseo Autos Vía Libre	87
Figura 76. Líneas de deseo Camiones Unitarios (CU), Autopista Armería-Manzanillo.....	88
Figura 77. Líneas de deseo Camiones Unitarios (CU), Autos Vía Libre	88
Figura 78. Líneas de deseo Camiones Articulados I (CAI), Autopista Armería-Manzanillo	89
Figura 79. Líneas de deseo Camiones Articulados I (CAI) Vía Libre.....	89
Figura 80. Líneas de deseo Camiones Articulados II (CAII), Autopista Armería-Manzanillo	90
Figura 81. Líneas de deseo Camiones Articulados II (CAII), Vía Libre.....	90
Figura 82. Estructura del modelo de transporte	92
Figura 83. Estructura del modelo de transporte	96
Figura 84. Modelo de las 4 etapas.....	99
Figura 85. Estructura para una encuesta de Preferencia Revelada (PR).....	101
Figura 86. Creación de Macro zonas, tomando como base la capa de municipios de INEGI... ..	106
Figura 87 Zonificación nacional y regional de la Autopista Armería-Manzanillo	107
Figura 88. Centroides y conectores	108
Figura 89 Zonificación regional.....	111
Figura 90 Funciones volumen demora por tipo de vía	116



Figura 91. Resultado de Calibración en la red todas las categorías.....	122
Figura 92. Posibles viajes al Aeropuerto de Manzanillo	123
Figura 93. Viajes Directos en modo avión al Aeropuerto Manzanillo.....	124
Figura 94. Crecimiento de la vía Colima-Tecomán	125
Figura 95. TPDA y tasa de crecimiento anual en el periodo 1994-2017.....	128



TABLAS

Tabla 1 Movimiento de carga en los Puertos del Océano Pacífico (Toneladas)	21
Tabla 2 Movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo año 2017 (toneladas)	22
Tabla 3 Principales tipos de mercancías manejadas en el Puerto de Manzanillo	22
Tabla 4 Movimiento por tipo de carga en el Puerto de Manzanillo año 2017 (toneladas)	23
Tabla 5 Movimiento de contenedores en el Puerto de Manzanillo año 2017 (TEU).....	23
Tabla 6 Movimiento histórico de carga en el Puerto de Manzanillo (Toneladas)	25
Tabla 7. Cuadro resumen impactos	34
Tabla 8. Tarifas del corredor Guadalajara-Manzanillo	46
Tabla 9. Ventaja Competitiva Auto	47
Tabla 10 Tarifas por tipo de vehículo periodo 2015 – 2018.....	53
Tabla 11. Costo por kilómetro por tipo de vehículo periodo 2015 –2018	53
Tabla 12 Comportamiento tarifario	53
Tabla 13 . Aforo histórico en la Autopista Armería – Manzanillo (vía de cuota)	55
Tabla 14 . Aforo histórico en la vía libre	56
Tabla 15. Corredor Armería – Manzanillo (Cuota + Libre).....	57
Tabla 16 Clasificación de los vehículos.....	60
Tabla 17 Aforo por sentido, Estación 01 y Estación 02	61
Tabla 18 Tráfico Promedio Diario – Caseta Cuyutlán.....	61
Tabla 19 Total de encuestas OD/PR realizadas	66
Tabla 20 Encuestas autos, ES y FS.....	70
Tabla 21 Valores Subjetivos del Tiempo por segmento de usuario, Aut Armeria-Manzanillo ...	104
Tabla 22 Resumen de zonas	106
Tabla 23. Estratificación de la demanda utilizada.....	112
Tabla 24. Vehículos equivalentes en el modelo de transporte.....	114
Tabla 25. Capacidad en los enlaces y velocidad de flujo libre.....	114
Tabla 26. Estadísticos GEH por tramos (observado – modelo).....	121
Tabla 27. Resultados de GEH.....	121
Tabla 28 TPDA observado y tasas de crecimiento anuales en la Autopista Armería - Manzanillo	127
Tabla 29 TPDA por tipo de vehículo, año base 2018, Autopista Armería-Manzanillo	128



RESUMEN

El crecimiento de las ciudades y las necesidades de movilidad, requiere de la construcción de más caminos, así como mejorar las características físicas y operativas de los caminos existentes, para ofrecer una mayor capacidad, incrementando con esto las condiciones de servicio en los usuarios

La experiencia mexicana en la elaboración de modelos de transporte, ha conformado e implementando metodologías y técnicas en el campo de la planeación de transporte. Sin embargo, existen diversas metodologías para la realización de estudios de oferta y demanda de transporte. Por lo anterior en la presente tesis se muestra una metodología que permite estimar de una manera confiable y amigable el tránsito que se presenta en proyectos relacionados con el área de infraestructura carretera, tomando como ejemplo y referencia la Autopista Manzanillo-Armería, ubicada en el estado de Colima.

En esta tesis se recopila información documental y se describen técnicas, que servirán como insumo en la construcción de un modelo de transporte para el cálculo de aforo del año base, en una vía de cuota

Palabras claves: Tránsito, aforo, TPDA, modelo de transporte, Encuesta OD y PR.

ABSTRACT

The growth of cities and mobility needs, requires the construction of more roads, as well as improving the physical and operational characteristics of the affected roads, to provide greater capacity, increase with these conditions of service in users

The Mexican experience in the development of transport models, has shaped and implemented methodologies and techniques in the field of transportation planning. However, there are several methodologies for carrying out studies of supply and demand for transport. Therefore, this thesis shows a methodology that allows to estimate in a reliable and friendly way the traffic that is presented in projects related to the area of road infrastructure, taking as an example and reference the Manzanillo-Armería Highway, located in the state of Colima.

In this thesis, documentary information is collected and techniques are described, which serve as input in the construction of a transport model for the calculation of capacity of the base year, in a quota way

Keywords: Traffic, capacity, TPDA, transport model, OD and PR survey.



PROLOGO

Para la realización de la presente tesis el principal obstáculo con el que me encontré, fue la obtención de la información; ya que para la realización de un estudio de transporte el principal insumo a tomar en cuenta es la calidad y cantidad de información y en la mayoría de estos se cuenta con una limitación en esta, la cual siempre va de la mano de los recursos; ya que estos en la mayoría de los casos no son abundantes.

Uno de los principales puntos a tomar en cuenta cuando se desarrolla un proyecto de esta índole, es conocer previamente el objetivo general del proyecto de infraestructura carretera, es decir, además de conocer las características físicas y operativas del proyecto, se tiene que conocer cuál es el mercado que se busca atender o beneficiar, y cuál es el impacto regional esperado a través de la construcción y operación del proyecto. Nunca se debe de perder de vista este punto ya que al trabajar con muchos datos, es común perderse y tomar otro camino que nos aleje del principal objetivo.

Así mismo, se resalta que existen diversas metodologías que están siendo utilizadas en este tipo de proyectos como son los modelos basados en actividades, modelos basados en usos de suelo, microsimulación, etc. Sin embargo, la aplicación de estas metodologías no resulta factible cuando se trata de una vía de cuota regional y/o suburbana.

Para la realización del modelo de transporte se utilizó el programa Visum como software de modelación, así como QGIS como software para trabajar con los archivos geográficos. Entre las principales ventajas de utilizar QGIS como software de información geográfica se tienen los siguientes:

- Sistema de Información Geográfica aplicado al Transporte.
- Interface al usuario amigable e intuitiva.
- Software libre.
- Curva de aprendizaje rápida.
- Incorpora los avances necesarios en planeación de transporte.
- Existen diversos módulos con actualizaciones constantes.
- No tiene restricciones de zonas de tránsito, nodos, enlaces, etc.
- Permite el análisis espacial.

Mientras que las ventajas de utilizar el programa de Visum como software para modelación son las siguientes:

- Mayor facilidad y flexibilidad para programar secuencias de asignaciones.
- Varios métodos de asignación disponibles para transporte privado y público.
- Flexibilidad completa para asignar funciones volumen - demora.
- Facilidad de automatización para generación de resultados.



- Interfaz de usuario intuitiva
- Resultados descriptivos
- Capacitación disponible.
- Programa un poco más amigable, respecto a otros software.

Por lo anterior a continuación se presenta un resumen de lo que contendrá cada uno de los capítulos que conforma el presente documento.

- El capítulo 1 contiene una introducción general donde se tratan los antecedentes de las autopistas en la República Mexicana, así como los objetivos que se plantean para la presente tesis.
- El capítulo 2 describe lo que conforma el caso de estudio; la Aut. Armería-Manzanillo.
- El capítulo 3 plantea y describe de manera general la metodología a emplearse para el desarrollo del modelo de transporte.
- El capítulo 4 recoge información documental en la cual se describe el entorno de la zona de estudio, así como todos los proyectos futuros que se pretenden implementar en la región y que tendrán impacto en la construcción del modelo de transporte.
- El capítulo 5 y 6 presenta las características principales de la oferta y la demanda en la zona de estudio, estos capítulos son los insumos principales para la construcción del modelo de transporte.
- El capítulo 7 contiene las bases para conformar y construir un modelo de transporte. Además se incluyen los criterios de validación a tomar en cuenta para poder dar por valido el modelo de transporte construido.
- El capítulo 8 muestra los resultados del año base 2018 obtenidos, mediante el uso de modelo de transporte
- Finalmente en el capítulo 9 se resumen las conclusiones del presente trabajo.



1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas nacionales de producción y distribución de bienes y servicios dependen en alto grado de la existencia de una infraestructura carretera adecuada. Por ello, se reconoce su gran valor económico y social; representando un tema de interés permanente de los gobiernos.

En la mayoría de los casos los recursos requeridos para modernizar la red carretera son cuantiosos; sin embargo, los recursos públicos son limitados. Debido a lo anterior se promueve la participación de capital privado para desarrollar los proyectos carreteros. Así se puede destinar un menor presupuesto público a la infraestructura carretera, y se liberan recursos para atender otras necesidades económicas y sociales.

Como en cualquier mercado, las financieras requieren que su inversión genere las rentas esperadas; por lo tanto existen diversos estudios para generar confianza y certidumbre; uno de ellos son los **estudios de aforos vehiculares o estudios de factibilidad**.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta es que las técnicas empleadas en estos estudios deben haber probado su eficacia; los estudios deben ser realizados con mucha claridad y estar documentados apropiadamente, para que de manera muy sencilla sean evaluados y auditados por compañías especializadas; siendo una práctica común que estos sean evaluados por los analistas de riesgos de inversión.

Por lo anterior existen estudios de factibilidad, que tienen la finalidad de ser un insumo en la evaluación económica y financiera de cada proyecto, con los cuales se obtienen los indicadores de rentabilidad que permiten justificar la construcción o rentabilidad de algún proyecto nuevo o activo existente, para de esta manera programar los recursos necesarios y especificar las fuentes de financiamiento necesarias. Por esta razón, es importante determinar la demanda potencial y la composición vehicular con el mejor nivel de exactitud.

Para llevar a cabo estos estudios se requiere de un grupo de técnicas matemáticas y de recolección de datos. Cada una de estas técnicas es aplicada en distintas fases del estudio, para ser insumos en fases posteriores del mismo estudio.

Para esta tesis se describe una metodología la cual puede emplearse para la realización de dichos estudios y se aplica en un caso real de una autopista concesionada a un particular como lo es la Autopista Armería-Manzanillo.

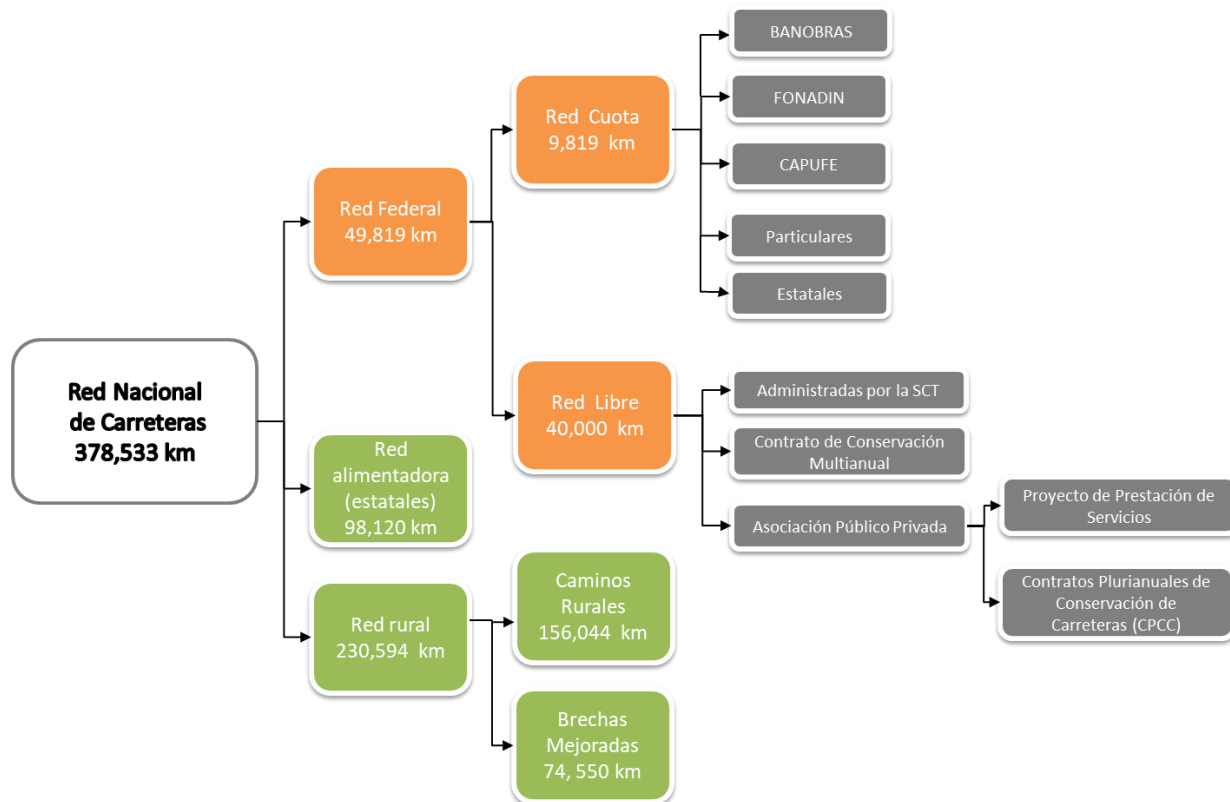
El presente análisis parte del entendimiento del proyecto en su integralidad y profundiza su conocimiento mediante la revisión de trabajos de campo realizados en el año 2015, por la empresa consultora privada Grupo Cal y Mayor; teniendo esta base se actualizó y recopiló información estadística actual, relacionada con el entorno y la vía misma. La comparación del tráfico pronosticado en el pasado con el comportamiento observado del mismo, es punto esencial de partida para el entendimiento de los mercados asociados al proyecto.



Antecedentes

La red carretera nacional está conformada por 378 mil kilómetros de caminos de todos tipos. De los cuales el 60% corresponde a la red rural, el 25% a la red alimentadora, el 15% a la red federal.

Figura 1. Principales corredores de transporte



Nota: Red carretera en operación hasta agosto del 2017

Fuente. Red Nacional de Caminos, IMT, 2017

La red nacional se estructuró y consolidó con 14 ejes troncales que comunican a las principales ciudades, puertos, fronteras y centros turísticos; los cuales conforman 19,400 km, con un 82% de la red modernizada:

- 8 (ocho) ejes longitudinales
- 6 (seis) ejes transversales



Figura 2. Principales corredores de transporte



Fuente. SCT. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.

La tendencia sobre las carreteras concesionadas es que éstas puedan ser colocadas en el mercado de valores, convirtiéndose en oportunidades de inversión. Es por esto que el estudio de aforos e ingresos tiene gran importancia y relevancia. Las carreteras son el primer eslabón de una cadena de servicios públicos y son indispensables para el desarrollo económico y la integración social.

El presente análisis parte del entendimiento del proyecto en su integralidad y profundiza su conocimiento mediante la realización de levantamiento de información en campo y recopilación de información estadística. Para este análisis se involucran técnicas y herramientas actualizadas que permitan realizar la modelación de flujos vehiculares.

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta tesis es describir una metodología que estime de manera confiable el tránsito en los proyectos de infraestructura carretera, mediante la consideración de todos los elementos de análisis involucrados; tomando como referencia la Autopista Manzanillo-Armería estimando el aforo vehicular para el año base 2018.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar las características físicas y operativas de la red vial de influencia mediante inspección directa en campo.
- Recopilar y analizar los volúmenes vehiculares en la red de influencia del proyecto.
- Caracterizar el patrón de comportamiento de usuarios en la región, tomando como consideración los principales polos generadores y a tractores de viaje, partir de los resultados de la encuestas de Origen – Destino.
- Estimar un valor subjetivo del tiempo de los usuarios potenciales del proyecto, a partir de las encuestas de preferencias declaradas.
- Construir un modelo de transporte, que represente las características de la oferta y la demanda observada en la zona.
- Estimar la demanda (captación) del proyecto para el año base 2018, tomando el análisis de los impactos del tráfico del proyecto, particularmente como son la ampliación de la Terminal de contenedores del Puerto de Manzanillo – TEC II, la ampliación a seis carriles de la Autopista Colima-Guadalajara.

Por lo tanto el propósito en general al desarrollar el presente documento es ayudar a futuras generaciones a tener un primer acercamiento con un proyecto real y de esta manera proporcionarles las bases suficientes para poder desarrollar nuevos estudios, con niveles de confianza aceptables, tomando como base parámetros internacionales que están presentes en México y que sirven para validar el modelo planteado logrando que represente lo observado en la vida diaria.



2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Autopista Armería-Manzanillo, localizada en el Estado de Colima, forma parte de un importante corredor carretero que permite la comunicación entre el centro y la región occidental del país, dando continuidad al Eje Manzanillo-Tampico, catalogado como uno de los principales corredores del país. Este gran corredor comunica al Océano Pacífico con el Océano Atlántico.

Dicha autopista tiene una longitud aproximada de 47 km, teniendo un trazo que inicia en el kilómetro 44+120 y termina en el entronque El Mirador km 91+100, en la Ciudad de Manzanillo, en el Estado de Colima. Cuenta con dos carriles por sentido, con anchos de 3.3 m a 3.5 m, también cada sección cuenta con acotamientos con anchos aproximados que van desde los 1.5 m. a 3.0 m.

Cuenta con 6 (seis) puentes vehiculares los cuales son:

- Puente Armería I.
- Puente Armería II.
- Puente Salinero I.
- Puente Salinero II.
- Puente Tepalcates.
- Puente Las Adjuntas.

La autopista fue planeada desde un principio como parte integral del corredor carretero que une la capital del Estado de Jalisco, Guadalajara con los municipios de Colima – Manzanillo, siendo un vínculo estratégico para el desarrollo del país ya que comunica la región del Pacífico con el centro de la Republica.

Esta vialidad comunica también el Puerto de Manzanillo con los centros productivos más importantes del país: la Ciudad de Guadalajara en el Estado de Jalisco, Toluca en el Estado de México y la Ciudad de México. El puerto juega un rol muy importante en los tráficos de carga de importación y exportación provenientes o dirigidos hacia Estados Unidos y algunos países de Asia.

El Puerto de Manzanillo es el segundo más importante del Pacífico ya que participa con el 37% a nivel nacional del movimiento de carga de altura (importación y exportación).

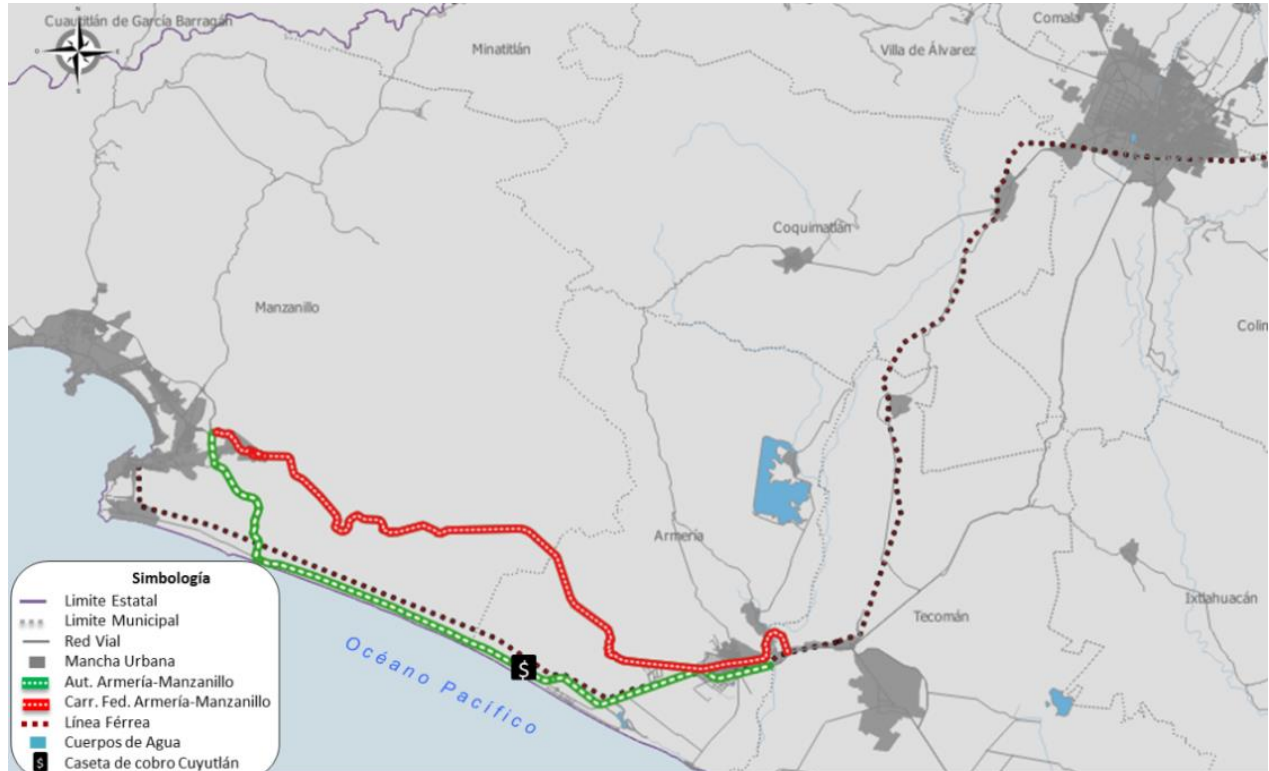
La superficie de rodamiento de la autopista está constituida por una carpeta asfáltica la cual se encuentra en buenas condiciones. El señalamiento también se observa en las mismas condiciones. Los elementos separadores de sentido de circulación cambian a lo largo de la autopista entre pintura, deflectores y cunetas. El tipo de terreno en el cual se encuentra localizada la autopista varía entre plano y lomerío suave.



Dentro del contexto más local, la autopista une a Manzanillo con la ciudad de Armería y contribuye de forma importante al desarrollo económico de la región, siendo una vía de vital importancia en la logística del movimiento de carga del puerto industrial de Manzanillo.

Cuenta con una única vía de competencia la Carr. Mex-200 Entronque de Playa Azul – Manzanillo; brindando un ahorro de aproximadamente 20 min entre estas dos vías.

Figura 3. Ubicación de la Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia.

2.1 ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL PRESENTE TRABAJO

Puerto de Manzanillo

- El puerto de Manzanillo, y en particular la Terminal de Contenedores, se encuentran desarrollando la ampliación de su infraestructura en las áreas de reserva disponibles durante los próximos 6 (seis) años, con la finalidad de aumentar su capacidad en manejo de carga.

- La autopista seguirá siendo una vía de comunicación indispensable para el movimiento de carga de altura, esta cuenta con la capacidad suficiente para captar el tráfico generado por el crecimiento del puerto, ofreciendo mejores tiempos de recorrido que la vía alterna así como mejores condiciones de seguridad.
- Adicionalmente, la ampliación a 3 (tres) carriles por sentido de la Autopista Colima-Guadalajara incrementó la capacidad del corredor carretero, al complementar y generar nuevas sinergias con la Autopista Armería-Manzanillo.

Túnel Ferroviario

- El proyecto del Túnel Ferroviario incrementará la competitividad del puerto, principalmente a la carga que tiene clara vocación ferroviaria.
- En los contenedores no se identifica un mayor cambio en la distribución modal del Puerto de Manzanillo; lo cual representa que para el tipo de carga que se mueve en contenedores los camiones en esta fecha no son muy competitivos tanto por su versatilidad, frecuencia y velocidad.
- Se espera que principalmente la mayor accesibilidad al ferrocarril, permita aprovechar mejor la capacidad disponible en el puerto de carga con mayor vocación ferroviaria como el granel agrícola, así como la carga suelta.

Puerto Lázaro Cárdenas

- El Puerto de Lázaro Cárdenas compite con el Puerto de Manzanillo. Este puerto que inició operación recientemente tiene servicios similares a los del Puerto de Manzanillo, y ha captado, por ahora una pequeña parte del mercado de contenedores de Manzanillo.
- Se estima que al consolidarse la ampliación del Puerto de Lázaro Cárdena, el Puerto de Manzanillo pierda la carga con destino principalmente a la CDMX, Estado de México y Querétaro, lo cual equivale a cerca del 10% del total de los volumen de carga que está manejando.
- El Puerto de Lázaro Cárdenas tiene una importante expansión. En principio no cuenta con limitaciones importantes de terreno para sus ampliaciones futuras. Tiene una buena conectividad férrea, mientras que la carretera que le brinda conectividad es de un carril por sentido. Lo anterior marca una distribución modal en los vehículos de carga al no superar el 45% de la carga que llega a este puerto.



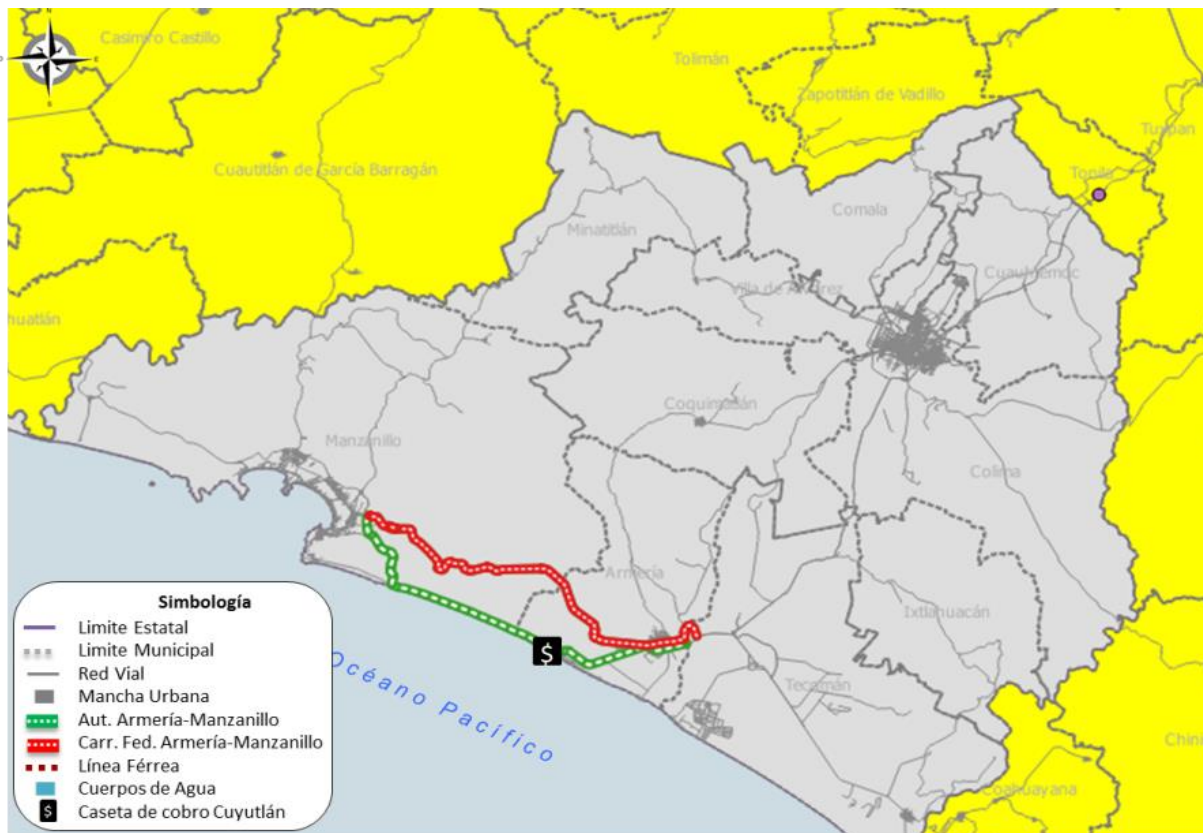
3 ENTORNO DE LA AUTOPISTA ARMERIA-MANZANILLO

La Autopista Armería – Manzanillo se encuentra en su totalidad localizada en el Estado de Colima. Esta sección presenta una breve descripción de las principales características socioeconómicas de la zona de influencia.

3.1.1 Localización y datos de la población del municipio de Colima

El municipio de Colima es uno de los 10 municipios que conforman el Estado del mismo nombre; comprende una superficie territorial de 750 km², lo que equivale al 12.5% de la superficie estatal. Los límites del municipio son: al norte, con el municipio de Cuauhtémoc; al sur, con Ixtlahuacán; al suroeste con Tecomán; al sureste con el Estado de Michoacán; al este con el Estado de Jalisco; al oeste con el municipio de Coquimatlán y al noroeste con el de Villa de Álvarez.

Figura 4 Localización del Estado de Colima

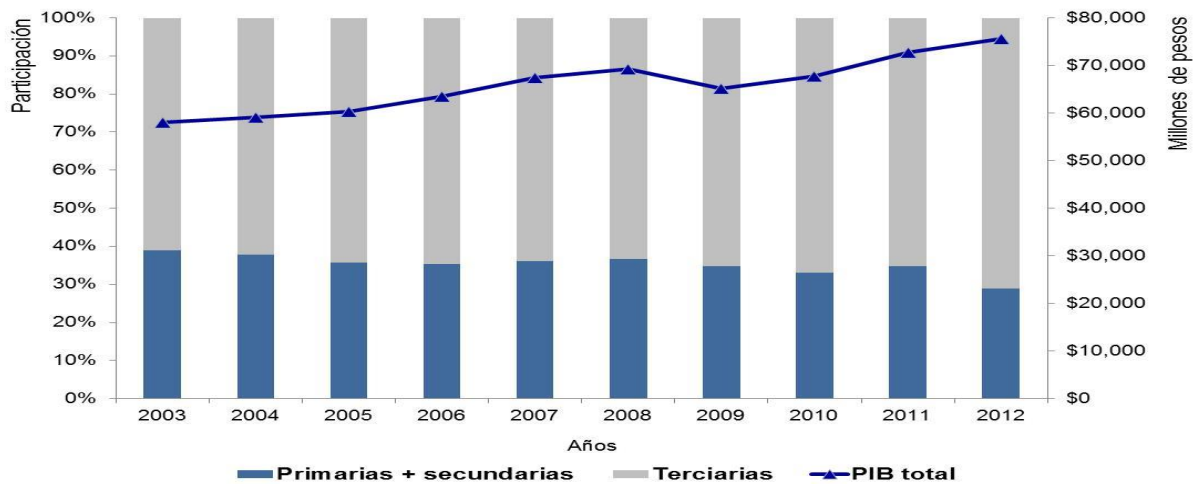


Fuente. Elaboración propia

La población en el municipio de Colima asciende a cerca de 147,000 habitantes, lo que representa el 0.6% de los habitantes nacionales, por su parte el municipio de Colima concentra el 22.6% de la población del Estado, convirtiéndolo, con respecto a la población, en el más importante. En el 2010, registró una densidad poblacional de 197 habitantes por kilómetro cuadrado.

La economía del Estado de Colima creció a un ritmo del 3% en el periodo 2003 - 2012, cuya actividad motora es el sector terciario, el cual registró una tasa de crecimiento del 4.7% en el mismo periodo. En este sentido, la vocación productiva del Estado de Colima se concentra en actividades terciarias, las cuales han venido ganando participación en la producción del Estado, al pasar del 61% al 71%.

Figura 5 Composición del Producto Interno Bruto del Estado de Colima



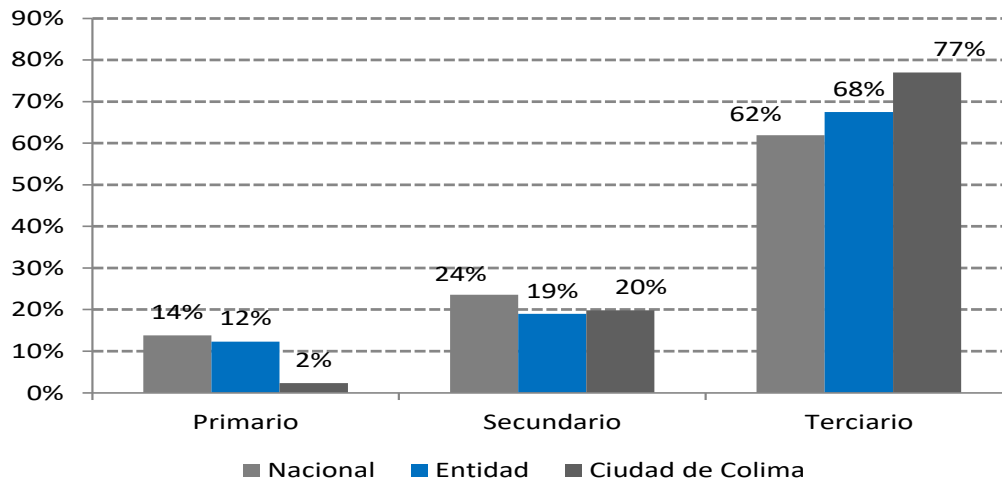
Fuente. Elaboración propia

Considerando la información el valor de la producción del 2012, se observó que a nivel estatal, las actividades vinculadas con la construcción, comercio, transportes y servicios inmobiliarios y de alquiler son las más relevantes para la economía del estado, y en conjunto, aportaron más del 56% del PIB.

La importancia del sector terciario, también se identifica para el municipio de Colima, misma que se puede observar a partir de la distribución de la población ocupada. Con base en la información disponible del INEGI (2012), se reconoció que el 77% de la población ocupada del municipio de Colima, se emplea en el sector terciario. Dicha participación lo coloca, por encima de la media del estado, así como de la media nacional.



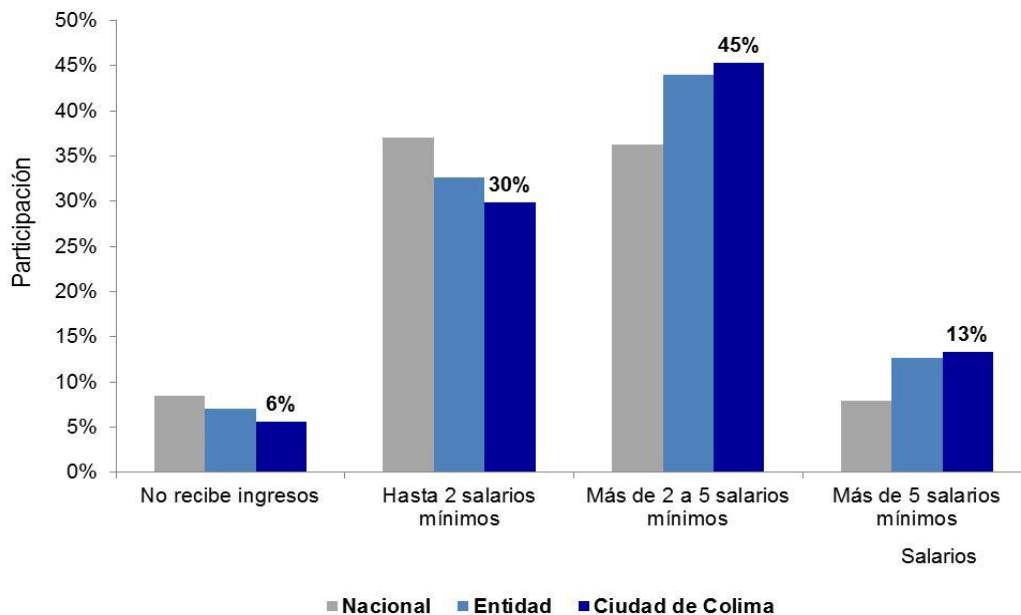
Figura 6 Personal ocupado por sector económico



Fuente. Elaboración propia

De la distribución del ingreso que percibe la población ocupada en el Estado y en el municipio de Colima, se identificó que el 45% de esta, percibe un ingreso mensual que ronda entre los 2 y 5 salarios mínimos, seguido del grupo (casi 30%), cuyo ingreso mensual es de hasta 2 salarios mínimos. Resalta el hecho que el nivel del ingreso de la población en el municipio de Colima es superior a la media del Estado, pero también con respecto al país en su conjunto.

Figura 7 Distribución del ingreso en el Estado y Ciudad de Colima, con información del INEGI.



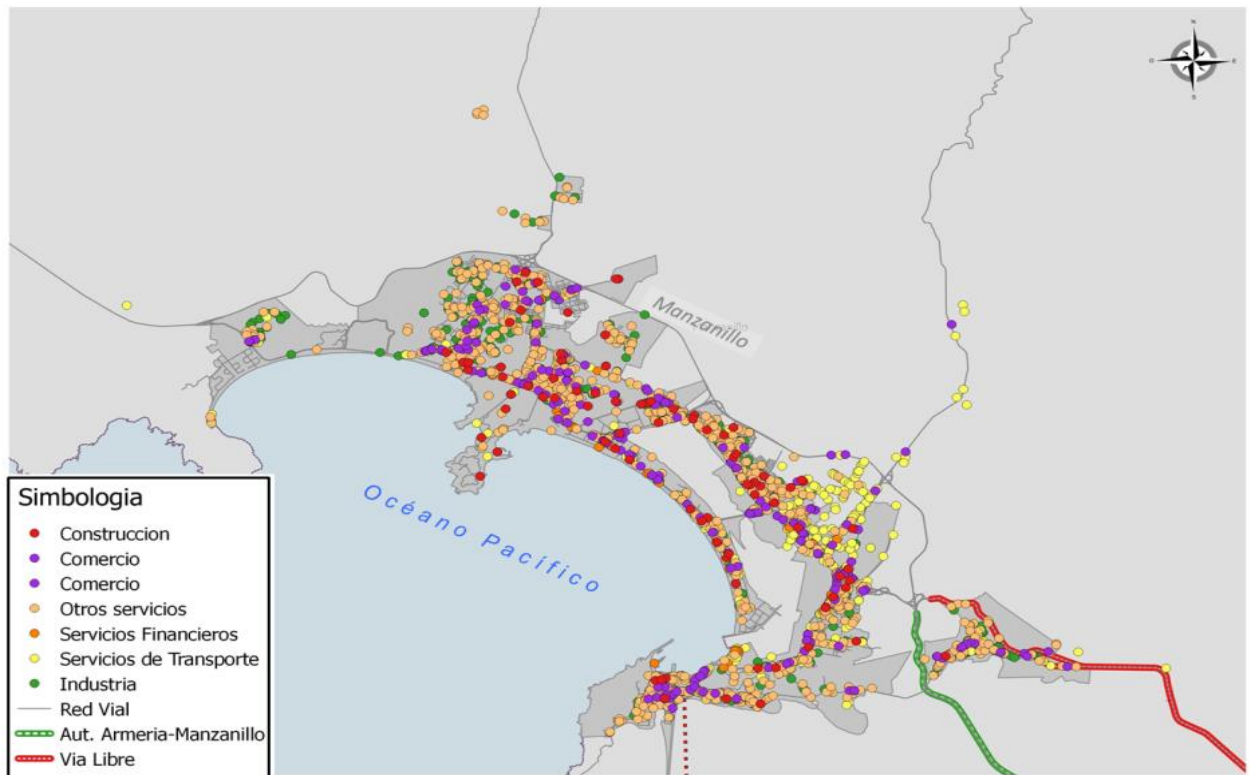
Fuente. Elaboración propia



3.1.2 Principales actividades económicas en el municipio de Manzanillo

En la siguiente imagen se muestran las principales actividades económicas en el municipio de Manzanillo, destaca que existe una zona en el lado oriente del municipio, donde predomina la actividad de servicio de transporte derivado de todas las actividades del puerto.

Figura 8. Principales actividades económicas en Manzanillo.



Fuente. Elaboración propia

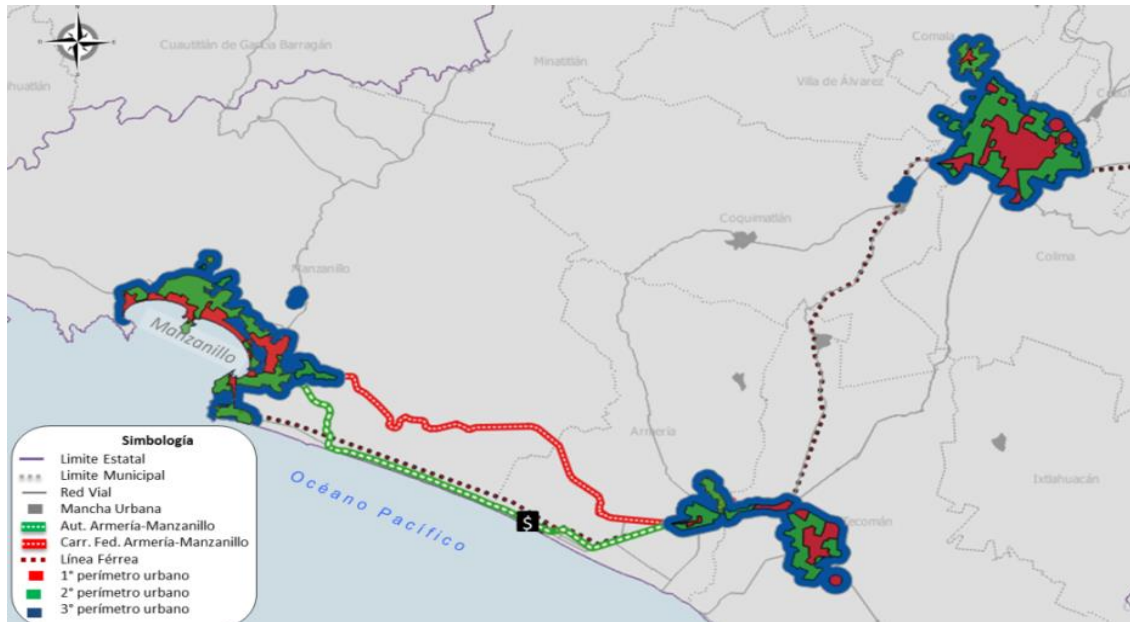
3.1.3 Perímetros de contención urbana en la zona de estudio.

El siguiente parámetro que se muestra es un indicador que nos permite ubicar dónde deben de construirse las viviendas o centros de distribución en la zona, para que de esta manera las personas vivan cerca de los servicios públicos; se utilizan como una medida para que no se construyan viviendas sin control y de forma desordenada; evitando con esto el colapso en los servicios.

Se aprecia que el límite en la Ciudad de Manzanillo abarca parte de la Autopista de estudio, esto es importante de mencionar debido a que podría provocar que en un futuro que existan hogares que puedan asentarse en estos puntos; lo anterior representa un aspecto a tomar en cuenta por el concesionario ya que es probable que con el paso del tiempo se tenga que brindar un mayor mantenimiento a la vía, debido al incremento de personas y vehículos en

estas regiones, lo que ocasionaría una disminución en los tiempos de ahorro que presenta la vía.

Figura 9. Perímetros de contención urbana

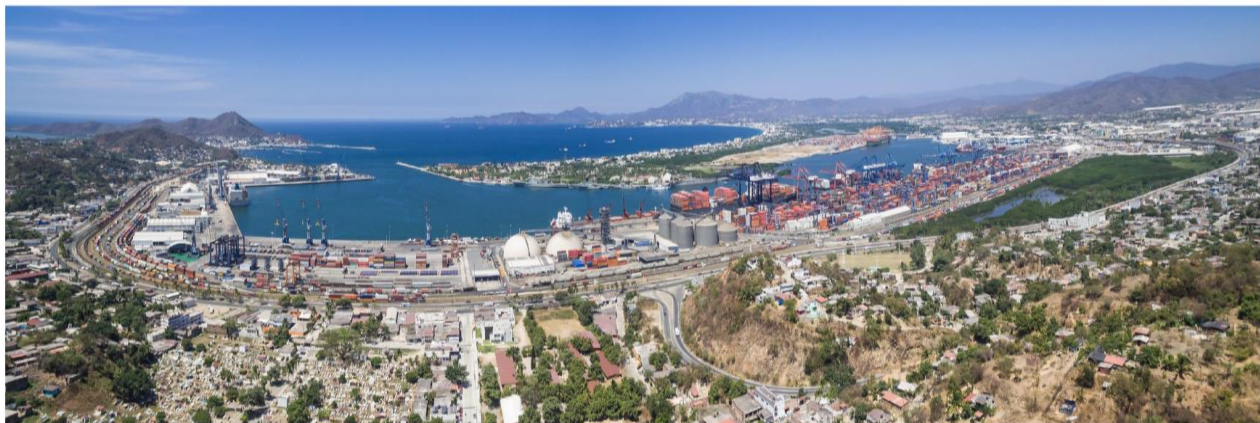


Fuente. Elaboración propia

3.2 PUERTO DE MANZANILLO

El Puerto de Manzanillo es, un importante generador/ atractor de viajes, cuya actividad incide directamente en la demanda de la autopista.

Figura 10. Puerto de Manzanillo



Fuente: <http://www.sela.org/media/2303846/2-modelo-de-operacion-logistica-puerto-de-manzanillo.pdf>

3.2.1 Ubicación

El Puerto de Manzanillo se encuentra en el Estado de Colima, en la República Mexicana, ubicado en la costa del Océano Pacífico, se ha posicionado como la principal entrada para el manejo de mercancías en el Comercio Internacional, de las Zonas Centro y Bajío del país, que representan a su vez más del 67% del PIB del país y donde radica el 55% de la población nacional.

Figura 11. Ubicación del Puerto de Manzanillo.



Fuente. Elaboración propia con información de la SCT

Su principal interacción está en los Estados de Aguascalientes, Coahuila, Colima, Ciudad de México, Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

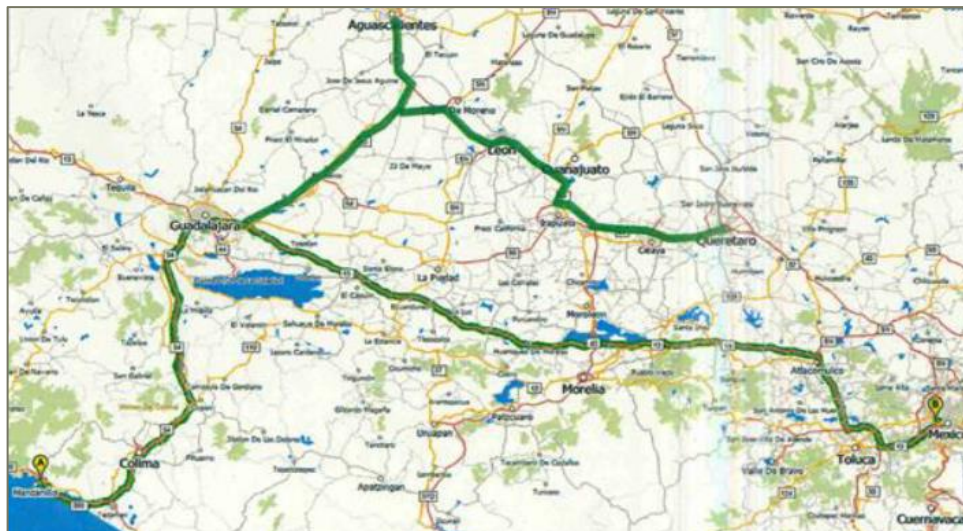
Figura 12. Zona de influencia nacional del Puerto de Manzanillo



Fuente. <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020202/ubicacion-y-zona-de-influencia>

Su principal conexión con vías carreteras se muestra en las figuras siguientes, donde se aprecia las vías de altas especificaciones (ET y A) por donde pueden circular vehículos de carga de 7 (siete) o más ejes.

Figura 13 Enlaces carreteros tipo ET y A del puerto con sus mercados relevantes del Valle de México y Bajío - Occidente

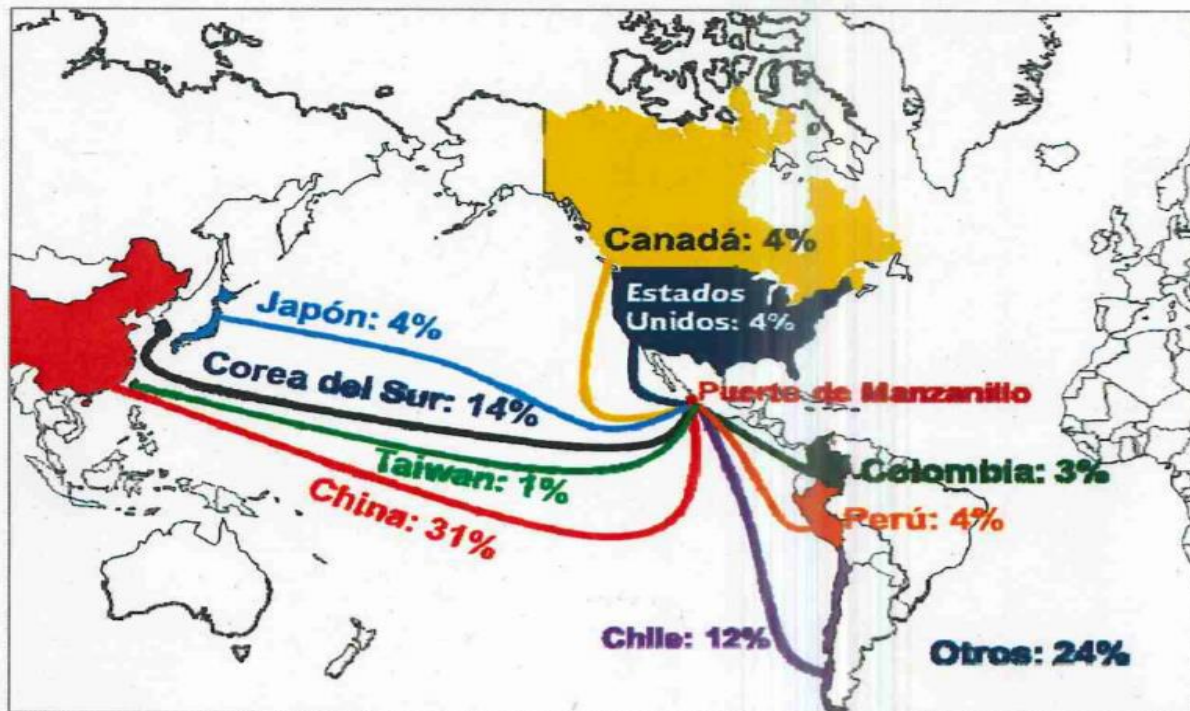


Fuente. http://www.puertomanzanillo.com.mx/datos_abiertos/2_PMDP_Manzanillo_2015-2020.pdf

Figura 14 Enlaces carreteros tipo ET y A del puerto con su mercado relevante del noreste



Figura 15 Foreland del Puerto de Manzanillo, año 2014



Fuente. http://www.puertomanzanillo.com.mx/datos_abiertos/2_PMDP_Manzanillo_2015-2020.pdf

3.2.2 Movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo

El Puerto de Manzanillo se ha convertido en uno de los principales puertos HUB del Pacífico, formando parte de los corredores logísticos globales, gracias a las operaciones de carga a nivel nacional e internacional que genera un impacto positivo en el comercio a nivel mundial.

Figura 16 Modelo de operación y logística del Puerto de Manzanillo

Características del Puerto de Manzanillo

- 232.9 h. tierra, 204.4 h. agua
- 34.92 km de vialidades internas
- 30.23 km de vías férreas
- 16 m de profundidad

- Puerto**
- Capacidad estática
54,683 TEU's
 - Capacidad dinámica
2,900,635 TEU's
 - Posiciones de atraque
16 Comerciales
3 Hidrocarburos
2 Cruceros



Fuente: <http://www.sela.org/media/2303846/2-modelo-de-operacion-logistica-puerto-de-manzanillo.pdf>

Actualmente el Puerto de Manzanillo ha invertido en infraestructura especializada para las operaciones portuarias que se mencionan:

- Mejora de despacho de mercancía.
- Revisión de mercancía sin romper la cadena de frío, (primer puerto en su tipo).
- Ampliación de la terminal especializada de contenedores II en Manzanillo, que es una de las puertas de acceso fundamental a México proveniente de Asia, ampliando la capacidad de carga contenerizada con mejores instalaciones y tecnología (grúas de pórtico Súper Post Panamax).
- Adquisición de *rotainers*, para el manejo y transporte de carga mineral.

En el año 2007 el Sistema Portuario Nacional manejó 307 millones 641 mil 698 toneladas de carga, siendo 3.5% superior en comparación con el mismo periodo de 2016¹.

Para los puertos del Pacífico se presentó una dinámica contraria al total nacional, en 2017 la movilización de carga fue de 128,011,358 toneladas en las terminales de esta región lo que significó una caída anual de 1.1%, de acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y

¹ http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2017/Mensuales/12_diciembre_2017.pdf

Transportes. El resto de la carga 179,630,340 toneladas se movilizó en la zona del Golfo-Caribe, volumen que mostró un crecimiento anual de 7.1 por ciento.

Tabla 1 Movimiento de carga en los Puertos del Océano Pacífico (Toneladas)

Puertos de Pacífico	2016	2017	% participación 2017	% Acumulado	Variación 2016 - 2017
Manzanillo, Col	28,903,260	31,293,599	24.40%	24.40%	8.30%
Lázaro Cárdenas, Mich.	27,086,385	29,790,337	23.30%	47.70%	10.00%
Isla de Cedros, B.C.	14,138,659	13,817,763	10.80%	58.50%	-2.30%
Guaymas, Son	6,771,819	7,861,663	6.10%	64.70%	16.10%
Salina Cruz, Oax.	14,387,954	7,856,308	6.10%	70.80%	-45.40%
Topolobampo, Sin	6,762,746	7,050,705	5.50%	76.30%	4.30%
Guerrero Negro, B.C.S.	7,148,156	6,967,175	5.40%	81.70%	-2.50%
Mazatlán, Sin	4,487,688	4,731,333	3.70%	85.40%	5.40%
Cuyutlán, Col	3,609,441	2,965,043	2.30%	87.80%	-17.90%
Rosarito, B.C.	2,847,095	2,734,541	2.10%	89.90%	-4.00%
Ensenada, B.C.	2,870,851	2,570,690	2.00%	91.90%	-10.50%
La Paz, B.C.S.	2,280,897	2,374,250	1.90%	93.80%	4.10%
Pichilingue, B.C.S.	2,286,590	2,328,229	1.80%	95.60%	1.80%
Isla San Marcos, B.C.S.	1,809,525	2,159,535	1.70%	97.30%	19.30%
San Juan de la Costa, B.C.S.	1,733,238	1,123,629	0.90%	98.10%	-35.20%
Punta Santa María, B.C.S.	1,059,049	964,708	0.80%	98.90%	-8.90%
Acapulco, Gro	681,803	695,492	0.50%	99.40%	2.00%
Puerto Chiapas, Chis	273,295	438,720	0.30%	99.80%	60.50%
San Carlos, B.C.S	172,227	163,014	0.10%	99.90%	-5.30%
El Sauzal, B.C.	75,199	99,521	0.10%	100.00%	32.30%
Santa Rosalía, B.C.S.	22,053	25,103	0.00%	100.00%	13.80%
Total	129,407,930	128,011,358	100%		-1.10%

Fuente: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2017/Mensuales/12_diciembre_2017.pdf. p Preliminar

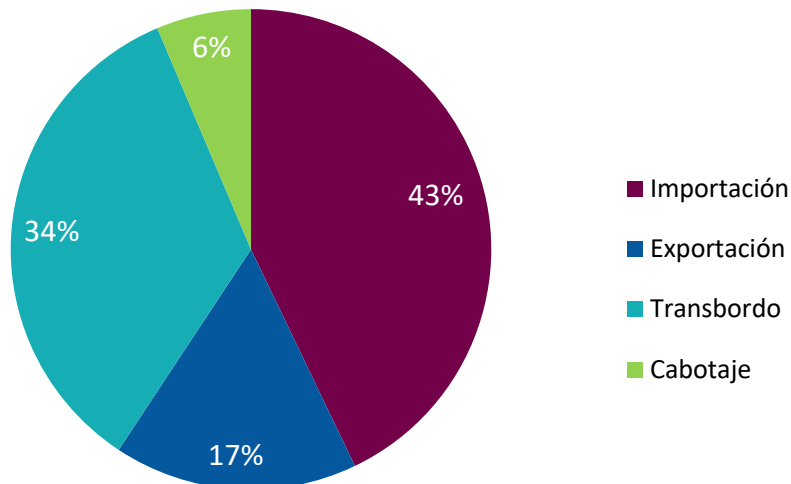
Como se aprecia en la tabla anterior, para el puerto de Manzanillo se obtuvo un crecimiento de 8.3% con respecto al año pasado.

En la tabla siguiente se muestra el movimiento de carga del año 2017 en toneladas, donde el principal concepto es la importación de mercancías con el 43% del total, le siguen en importancia los movimientos de transbordo con el 34%, cabe mencionar que este volumen de carga se queda en el puerto y no usa carreteras o vías ferroviarias regionales.



Tabla 2 Movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo año 2017 (toneladas)

Concepto	Carga (Ton)	%
Importación	11,998,104	43%
Exportación	4,589,735	16%
Transbordo	9,608,331	34%
Cabotaje	1,784,476	6%
Total	27,980,646	100%



Fuente. <http://www.puertomanzanillo.com.mx/upl/sec/1855676ad357c0c9a8434867d3057a726fbaad69.pdf>

Los principales productos desplazados en el Puerto de Manzanillo se clasifican en 4 (cuatro) grupos que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 3 Principales tipos de mercancías manejadas en el Puerto de Manzanillo

Tipo de carga	Principales productos
Carga General	Parafina, fertilizantes, triplay, productos de acero, rollos de papel, autopartes, refacciones, vehículos, ganado.
Granel Agrícola	Canola, trigo, semilla de nabo, avena, sorgo.
Granel Mineral	Cemento, fertilizante mineral, urea, concentrado de zinc, azufre, pellet de hierro, yeso, nitrato de potasio.
Contenerizada	Leche en polvo, perecederos, ropa y calzado, productos químicos, electrodomésticos, electrónicos, partes para automóviles, refacciones, tequila.

Fuente. <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/2110535/mercancias>

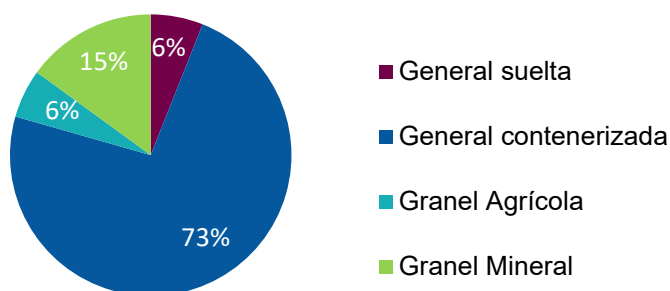
De estos grupos el mayor volumen corresponde a la carga contenerizada que representa el 73% del total que movilizó el puerto en el año 2017. El Puerto de Manzanillo representa para



México, la principal entrada de contenedores, con una participación del 68% en el litoral del Océano Pacífico y el 46% en todo el país².

Tabla 4 Movimiento por tipo de carga en el Puerto de Manzanillo año 2017 (toneladas)

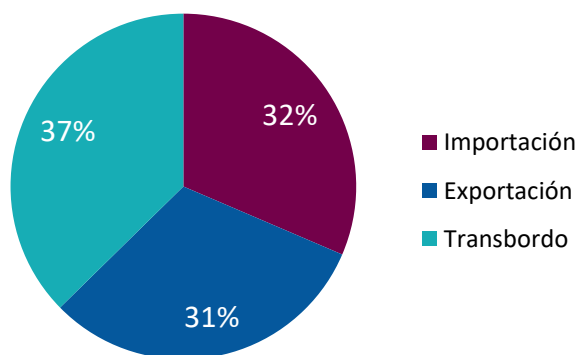
Concepto	Carga (Ton)	%
General suelta	1,680,802	6%
General contenerizada	20,540,936	73%
Granel Agrícola	1,563,009	6%
Granel Mineral	4,195,898	15%
Total	27,980,645	100%



Fuente. <http://www.puertomanzanillo.com.mx/upl/sec/1855676ad357c0c9a8434867d3057a726fbaad69.pdf>

Tabla 5 Movimiento de contenedores en el Puerto de Manzanillo año 2017 (TEU)

Tipo de carga	TEU	%
Importación	889,894	31%
Exportación	883,117	31%
Transbordo	1,057,359	37%
Total	2,830,370	100%



Fuente. <http://www.puertomanzanillo.com.mx/upl/sec/1855676ad357c0c9a8434867d3057a726fbaad69.pdf>

² <http://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020202/ubicacion-y-zona-de-influencia>



Como se aprecia el número de TEU³ de importación es muy similar al de exportación aunque en su mayoría estos últimos van vacíos.

Por otra parte, el movimiento de vehículos nuevos importados por el puerto alcanzó una cifra de 19,047 unidades en el año 2017, que en promedio mensual es de aproximadamente 1,587 unidades. Siendo la marca Honda el principal proveedor. Cabe mencionar que en octubre de 2015 la planta de Nissan de Aguascalientes cambio el Puerto de Manzanillo por el de Mazatlán para la importación de sus vehículos al no llegar a un acuerdo con las autoridades que administran el lugar. Actualmente el Puerto de Mazatlán movilizó 75,832 unidades en 2017 con un crecimiento de 39.9% con respecto al año anterior.

El Puerto de Manzanillo cuenta con revisión de mercancía sin romper la cadena de frío, primer puerto en su tipo, a través de la empresa Grupo Alianza Estratégica Portuaria de Manzanillo (GAEP), ésta construyó una segunda cámara frigorífica en el área de revisiones de la Aduana del Puerto de Manzanillo, con lo cual reduce hasta tres días la permanencia de las cargas refrigeradas a las que les toque revisión. Con ello evita que se rompa la cadena de frío de las mercancías y aumenta la capacidad dinámica y cambio modal del puerto.

Este tipo de operaciones, aunado al crecimiento en la importación de otros productos, permitió que GAEP creciera sus volúmenes de perecederos un 30% en 2017, lo cual significa el manejo de más de tres mil 500 contenedores refrigerados en el año.

3.2.3 Volumen histórico Puerto de Manzanillo

El volumen de carga histórico se presenta en dos tablas, una en toneladas por tipo de mercancía y otro en contenedores medios en TEU (Unidad Equivalente de veinte pies), para este último su volumen se puede asociar con el aforo carretero observado en las carreteras.

Volumen histórico por tipo de mercancía (toneladas)

El movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo se muestra en la tabla siguiente de acuerdo al tipo de mercancía movilizada; se observa también la tasa de crecimiento anual para cada tipo de carga.

³ Twenty-Foot Equivalent Unit, Unidad Equivalente a Veinte Pies (UEVP)



Tabla 6 Movimiento histórico de carga en el Puerto de Manzanillo (Toneladas)

Año	Movimiento de carga en toneladas				Tasa de crecimiento anual			
	Carga general	Carga contenedor	Granel + Agrícola	Total	Carga general	Carga contenedor	Granel + Agrícola	Total
1992	373,638	347,972	3,507,544	4,229,154				
1993	368,674	349,173	2,710,452	3,428,299	-1.3%	0.3%	-22.7%	-18.9%
1994	324,213	454,852	2,786,077	3,565,142	-12.1%	30.3%	2.8%	4.0%
1995	303,507	642,321	3,365,460	4,311,288	-6.4%	41.2%	20.8%	20.9%
1996	343,933	1,397,282	5,470,204	7,211,419	13.3%	117.5%	62.5%	67.3%
1997	328,361	2,169,921	4,787,966	7,286,248	-4.5%	55.3%	-12.5%	1.0%
1998	562,346	2,130,440	3,863,233	6,556,019	71.3%	-1.8%	-19.3%	-10.0%
1999	504,088	2,617,491	3,877,329	6,998,908	-10.4%	22.9%	0.4%	6.8%
2000	748,042	3,350,010	4,233,017	8,331,069	48.4%	28.0%	9.2%	19.0%
2001	857,198	3,473,929	3,990,035	8,321,162	14.6%	3.7%	-5.7%	-0.1%
2002	1,019,030	4,792,848	4,190,073	10,001,951	18.9%	38.0%	5.0%	20.2%
2003	940,146	5,175,647	4,654,417	10,770,210	-7.7%	8.0%	11.1%	7.7%
2004	1,124,705	6,210,327	5,034,835	12,369,867	19.6%	20.0%	8.2%	14.9%
2005	1,051,967	6,319,804	6,078,109	13,449,880	-6.5%	1.8%	20.7%	8.7%
2006	1,333,851	9,767,392	6,232,128	17,333,371	26.8%	54.6%	2.5%	28.9%
2007	1,269,662	10,820,986	5,859,549	17,950,197	-4.8%	10.8%	-6.0%	3.6%
2008	1,254,248	11,739,173	6,268,324	19,261,745	-1.2%	8.5%	7.0%	7.3%
2009	906,297	9,356,898	5,588,236	15,851,431	-27.7%	-20.3%	-10.8%	-17.7%
2010	1,500,704	12,017,085	5,627,021	19,144,810	65.6%	28.4%	0.7%	20.8%
2011	1,384,709	14,629,003	6,206,732	22,220,444	-7.7%	21.7%	10.3%	16.1%
2012	1,306,602	16,151,915	7,293,218	24,751,735	-5.6%	10.4%	17.5%	11.4%
2013	1,363,924	16,306,320	8,116,487	25,786,731	4.4%	1.0%	11.3%	4.2%
2014	1,600,546	18,000,742	6,194,968	25,796,256	17.3%	10.4%	-23.7%	0.0%
2015	1,577,777	18,631,109	5,439,376	25,648,262	-1.4%	3.5%	-12.2%	-0.6%
2016	1,382,309	18,831,078	5,925,151	26,138,538	-12.4%	1.1%	8.9%	1.9%
2017	1,680,802	20,540,936	5,758,907	27,980,645	21.6%	9.1%	-2.8%	7.0%

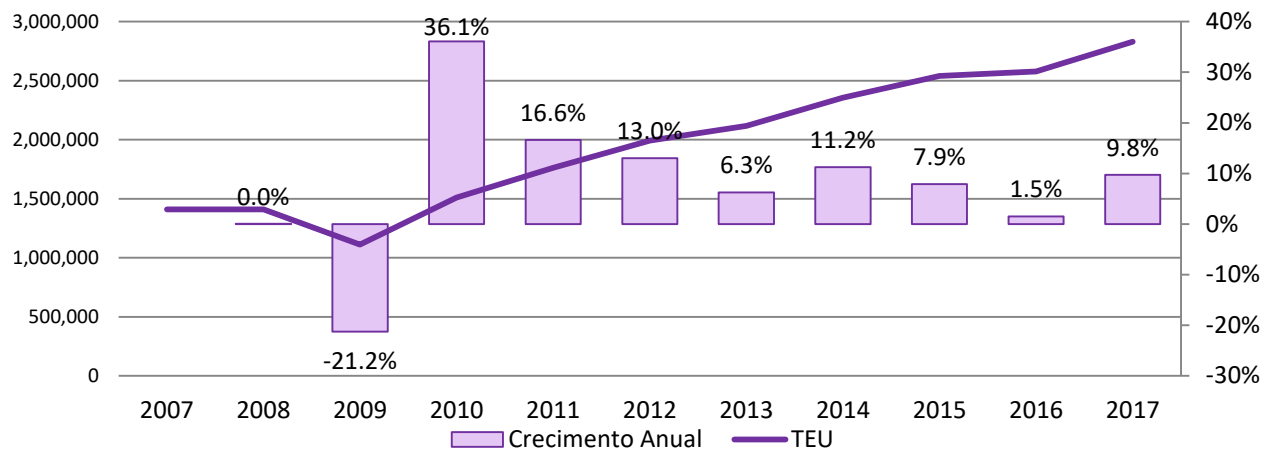
Fuente. Elaboración propia con datos de la API de Manzanillo

3.2.3.1 Histórico contenedores (TEU)

En la última década el crecimiento promedio anual observado del número de TEU en el puerto fue de 7.2%, con una caída significativa durante la crisis económica de los años 2008 y 2009, posterior a esta fecha se observan crecimientos constantes con algunas variaciones.



Figura 17. Movimiento de contenedores en los últimos 10 años (TEU)



Fuente. Elaboración propia con datos de la API de Manzanillo

El año 2017 presentó una recuperación con respecto al año anterior con una tasa de crecimiento del 9.8%, aunque cabe señalar que el número de transbordos también fue mayor al pasar de 31.2% a 37.4%, los contenedores en transbordo no salen del puerto, lo que puede significar una tasa de crecimiento menor en el aforo observado de la autopista.

3.3 PROYECTOS FUTUROS

En esta sección se muestra la información recopilada sobre proyectos identificados cercanos al Puerto de Manzanillo, así como, proyectos que podrían incidir, de alguna forma, en el aforo de la Autopista Armería – Manzanillo.

Puertos del litoral del Océano Pacífico

Los puertos del litoral del Océano Pacífico han experimentado crecimientos importantes en los últimos años, en gran medida por el mayor flujo industrial y comercial con Asia, principalmente con China, Corea, India, Japón, Singapur y Taiwán. De esta forma se han generados mayores inversiones y eficiencias en puertos del Pacífico para atender estos flujos.

1. **Ampliación y modernización del Puerto de Manzanillo:** La API tiene en proceso un “Estudio de mercado para el desarrollo de la ampliación del Puerto de Manzanillo Vaso II Puerto Laguna de Cuyutlán”⁴. El potencial de crecimiento de Manzanillo está en el puerto de Cuyutlán, que es un vaso de lagunas muy grande con capacidad de hasta 15 veces más grande que el actual Puerto de Manzanillo; actualmente cuenta con una

⁴ <http://t21.com.mx/maritimo/2017/06/16/manzanillo-estudia-ampliacion-hacia-laguna-cuyutlan>



terminal para recibir y almacenar gas natural. Esta posible ampliación dará continuidad al crecimiento de este puerto para hacer una terminal de quinta o sexta generación y se pueden hacer terminales para el movimiento de vehículos que sean complementarias⁵.

Se realizó una proyección en el incremento de carga del puerto, la cual arroja que **estaría moviendo casi 3.7 millones de contenedores de 20 pies (TEU) para el año 2024**. Así mismo, se realizó un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) sobre las capacidades del puerto para observar cómo se presenta el panorama general ante estos volúmenes. A continuación se numeran los principales resultados provenientes del análisis FODA.

- **Fortalezas** Ubicación geográfica, condiciones meteorológicas, calado, infraestructura y terminales de contenedores, entre otras.
- **Oportunidades.** Atraer más compañías navieras, incorporar avances tecnológicos en las terminales de contenedores, atraer cargas que operan empresas mexicanas en puertos de Estados Unidos, construir un puerto seco, incrementar su capacidad y un mayor conocimiento de la industria de exportación en la región para la prestación de servicios logísticos integrales.
- **Debilidades.** Recinto portuario con reducida franja costera que no permite un mayor aprovechamiento en el manejo y almacenamiento de carga, necesaria habilitación de nuevas áreas terrestres para el almacenamiento en terminales e instalaciones portuarias, deficiente coordinación entre los modos terrestres para el desalojo de las mercancías del recinto portuario, generando problemas de congestión y no se cuenta con suficientes facilidades para el acceso del transporte ferroviario, sin que cruce la zona centro de la ciudad; La colindancia del recinto portuario con la Ciudad de Manzanillo restringe el crecimiento del puerto en áreas conexas, generación de retrasos en la liberación de la carga derivado de las revisiones de diversas autoridades federales en el puerto.
- **Amenazas.** Nuevas inversiones en Los Ángeles y Long Beach, la recuperación del Puerto de Lázaro Cárdenas de ciertos mercados, falta de planeación en las zonas inmediatas al puerto para el desarrollo del recinto portuario, limitantes normativas para definir conceptos tarifarios integrales de origen/destino con los distintos modos de transporte y con las terminales portuarias, falta de atención en torno a la importancia de las tecnologías de información para agilizar los procesos y mejorar la seguridad y control en el puerto; y, la presencia de la

⁵ <http://www.obrasweb.mx/construccion/2016/07/01/colima-prepara-una-ampliacion-en-el-puerto-de-manzanillo-para-2020>



delincuencia organizada para ingresar cargas ilícitas relacionadas con el tráfico de drogas.

Figura 18. Matriz FODA del Puerto de Manzanillo

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicación geográfica • Condiciones meteorológicas • Calado • Infraestructura • Terminales de contenedores • Entre otras 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atraer más compañías navieras • Incorporar avances tecnológicos en las terminales de contenedores • Atraer cargas que operan empresas mexicanas en puertos de Estados Unidos • Construir un puerto seco • Incrementar su capacidad • Un mayor conocimiento de la industria de exportación en la región para la prestación de servicios logísticos integrales.
<p>FODA</p>	
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recinto portuario con reducida franja costera. • Necesaria habilitación de nuevas áreas terrestres para el almacenamiento en terminales e instalaciones portuarias. • Deficiente coordinación entre los modos terrestres para el desalojo de las mercancías del recinto portuario. • No se cuenta con suficientes facilidades para el acceso del transporte ferroviario, sin que cruce la zona centro de la ciudad. • La colindancia del recinto portuario con la Ciudad de Manzanillo restringe el crecimiento del puerto en áreas conexas. • Generación de retrasos en la liberación de la carga derivado de las revisiones de diversas autoridades federales en el puerto. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nuevas inversiones en Los Ángeles y Long Beach. • Recuperación del Puerto de Lázaro Cárdenas. • Falta de planeación en las zonas inmediatas al puerto para el desarrollo del recinto portuario. • Limitantes normativas para definir conceptos tarifarios integrales de origen/destino con los distintos modos de transporte y con las terminales portuarias. • Falta de atención en torno a la importancia de las tecnologías de información para agilizar los procesos y mejorar la seguridad y control en el puerto. • Presencia de la delincuencia organizada para ingresar cargas ilícitas relacionadas con el tráfico de drogas.

Fuente. Elaboración propia

2. **Terminal de automóviles en el puerto de Manzanillo:** El estudio de la terminal de automóviles, proyecta una capacidad de 185,000 unidades, y manejar 70,000 el primer año, incluye un edificio vertical para el almacenamiento. Para su operación una de las condicionantes es una partición modal de 75% ferrocarril y 25% autotransporte, no tienen fecha aún para inicio de obras. Con este proyecto la autopista podría captar el 25% del movimiento de automóviles.



3. **Ampliación y modernización del Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán:** El Puerto de Lázaro Cárdenas incluye municipios vecinos de Michoacán y de Guerrero. El objetivo de éstas es convertir en una región altamente productiva estas áreas con ventajas naturales y logísticas. Algunos de los beneficios de los que estas zonas pueden gozar, son: fiscales y laborales, un régimen aduanero especial, un marco regulatorio ágil, una infraestructura de primer nivel, programas de apoyo (capital humano, financiamiento, innovación), así como estímulos y condiciones preferenciales. El Puerto de Lázaro Cárdenas ocupa hoy el primer lugar entre los puertos del país por su volumen de carga comercial y el segundo lugar en movimiento de contenedores y vehículos.
4. **Proyecto Nuevo Puerto de Mazatlán.** El gobierno de Sinaloa tiene el propósito de desarrollar una nueva infraestructura marítima con mayor capacidad y mejores especificaciones técnicas que permita aumentar los movimientos de carga en el puerto, principalmente la de contenedores, para aprovechar la conexión del puerto con la autopista Durango – Mazatlán y con la Región Noreste del País⁶.

La modernización del Puerto de Mazatlán y su conexión con la Autopista Durango – Mazatlán generarían sinergias para incrementar la demanda de servicios portuarios, debido a la generación de ahorros logísticos en el traslado de mercancías por utilizar un puerto más cercano a los que actualmente operan. En este caso Mazatlán competiría con el Puerto de Manzanillo en aquellas cargas con origen/destino en los Estados de Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Durango y Chihuahua principalmente.

En este contexto la modernización del Puerto de Mazatlán es un proyecto estratégico para potencializar este Corredor. El proyecto consiste en el cambio de las actuales instalaciones portuarias hacia un área de reserva localizada al fondo del canal de acceso, aprovechando terrenos que actualmente no tienen un fin específico, construyendo nuevas instalaciones y liberando las instalaciones existentes para otro tipo de actividades. Se plantea la construcción de dos terminales, una especializada en contenedores y otra de una nueva TUM (terminal de usos múltiples) con mayores espacios de manejo y almacenamiento de mercancías, que incluye el desarrollo de infraestructura de autotransporte y ferroviaria, que disminuya el tránsito dentro de la traza urbana de la Ciudad de Mazatlán, y nuevas conexiones de infraestructura de transporte terrestre.

El proyecto también incluye la construcción de una nueva terminal de transbordadores, instalaciones de PEMEX y de un nuevo refugio pesquero.

⁶ Análisis Costo-Beneficio del Nuevo Puerto de Mazatlán



Figura 19. Corredor económico del norte



Fuente: "Plan de desarrollo estratégico de la infraestructura logística de la región Noreste, 2008".

3.3.1 Proyectos ferroviarios

3.3.1.1 Túnel ferroviario de Manzanillo

La conectividad ferroviaria de la denominada **última milla del puerto**, presenta una problemática compleja por el cruce a nivel en distintos puntos de la ciudad de Manzanillo, afectando a la población con conflictos viales y generando sobrecostos en la operación ferroviaria, dado que solo en ciertos periodos del día se permite el paso del ferrocarril.

Para resolver este conflicto se inició la construcción de un túnel ferroviario y varios pasos a desnivel que conectarán directamente al puerto con el viaducto ferroviario de Laguna de Cuyutlán.

El túnel está constituido por 500 metros de extensión y 8.5 m de alto para dar cabida a vagones de doble estiba; unirá el viaducto ferroviario Vaso II en Laguna de Cuyutlán y el puerto de Manzanillo, como parte del Libramiento Ferroviario de Manzanillo, lo que permitirá que los trenes eviten el paso por el centro de la ciudad y mejorará la eficiencia ferroviaria y portuaria al eliminar cinco cruces de ferrovías.

Figura 20. Túnel ferroviario del Puerto de Manzanillo



Fuente. <http://www.puertomanzanillo.com.mx/upl/sec//PMDP%202015-2020.pdf>.

Ferromex es la empresa concesionaria que oferta el servicio de transporte ferroviario en la región, con acceso directo al Puerto de Manzanillo. Su red ferroviaria permite el paso de trenes en doble estiba de la carga contenerizada, tanto para la ruta hacia Pantaco, Ciudad de México, como a Monterrey, Nuevo León.

Figura 21 Desvió Ferroviario Cuyutlán



Fuente. Fotografía toma por la constructora Tradeco.

3.3.1.2 Acortamiento ferroviario Guadalajara – Aguascalientes

El tramo Aguascalientes – Guadalajara forma parte de los corredores ferroviarios Manzanillo – Tampico y Manzanillo – Nuevo Laredo, tendrá una longitud de 188.1 km, haciéndolo parte fundamental en la movilización de carga entre el Golfo de México y el Océano Pacífico y hacia Estados Unidos, generando costos y tiempos de traslado más competitivos.

En la ruta hacia Monterrey, Nuevo León, la empresa Ferromex tiene el proyecto de construir dos tramos ferroviarios que en conjunto reducirían en 365 km y 16.3 horas el trayecto desde y hacia el Puerto de Manzanillo, que actualmente es de 2,044 y 105 horas.

El primero consiste en 188 km de los cuales ya están construidos 82 km aún sin operar, de la estación El Castillo a Encarnación, en Jalisco, con lo que se evitará el recorrido hasta Irapuato y León, Guanajuato. El segundo es de 175 km y correría de la estación Fuerte a Talía, en el Estado de Coahuila, lo que evita el trayecto hasta Torreón, Coahuila.

Figura 22 Conectividad del Puerto de Manzanillo y proyectos de Ferromex en su corredor a Monterrey



Fuente. <http://www.puertomanzanillo.com.mx/upl/sec/PMDP%202015-2020.pdf>.

El primer tramo Guadalajara – Aguascalientes estaba considerado en el Programa Nacional de Infraestructura 2012-2018 (PNI), donde se indicaba que se iniciaría en 2015 y concluiría en 2017, sin embargo, por problemas presupuestales en la anterior administración ya no se asignaron recursos para concluirla.

Estos proyectos aportarían ventajas al modo ferroviario para competir por la carga del puerto de Manzanillo, sin embargo, no se tiene fecha probable de terminación.

3.3.1.3 Hub de carga del Aeropuerto Internacional de Guadalajara

El Aeropuerto Internacional de Guadalajara Miguel Hidalgo y Costilla es el tercer aeropuerto más ocupado de México, solo después del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y del Aeropuerto Internacional de Cancún y el segundo más utilizado por vuelos de carga aérea. Está compuesto de dos pistas de aterrizaje y dos terminales⁷.

La empresa mexicana Going (Global Operation International Group, antes WTC Confianza), operadora de la terminal de carga aérea del aeropuerto de Guadalajara ha detonado nuevas rutas aéreas a Hong Kong, China, Luxemburgo y Qatar, para llevar productos agrícolas de Jalisco, Michoacán y Nayarit, a esos mercados, utilizando los corredores logísticos globales desde nuestros puertos y en algunos aeropuertos también, para llegar a mercados muy lejanos, y aun así, hacerlo a costos logísticos bastante competitivos, con la eficiencia del puerto de Manzanillo, la carretera entre el puerto y Guadalajara, y una terminal de carga aérea eficiente y vuelos directos a Asia y Europa.

Gran parte de la producción de percederos chilenos y peruanos se transportaba vía marítima hasta Long Beach, donde era llevada a Los Ángeles y cargada en aviones para Asia y Europa.

Ahora estos países ya están aprovechando éstas cadenas logísticas globales para vender a China y Hong Kong y lograr acortar los tiempos de tránsito y tener más tiempo en anaquel. Viajan por barco a Manzanillo, y luego vía carretera los contenedores conectan en el aeropuerto de Guadalajara con el servicio aéreo⁸. También tiene margen para atraer carga nacional que antes se exportaba vía marítima.

Cabe señalar que esto ha significado un mayor aforo de contenedores con percederos del Puerto de Manzanillo al Aeropuerto de Guadalajara, y por tanto usuarios de la Autopista Armería – Manzanillo, aunque por su volumen en número de camiones es bajo, se considera una tendencia que se consolidará a mediano plazo.

3.3.2 Resumen de proyectos futuros

En la tabla siguiente se hace un resumen de los proyectos y actividades mencionadas anteriormente que podrían tener un impacto en el aforo de la autopista.

⁷ <https://www.aeropuertogap.com.mx/es/guadalajara.html>

⁸ <http://t21.com.mx/opinion/bitacora/2017/08/14/logistica-mercados-lejanos>



Tabla 7. Cuadro resumen impactos

Proyecto	Consideraciones	Impacto esperado en el aforo de la Autopista Armería - Manzanillo
Ampliación y Modernización del Puerto de Manzanillo	En etapa de planeación.	Impacto positivo
Terminal de automóviles del puerto de Manzanillo	En etapa de planeación	Impacto positivo
Ampliación y Modernización del puerto Lázaro Cárdenas	Con la información estadística actual No se han observado cambios que impacten el movimiento de carga del Puerto de Manzanillo y por tanto el aforo de la autopista.	Sin impacto.
Nuevo puerto de Mazatlán	Puerto de competencia, pero no hay fecha probable de terminación	Impacto negativo
Túnel Ferroviario de Manzanillo	No hay fecha de inicio de operaciones	Impacto negativo
Acotamiento ferroviario	El tramo Guadalajara – Aguascalientes tiene un avance del 43%, sin embargo, por falta de recursos no se ha continuado. No tiene fecha probable de terminación.	Impacto negativo
Hub carga aeropuerto de Guadalajara	Actualmente el volumen es bajo, aunque tiene una tendencia de fuerte crecimiento y se debería dar seguimiento a mediano y largo plazo.	Impacto positivo

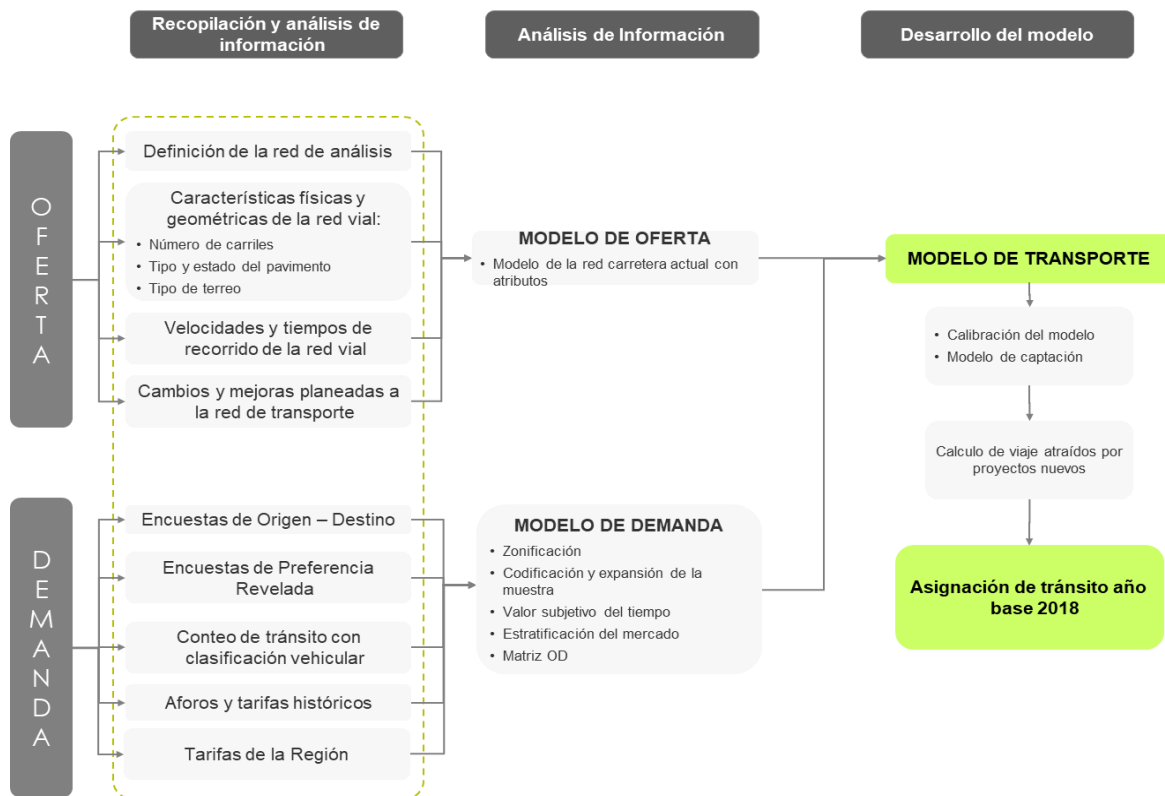
Fuente. Elaboración propia, con base en los planes futuros de la región.



4 METODOLOGIA

La presente tesis se realizó tomando en cuenta los diferentes factores que han incidido en el aforo de la vía, desde las características operativas hasta aspectos económicos del entorno como el desarrollo del puerto de Manzanillo y otros proyectos que impactan en la preferencia del usuario. Se analizó la información histórica de la vía por tipo de vehículo proporcionada por el concesionario de la vía al año 2018. Para la estimación del Tránsito Promedio Diario⁹ (TPDA) del año base 2018 de la Autopista Armería Manzanillo. La metodología que se usa en este estudio de aforos vehiculares es la que se describe enseguida.

Figura 23. Metodología general del estudio



Fuente. Elaboración propia

Nota: La metodología está dividida en 3 etapas que son recopilación, análisis y desarrollo del modelo

⁹ Tránsito promedio diario anual (TPDA) es el promedio de los conteos de 24 horas recolectados todos los días del año. Para los estudios de planeación de carreteras, el análisis de tránsito se utiliza principalmente para la estimación del ingreso debida a los usuarios de las carreteras de peaje, el establecimiento de las tendencias de crecimiento de volumen del tránsito y la evaluación de la factibilidad económica de los proyectos de carreteras.

El proyecto parte del entendimiento de los componentes de oferta y demanda de las vías objeto de intervención y de las que se localizan en su entorno geográfico. Con base en lo anterior se construyó un modelo de transporte en el software VISUM de PTV, en donde se reflejan las características de la oferta desde sus puntos de vista físico y operacional, y las de la demanda existente, como son su volumen, composición y comportamiento (origen, destino, características de los viajes, etc.).

Actividades a realizar

4.1.1 Análisis de la oferta

- **Características físicas, geométricas y tiempos de recorrido de la red de análisis.** Se realizaron rutas en google maps en diferentes horarios y días, para validar las características geométricas, físicas y operativas a lo largo de las vialidades de la red de análisis.

Las características físicas observadas son: longitud, número de carriles, valor de peajes. El análisis de la información se procesó en QGIS y TRANSCAD, para posteriormente elaborar el modelo de oferta que fue exportado al software VISUM.

4.1.2 Análisis de la demanda

Para el análisis de la demanda, se utilizó la información de la encuesta OD realizada en la Autopista Armería-Manzanillo y en la vía de competencia libre (Carretera Federal Playa Azul-Manzanillo), en el año 2015. Para estas dos estaciones se tienen información referente a encuestas de origen – destino, encuestas de preferencias declaradas y reveladas así como conteos de volúmenes vehiculares.

- **Estudio de Origen – Destino.** El objetivo de las encuestas origen – destino (OD), es complementar la información de los patrones de viaje en la zona de estudio. Los resultados de las encuestas, se transformarán en matrices de viajes conformando el modelo de demanda. Dentro del formulario se tienen el origen y destino del viaje, el motivo del viaje, el nivel de ingresos del usuario, quien cubre el costo final de la cuota de peaje, tiempo de recorrido, frecuencia del viaje, número de pasajeros a bordo del vehículo y las características del modo vehicular. Para vehículos de carga se obtuvo información sobre el tipo de carga transportada y número de ejes del camión.

Dichas encuestas se realizaron en un periodo de 12 horas para un día entre semana y un día de fin de semana



- **Encuestas de Preferencias Revelada (PR)¹⁰.** Se utilizaron para estimar el valor subjetivo del tiempo, es decir, la disponibilidad de pago de los usuarios por utilizar la alternativa de cuota propuesta comparado con las vías de competencia. Estos trabajos se realizaron simultáneamente a las encuestas OD.
- **Conteo de tráfico manual y automático.** Se revisaron los conteos de tráfico manual¹¹ y así como los de equipos automáticos con clasificación vehicular. Los conteos de tráfico manual se realizaron durante un día entre semana y un día de fin de semana en un periodo de 12 horas, con cortes de datos cada 15 minutos y por sentido de circulación en las 2 estaciones de aforo. Los conteos automáticos¹² se realizaron en 2 estaciones por 7 días consecutivos durante las 24 horas.
- **Recopilación de información documental.** Se recopiló aforos históricos en las vialidades (Datos Viales 2017, SCT) y carreteras en operación que conforman la red de análisis durante los últimos años, con el objetivo de determinar el crecimiento de la demanda y sus variaciones estacionales, así como su relación con las variables socioeconómicas. Así mismo, se revisó si existía alguna modificación realizadas a la infraestructura vial.
- **Caracterización de la demanda.** Con base en las encuestas OD a usuarios y los conteos de tránsito, se conocerá los principales comportamientos y patrones de viajes, que permitirán caracterizar la demanda.

¹⁰La encuesta consiste en que el usuario declarar su preferencia ante una serie de elecciones hipotéticas bajo el análisis de factores como el tiempo de viaje y el costo de la cuota entre dos rutas disponibles (vía libre y autopista de cuota). La elección de cada ruta tiene implicado un tiempo de recorrido y un valor de la cuota de peaje. Estas encuestas fueron diseñadas utilizando técnicas estadísticas para el diseño de experimentos aceptados internacionalmente y su desarrollo se basa en información real.

¹¹ Los aforos manuales consisten en el conteo manual de vehículos que se realizan en las estaciones de encuesta. Se hacen cortes cada 15 minutos y la información se registra en un formato especialmente diseñado. Los aforos manuales proporcionan información sobre el comportamiento del tráfico a lo largo de un día típico

¹² Los aforos automáticos consisten en el conteo de vehículos utilizando contadores neumáticos que registran el paso de los vehículos al hacer contacto con dos mangueras instaladas sobre la superficie de rodamiento. Los contadores automáticos cuentan con un software que es capaz de medir la distancia y velocidad entre ejes del vehículo, lo que permite su conteo y clasificación.



4.1.3 Modelo de Transporte

- **Zonificación.** Se realizó la división del área de estudio en zonas de tránsito, con base en las localidades y municipios directamente beneficiados por el proyecto y por la red carretera que une los principales polos de desarrollo.
- **Modelo de oferta.** El modelo de la red vial representa el componente de la oferta, esto es, qué ofrece el sistema de transporte para satisfacer las necesidades de movimiento de los viajeros en el área de estudio. Con base en la caracterización física y operativa de la red vial, se construyó un modelo de red que permite analizar o modificar mejoras o cambios en el futuro.

Para el planteamiento de posibles escenarios futuros sobre la oferta de transporte, se incluyeron proyectos de infraestructura vial de impacto en la zona de influencia a operar en el próximo quinquenio, como por ejemplo:

- La ampliación a 6 (seis) carriles de la Autopista Colima-Guadalajara.
- **Modelo de demanda.** Para el desarrollo de matrices y su posterior proyección se hizo una estratificación de la demanda en grupos homogéneos en cuanto a su valoración del tiempo. Mediante la combinación de la información de las encuestas OD, los volúmenes vehiculares y una zonificación para el proyecto, se obtuvieron las matrices de origen-destino que representan adecuadamente los viajes que transitan actualmente en las vías que conforman el área de influencia de la autopista. Estas matrices se obtuvieron para cada tipo de vehículo.
- **Modelo de captación.** El modelo de captación determina la demanda esperada en el proyecto, de acuerdo con la utilidad percibida por los viajeros en la zona de influencia. Dicha utilidad percibida se basa en el ahorro de tiempo y la diferencia entre el costo de la autopista y las vías de competencia.
- **Asignación de tránsito.** Con base en el modelo de oferta, las matrices origen-destino y el modelo de captación se realizó la asignación de tránsito para el año base. Los resultados se compararon con datos históricos disponibles en la red vial de análisis, permitiendo tener confianza en las estimaciones realizadas para la asignación de tránsito.

En síntesis el estudio considera:

- Evaluación y procesamiento de la información recopilada.



- Evaluación de información histórica de tráfico en la zona.
- Complementación de información de velocidades y tiempos de recorrido, encuestas origen-destino, aforos vehiculares y encuestas de preferencias declaradas.
- Oferta: Se considera la red vial del área de influencia del proyecto.
- Demanda: Segmentación de usuarios como mercado potencial del proyecto con base en la información recopilada en campo (información primaria) e información pública disponible (información secundaria).
- Estimación de las matrices del modelo y calibración de un modelo de transporte.
- Análisis de encuestas de preferencia declarada para establecer la disposición de pago de los usuarios potenciales del proyecto, acorde con segmentos de mercado de usuarios.
- Estimación de la demanda

En términos generales, el estudio de tránsito partió de la caracterización de las condiciones actuales de operación del corredor existente para calibrar el modelo de transporte y de la definición de las características operacionales de las vías para estimar el tránsito futuro con el que contará el activo.



5 CARACTERIZACION DE LA OFERTA

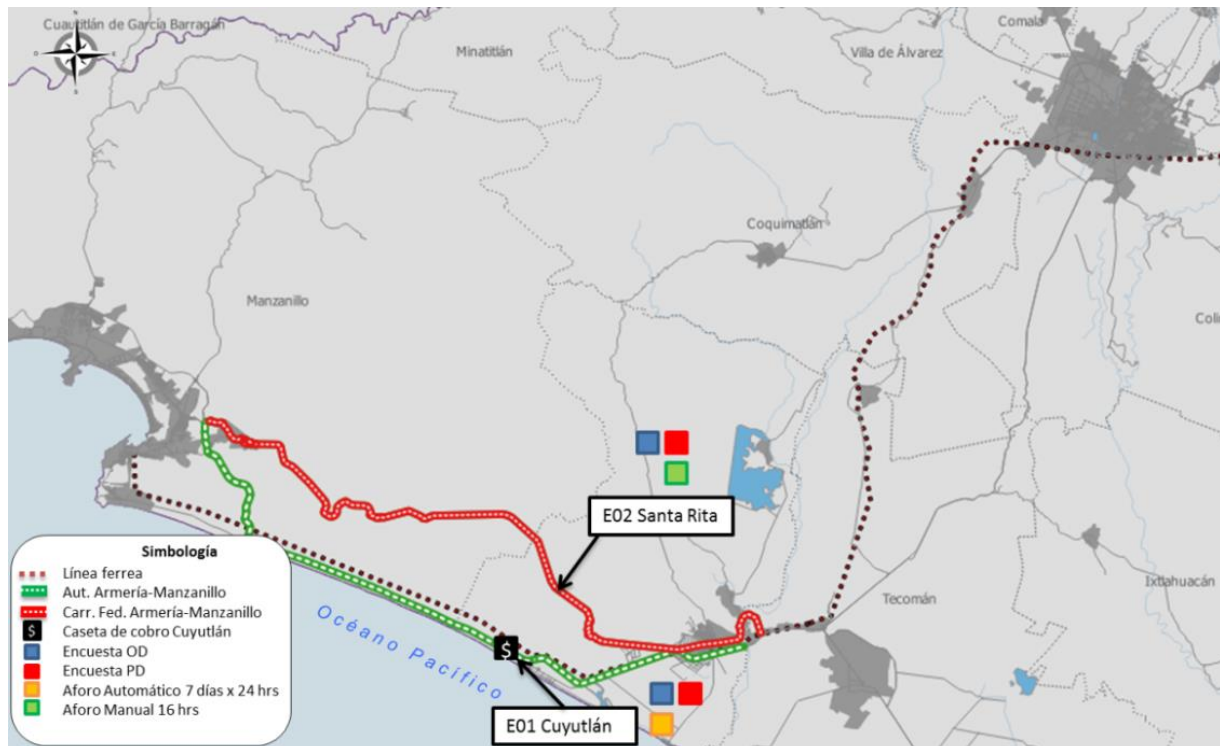
La caracterización de la oferta consistió en la representación de la red vial con sus atributos físicos y operativos a través de un conjunto de nodos y enlaces a los cuales se les asocian características e información geográfica.

5.1 TRABAJOS DE CAMPO

Para el desarrollo del presente estudio se revisaron los trabajos de campo asociados con información de los principales mercados del proyecto. En la formulación de los trabajos de campo se analiza el componente de desvío/atracción de tráfico desde corredores viales en competencia, como lo es el entronque Playa Azul – Manzanillo, como alternativa de elección libre de los usuarios.

En la figura siguiente se muestra la localización de las estaciones de los trabajos de campo que había en la zona.

Figura 24 Ubicación de trabajos de campo



Fuente. Elaboración propia

De esa forma se desarrollaron:

- **Recorrido de campo:** con la ayuda de google maps se revisaron recorridos por las vías del proyecto y de la competencia con el fin de levantar información de velocidades y tiempos de recorrido. Para los camiones se han considerado como supuestos factores en la velocidad, de 1.2 para Camión Unitario (CU) y de 1.3 (CA) sobre lo analizado con el software.
- **Encuestas origen destino (OD):** en 2 puntos a la altura del peaje Cuyutlán en la Autopista Armería-Manzanillo y otro en la vía Carretera Federal Playa Azul – Manzanillo. La estimación de la muestra se define a partir de información de datos viales TPDA reportados. El cálculo de la muestra parte de un supuesto de representación de un día promedio de la semana. La localización de los puntos se realizó con el objeto de considerar el mercado cautivo en las vías del proyecto. Los trabajos se realizaron a la altura de los municipios de Armería y Manzanillo.
- **Aforos vehiculares clasificados:** El comportamiento horario de la demanda de la vía alterna se midió mediante aforos manuales de 12 horas (iniciando a las 7 am y finalizando a las 7 pm) con clasificación vehicular. Adicionalmente la consultora efectuó aforos automáticos de 7 días durante las 24 horas del día sobre la vía libre y se recopilaron los aforos de esos mismos días de la operación de la caseta de Cuyutlán, dichos datos fueron obtenidos mediante el operador de la autopista. Los aforos manuales conjuntamente con los aforos automáticos y de casetas permitieron contar con los elementos necesarios para poder expandir la muestra de encuestas origen-destino levantadas.
- **Encuestas de preferencia revelada (PR):** se realizaron en los mismos puntos de las encuestas OD, segmentando para autos y camiones de carga.

5.1.1 Características físicas de la red vial de influencia

El modelo de oferta consiste en la representación de la red vial con los atributos físicos y operativos, representados a través de un conjunto de nodos y enlaces a los cuales se les asocian características e información geográfica (coordenadas en longitud y latitud), por lo anterior la importancia del levantamiento de características físicas y operativas de la red de influencia proporciona el suficiente conocimiento sobre el movimiento vehicular a lo largo de la vía y las condiciones en las cuales los usuarios toman las decisiones concernientes a la ruta.

Con el fin de registrar las características de la red vial de influencia, se realizaron recorridos virtuales que permitieron inspeccionar los datos físicos de la red de estudio. La información recopilada consistió en:

- **Número de carriles:** Se determinó el número de carriles por sentido.



- *Estado de pavimento:* Se caracterizó como bueno, regular o malo.
- *Tipo de terreno/superficie de rodamiento:* Se caracterizó la superficie mediante observación como plana, en lomerío o terreno montañoso.

Es importante destacar, que la red de influencia de la Autopista Armería-Manzanillo fue codificada con las características físicas y operativas en un Sistema de Información Geográfica. Lo anterior permite un manejo adecuado de la información y la generación de gráficos adecuados para representar la información. Los principales tramos carreteros estudiados son:

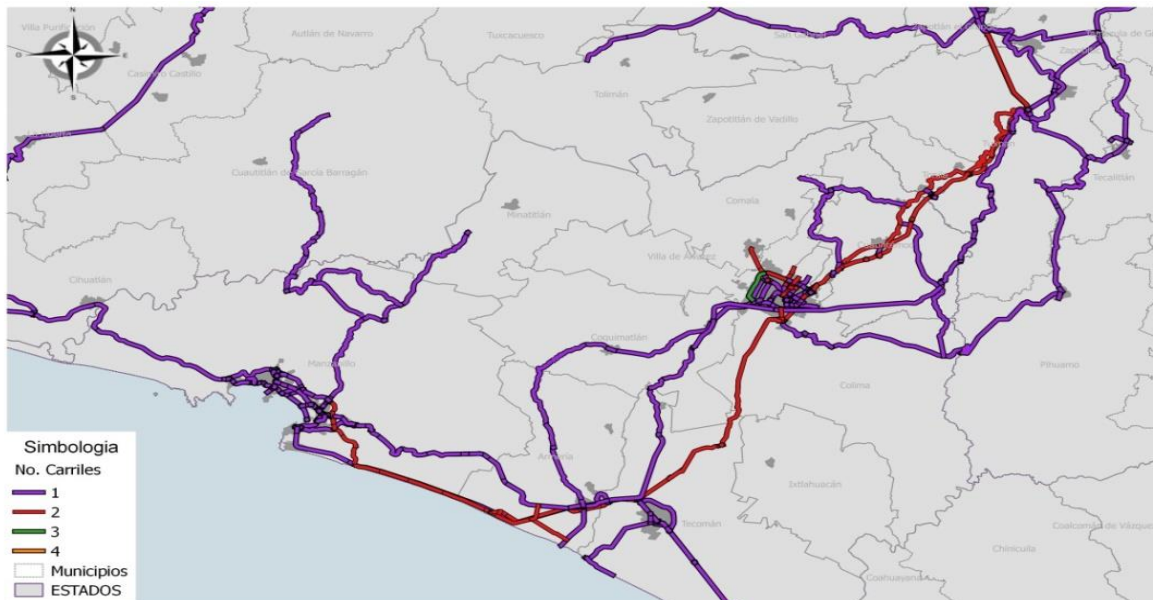
- Autopista Armería-Manzanillo
- Carretera Federal Playa Azul-Manzanillo

5.1.1.1 Número de carriles

El número de carriles de las vías de la zona de estudio es una de las características importantes de la red vial de estudio ya que influye directamente en la capacidad de la vía y el nivel de servicio. Esta relación del número de carriles con la velocidad ayuda a entender la movilidad de la zona, en las horas de máxima demanda y hora pico. Al tener un mayor número de carriles la velocidad aumenta provocando que la capacidad sea mayor.

De esta forma se generó la siguiente figura que muestra el número de carriles con los que opera la red vial de influencia. La autopista cuenta con 2 carriles de circulación en cada sentido a lo largo de todo su recorrido y la vía alterna libre cuenta con 1 carril de circulación en cada sentido en la mayor parte de su trazo, salvo un pequeño tramo en el poblado de Armería que tiene dos carriles por sentido.

Figura 25. No. de carriles de la red de estudio



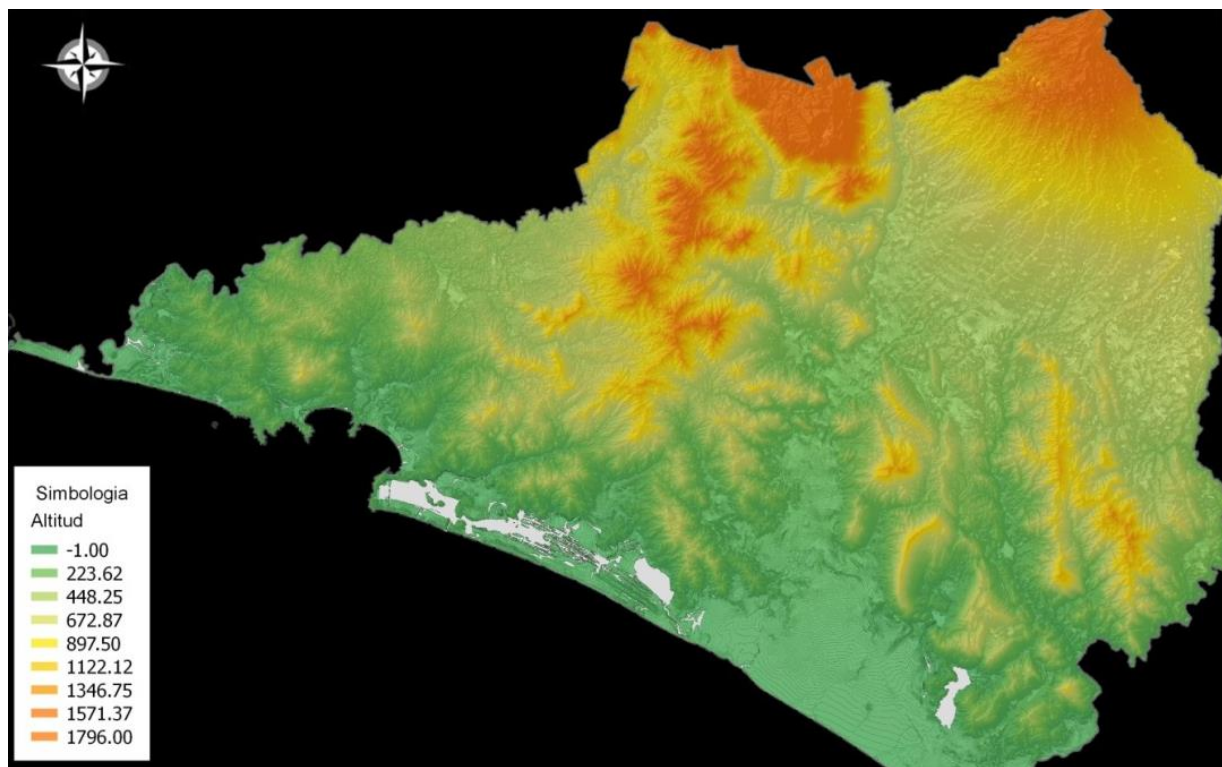
Fuente. Elaboración propia

5.1.1.2 Tipo de terreno

La figura siguiente muestra el tipo de terreno donde se observa el tipo de relieve del Estado de Colima, lugar donde se encuentra la red vial de influencia. Se observa que la autopista presenta tramos de terreno plano y lomerío en la mayor parte de su longitud, sin embargo, existe un pequeño tramo de terreno montañoso en las inmediaciones de la localidad de Tepalcates. La Carretera Federal Playa Azul-Manzanillo está ubicada en tramos donde predomina el terreno plano y lomerío a lo largo de toda su longitud.

Se puede observar en la figura que entre más nos alejamos de la costa se presenta un relieve montañoso debido al volcán de Colima.

Figura 26 Relieve del Estado de Colima



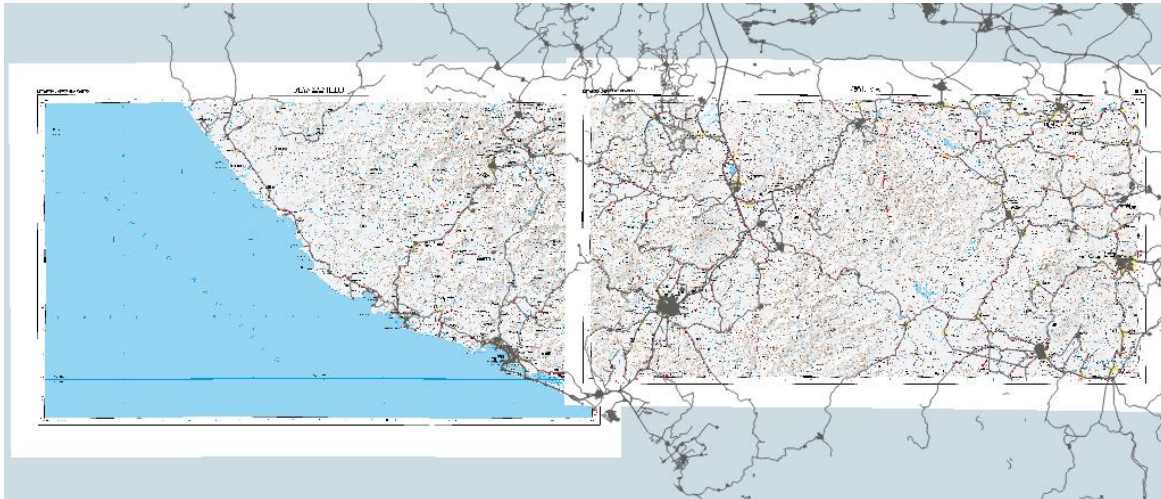
Fuente. Elaboración propia

5.1.2 Desarrollo de la red de estudio

Posteriormente a los análisis anteriores y tomando como base las cartas topográficas se montan en el programa GIS para ubicar las principales vías que conformarán el modelo de transporte. Esto debido a que si se trabaja con toda la red el modelo resulta muy pesado y se vuelve poco útil el trabajar con tantos links o arcos.

Para este procedimiento se ocuparon dos cartas topográficas obtenidas de INEGI; principalmente la de los municipios de Colima y de Manzanillo. A continuación se muestra la georreferenciación que se puede lograr de estas cartas en QGIS.

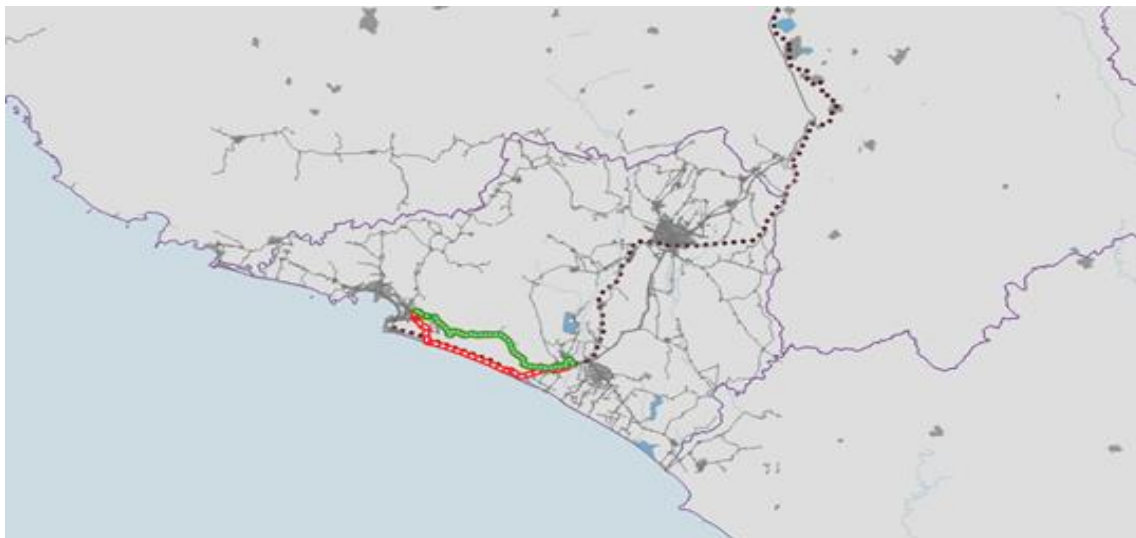
Figura 27. Georreferenciación de Imágenes en QGIS.



Fuente. Elaboración propia

Con este procedimiento se logra identificar cuáles son las principales vías que conforman la red de nuestra zona de estudio, para de esta manera empezar a dibujar nuestra red.

Figura 28. Limpieza de la red con georreferenciación de Imágenes



Fuente. Elaboración propia

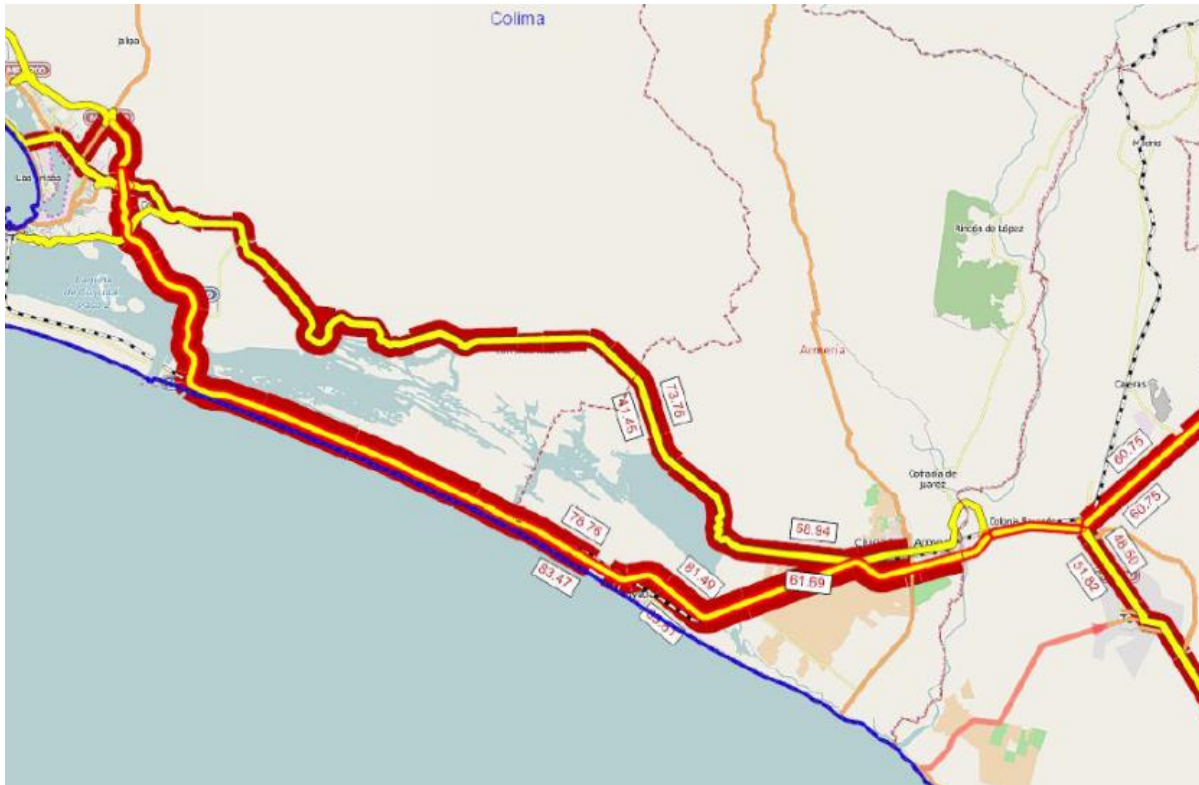
5.1.3 Tiempos de recorrido y velocidades

Se hicieron levantamientos de velocidades y tiempos de recorrido en las vías de influencia del proyecto, mediante la aplicación de google mapas para el modo vehicular automóvil. Dicho levantamiento se realizó en los principales ejes tomado varios intervalos de horas, así como en varios días, para notar cuanta variación podría presentar la vía en un recorrido promedio; con esto se obtuvieron las velocidades en todos los enlaces que conforman el modelo,

Así, se obtiene la cuantificación de velocidad promedio y tiempos de viaje promedio en la red de interés para vehículo particular. Para efectos de estimar estos datos para otros tipos de vehículos se aplican factores de 1.2 para categoría II (camiones de 2 ejes a 4 ejes) y de 1.3 para camiones con más de 5 ejes.

La figura a continuación resume los tiempos y velocidades para cada uno de los segmentos viales del área de influencia del proyecto.

Figura 29. Velocidades en la red de influencia



Fuente. Imagen obtenida del modelo de transporte en Visum

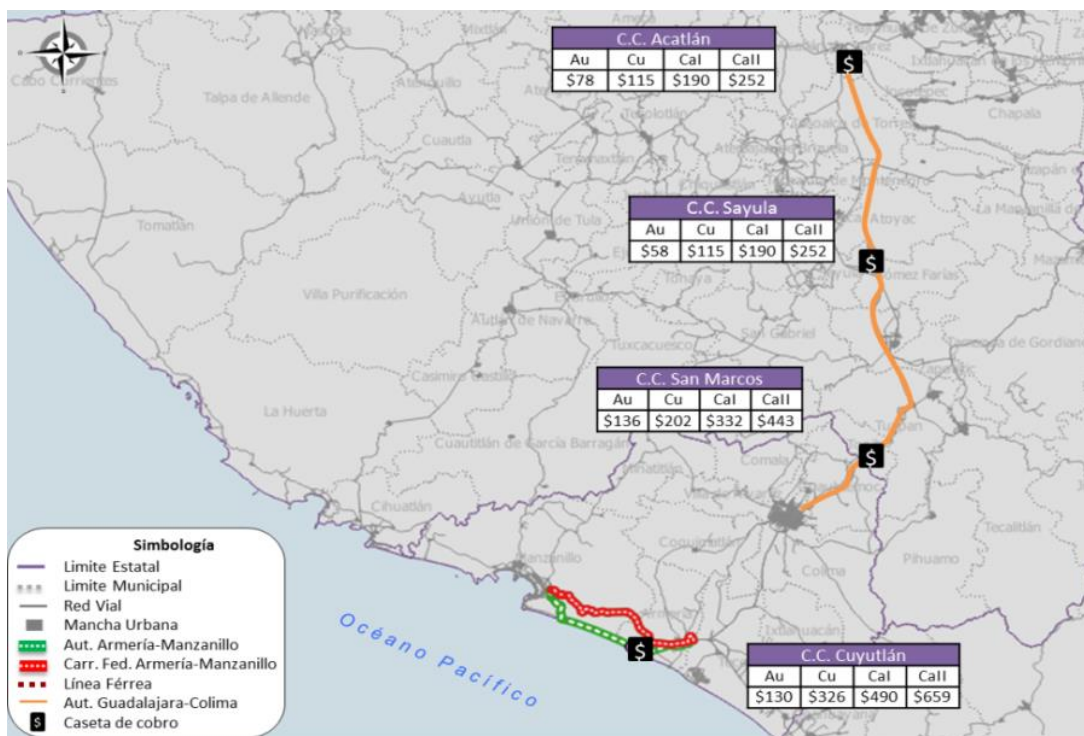
5.2 TARIFAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA

Con la finalidad de conocer la referencia del costo por kilómetro (\$/km) que se cobra a los usuarios en la zona de estudio, se recopiló la información de las tarifas (Enero 2018).

Como comparativa se presenta en la siguiente figura de manera gráfica las tarifas y los costos por kilómetro para las autopistas de la zona de influencia.

El cobro del peaje para los usuarios que ingresan en la Autopista Armería - Manzanillo se realiza en la caseta Cuyutlán ubicada en el kilómetro 61+350.

Figura 30. Tarifas en las autopistas de la red de influencia



Fuente. Elaboración propia

Tabla 8. Tarifas del corredor Guadalajara-Manzanillo

Caseta		C.C. Cuyutlán	C.C. San Marcos	C.C. Sayula	C.C. Acatlán
Motos		\$ 65	\$ 68	\$ 29	\$ 39
Autos		\$ 130	\$ 136	\$ 58	\$ 78
Autobús	2 ejes	\$ 261	\$ 202	\$ 88	\$ 115
	3 ejes	\$ 322	\$ 202	\$ 88	\$ 115
	4 ejes	\$ 395	\$ 202	\$ 88	\$ 115
Camiones	2 ejes	\$ 261	\$ 202	\$ 88	\$ 115
	3 ejes	\$ 322	\$ 202	\$ 88	\$ 115
	4 ejes	\$ 395	\$ 202	\$ 88	\$ 115
	5 ejes	\$ 443	\$ 332	\$ 142	\$ 190
	6 ejes	\$ 537	\$ 332	\$ 142	\$ 190
	7 ejes	\$ 607	\$ 443	\$ 191	\$ 252
	8 ejes	\$ 670	\$ 443	\$ 191	\$ 252
	9 ejes	\$ 700	\$ 443	\$ 191	\$ 252

Fuente. Traza tu ruta 2018

Nota: Tarifas vigentes al 31 de Enero del 2018



5.3 VENTAJAS COMPETITIVAS DE LA AUTOPISTA ARMERÍA-MANZANILLO

Las ventajas competitivas de la autopista se realizan conforme a las velocidades, distancias, tiempos y costos de información recopilada en Google Maps y publicaciones de tarifas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Debido a la importancia del proyecto, la Autopista Armería – Manzanillo, proporcionará ahorros en tiempos de viaje y brindara mayor comodidad y seguridad para los usuarios, comparándolo con la vía libre que es la Carretera Colima – Manzanillo.

Debido a la configuración geométrica de la autopista, permite conectar principalmente con los poblados de Tecomán, Armería y Colima con el municipio de Manzanillo y el Puerto de Manzanillo.

De acuerdo con las velocidades y tiempos recabados se realizó las ventajas competitivas.

Tabla 9. Ventaja Competitiva Auto


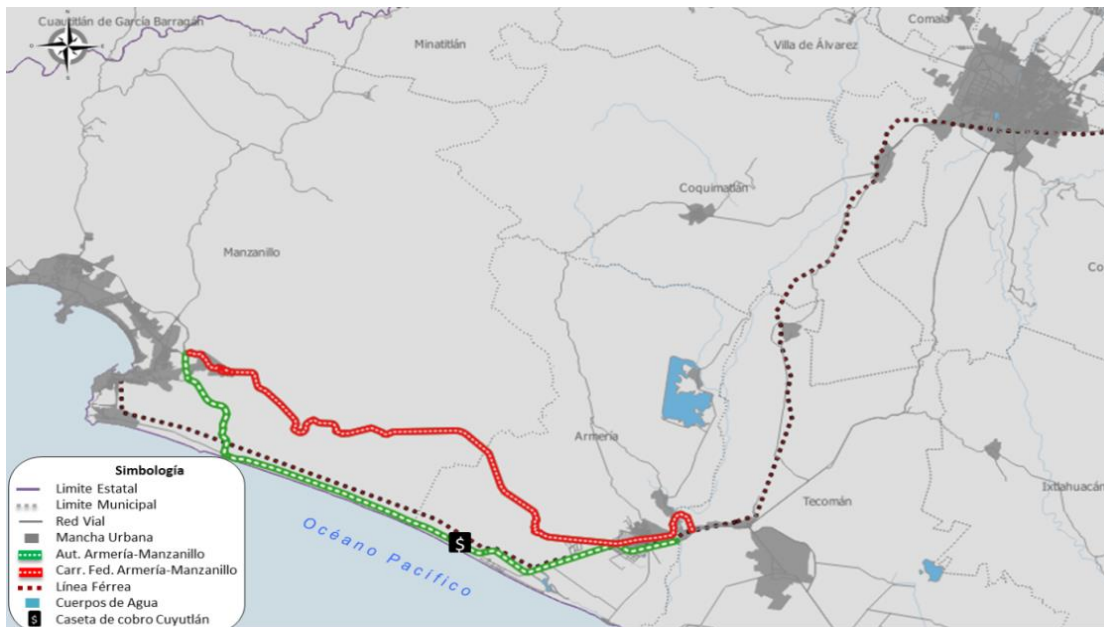
	Nombre	Long (km)	Tiempo (min)	\$ Costo	Vel (km/hr)
	Ruta Libre	48	51	\$ -	56
	Ruta Cuota	47	34	\$ 130.00	83
Ahorro Cuota Vs Libre			17 min de ahorro		

Figura 31 Ventaja competitiva auto



Fuente. Elaboración propia

Se concluye que el ahorro generado por un automóvil al viajar por la Autopista Armería Manzanillo, respecto a la vía de competencia Carretera MEX200 Playa Azul Manzanillo es de **17 minutos con un costo de \$130 pesos.**

5.4 INFORMACIÓN DE LA AUTOPISTA ARMERÍA-MANZANILLO

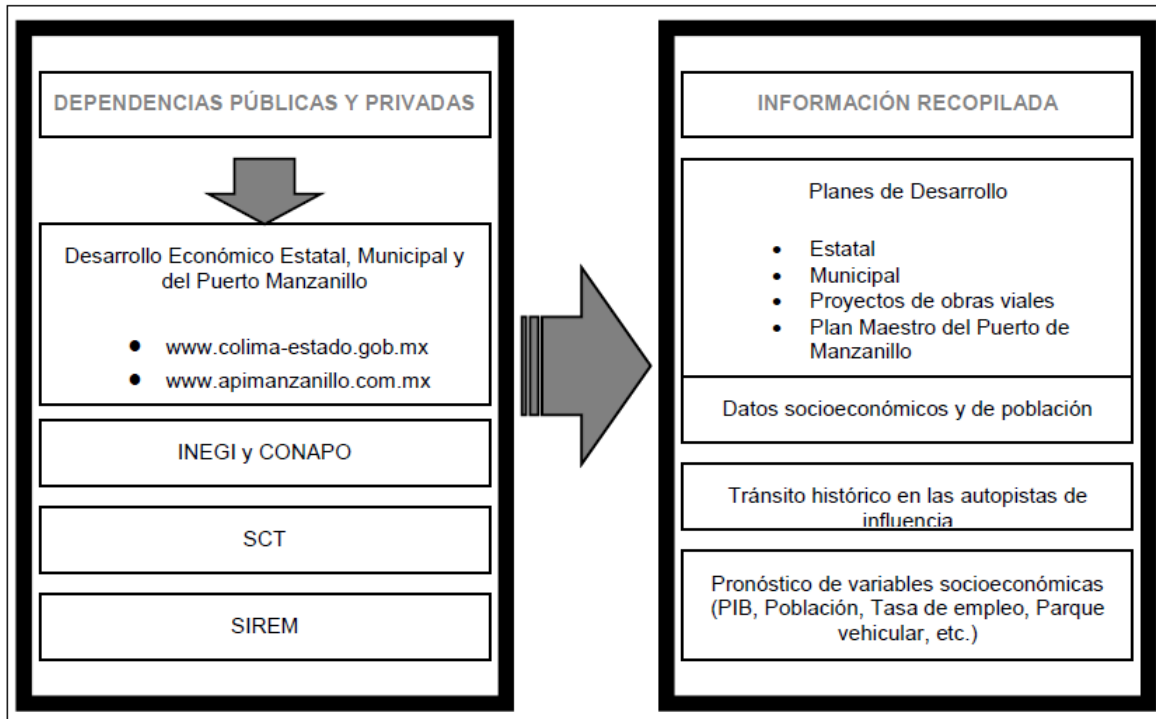
El primer bloque de la metodología consiste en la recopilación de información de fuentes primarias y secundarias para obtener suficientes datos que son el insumo para el desarrollo de los modelos de demanda y oferta. Las fuentes primarias se obtuvieron directamente de trabajos en sitio que realizó la consultora Cal y Mayor y Asociados y estos constituyen la parte primordial que alimentara el modelo de demanda. El producto de los trabajos de campo proporcionó, en el 2015, un total de 1,865 encuestas de origen-destino en estación de la vía libre, 1,900 encuestas en la estación de la Autopista de cuota, así como 927 encuestas de preferencia declarada.

Conjuntamente la consultora realizó aforos vehiculares manuales y automáticos que fueron levantados durante los periodos de encuesta en las estaciones de trabajo. Así mismo se realizaron consultas en la aplicación Google maps para poder determinar las velocidades de operación de la red vial y levantar un inventario físico de las principales características físicas de la red vial de análisis por medio de Street view.

La información secundaria fue recopilada de investigaciones documentales y constituyen un complemento importante para el desarrollo del modelo. Las principales fuentes consultadas corresponden a Secretarías del Gobierno Federal, Estatal, Administración Portuaria Integral, Operadores de carreteras, entre otros. Se recopilaron los Planes de Desarrollo Federal, Estatales, Plan Maestro del Puerto de Manzanillo.



Figura 32 Fuentes de recopilación de información



Fuente. Elaboración propia, tomando como base la información consultada

5.5 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA VÍA, ESTACIONALIDAD

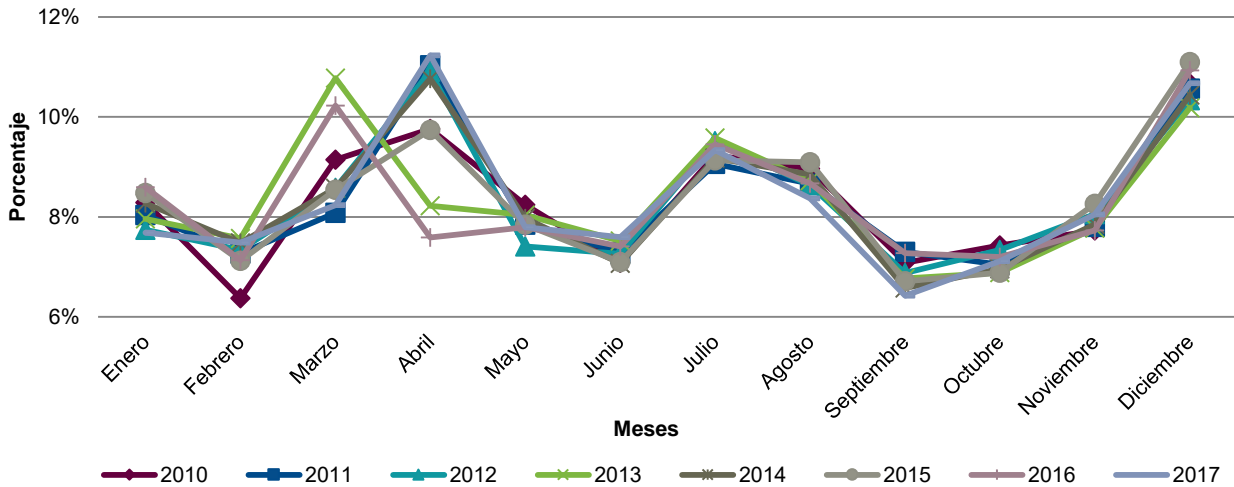
La estacionalidad¹³, o variación estacional de la demanda, es la variación periódica y predecible de la misma. Un ejemplo, es la variación mensual del aforo de una vía en un año, que se puede determinar teniendo suficiente información histórica que permita detectar los patrones de comportamiento de la demanda.

Las siguientes gráficas muestran la estacionalidad mensual de la autopista para los últimos siete años. El valor graficado corresponde al "factor mes", definido como la relación entre el volumen del promedio del año respecto al volumen del mes en curso. El promedio de esto sería el 8%.

¹³ Estacionalidad mensual se utiliza para estimar un comportamiento promedio del año, ya que en algunos meses del año presenta un mayor volumen que otros, presentando variaciones notables. Por ejemplo, los más altos volúmenes se registran en Semana Santa, en vacaciones escolares, en vacaciones navideñas, etc., por lo que el factor de estacionalidad permite "normalizar" los meses de mayor volumen y los meses de menor volumen, convirtiéndolos en un comportamiento promedio.

La estacionalidad para autos se muestra en la siguiente figura, las mayores variaciones se registran en el primer semestre del año, esto se debe a los periodos vacacionales de Semana Santa y a las fechas obligatorias de descanso. A partir del mes de junio, la estacionalidad tiene un comportamiento similar siendo los meses de septiembre y octubre los meses con menor aforo que se incremente hasta llegar a diciembre que es el mes con mayor volumen registrado.

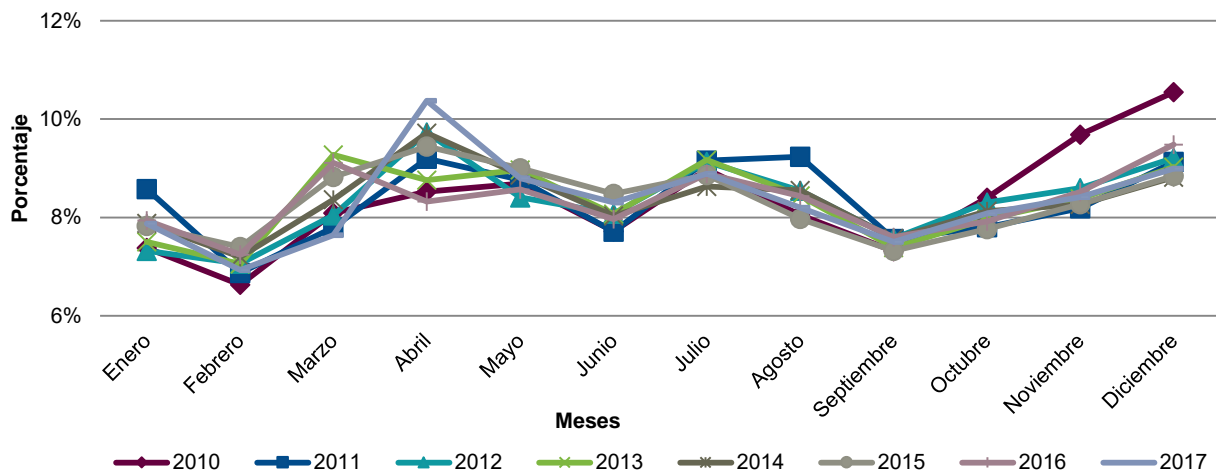
Figura 33. Estacionalidad para Automóviles en la caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

Para los buses que transitan en la vía, los periodos vacacionales son muy marcados ya que son los periodos en los cuales la demanda se incrementa, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 34. Estacionalidad para Autobuses en la caseta Cuyutlán

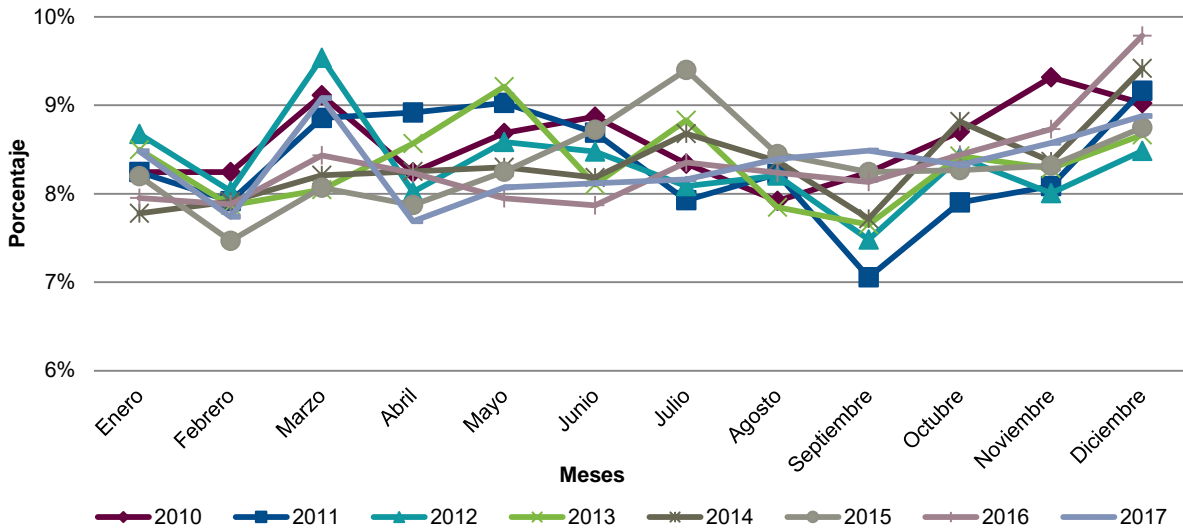


Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario



Los Camiones Unitarios (CU), registran poca variación en la estacionalidad del aforo, esto se debe a que el principal uso de estos vehículos es atender la demanda de producto en tiendas o almacenes, por lo anterior no tienen fechas determinadas de entrega.

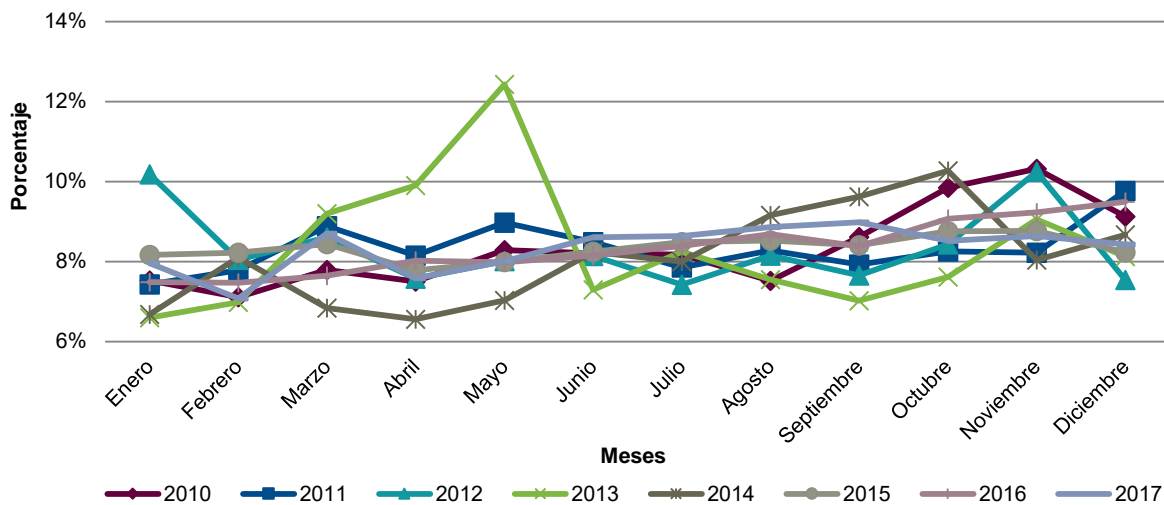
Figura 35 Estacionalidad para Camiones Unitarios (CU) en la caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

Los Camiones Articulados I (CA I), presentan poca variación en la estacionalidad, sin embargo, en el mes de diciembre el volumen de vehículos aumenta, esto debido a las ventas que se generan, así como a los inventarios que se tienen por parte de los almacenes. Se observa que para el año 2013 existió un periodo atípico, para el primer semestre del año, en este tipo de vehículos.

Figura 36. Estacionalidad para Camiones Articulado I (CaI), en la caseta Cuyutlán

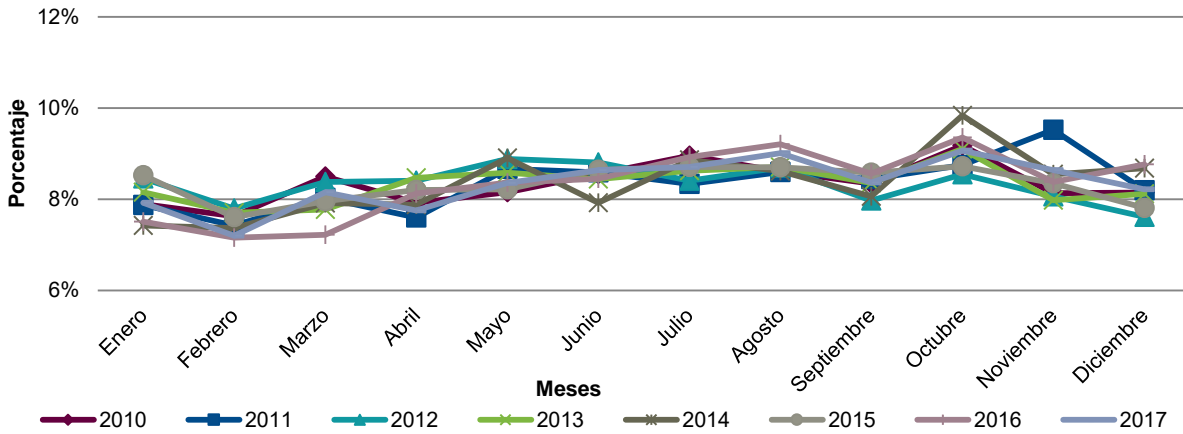


Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario



Los Camiones Articulados (CAII) tienen un comportamiento similar a los CAI, tienen una conducta constante, sin embargo los meses finales del año presentan un aumento en el aforo, siendo el último trimestre el que registra un mayor aforo.

Figura 37. Estacionalidad para Camiones Articulados II (Call) en la caseta Cuyutlán

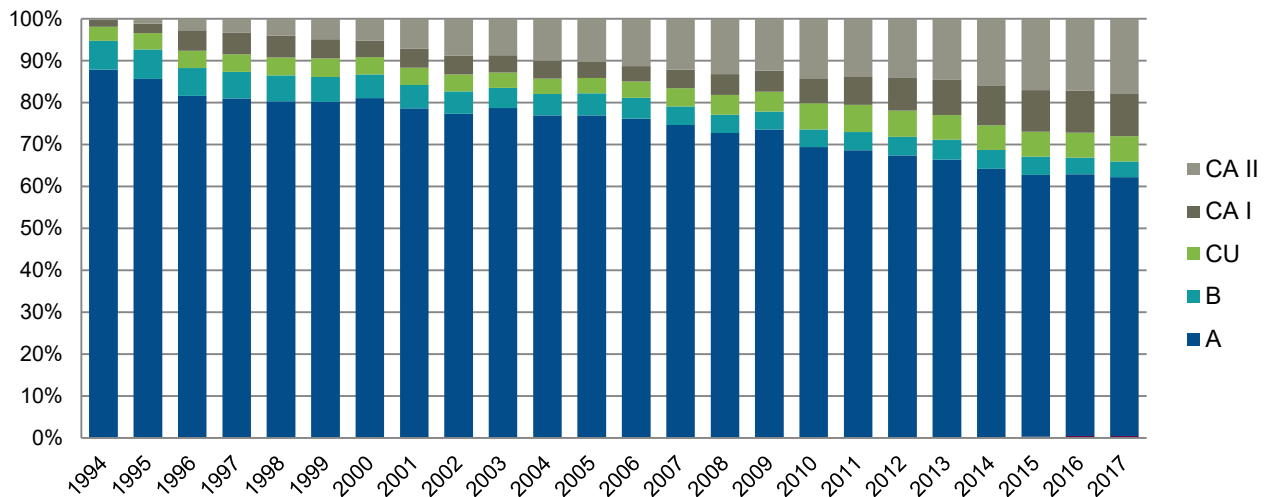


Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

5.5.1 Participación vehicular histórica por tipo de vehículo

Con la información proporcionada por el concesionario, se analizó la participación histórica por tipo de vehículo. Como se muestra en la siguiente figura, el periodo comprendido del año 1994 al 2000 la participación de autos es de arriba del 85%, a partir del siguiente año esta participación ha disminuido hasta llegar a casi el 65% en el año 2017, sin embargo, para los camiones unitarios y articulados la participación ha ido en aumento iniciando en un 5% y presentando un al 35% en el año 2017.

Figura 38. Participación vehicular histórica, Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario



5.5.2 Comportamiento histórico tarifario

La tarifa ha estado asociada a la necesidad de recabar fondos para cubrir los gastos de operación, mantenimiento y la recuperación de los gastos de construcción de la infraestructura carretera.

Se analizaron los incrementos tarifarios por tipo de vehículo en el periodo del 2015 al 2018, en las siguientes tablas se muestran las tarifas históricas por tipo de vehículo, el costo por kilómetro de la autopista y los incrementos que se han registrado.

Tabla 10 Tarifas por tipo de vehículo periodo 2015 – 2018

Año	M	Rem	A	B2	B3	B4	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
2015	\$63	\$193	\$127	\$249	\$307	\$375	\$249	\$307	\$375	\$421	\$511	\$578	\$637	\$666
2016	\$65	\$198	\$130	\$256	\$316	\$386	\$256	\$316	\$386	\$434	\$526	\$595	\$656	\$685
2017	\$65	\$198	\$130	\$261	\$322	\$395	\$261	\$322	\$395	\$443	\$537	\$607	\$670	\$700
2018	\$65	\$198	\$130	\$279	\$344	\$421	\$279	\$344	\$421	\$473	\$573	\$648	\$715	\$746

Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

Para realizar un análisis en términos de cuánto cuesta recorrer cada kilómetro de la autopista, se estimaron los costos por kilómetro de cada tipo de vehículo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Costo por kilómetro por tipo de vehículo periodo 2015 –2018

Año	M	Rem	A	B2	B3	B4	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
2015	\$1.34	\$4.11	\$2.70	\$5.30	\$6.53	\$7.98	\$5.30	\$6.53	\$7.98	\$8.96	\$10.87	\$12.30	\$13.55	\$14.17
2016	\$1.38	\$4.21	\$2.77	\$5.45	\$6.72	\$8.21	\$5.45	\$6.72	\$8.21	\$9.23	\$11.19	\$12.66	\$13.96	\$14.57
2017	\$1.38	\$4.21	\$2.77	\$5.55	\$6.85	\$8.40	\$5.55	\$6.85	\$8.40	\$9.43	\$11.43	\$12.91	\$14.26	\$14.89
2018	\$1.38	\$4.21	\$2.77	\$5.94	\$7.32	\$8.96	\$5.94	\$7.32	\$8.96	\$10.06	\$12.19	\$13.79	\$15.21	\$15.87

Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

Una vez estimados los costos por kilómetro de la autopista, se procedió al análisis de los incrementos tarifarios, en la siguiente tabla se muestra estos resultados:

Tabla 12 Comportamiento tarifario

Año	M	Rem	A	B2	B3	B4	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
2015	3.2%	2.6%	2.4%	2.8%	2.9%	2.9%	2.8%	2.9%	2.9%	3.1%	2.9%	2.9%	3.0%	2.9%
2016	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	1.9%	2.3%	2.0%	1.9%	2.3%	2.1%	2.1%	2.0%	2.1%	2.2%
2017	0.0%	0.0%	0.0%	6.9%	6.8%	6.6%	6.9%	6.8%	6.6%	6.8%	6.7%	6.8%	6.7%	6.6%
2018	3.2%	2.6%	2.4%	11.7%	11.7%	11.8%	11.7%	11.7%	11.8%	11.9%	11.7%	11.7%	11.8%	11.6%

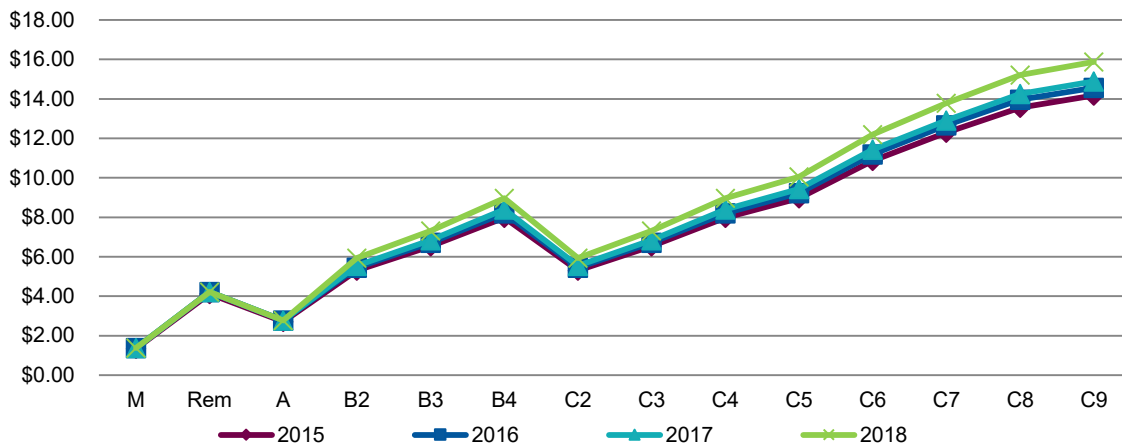
Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario



Como se muestra en la tabla anterior el costo por kilómetro para vehículos ligeros, que incluye moto, auto con remolque y auto se ha mantenido constante en los años 2017 y 2018; sin embargo, en el año 2016, los autos incrementaron en un 2.4%, los autos con remolque aumentaron en 2.6% y las motos en 3.2%.

Para el caso de los autobuses y camiones, considerando 2, 3 y 4 ejes el aumento acumulado en los años 2016 al 2018, es del orden de 11.8%, los camiones de 5 ejes tienen un aumento del 11.9%, para el resto de los camiones que son de 6, 7, 8 y 9 ejes el promedio del aumento es del 11.7% total en los últimos 3 años.

Figura 39. Costo por kilómetro



Fuente. Elaboración propia, tomando en cuenta información proporcionada por el concesionario

5.5.3 Captación y competitividad de la Autopista Armería – Manzanillo

En esta sección se muestra el aforo histórico del corredor carretero, se menciona como corredor por el hecho de considerar tanto el aforo de la vía de cuota como la vía libre (por lo anterior se presenta el total del universo): Se tomó información de la vía de cuota en la Caseta de Cobro y un punto paralelo en la vía libre que en cierta forma representan una aproximación al comportamiento de todo el corredor.

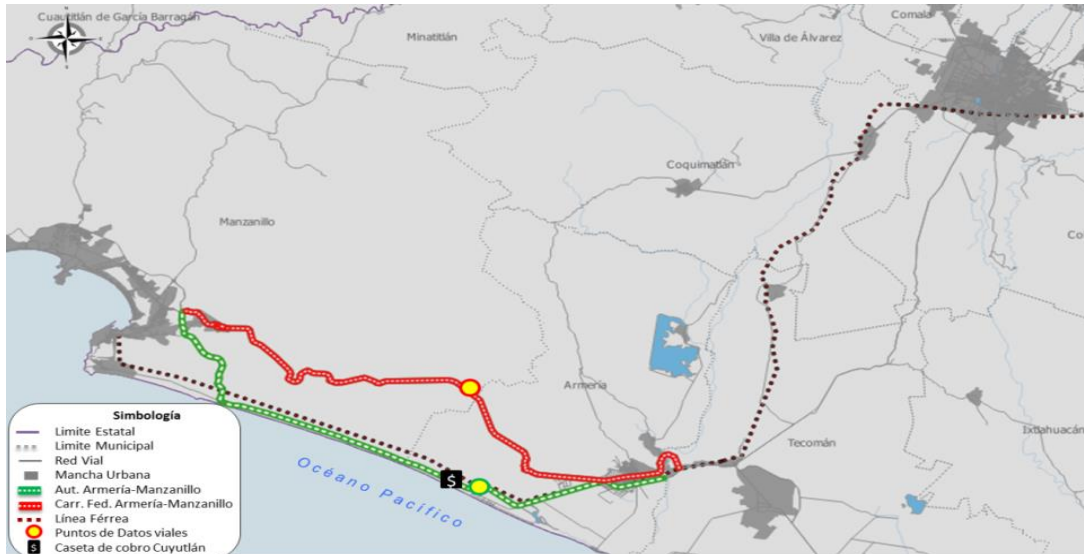
Se muestran aforos de los últimos 10 años a partir de la información disponible de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su publicación de Datos Viales para la Vía Libre. Dicha información esta agregada tomando la siguiente configuración:

- M Motocicleta
- A Automóvil
- B Autobús
- Cu Camión unitario de 2 o 3 ejes
- Ca I Camión articulado de 5 o 6 ejes
- Ca II Camión articulado de 7 o más ejes



El corredor Armería – Manzanillo comprende las dos vías de acceso al Puerto de Manzanillo que comunican con el resto del país. Se ubicó un punto en la vía libre Playa Azul- Manzanillo MX200 (Santa Rita) y otro en la vía de cuota (caseta de cobro Cuyutlán) para mostrar el aforo histórico, en la figura siguiente se muestra la ubicación de los puntos considerados.

Figura 40. Ubicación de puntos de aforo en accesos al puerto de Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

En las tablas siguientes se muestra el aforo histórico en los últimos 10 años; primero para la vía de cuota, posteriormente la vía libre y una tercera tabla con la suma de ambas.

Tabla 13 . Aforo histórico en la Autopista Armería – Manzanillo (vía de cuota)

Autopista Armería - Manzanillo								Tasa de crecimiento anual							
Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total	Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total
2006		3,187	207	161	154	471	4,178	2006							
2007		3,394	201	197	200	549	4,541	2007		6%	-3%	22%	30%	17%	9%
2008		3,474	206	224	236	630	4,769	2008		2%	2%	14%	18%	15%	5%
2009		3,462	203	222	235	580	4,702	2009		0%	-1%	-1%	0%	-8%	-1%
2010		3,640	218	326	313	742	5,238	2010		5%	7%	47%	33%	28%	11%
2011		3,786	236	358	364	765	5,508	2011		4%	8%	10%	16%	3%	5%
2012	1	3,835	251	353	441	801	5,683	2012		1%	6%	-1%	21%	5%	3%
2013	11	3,712	262	327	471	813	5,597	2013		-3%	4%	-7%	7%	1%	-2%
2014	15	3,720	261	342	546	930	5,813	2014	36%	0%	0%	5%	16%	14%	4%
2015	22	3,841	264	368	605	1,047	6,146	2015	47%	3%	1%	8%	11%	13%	6%
2016	31	4,204	265	399	669	1,154	6,722	2016	41%	9%	0%	8%	11%	10%	9%
TCMA 2006-2016		2.8%	2.5%	9.5%	15%	9.4%	4.9%								

Fuente. Elaboración propia con información de Datos Viales SCT, varios años.



Como se aprecia en la tabla anterior el crecimiento de camiones ha sido significativo en la autopista, sobre todo el tipo doble articulado que tiene los mayores volúmenes de camiones con una tasa promedio anual del 9.4% en el periodo de 2006-2016.

En el caso de los automóviles su crecimiento fue de 2.8% valor muy similar al de los autobuses.

Tabla 14 .Aforo histórico en la vía libre

Vía Libre Armería - Manzanillo								Tasa de crecimiento anual							
Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total	Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total
2006		2,458	294	415	124	54	3,344	2006							
2007		2,538	305	436	149	35	3,463	2007		3%	4%	5%	20%	-35%	4%
2008		2,598	145	281	517	262	3,804	2008		2%	-52%	-36%	247%	649%	10%
2009		3,010	302	93	235	93	3,734	2009		16%	108%	-67%	-55%	-65%	-2%
2010		3,749	242	642	812	44	5,489	2010		25%	-20%	590%	246%	-53%	47%
2011	92	3,574	248	587	1,168	86	5,756	2011		-5%	2%	-9%	44%	95%	5%
2012	101	3,412	230	644	1,148	67	5,602	2012		-5%	-7%	10%	-2%	-22%	-3%
2013	125	3,470	223	608	923	81	5,430	2013		2%	-3%	-6%	-20%	21%	-3%
2014	192	3,587	69	688	709	85	5,330	2014	54%	3%	-69%	13%	-23%	5%	-2%
2015	150	3,759	54	680	642	70	5,354	2015	-22%	5%	-22%	-1%	-9%	-18%	0%
2016	313	3,630	69	869	403	16	5,299	2016	109%	-3%	28%	28%	-37%	-77%	-1%
TCMA 2006-2016		4.0%	-13%	7%	12%	11%	5%								

Fuente. Elaboración propia con información de Datos Viales SCT, varios años.

En el caso de la vía libre el número de camiones articulados es muy pequeña dada la restricción de paso de este tipo de vehículos, se aprecia una reducción con tasa promedio anual de -11.4%, por el contrario los camiones tipo Cu, circulan principalmente por la vía libre.

El crecimiento de automóviles fue de 4% superior a la observada en la vía de cuota.

Al sumar los aforos de la vía de cuota y los de la vía libre, se puede apreciar mejor el crecimiento de los flujos hacia el puerto con una tasa promedio anual del total de 4.8%.



Tabla 15. Corredor Armería – Manzanillo (Cuota + Libre)

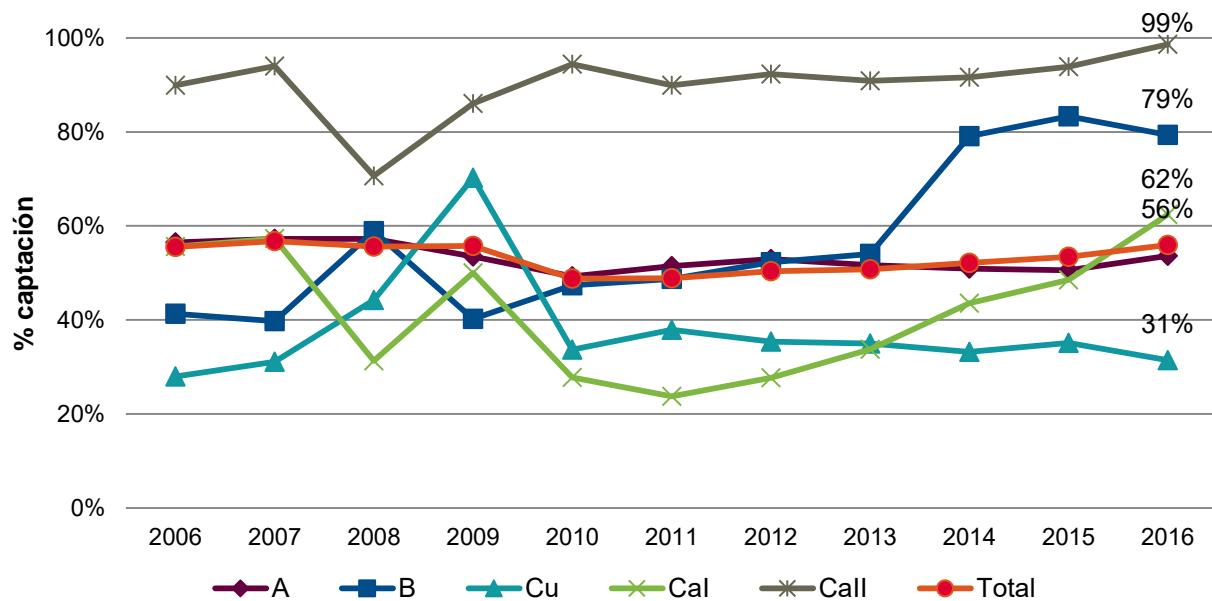
Corredor Armería - Manzanillo (Cuota + Libre)								Tasa de crecimiento anual							
Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total	Año	M	A	B	Cu	Cal	Call	Total
2006		5,644	501	575	277	524	7,522	2006							
2007		5,932	506	633	349	584	8,004	2007		5%	1%	10%	26%	11%	6%
2008		6,072	350	506	753	892	8,573	2008		2%	-31%	-20%	116%	53%	7%
2009		6,472	505	316	470	674	8,436	2009		7%	44%	-38%	-38%	-24%	-2%
2010		7,389	460	968	1,126	786	10,727	2010		14%	-9%	206%	140%	17%	27%
2011	92	7,360	484	945	1,532	851	11,264	2011		0%	5%	-2%	36%	8%	5%
2012	102	7,246	480	997	1,590	868	11,285	2012		-2%	-1%	6%	4%	2%	0%
2013	136	7,182	485	935	1,394	895	11,027	2013		-1%	1%	-6%	-12%	3%	-2%
2014	207	7,307	330	1,030	1,254	1,015	11,143	2014	52%	2%	-32%	10%	-10%	13%	1%
2015	172	7,599	317	1,048	1,247	1,116	11,500	2015	17%	4%	-4%	2%	-1%	10%	3%
2016	343	7,834	334	1,268	1,072	1,170	12,021	2016	99%	3%	5%	21%	-14%	5%	5%
TCMA 2006-2016		3.3%	-4.0%	8.2%	14.5%	8.4%	4.8%								

Fuente. Elaboración propia con información de Datos Viales SCT, varios años.

Como se aprecia prácticamente todos los camiones tipo doble articulado (Ca II) circulan por la vía de cuota con captación del 99%, los camiones de 5 y 6 ejes (Ca I) a partir del año 2011 tienen una participación creciente alcanzando valores del 62% en el año 2016, caso contrario son los camiones unitarios se mantienen con captación en entorno al 30%.

Los automóviles tienen una captación muy estable en todos los años del orden de 54%.

Figura 41. Captación histórica de la vía de cuota Armería – Manzanillo



Fuente. Elaboración propia con información de Datos Viales SCT, varios años.

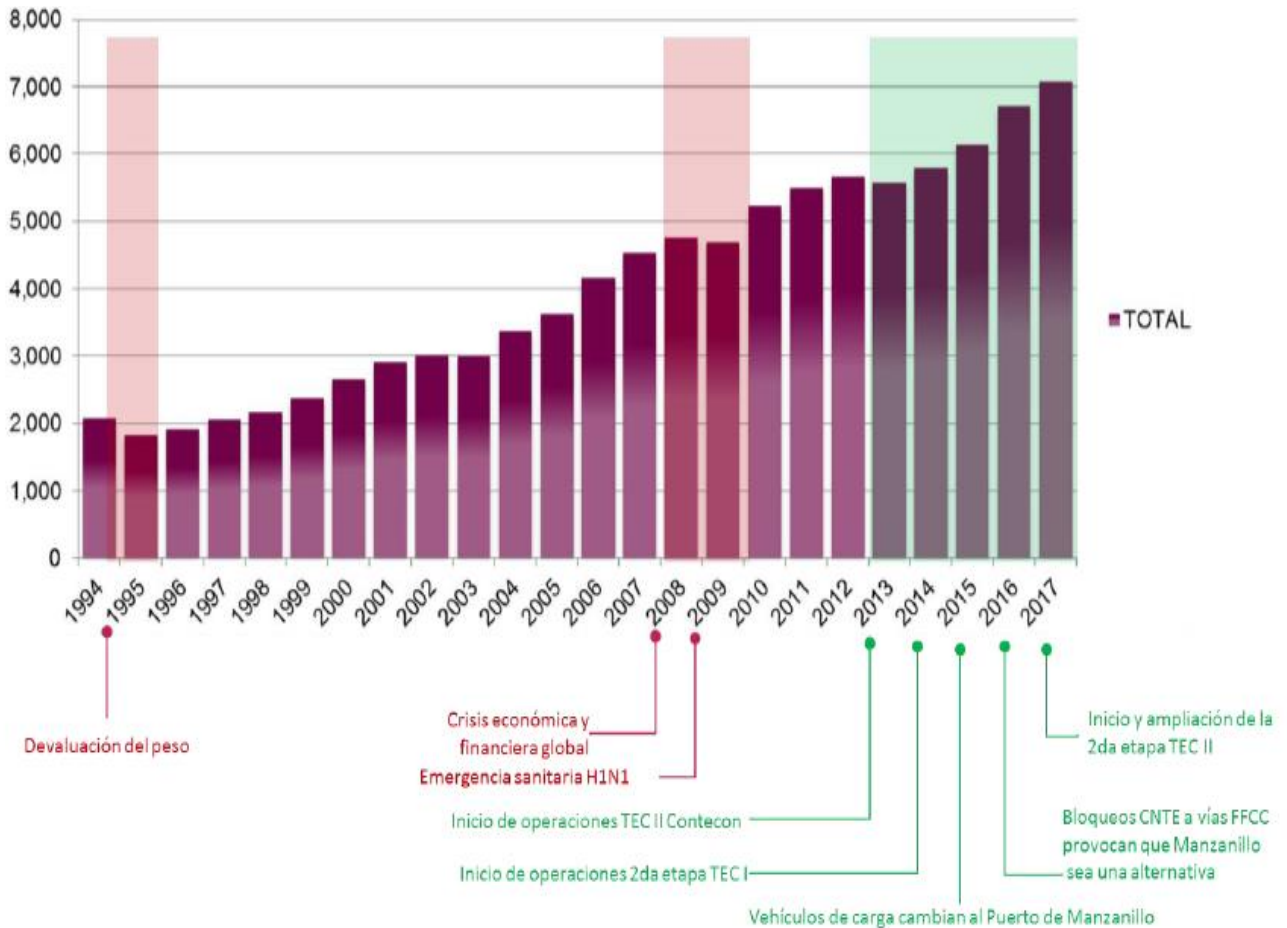


5.5.4 Evolución del tránsito en la Caseta Cuyutlán

Con información proporcionada por el concesionario sobre el volumen vehicular que transita sobre la vía, en la caseta Cuyutlán, se realizó la siguiente figura en la que se muestra el TPDA histórico, así como los eventos que ocurrieron a lo largo del tiempo.

Como se muestra en la figura, en los años 1995, 2008 y 2009 la autopista se vio afectada por la devaluación del peso, la crisis económica financiera y global así como la emergencia sanitaria del virus H1N1, respectivamente, pero en general la vía no ha tenido impactos considerables que afecten el tránsito vehicular.

Figura 42. Evolución del tránsito, Caseta Cuyutlán, (TPD)



Fuente. Elaboración propia con información de diversas fuentes.



6 CARACTERIZACION DE LA DEMANDA

En este capítulo se presenta la caracterización de demanda de la red vial considerada. Es decir, el análisis de los volúmenes vehiculares históricos y actuales, así como, las principales características de los viajes; información que sirve de insumo para la construcción del modelo de demanda y de transporte de manera simultánea.

Para facilitar los análisis se han agrupado los vehículos con base en sus características físicas, transporte de usuarios o carga tomando en cuenta su capacidad.

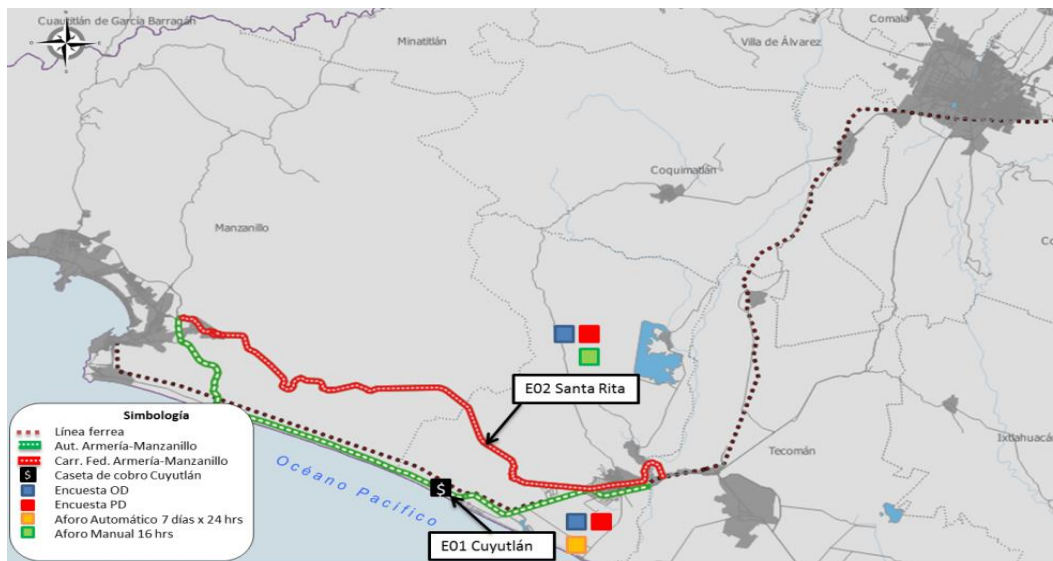
6.1 ESTUDIOS DE CAMPO PARA RECOPIACIÓN DE LA DEMANDA

El objetivo principal de los estudios de campo es determinar el comportamiento, la disponibilidad de pago y preferencias de los usuarios, así como los principales polos generadores y atractores de viajes de la zona de influencia de la Autopista Armería-Manzanillo.

Las actividades realizadas en campo radicaron en la recopilación de aforos vehiculares, encuestas OD/PR; anteriormente se mostró las actividades, así como las ubicaciones que se realizaron para el desarrollo de todas las actividades.

En la siguiente imagen se observa la ubicación de cada una de las estaciones de campo dentro del área de influencia del proyecto de la Autopista.

Figura 43. Ubicación de estaciones de campo



Fuente. Elaboración propia con información proporcionada por la empresa consultora.

6.1.1 Aforos manuales y aforos automáticos

La consultora en sus trabajos de campo registro datos cada 15 minutos, por sentido de circulación, en un periodo de 16 horas, en un día entre semana y un día de fin de semana en periodo no vacacional, el uso principal que se le da a estos aforos es el ajustar los aforos automáticos. La tabla siguiente muestra la clasificación vehicular que se realizó en el aforo.

Tabla 16 Clasificación de los vehículos

TIPO DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
Automóviles (A)	Aquellos vehículos de tipo automóvil, combi u otro vehículo que cuente con hasta 10 asientos para transporte de pasajeros
Buses (B)	Autobuses de 2 y 3 ejes para transporte de pasajeros
Camiones Unitarios (CU)	Camiones de carga con una unidad de 2, 3 y 4 ejes
Camiones Articulado Tipo I (CAI)	Tracto-camiones con semirremolque de 5 y 6 ejes
Camiones Articulado Tipo II (CAII)	Tracto-remolque de más de 6 ejes

Fuente. Elaboración propia

Mientras tanto para los aforos automáticos la consultora los realizo con equipos neumático durante siete días (una semana típica) 24 horas al día. El contador utilizado estuvo conformado por una manguera flexible que se colocó en forma transversal sobre la vía, la cual transmite los impulsos de aire ocasionados por la presión al paso del vehículo. Por cada dos impulsos de aire se registra un vehículo. Posteriormente se calibró la información con los aforos manuales de cada estación.

Para comprender las características de la demanda, se obtuvieron los principales atributos de cada viaje mediante el conteo vehicular. La consultora ubico las estaciones con base en la importancia en el área de estudio del proyecto.

Los aforos que la consultora realizo y que se presentan a continuación, corresponden a los volúmenes horarios capturados en campo por medio de los aforos manuales y automáticos. Dependiendo de la fecha en la que fueron realizados los trabajos, los aforos se han hecho representativos de un día entre semana, o de un día fin de semana y además de ser actualizados al año 2018 para tener una mejor representación de la situación. Dichos aforos se actualizaron tomando la tasa de crecimiento que ha presentado la C.C. Cuyutlán, del año 2015 al 2018.

6.1.2 Aforos actuales

A continuación se realiza un análisis del aforo vehicular semanal por estación; este tipo de aforos permite expandir las encuestas que conforman la muestra que fue tomada durante el periodo entre semana o fin de semana, y así se represente el comportamiento de la demanda durante la totalidad del día. En los cuadros a continuación se presentan las principales características de los aforos realizados.



Tabla 17 Aforo por sentido, Estación 01 y Estación 02

ESTACIÓN 02 LIBRE ARMERÍA - MANZANILLO								
SENTIDO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TOTAL
MANZANILLO - ARMERÍA	1,900	1,855	1,874	1,953	2,197	2,024	1,917	13,720
ARMERÍA - MANZANILLO	2,746	2,684	2,975	2,993	3,056	2,742	2,472	19,668
TOTAL	4,646	4,539	4,849	4,946	5,253	4,766	4,389	33,388

ESTACIÓN 01 AUTOPISTA ARMERÍA - MANZANILLO			
SENTIDO	JUEVES	SÁBADO	TOTAL
MANZANILLO - ARMERÍA	1,653	1,747	3,400
ARMERÍA - MANZANILLO	2,614	2,436	5,050
TOTAL	4,267	4,183	8,450

Fuente. Elaboración propia con base en datos proporcionados por la empresa consultora Cal y Mayor y Asociados S.C.

En los cuadros a continuación se presenta la distribución promedio diaria del tráfico. En cada caso se menciona la hora de mayor demanda vehicular. Las figuras muestran el histograma de un día promedio de la semana de toma de información para cada punto de aforo.

En la Autopista Armería Manzanillo, el periodo más cargado se registra en la mañana entre las 05:00 – 06:00 horas con 264 vehículos.

Tabla 18 Tráfico Promedio Diario – Caseta Cuyutlán

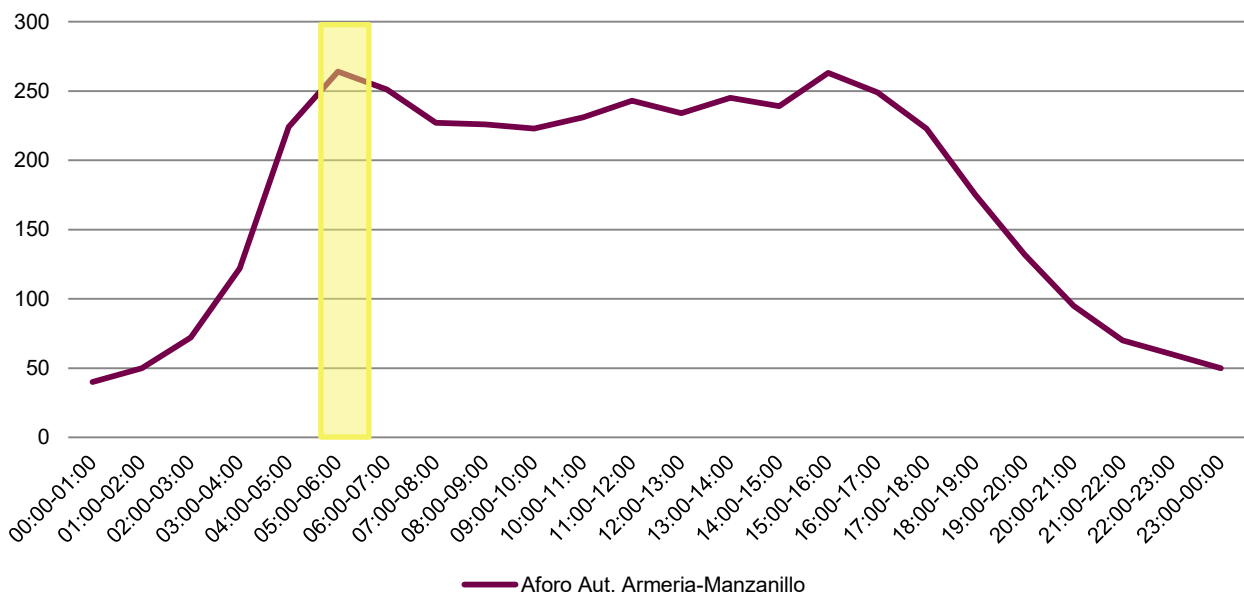
AUTOPISTA ARMERÍA - MANZANILLO / CASETA CUYUTLÁN										
PERIODO	AUTOS	BU	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	7 o/+ EJES	CAMIONES	TOTAL
00:00-01:00	11	4	5	5	3	10	2	0	26	40
01:00-02:00	11	5	9	8	3	10	4	0	34	50
02:00-03:00	22	7	13	12	5	10	3	0	43	72
03:00-04:00	57	8	16	16	3	17	5	0	57	122
04:00-05:00	137	11	24	17	6	23	5	1	76	224
05:00-06:00	170	13	26	18	6	24	7	0	82	264
06:00-07:00	167	12	23	15	4	23	6	1	73	251
07:00-08:00	157	7	13	16	5	20	9	0	64	227
08:00-09:00	148	10	18	15	5	24	6	0	69	226
09:00-10:00	149	10	17	12	3	24	8	0	65	223
10:00-11:00	155	11	17	12	4	22	10	0	66	231
11:00-12:00	160	12	20	12	7	25	7	0	71	243
12:00-13:00	157	9	16	14	6	25	7	0	68	234
13:00-14:00	162	11	20	14	5	28	5	0	73	245



AUTOPISTA ARMERÍA - MANZANILLO / CASETA CUYUTLÁN										
PERIODO	AUTOS	BU	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	7 o/+ EJES	CAMIONES	TOTAL
14:00-15:00	161	12	20	11	5	24	6	0	65	239
15:00-16:00	175	12	19	19	4	27	7	0	66	263
16:00-17:00	172	11	16	12	5	26	7	0	67	249
17:00-18:00	149	10	17	10	7	24	6	0	64	223
18:00-19:00	106	8	14	10	3	28	6	0	62	175
19:00-20:00	71	6	11	11	5	23	5	0	55	132
20:00-21:00	47	6	10	7	3	18	4	0	42	95
21:00-22:00	29	3	6	9	2	18	3	0	38	70
22:00-23:00	20	4	8	6	1	17	4	0	36	60
23:00-00:00	12	4	9	4	2	16	3	0	33	50
TOTAL	2,605	206	367	285	102	506	135	2	1,395	4,208

Fuente. Elaboración propia con base en datos proporcionados por la empresa consultora Cal y Mayor y Asociados S.C.

Figura 44. Gráfico de tráfico Promedio Diario

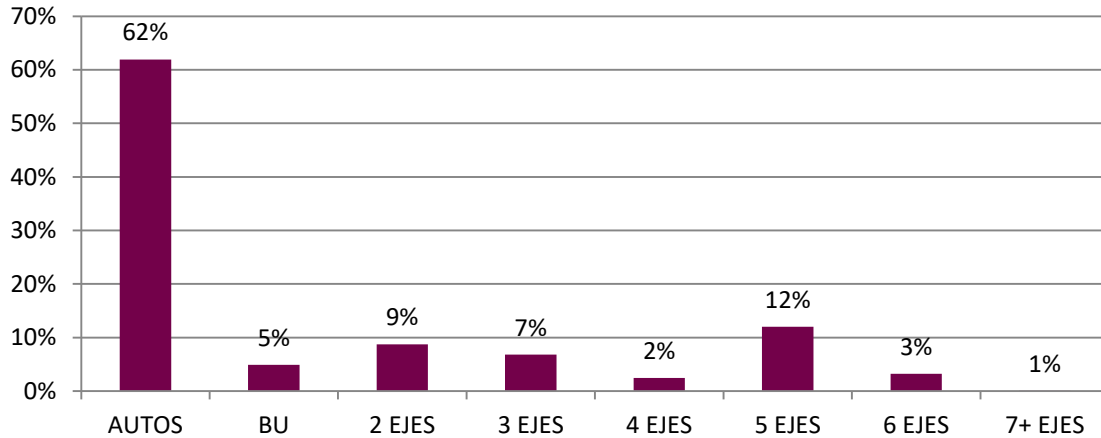


Fuente. Elaboración propia con base en datos proporcionados por la empresa consultora Cal y Mayor y Asociados S.C.

En las siguientes figuras se muestra la información de un día promedio de la semana de toma de información del tráfico por tipo de vehículo para cada uno de los puntos de recolección de información.



Figura 45. Aforo total por tipo de vehículo, Estación Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia con base en datos proporcionados por la empresa consultora Cal y Mayor y Asociados S.C.

6.2 ENCUESTAS ORIGEN-DESTINO

El diseño de una encuesta no es un problema simple, sino que requiere de experiencia y de un profundo análisis, tomando en consideración ciertas restricciones que son necesarias en los estudios de transporte. Dentro de estas restricciones podemos mencionar cuatro.

- En primer lugar, la duración del estudio, cuánto tiempo y esfuerzo es posible dedicar a la etapa de recolección de información.
- En segundo lugar, tenemos el horizonte de predicción, asociado a cuán lejos en el futuro queremos predecir. Si el año de predicción está muy cerca, no habrá mucho tiempo disponible para realizar el estudio.
- En tercer lugar, tenemos los límites del área de estudio. Es importante olvidarse de los límites políticos tradicionales como municipios, alcaldías o estados. Y concentrarse en cambio en el área de interés real.
- En cuarto lugar, tenemos los recursos del estudio. Se necesita conocer en forma aproximada y detallada cuánto personal estará disponible para el estudio, cuál será el nivel de capacitación necesario de dicho personal. Qué facilidades computacionales o tecnológicas estarán disponibles, y qué restricciones existirán para su uso.

Puede haber otras posibles restricciones físicas, sociales o ambientales que deben ser tomadas en consideración, puesto que influenciarán el diseño de la encuesta.

Se debe plantear al comienzo del estudio la resolución o detalle a utilizar. En este sentido, podemos identificar tres importantes decisiones.

1. El sistema de planificación.
2. La definición de la red.



3. Los distintos periodos de análisis.

Sistema de planificación

La zonificación elegida corresponde a una fracción física de la ciudad, no es necesario dividir el área de estudio en zonas de igual tamaño. La cantidad de zonas en las que se debe dividir el área depende básicamente de dos factores.

- En primer lugar, el carácter del estudio. En un estudio estratégico se elegirán menos zonas y más grandes, mientras que en un estudio más detallado tendremos una mayor cantidad de zonas de menor tamaño.
- En segundo lugar, la cantidad de zonas dependerá de los recursos disponibles. Un mayor número de zonas implica mayor exactitud, pero es más caro desde cualquier punto de vista.

Un supuesto importante en la modelación es que todas las actividades de una zona se concentran en un centroide. Así, todos los viajes de la ciudad comenzarán y terminarán en los centroides de las zonas correspondientes. Las zonas deben ser de un tamaño tal que ello supuesto no conduzca a errores demasiado grandes.

La red vial

Corresponde simplemente a la oferta de infraestructura. La red vial suele caracterizarse de forma jerárquica, categorizando las autopistas, avenidas y calles de la ciudad. En primer lugar, podemos identificar una red vial primaria, compuesta por las autopistas urbanas de gran capacidad. Esta red primaria también se compone por las principales avenidas de la ciudad que corresponden unos corredores estructurales de ésta. La red vial secundaria se compone de aquellas calles de menor capacidad que proporcionan conectividad local dentro de distintas zonas de la ciudad. Resulta clave determinar cuántos niveles jerárquicos debe incluir la red vial. Si incluye más tipos de calles, se conseguirá una mejor representación de la realidad. Pero el sistema será más caro y complejo de utilizar.

Periodos de análisis.

Para estimar los impactos de un proyecto se deben predecir las condiciones de operación en la red estratégica que representa el área de estudio. Como las condiciones de operación varían con los usos, frecuencias y capacidades, y a su vez éstos varían cada día, semana, mes o año, no es apropiado efectuar predicciones con los valores promedios de las variables. Es necesario distinguir periodos diferentes, razonablemente homogéneos, que permitan caracterizar las condiciones de oferta y el comportamiento de la demanda de manera apropiada.

El número de periodos a definir dependerá del tipo de proyecto analizado y del nivel de precisión que se requiere para el estudio. Como es de esperar, la cantidad de periodos influirá en el costo y duración del estudio.



En general, el objetivo de la tarea de periodización es encontrar un número limitado de periodos que logren representar de manera válida las condiciones de operación del sistema analizado.

Para la toma de decisiones relacionadas con transporte y para la modelación de transporte, se debe tener información confiable. De las variables relacionadas con la demanda de transporte, se debe saber:

- Cuántos viajes al día hacen las personas desde sus hogares (frecuencia).
- El motivo por el cual viajan las personas.
- El destino del origen y destino de los viajes.
- El propósito de los viajes.
- El número de vehículos por hogar.
- El gasto en transporte que realiza la familia.
- Entre otras cosas

Sobre los transportes de carga se necesita conocer.

- Que tipo de mercadería se está transportando
- Proporción de los viajes que se realizan con un camión vacío.
- Tipo de caja.
- Capacidad del camión.
- Tipo de camión (ejes)
- Así como la mayoría de las características antes mencionadas para los vehículos ligeros.

6.2.1 Encuestas Origen-Destino en la Autopista Armería-Manzanillo

De los trabajos de campo realizados por la consultora analice la encuesta Origen – Destino que se realizó en el año 2015 y cuyo objetivo fue caracterizar la demanda para de esta manera poder conocer los patrones de viaje que experimenta la zona en condiciones normales de operación, dicha encuesta fue utilizada como insumo para el modelo de demanda y el modelo de transporte planteado en este trabajo de investigación.

Dichas encuestas permiten conocer el comportamiento de los usuarios y su patrón de viajes, así como, algunas características socioeconómicas y de preferencias de los usuarios. Se efectuaron 4,692 encuestas ya depuradas de origen – destino en las vías de la red de influencia definida. La información que se recopiló al aplicar la encuesta de origen-destino, fue la siguiente:

- Lugar de origen y destino (estado, municipio, localidad/colonia y/o punto de referencia).
- Motivo del viaje (sólo para autos)
- Frecuencia de viaje
- Rango del ingreso mensual (sólo para autos)
- Tiempo del viaje



- Tipo de caja y carga (solo para camiones)
- Entre otras preguntas

En la siguiente tabla se muestra el número de encuestas depuradas OD/PR realizadas por estación y el tamaño respectivo de la muestra.

TABLA 19 Total de encuestas OD/PR realizadas

Lugar	Periodo	Autos	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Total
Vía Libre	Es	790	101	106	57	230	96	6	10	21	1417
	Fs	1047	99	59	22	99	41	2	4	2	1375
Caseta Cuyutlán	Es	667	45	38	12	68	30	12	8	106	986
	Fs	622	28	44	5	46	23	12	5	129	914
Total		3126	273	247	96	443	190	32	27	258	4692

Lugar	Periodo	Au	Cu	Cal	Call	Total
Vía Libre	Es	790	264	326	37	1417
	Fs	1047	180	140	8	1375
Caseta Cuyutlán	Es	667	95	98	126	986
	Fs	622	77	69	146	914
Total		3126	616	633	317	4692

Fuente: Elaboración propia

Para la muestra de la encuesta OD se consideraron los siguientes parámetros:

- Dicha encuesta representa un nivel de confianza de 95% y contiene un error del 5%.
- El horario de toma de información fue de 7:00 a 19:00 horas.
- Las encuestas que se utilizaron para el estudio se dividieron en dos uno para las vías de cuota y otro para las vía libre.
- La información levantada se almacenó en una base de datos (BDOD) donde es integrada y procesada.

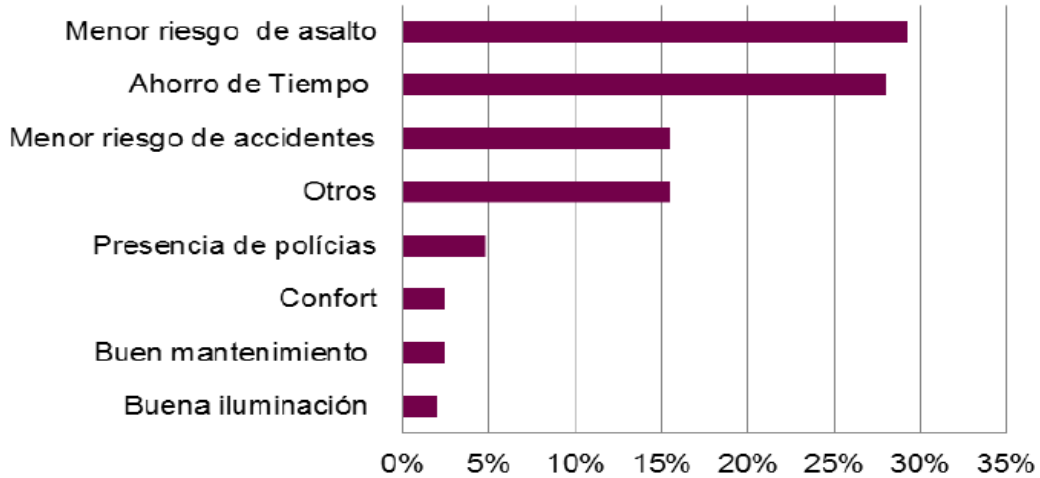
6.2.2 Resultados de la encuesta OD

A continuación se presentan algunos elementos encontrados en las respuestas de los usuarios de la Autopista, a algunas de las preguntas definidas en las encuestas de Origen-Destino y preferencia revelada realizadas en el año 2015.

Los conductores de camiones, y usuarios existentes de la Autopista, esperan:

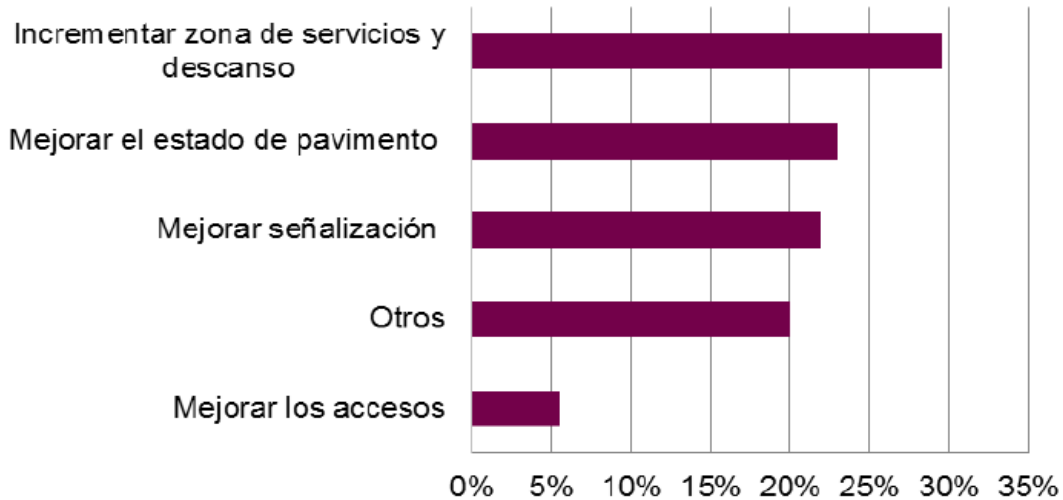


Figura 46. Pregunta ¿Por qué utilizan la Autopista? Todos los vehículos



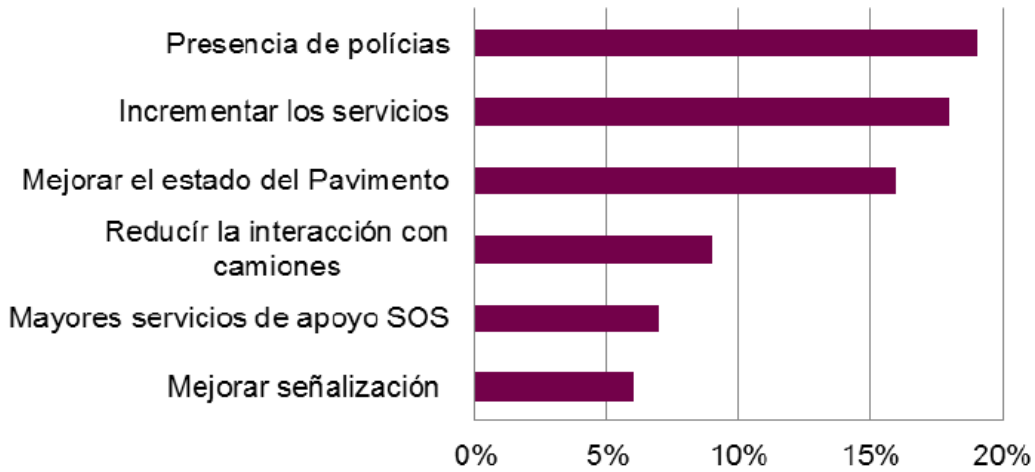
Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 47. Pregunta ¿Qué servicios adicionales a los existentes le gustaría encontrar en la Autopista? Vehículos de carga



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

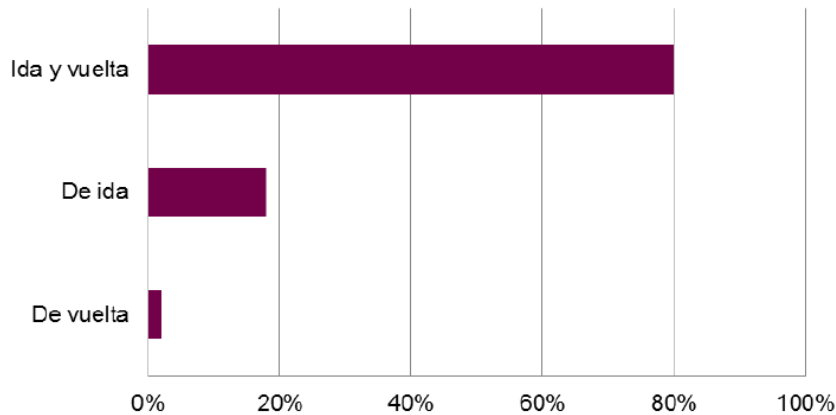
Figura 48. Pregunta ¿Qué servicios adicionales a los existentes le gustaría encontrar en la Autopista? Automóvil



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

La seguridad ciudadana, el ahorro en el tiempo de viaje, la atención a emergencias y seguridad vial constituyen los principales atributos que diferencian la Autopista de la vía libre. En esta medida es importante hacerle saber al concesionario la información anterior para lograr mantener y mejorar los servicios.

Figura 49. Pregunta En este viaje ¿Usted va a emplear la Autopista?

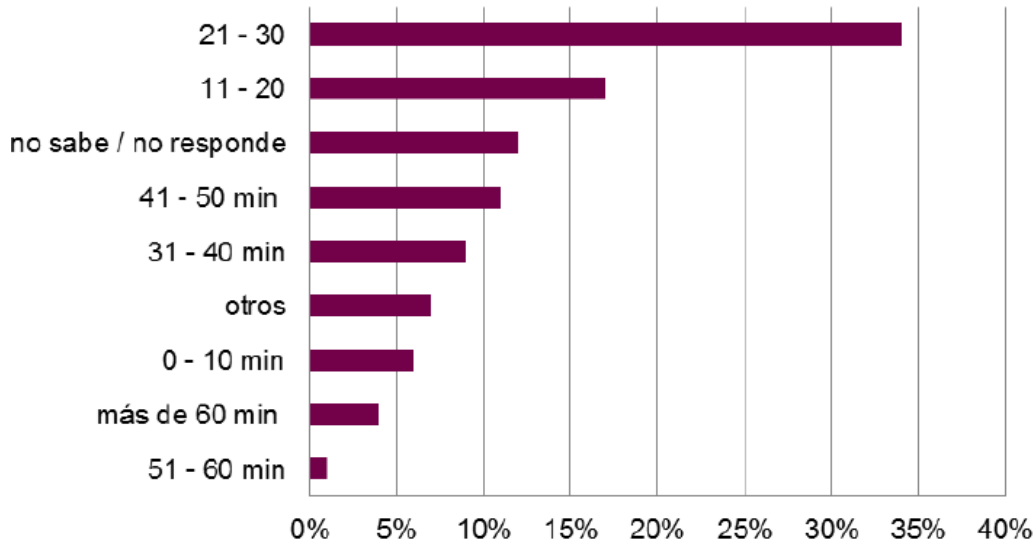


Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la Encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Las respuestas de los conductores de camión de la vía libre se presentan a continuación.

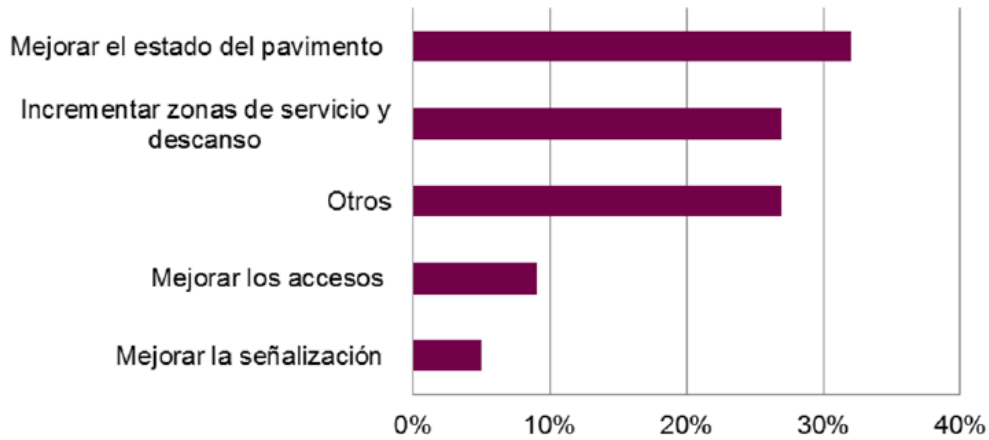


Figura 50. Pregunta, ¿En su viaje, cuanto tiempo cree que podría ahorrarle la Autopista Armería-Manzanillo?



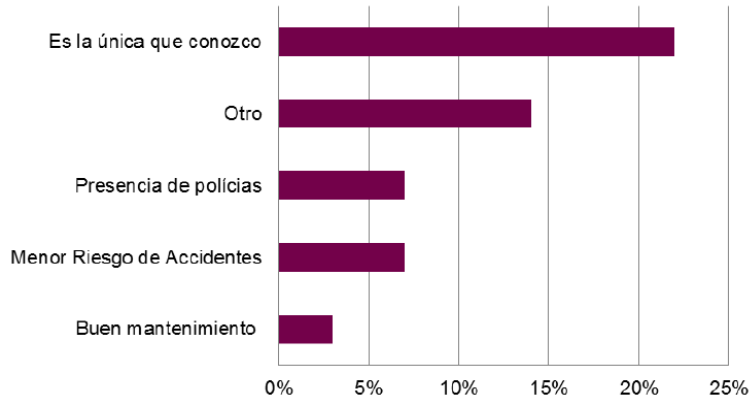
Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 51. Pregunta, ¿Qué servicios adicionales a los existentes, le gustaría encontrar en la Autopista Armería-Manzanillo?



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 52. Pregunta, ¿Por qué razón decidió usar la vía libre en su viaje?



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

6.2.3 Caracterización de la demanda

Con base en las encuestas OD realizadas, se representaron gráficamente los viajes captados en cada una de las estaciones, lo cual permitió conocer los principales viajes que forman parte de la zona de estudio.

A continuación se presenta este análisis por estación y por tipo de vehículo.

6.2.3.1 Caracterización de los autos

El número de encuestas realizadas se presenta a continuación, discriminadas por día de ejecución (entre semana y fin de semana), estación y sentido de circulación.

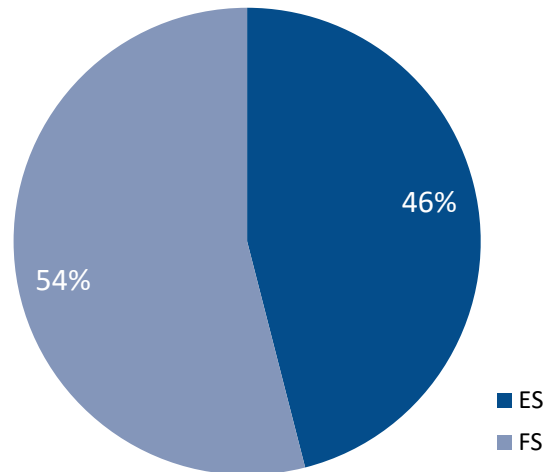
Tabla 20 Encuestas autos, ES y FS

EST 01 CASETA CUYUTLÁN			EST 02 VÍA LIBRE		
PERÍODO	TOTAL	%	PERÍODO	TOTAL	%
ES	1,623	46%	ES	1,007	53%
FS	1,926	54%	FS	905	47%
TOTAL	3,549	100%	TOTAL	1,912	100%

Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la Encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

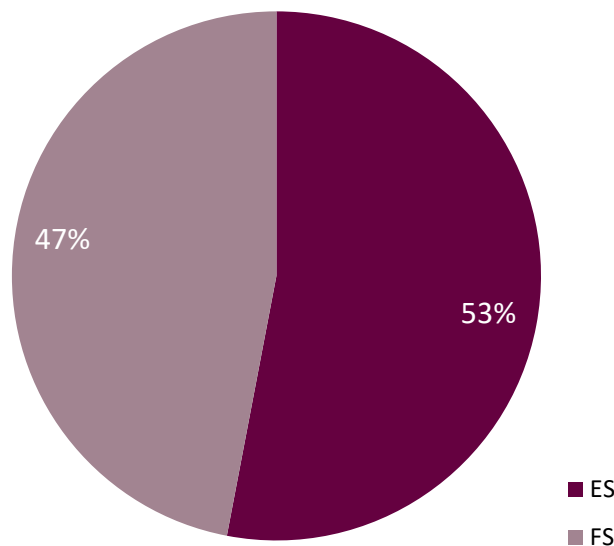


Figura 53. Porcentaje de encuestas en la estación de cuota de la Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

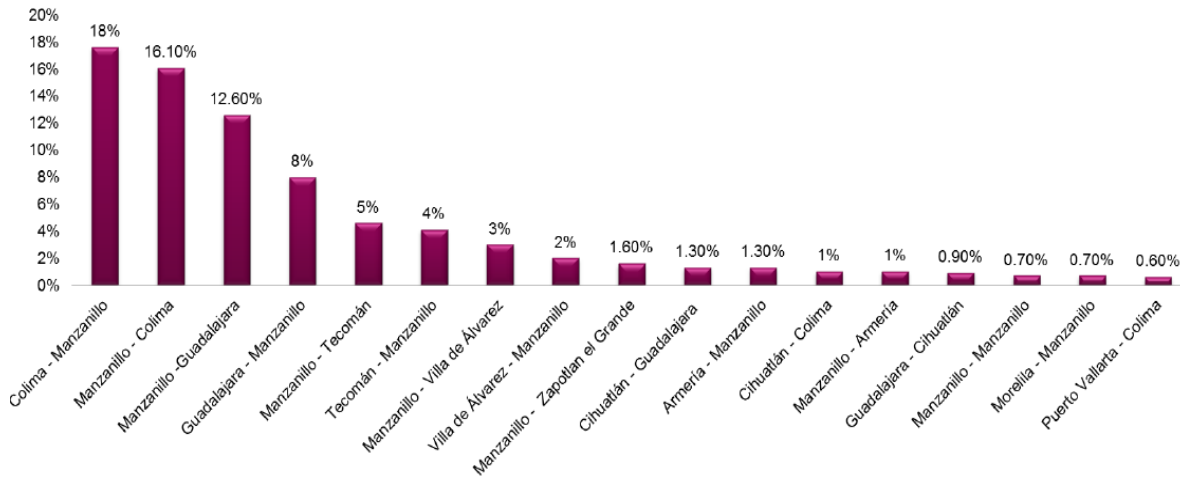
Figura 54. Porcentaje de encuestas en la estación de vía libre



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

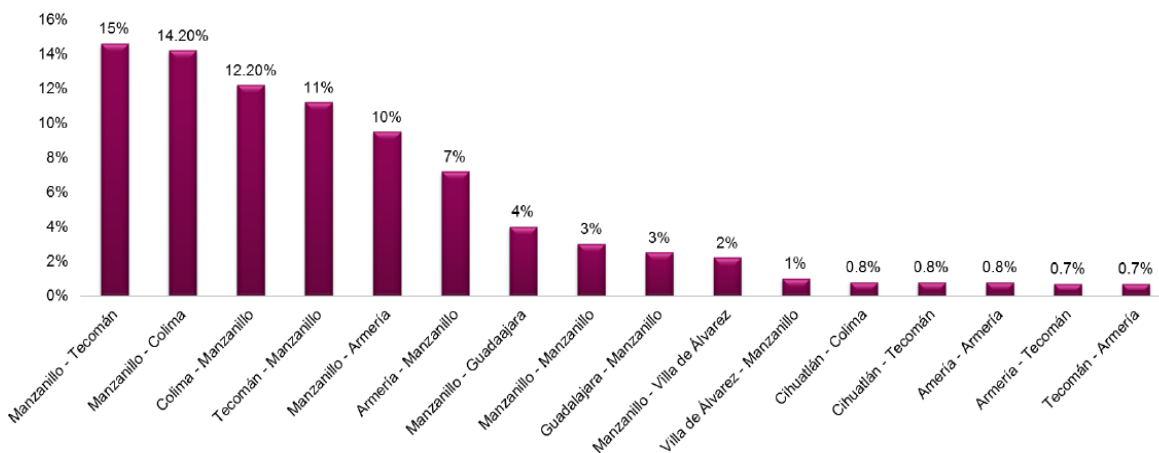
Los automóviles tienen sus principales viajes entre Manzanillo y Colima, Guadalajara, Tecomán y Villa de Álvarez. Estos pares en su conjunto conforman el 80% de la totalidad de los viajes y representan a los principales centros industriales, poblacionales y turísticos de la región.

Figura 55. Principales pares entre los municipios O-D, Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 56. Principales pares entre los municipios O-D, Vía libre

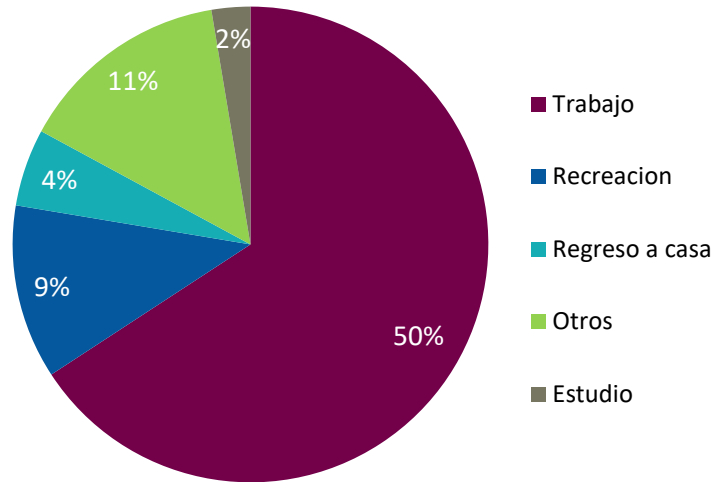


Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

La autopista de cuota presenta variaciones en el motivo de viaje según el periodo. El principal motivo de viaje para los usuarios de la autopista es por actividades relacionadas con el trabajo durante días entre semana y actividades de recreación los fines de semana. Esto indica que el usuario cambia entre los dos periodos. Este fenómeno se explica, principalmente, por las actividades industriales asociadas al puerto de Manzanillo que se desarrollan regularmente entre semana y se reducen durante los fines de semana. Por otro lado, la cercanía de desarrollos turísticos y playas en Manzanillo, promueve la atracción de visitantes durante los fines de semana.

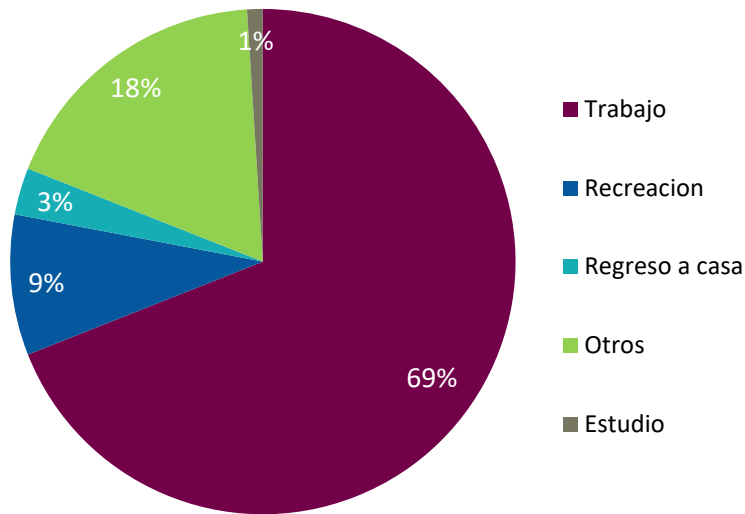


Figura 57. Motivo de viaje – Autos Est 01 Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 58. Motivo de viaje – Autos Est 02 Vía Libre



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

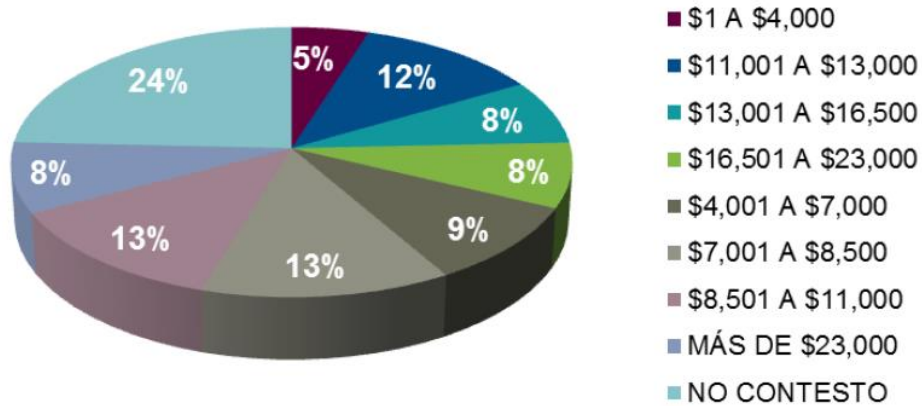
El nivel de ingreso constituye una de las variables mediante las cuales se busca caracterizar la demanda del proyecto. Esta tiene relación con la capacidad adquisitiva de los usuarios potenciales y establece un parámetro esencial para determinar la disponibilidad de pago.



La mayoría de los usuarios de la autopista de cuota presentan ingresos superiores a los \$7,000, mientras que cerca del 35% de los usuarios de la vía libre declaran ingresos menores a \$7,000.

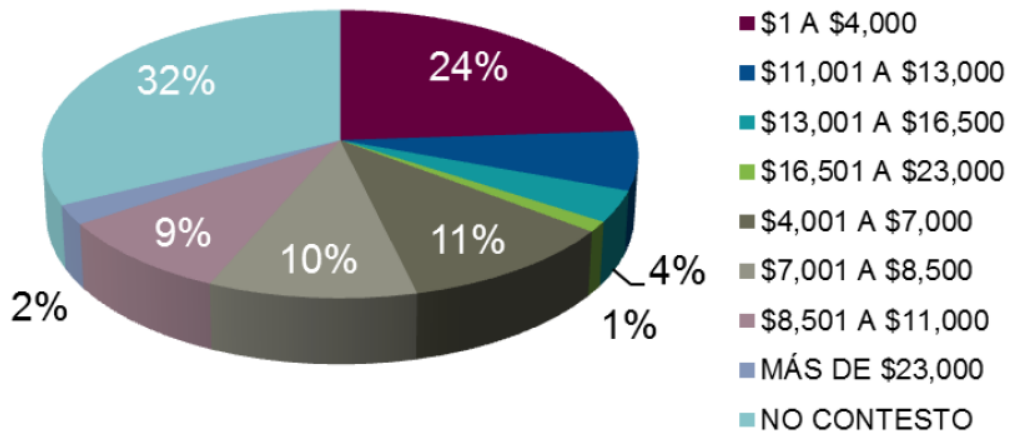
En la tabla siguiente se muestra la distribución y rangos de los ingresos asociados a usuarios y no usuarios de la Autopista.

Figura 59. Ingresos – Autos Estación 01 Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 60. Ingresos – Autos Estación 02 Vía Libre

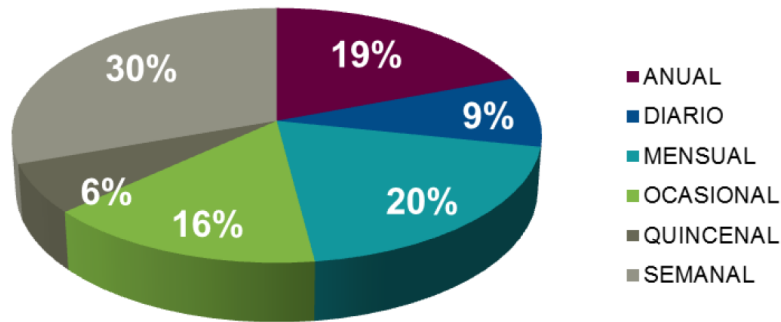


Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

La frecuencia de viaje es una variable importante que puede tener un impacto en la disponibilidad de pago de los usuarios. Los viajes diarios tienden a tener una disponibilidad de pago menor que usuarios que utilizan la autopista ocasionalmente.

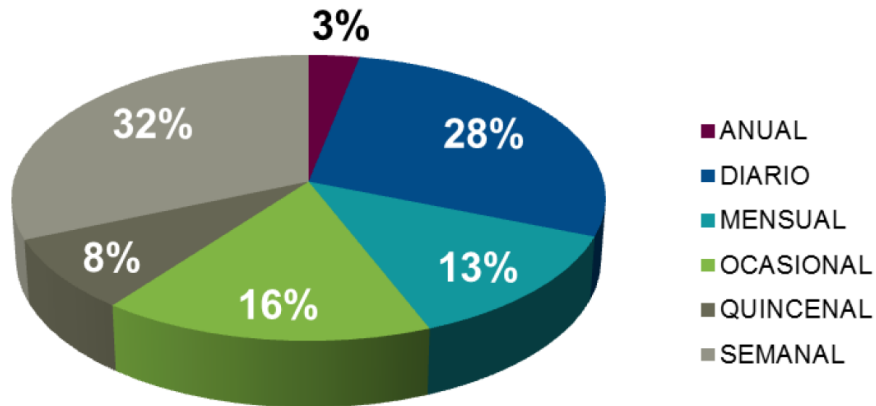
La mayor parte de los usuarios de la autopista la utilizan toda la semana. Cerca del 40% de los viajes corresponden a la anterior característica. Por su parte la vía libre es utilizada con mayor frecuencia. Es decir, cerca del 60% de los viajes se realizan diariamente y un vez a la semana.

Figura 61. Frecuencia de viaje –Autos Estación 01 Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 62. Frecuencia de viaje –Autos Estación 02 Vía Libre



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

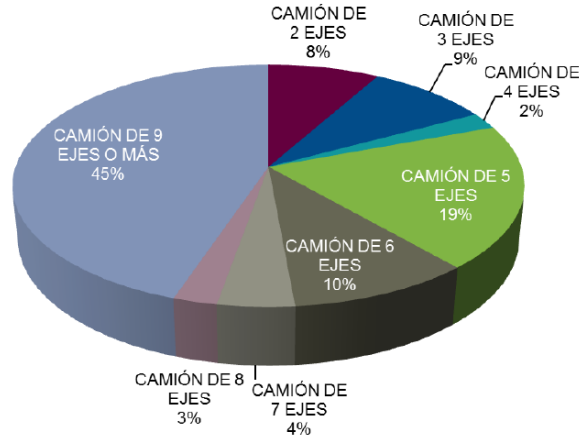
6.2.3.2 Caracterización vehículos de carga

Los camiones unitarios, durante ambos periodos, generan y atraen la mayoría de sus viajes entre zonas cercanas al Puerto de Manzanillo, Armería, Guadalajara, Tecomán y Colima.



Los camiones articulados de 5 y 6 ejes generan y atraen la mayor parte de sus viajes entre Manzanillo y Colima, Aguascalientes y Chihuahua.

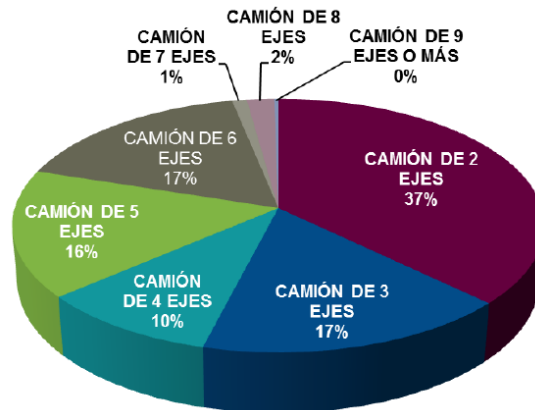
Figura 63. Número de ejes de Camiones Estación 01 Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Los camiones articulados atraen y generan viajes entre Manzanillo y Guadalajara, CDMX., Estado de México, Aguascalientes, Chihuahua, Nuevo León y Guanajuato.

Figura 64. Número de ejes de Camiones Estación 02 Vía Libre



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

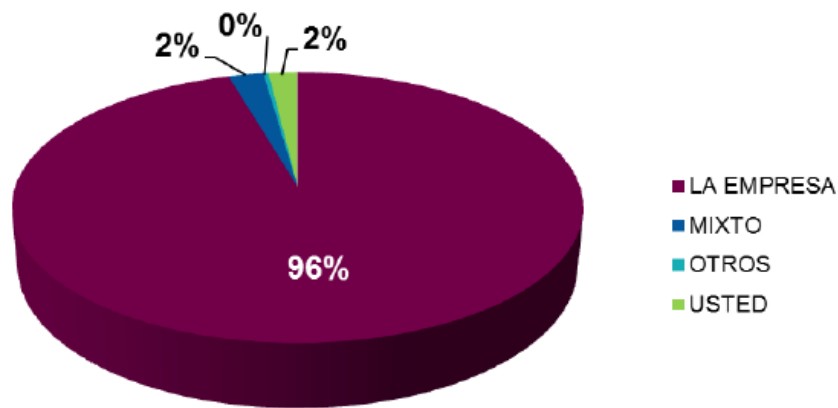
El número de ejes de los camiones de carga son importantes ya que de acuerdo al valor de la carga que transportan, y su capacidad, varía la disponibilidad de pago. Los camiones de carga ligeros o unitarios (2, 3 y 4 ejes), por lo general, no son capaces de manejar grandes volúmenes de carga y operan más eficientemente a distancias relativamente cortas. Los

camiones de carga pesados o articulados (5 ejes o más) tienen mayor capacidad de carga y operan más eficientemente en distancias medias y largas.

En la autopista, los camiones de 7 y más ejes acumulan la mayor parte de la demanda de vehículos pesados, cerca del 50%.

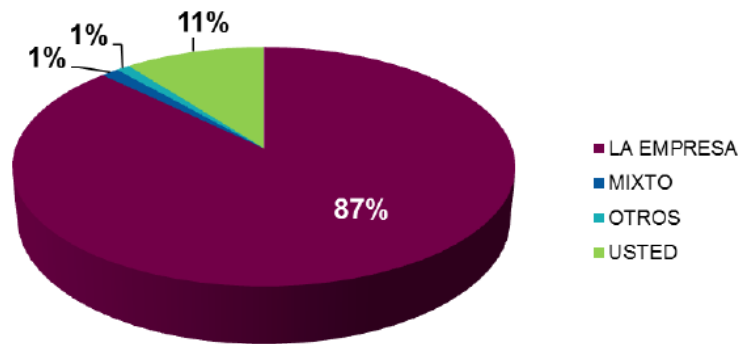
En la vía alterna los camiones de 2 y 3 ejes conforman la mayor parte de la demanda de camiones que circulan por la vía. Es importante recordar que los camiones de 7 ejes o más prácticamente no circulan sobre la vía alterna debido a la restricción existente para este tipo de camiones.

Figura 65. Financiamiento de la cuota en los Camiones Estación 01 Caseta Cuyutlán



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 66. Financiamiento de la cuota en los Camiones Estación 02 Vía Libre



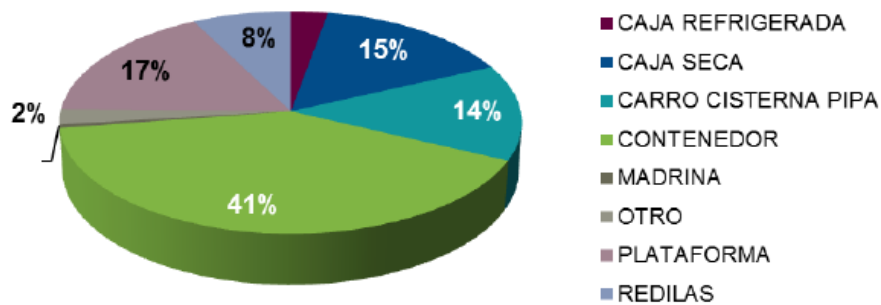
Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Las empresas que pagan las cuotas del transporte forman la mayoría de la demanda, cerca del 95% de los camiones corresponden a este tipo de empresas. Un porcentaje menor manifestó pagar las cuotas de su bolsillo.

En la vía alterna, una mayor población manifestó pagar cuotas durante su trayecto, aunque existe un segmento considerable de usuarios que manifestó que la empresa les ofrece algún tipo de reembolso de las cuotas.

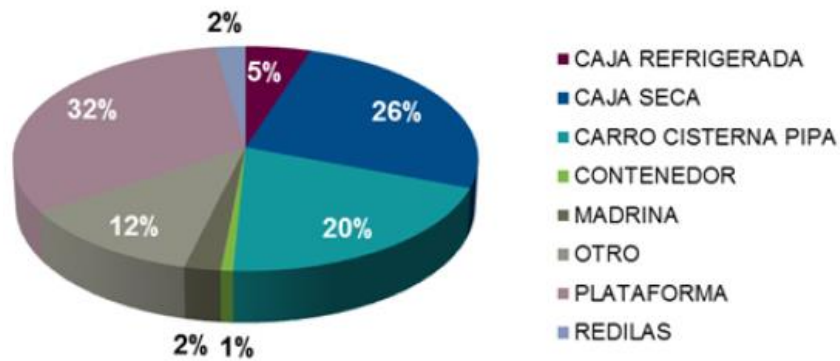
A continuación se presenta el tipo de cajas que se movilizan por la autopista. Nótese la preponderancia de los contenedores, los cuales representan cerca del 40% de las cajas movilizadas por la Autopista.

Figura 67. Tipo de caja, Estación 01 Camiones



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 68. Tipo de caja, Estación 02 Camiones

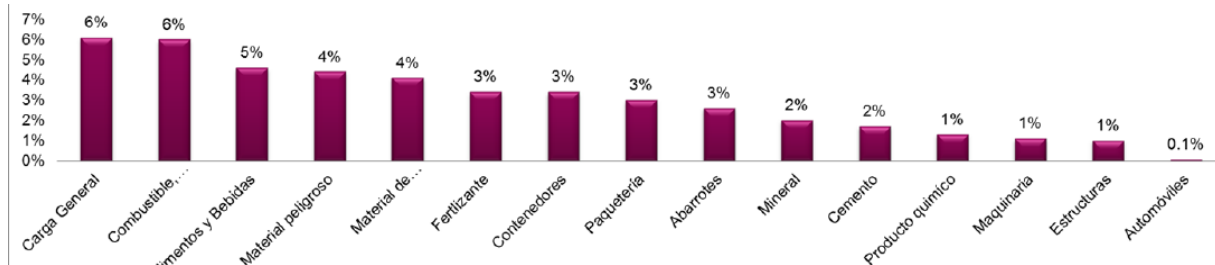


Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

El tipo de caja asociada a los camiones, refleja la actividad del puerto al cual es posible asociar su movimiento. El puerto, como es sabido, cuenta con capacidades específicas de movimiento

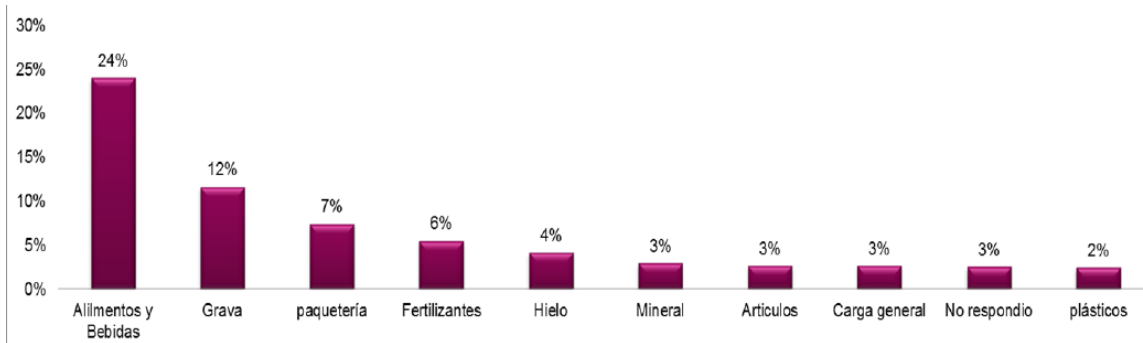
de tipos de cajas y por ende de carga. Es así como *los contenedores* son el principal tipo de caja que moviliza el puerto y son a su vez la unidad de negocio más rentable del mismo.

Figura 69. Tipo de carga, Estación 01



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

Figura 70. Tipo de carga, Estación 02



Fuente. Elaboración propia, tomando como referencia la encuesta OD realizada por la consultoría en 2015

La carga transportada también juega un papel importante en la disponibilidad de pago del tráfico pesado. Los productos no perecederos abarcan la mayor parte de la demanda y el tráfico intermodal por contenedor tiene una importancia superlativa. Así mismo, los productos perecederos asociados al consumo doméstico presentan una participación importante en la distribución de la carga que utiliza la vía libre.

Por último, es importante notar que los materiales peligrosos no pueden circular por la vía libre debido a la restricción implantada por la SCT, por lo que todos lo harán por la vía de cuota.

6.2.4 Muestreo, error muestral y expansión de la base OD

Muestreo

Una muestra es una colección de individuos o de unidades que pertenecen a una población sobre la cual queremos conocer algún dato en particular. Por lo tanto, a partir de los resultados de una muestra, se hace inferencias sobre valores poblacionales.



En relación a una muestra se tienen cuatro elementos que son claves:

1. Conocer cuáles son las unidades que componen la muestra, es decir, qué elementos de la población van a estar siendo representados en esta muestra.
2. Conocer cuál es la población de interés¹⁴.
3. Determinar el tamaño de la muestra. Es importante, porque una muestra de tamaño pequeño no nos va a permitir hacer inferencia sobre valores poblacionales y si el tamaño de una muestra es muy grande, esto va a tener un costo que podría llegar a ser prohibitivo.
4. Selección de cada unidad que compone una muestra.

Muestra aleatoria

Es una muestra en la cual cada unidad que compone la población de interés tiene la misma probabilidad de ser elegida. Por ejemplo, si la población de interés son los hogares y se quiere conocer cuántos viajes se realizan por hogar. Una muestra aleatoria significa que cada hogar de la ciudad, en la cual estamos realizando la encuesta tiene que tener la misma probabilidad de elección. Si distintos hogares tienen diferentes probabilidades de ser elegidos, en ese caso no estaríamos hablando de una muestra aleatoria.

Con respecto al tema de la determinación del tamaño muestral, en este sentido estos resultados son la ley de los grandes números y el teorema del límite central.

La ley de los grandes números nos dice que si el tamaño de una muestra crece, la media muestral de la variable de interés se va a acercar cada vez más a la media de la población de esta variable de interés. Esto nos permite efectivamente hacer encuestas y tomar muestras. El resultado de la ley de los grandes números nos asegura que con muestras de tamaño finito vamos a poder aproximarnos tanto como queramos a los parámetros poblacionales de interés.

El teorema del límite central, lo que dice es a qué velocidad converge la media muestral con media poblacional. Básicamente el resultado clave del teorema del límite central, es que si se considera una variable aleatoria que está dada por la diferencia entre la media muestral y la media poblacional y dividimos esta diferencia por la desviación estándar del estimado muestral, esta variable aleatoria se va a distribuir como una normal con media cero y varianza uno (0,1). Entonces, a partir de este resultado podemos calcular el tamaño muestral.

Error muestral

Para determinar el tamaño de muestra de la encuesta OD se utilizó la siguiente expresión con el fin de disponer con la información suficiente para caracterizar adecuadamente los viajes presentados en cada una de las estaciones.

¹⁴ Con respecto a población de interés son todas aquellas unidades que componen esta población sobre la cual nosotros queremos hacer inferencia



ECUACIÓN 1 TAMAÑO DE MUESTRA PARA LAS ENCUESTAS OD

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad \text{tal que,} \quad n_0 = \frac{Z^2 P(1 - P)}{e^2}$$

Fuente: Modelling Transport, 4th Edition. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen

Dónde:

n_0 = tamaño de muestra requerido

N = número total de vehículos que cruzan el punto de la encuesta

P = proporción de viajes con un destino determinado

Z = nivel de significancia estadística ($z=1.96$ al 95% de confianza)

e = error absoluto en la estimación de P a partir de la proporción de la muestra.

La información recopilada en campo fue depurada al eliminar aquellas encuestas con información incompleta o inconsistente en relación principal al origen y al destino. Una vez realizado lo anterior y con base en los aforos de las estaciones de campo, se procedió al cálculo de la tasa de muestreo efectiva por tipo de vehículo y estación empleando la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 2 ERROR MUESTRAL

$$e = \sqrt{\frac{Z^2 P(1 - P)(N - n)}{n(N - 1)}}$$

Fuente: Modelling Transport, 4th Edition. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen

En función de dichos resultados se concluye que los tamaños muestrales alcanzados permiten representar adecuadamente la distribución espacial de los viajes para el área de influencia¹⁵, pues se observa un margen de error aceptable menor a lo establecido por el Manual de Modelación de la SCT; de acuerdo con esto, es posible afirmar que la muestra levantada para cada estación y por tipo de vehículo son estadísticamente representativa.

Expansión de la Base OD

Posteriormente se procedió a la expansión de la muestra obtenida, lo que significa que a cada encuesta levantada se le asigna un número determinado de viajes a los que representa; de esta manera, el total de encuestas levantadas, caracteriza el total de vehículos que transitaban por el punto de muestreo durante el periodo en el que se ejecutó la encuesta.

Expandir la muestra obtenida en campo, permite representar la totalidad de los usuarios en la red de estudio. Para expandir esta muestra es necesario tener información sobre el

¹⁵ El área de influencia se define como el espacio geográfico de relevancia para la nueva vía que se va a construir, el cual contiene los dos elementos básicos de la planeación del transporte: la oferta, dada por la configuración de la red vial y la demanda, establecida por la estructura de los usuarios que hacen uso de esa infraestructura.



comportamiento horario en el periodo de aplicación de las encuestas, así como el tránsito total de 24 horas con clasificación vehicular; esto se obtiene de los aforos manuales y automáticos por estación; así como el comportamiento de los días a lo largo de la semana y el comportamiento mensual a lo largo del año para transformar esa muestra en un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Para estimar un TPDA actual, se tomaron como base los aforos levantados por la consultoría¹⁶ y los aforos históricos¹⁷. Todas estas fuentes de información son utilizadas para estimar los factores de expansión y estacionalidad.

Dado que la base de origen – destino que se realiza, es una muestra del universo de la demanda que se trata de medir, la importancia de los factores de expansión y estacionalidad radica en expandir esta muestra al universo y a la vez eliminar la estacionalidad que se presenta en el año, para así obtener un valor promedio diario de todo el volumen que pasa durante un año.

La expansión de matrices es un proceso de operaciones matemáticas cuyo objetivo es expandir la muestra de viajes obtenida en las encuestas Origen-Destino hacia el total aforado por tipo de vehículo para un día típico del año, por localización de encuesta y sentido de circulación.

La muestra de encuestas OD obtenida a través de trabajos de campo, representa una parte del total del tránsito que utilizó la autopista y vías alternas, por lo que es necesario expandir la muestra para estimar el TPDA. La fecha en la cual se realizaron los trabajos de campo, por otro lado, implica que la información está afectada por una estacionalidad que varía de acuerdo al 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 autopista durante cualquier época del año.

A continuación se enuncian las maneras de obtener los factores que lograran completar este procedimiento:

- **Factor periodo (Fp):** este factor sirve para expandir la muestra de encuestas tomada durante el periodo, al total de vehículos que circularon durante el mismo periodo. Se estima un factor por cada hora de encuesta, por tipo de vehículo, por sentido de circulación, por fecha y por sitio de encuesta.

$$Fp = \frac{\text{No. encuestas en el periodo}}{\text{Aforo vehicular del periodo}}$$

- **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

¹⁶ Cal y Mayor y Asociados

¹⁷ Los volúmenes actuales e históricos de un tramo carretero son utilizados para la expansión, la desestacionalización y la obtención de matrices de origen destino, así como para conocer el crecimiento histórico del aforo.



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.

$$Fd = \frac{\text{Aforo de 24 horas}}{\text{Aforo de horas de encuesta}}$$

- **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.

$$Fs = \frac{\text{Aforo de la semana}}{\text{Aforo dia}}$$

- **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. Para este caso se utilizará la estación permanente de aforo que corresponde a la caseta de cobro Cuyutlán. Se estima un factor por tipo de vehículo solamente, de acuerdo a la expresión contenida en la Ecuación.

$$Fa = \frac{\text{Aforo promedio de todos los meses}}{\text{Aforo Mes}}$$

El factor anual tiene la función de desestacionalizar los datos, ya que durante los doce meses hay variaciones en el aforo vehicular presentado en las vías de estudio que pueden llegar a ser importantes si no se toma en cuenta esta proceso.

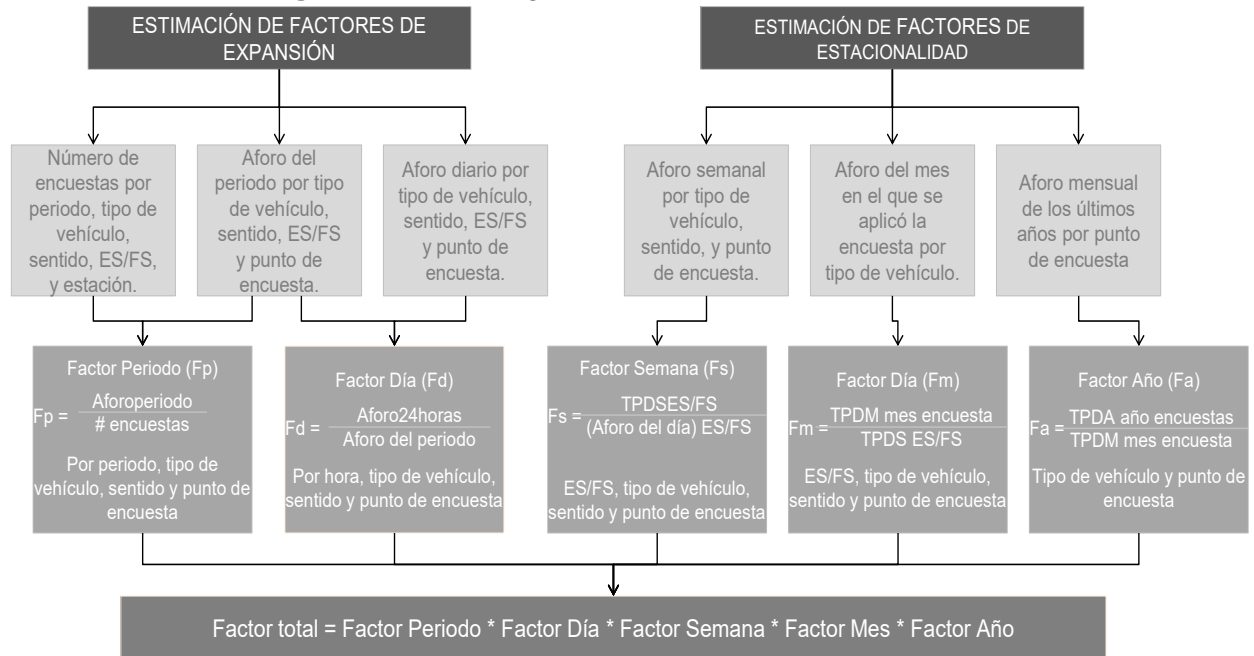
- **Factor total (Ft):** este factor abarca la expansión horaria y diaria de las encuestas junto con la desestacionalización por el día y mes en que se levantaron las encuestas. La estimación se hace de acuerdo a la ecuación, mostrada a continuación:

$$Fs = Fh * Fd * Fs * Fa$$

A continuación se presenta la metodología para estimar dichos factores y de esta forma expandir la muestra OD.



Figura 71 Metodología para la Expansión de la muestra.



Fuente. Elaboración propia

Nota: En el cuadro se muestra la metodología empleada para obtener los factores de expansión, la estimación de los factores requiere, número de encuestas levantadas por hora durante el periodo de encuesta, clasificadas por tipo de vehículo, sentido de circulación, fecha y ubicación de la encuesta; lo siguiente requerido son los aforos, en los puntos a expandir, clasificados por tipo de vehículo, sentido, fecha y ubicación.

La base OD expandida sirvió para realizar la estadística descriptiva o caracterización de la demanda así como para el desarrollo de matrices del modelo de transporte.

6.3 INFORMACIÓN HISTÓRICA DISPONIBLE

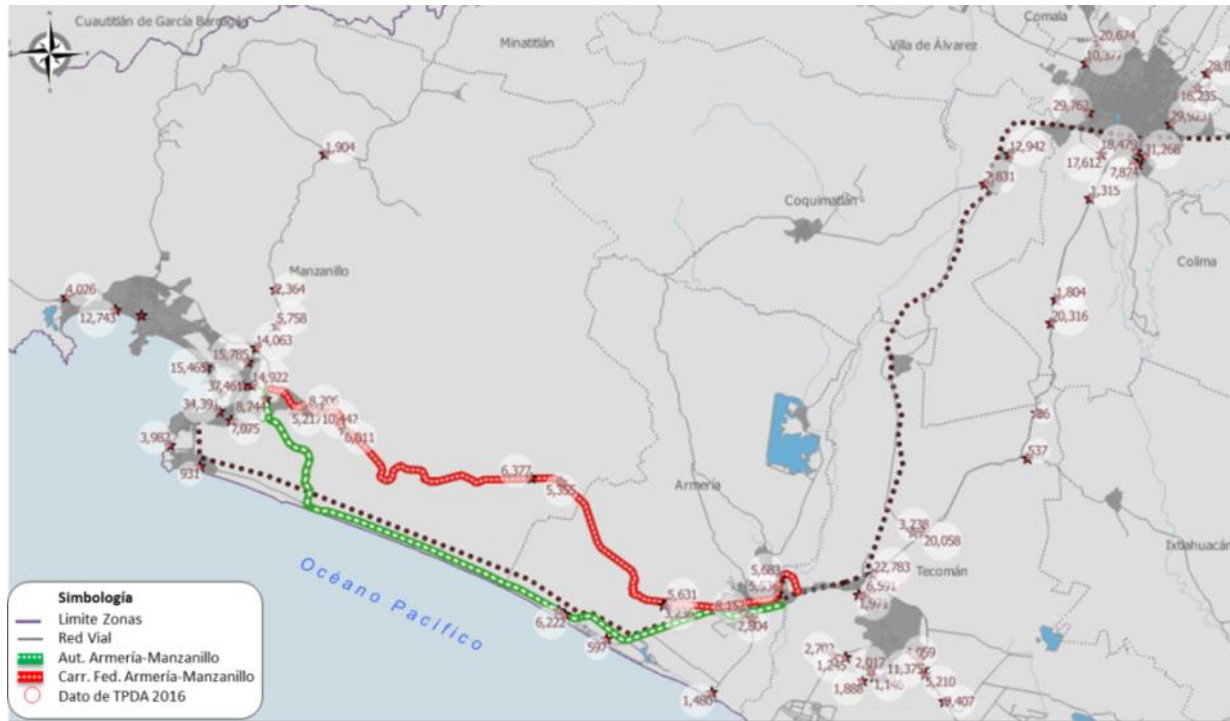
6.3.1 Datos históricos

Con la información de los datos viales se conoce el comportamiento histórico que se ha presentado en las carreteras de la zona de estudio, por lo que es importante conocerlos, para poder conocer la historia de cada vía. Por lo tanto en la siguiente imagen se muestran los datos georreferenciados, guardando los datos que presentan en los archivos PDF que se descargan de la red denominados Datos Viales SCT.

En las siguientes figuras se presenta la información del tráfico promedio diario anualizado (TPDA) para el año 2017 en el área de influencia del proyecto.



Figura 72 Imagen de Datos Viales 2017 en la zona en TPDA



Fuente. Elaboración propia

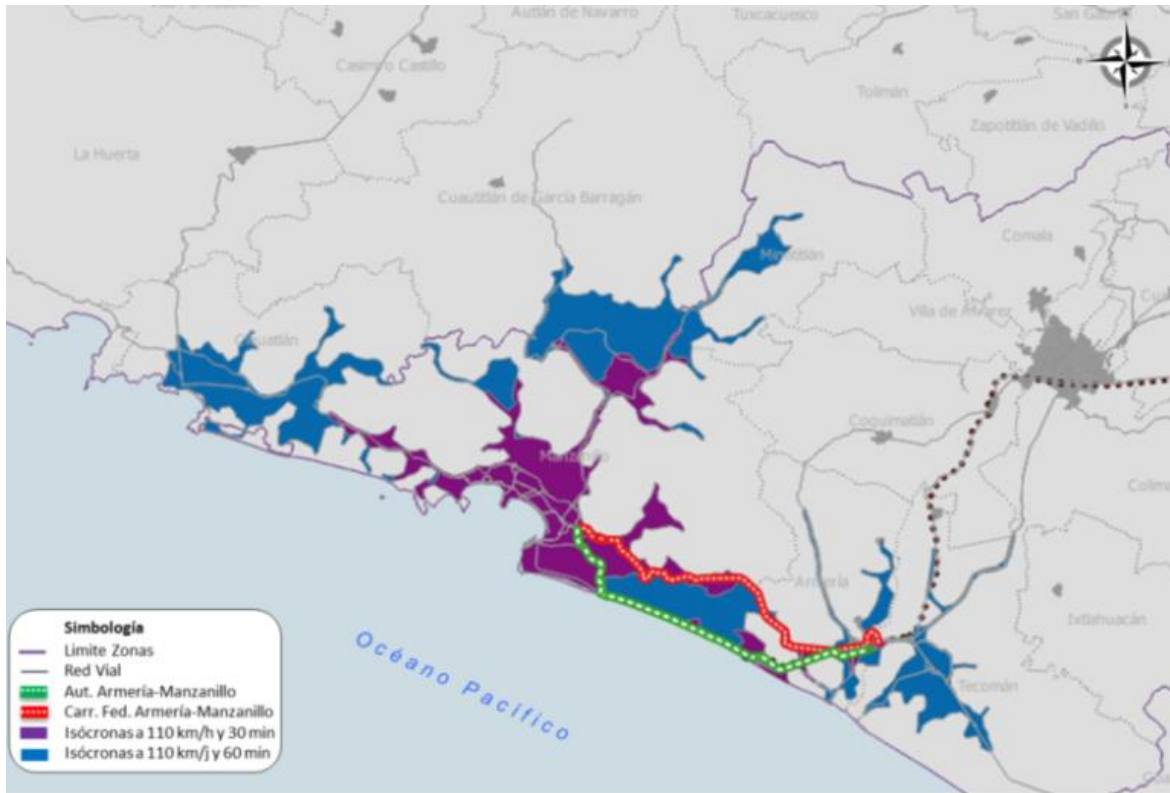
Nota: en la figura se muestra los datos en TPDA que se cuentan en la zona de influencia, dichos datos se utilizan para darnos una idea de los flujos que se tienen en la región.

6.3.2 Identificación de viajes cortos y viajes largos

Para la identificación de viajes cortos (menores a 30 min) y viajes largos (mayores a 30 min) se generaron capas con isócronas¹⁸ las cuales están como punto de origen del Puerto de Manzanillo. Estas se obtuvieron tomando una velocidad promedio de 110 km/h en automóvil, pero es importante aclarar que las distancias que se muestran están contempladas con un flujo libre, por lo tanto no están considerando ningún tipo de demora.

¹⁸ Mapa isócrono es un mapa que muestra las áreas relacionadas con isócronos entre diferentes puntos. Una isócrona se define como "una línea dibujada en un mapa los puntos de conexión en que algo ocurre o llega al mismo tiempo"

Figura 73. Isócronas del puerto de Manzanillo a 30 y 60 min, respectivamente.



Fuente. Elaboración propia

6.4 PRINCIPALES PARES DE VIAJE DE AUTOMÓVILES

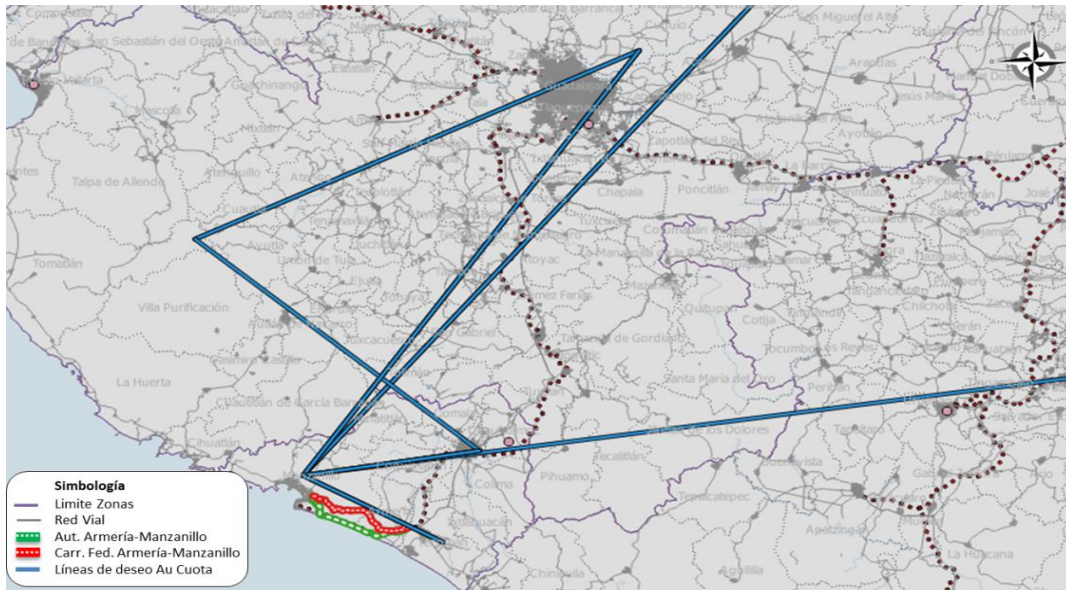
Con la información obtenida de las encuestas de Origen – Destino, y con ayuda de la herramienta de SIG, se representan gráficamente las líneas de deseo de los viajes declarados.

De acuerdo con la muestra obtenida en las diferentes estaciones, los viajes se codificaron y asignaron a las diferentes zonas previamente delimitadas ya sea a nivel municipal o a nivel estatal, estos resultados fueron matrices de viaje, a partir de las cuales se pueden identificar los principales pares de viaje que se generan en esta zona de estudio.

Las líneas de deseo, nos muestra espacialmente entre que municipios o zonas se están dando los viajes de acuerdo a los diferentes tipos de categoría vehicular.

El desglose se realizó por estación y tipo de vehículo. En las siguientes figuras se muestra el concentrado de los principales pares de mayor importancia para las estaciones de campo.

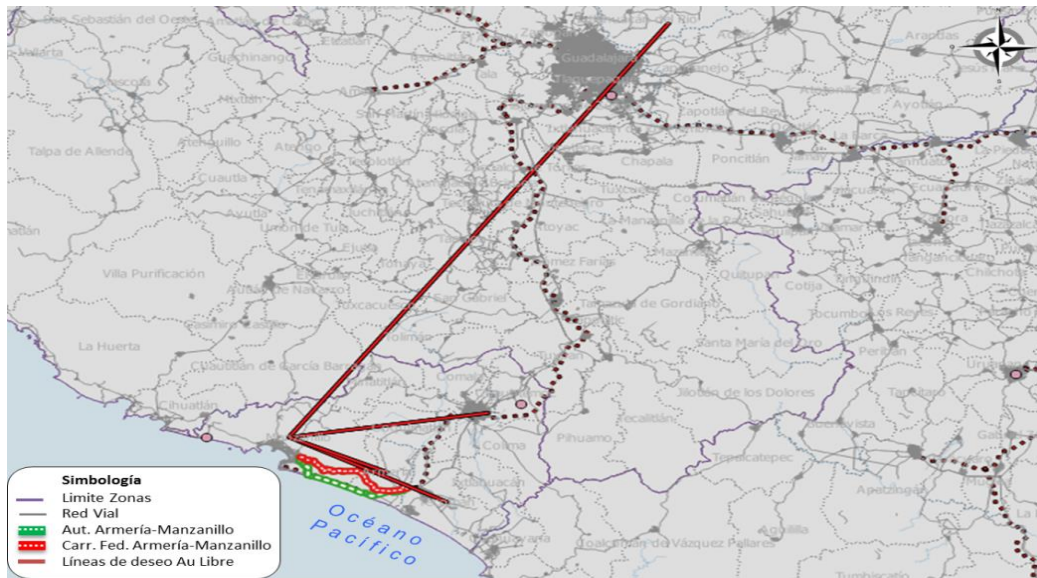
Figura 74. Líneas de deseo Autos Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

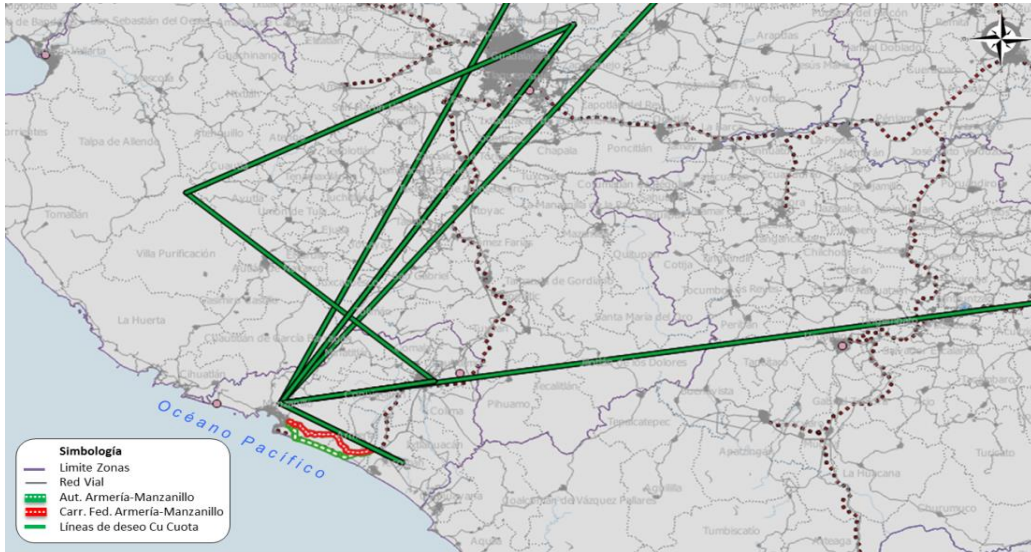
Figura 75. Líneas de deseo Autos Vía Libre



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

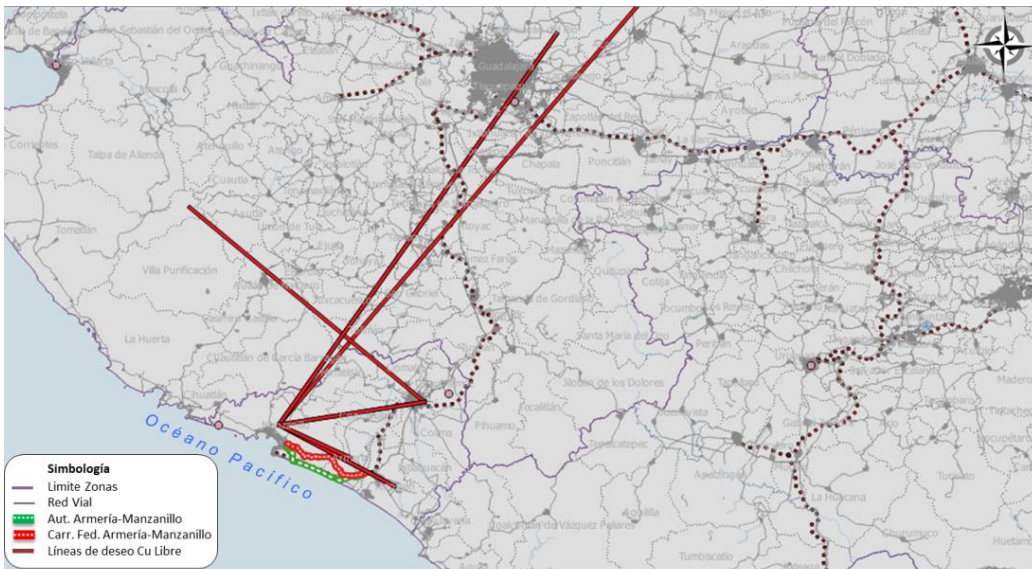
Figura 76. Líneas de deseo Camiones Unitarios (CU), Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

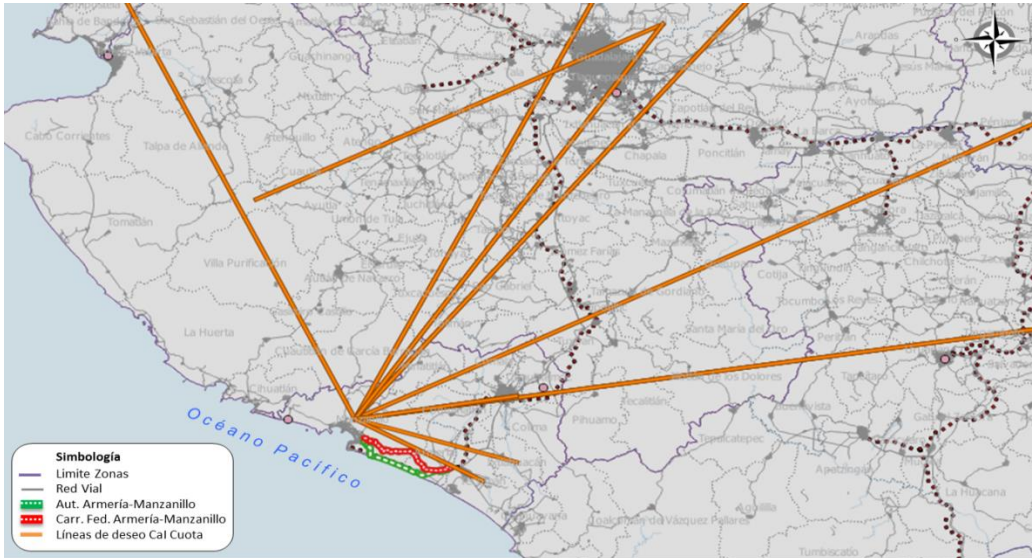
Figura 77. Líneas de deseo Camiones Unitarios (CU), Autos Vía Libre



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

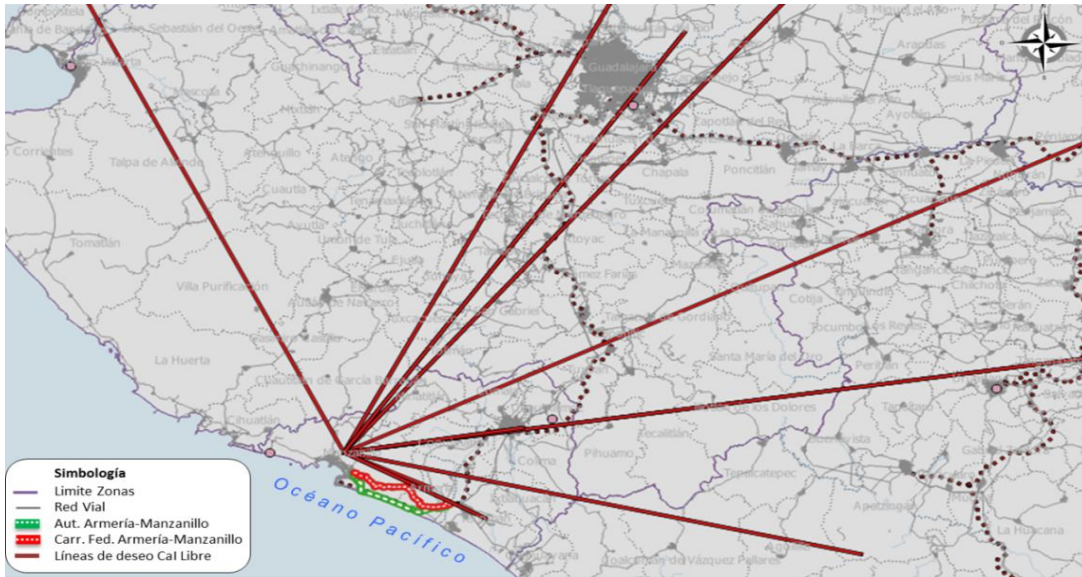
Figura 78. Líneas de deseo Camiones Articulados I (CAI), Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

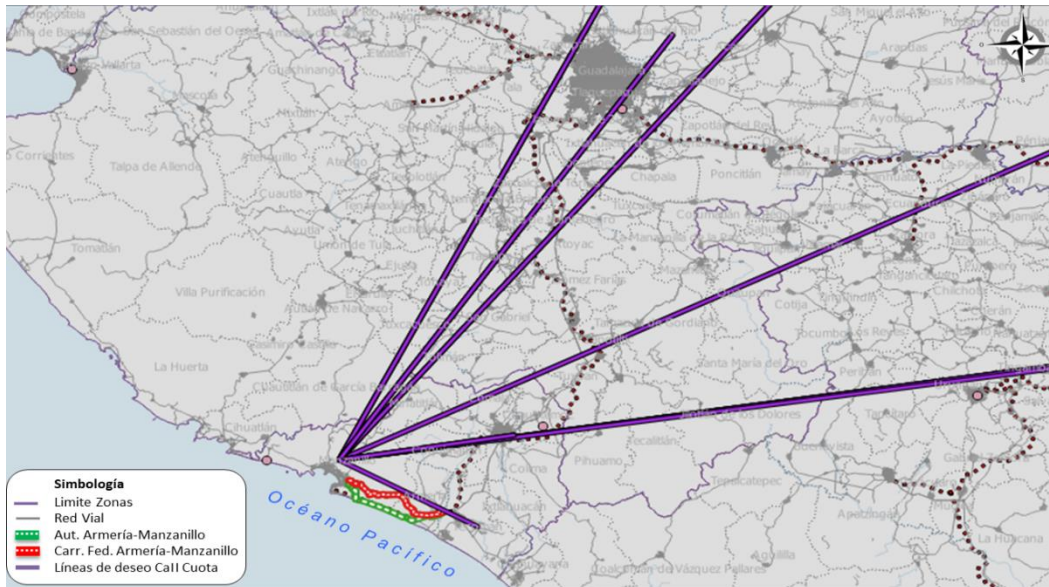
Figura 79. Líneas de deseo Camiones Articulados I (CAI) Vía Libre



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

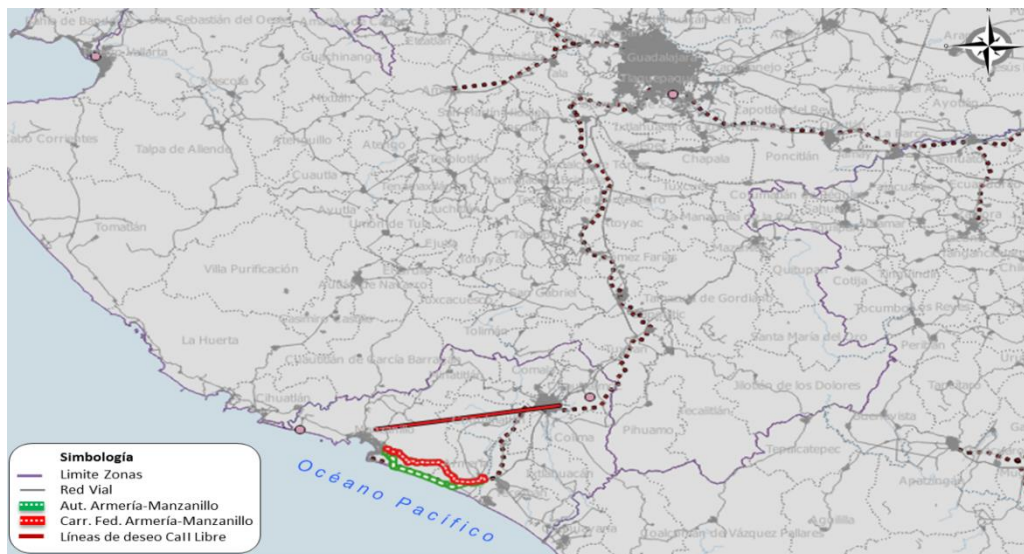
Figura 80. Líneas de deseo Camiones Articulados II (CAII), Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

Figura 81. Líneas de deseo Camiones Articulados II (CAII), Vía Libre



Fuente. Elaboración propia

Nota: en la figura se muestran los principales flujos por modo de transporte, así mismo se puede ver de manera visual los puntos generadores y a tractores. Estos puntos se generan a partir de la zonificación que se definió, por lo tanto es importante mencionar que el punto donde se origina la línea es el centroide.

7 MODELO DE TRANSPORTE

Un modelo es básicamente una representación de la realidad de manera tal de obtener una abstracción que nos permita mayor claridad conceptual acerca de la misma, logrando una reducción de la variedad y complejidad a niveles que nos permitan especificarla de forma adecuada para el análisis.

El uso de modelos es de gran ayuda para el desarrollo y experimentación teórica. En la práctica, uno de los problemas más limitantes es la información. Puesto que aun los modelos más sencillos requieren gran cantidad de datos.

Formulación de modelos.

La formulación de modelo es un proceso esencialmente iterativo. Cada etapa puede ir sugiriendo nuevas ideas o mejorar las anteriores. No obstante, hay una serie de aspectos que son importantes cuando uno considera cómo se debe formular o especificar un modelo. Por ejemplo, ¿con qué propósito lo estamos construyendo?, ¿Qué variables se debieran incluir y cuáles de ellas están bajo el control del modelador?, ¿Cómo se trata el tiempo?, ¿Qué teoría se está representando en el modelo?, ¿Qué técnicas estadísticas y matemáticas están disponibles para construirlo? y finalmente, ¿Qué métodos existen para calibrar el modelo? y, eventualmente, probarlo, esto es validarlo en la práctica.

Dados los objetivos de esta tesis, me enfocaré en dos temas muy importantes.

En primer lugar, el comportamiento, ya que es muy posible que existan formas muy distintas de explicar un mismo suceso. El segundo tema es referente a la validación, ¿cómo podemos saber si el modelo que hemos estimado es un modelo adecuado de la realidad?

Para esto hay algunos aspectos a tomar en cuenta como son:

- El modelo tiene que tener lo que se llama una estructura causal adecuada, (tiene que haber lógica entre las variables que explican y la explicada).
- Los datos del año base, esto es los datos de cuando nosotros estimamos el modelo, lo que usamos para calibrarlo originalmente se deben replicar en forma adecuada. Si el modelo no replica siquiera los datos del año base, estamos equivocados.
- La precisión o exactitud que deben tener los datos y la forma como están modelados. Esto puede ser crucial para lograr diferenciar entre un buen proyecto y un mal proyecto si uno tiene datos adecuados.
- Otro tema básico es la disponibilidad de información. Esto incluye la temporalidad de los datos, va a decir son estables en el tiempo o no.
- Por otro lado, también es muy importante si uno quiere hacer un estudio adecuado, cuáles son realmente los recursos disponibles para el estudio. Esto incluye financiamiento, datos, instalaciones computacionales, software, y también personal



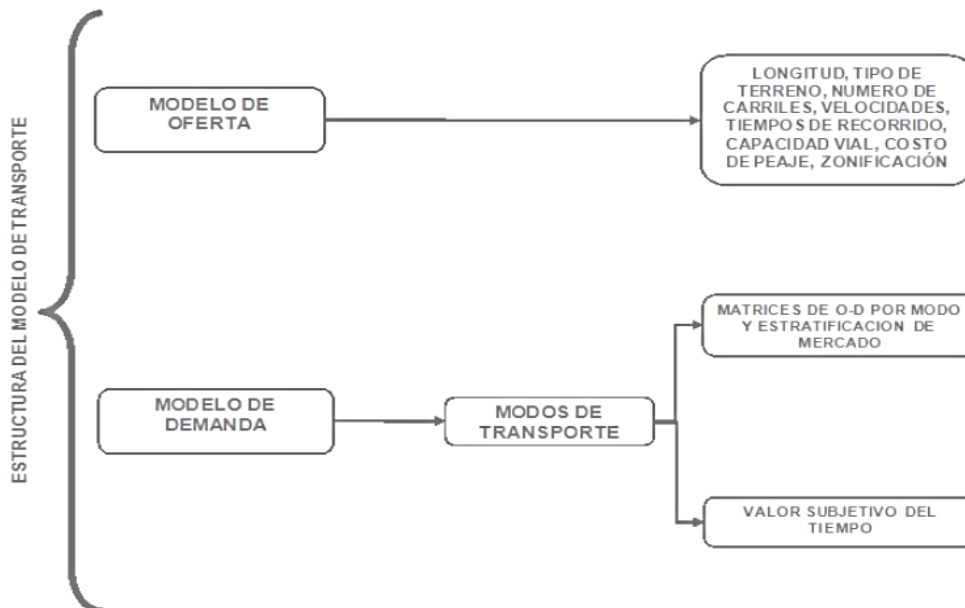
calificado o bien entrenado en tareas de modelación. Elementos cruciales en este sentido son el tiempo disponible para efectuar el estudio y el nivel de conocimiento.

Estos últimos, desgraciadamente, suelen contar con tiempos absurdamente bajos para evaluar proyectos de muchos años de operación y que van a gastar gran cantidad de dinero y el proceso de aprobación que requiere múltiples instancias. Por lo tanto, el tema de la cantidad de tiempo disponible para realizar el estudio está asociado también a cuán va a durar el estudio.

Por lo anterior, de forma resumida un modelo de transporte, representa una abstracción del mundo real, a partir del cual es posible representar sus dos principales componentes: la demanda (representada por la necesidad de transporte de un lugar a otro de un bien o persona) y la oferta (representada por las infraestructuras o vialidades disponibles para transporte de un bien o persona desde su origen a su destino). El fin que debe buscar el proceso de modelación analizar el sistema completo, o partes de éste, para realizar predicciones acerca del tránsito y lograr estimar el impacto futuro ocasionado por los cambios en la infraestructura o demanda, para de esta manera ayudar en la preparación de toma de decisiones en el mundo real.

Para simular el comportamiento del componente de oferta y de demanda existente en una región determinada, el modelo de transporte es alimentado de una red vial de análisis (modelo de oferta) y de matrices de viaje (modelo de demanda), que contienen los viajes por origen-destino de la zona de análisis.

Figura 82. Estructura del modelo de transporte



Fuente. Elaboración propia tomando como base la metodología descrita en esta tesis

La elaboración del modelo, considera la información de campo de tráfico sobre la red de la vía libre y de cuota, la zonificación y demanda. Al respecto, se utilizó la información primaria sobre las características de la red de influencia que incluyó información primaria de velocidades, encuestas Origen-Destino y aforos vehiculares (manuales y automáticos).

La estructura espacial de las redes de transporte, se analiza con la teoría de grafos. Es decir, un sistema de nodos y enlaces que se unen, la mayoría de los nodos representan intersecciones o puntos importantes de la red y los enlaces representan secciones homogéneas de vía entre nodos. Los enlaces, se caracterizan por tener varios atributos (longitud, velocidad, capacidad).

Los nodos y enlaces (o arcos, links), tienen las siguientes características básicas:

Nodos: son la localización donde los movimientos se originan, concluyen o son transferidos, sirven como puntos de acceso al sistema de distribución o como intermediarios en una red de transporte.

- Nodo ID
- Centroide ID (nodos especiales)
- Coordenadas X
- Coordenadas Y
- Mas características

Enlaces o arcos: representan la infraestructura del transporte. Consideran la estructura y organización espacial de la infraestructura de transporte.

- Nodo i ID
- Nodo j ID
- Longitud
- Número de carriles
- Tiempo de viaje
- Más características

Los atributos básicos que debe tener un nodo son: las coordenadas de latitud, longitud y el identificador único (ID). Por su parte, los atributos básicos que debe contener un enlace son: el identificador único, la longitud, el sentido y el nombre de la vía.

Se deben tener presentes las siguientes características generales al trazar una red vial de influencia para un mejor manejo de la información:

- La red debe tener conectividad (los enlaces y nodos deben estar correctamente unidos donde corresponda).
- Las longitudes de la vía del proyecto y las vías de competencia deben ser revisadas y corregidas. Se debe evitar la mezcla de fuentes de información. Ya que cuando se mezclan fuentes de información para la construcción de la red, las longitudes que se



cargan suelen ser diferentes y esto ocasiona que una vía sea menos competitiva que otra.

- Se debe manejar una red simplificada.
- Debe estar georreferenciada, contar con un sistema de coordenadas UTM¹⁹ o geográficas adecuadas.
- Debe conservar sus características originales, si proviene de una fuente secundaria, no debe estar rotada, girada o escalada.
- La topología de la red debe considerar aspectos que faciliten la continuidad de los flujos y la migración de redes.

Bajo el esquema anterior, la estructura espacial de las redes de transporte se analiza con la teoría de grafos, es decir, un sistema de nodos y enlaces (arcos) que los unen; la mayoría de los nodos representan intersecciones y los enlaces representan secciones homogéneas de vía entre nodos. Adicionalmente, un subconjunto de nodos se asocia a los centroides de las zonas y un subconjunto de los enlaces corresponde a los conectores de los centroides.

Atributos del modelo de oferta

Cada nodo y enlace, en el modelo de oferta, tiene definidos ciertos atributos que se utilizan para el proceso de modelación. Los atributos pueden variar ligeramente, los principales se mencionan a continuación.

Atributos para los nodos:

- Identificador único
- Coordenadas de latitud y longitud
- Número de zona en los nodos que cumplen la función de centroides
- Campo de identificador de nodos regulares (como etiquetas, nombres etc.).

Atributos para los enlaces o arcos:

Atributos básicos:

- Identificador único por enlace (arco)
- Length (longitud del enlace dada por el sistema)
- Dir (Sentido topológico de la red)
 - 1 Enlace en dígito que va en el sentido topológico de la red (AB)
 - -1 Enlace en dígito contrario al sentido topológico de la red (BA)
 - 0 Ambos sentidos

¹⁹ UTM (Universal Transversal Mercator)



- Nombre de la Vía

Características físicas y operativas de la red

- Distancia
- Corredor al que pertenece (nombre o código)
- Tipo de terreno (plano, lomerío, montañoso)
- Estado del pavimento (bueno, regular, malo)
- Velocidad
 - Por sentido AB, BA
 - Por periodo semanal: entre semana, fin de semana
 - Por periodo del día: pico, valle
- Número de carriles por sentido AB, BA
- Capacidad (vehículos equivalentes)
- Tipo de vía

Características de demanda

- Volumen vehicular en TPES, TPFS, TPDA
- Por sentido AB, BA
- Por periodo de modelación
- Por tipo de vehículo de acuerdo con la clasificación adoptada para el modelo

Atributos complementarios

- Cuota actual
 - Por sentido AB, BA
 - Por tipo de vehículo
- Modo vehicular permitido en cada enlace
- Tipo (clasificación vial)
- VDF por sentido (función volumen-demora)

Una vez definidos los modelos de oferta y demanda, se utilizó el **software Visum²⁰**, como herramienta para integrar la información y simular la situación del año 2017 y futura de la red vial de influencia analizada.

²⁰ Las ventajas Visum como software para modelación son las siguientes:

- Mayor facilidad y flexibilidad para programar secuencias de asignaciones.
- Varios métodos de asignación disponibles para transporte privado y público.
- Flexibilidad completa para asignar funciones volumen - demora.
- Facilidad de automatización para generación de resultados.

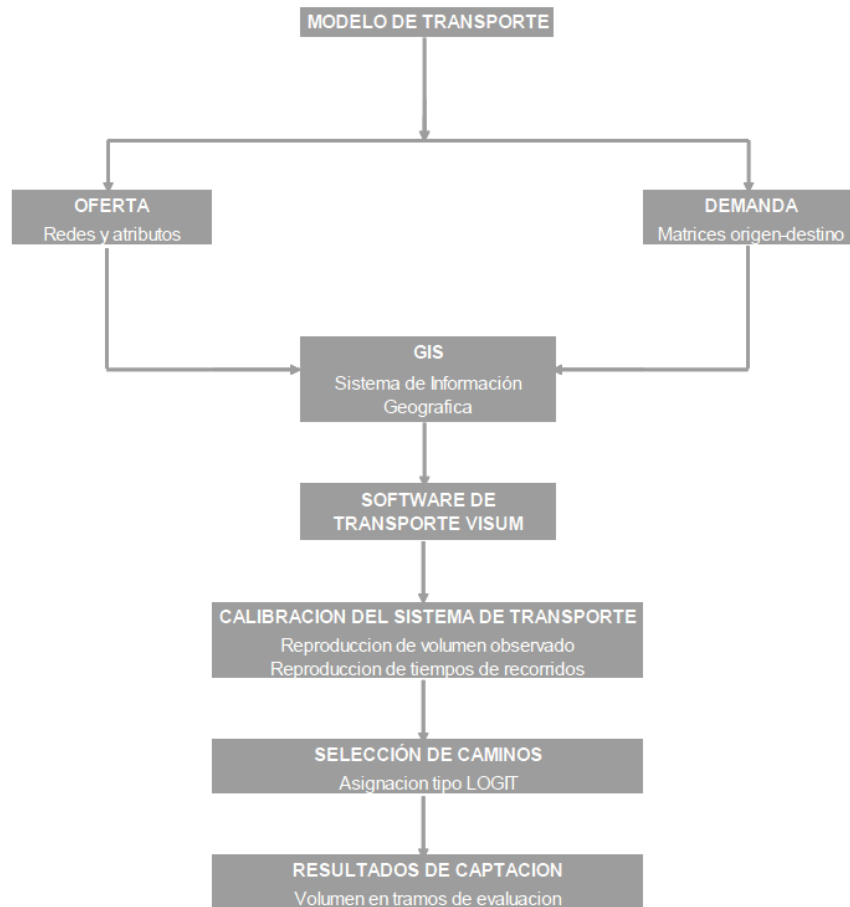


El banco de datos de Visum contiene toda la información necesaria para emplearse en la planeación del transporte, como lo son la representación de la oferta del sistema (red vial) y la especificación de la demanda de transporte en el área estudiada (matrices de viaje), dentro de la cual dichos elementos se interrelacionan mediante las zonificación realizada, obteniendo una relación de “Origen del viaje (Zona) – Vía utilizada (red vial) – Destino del viaje (Zona).

La red de análisis, a partir de la cual se definió el modelo de oferta, se construyó a partir del uso de un sistema de información geográfica (TRANSCAD), al cual se fueron agregando las características físicas, geométricas y operativas, que se buscaron por medio de la información documental.

La siguiente figura muestra el proceso metodológico que se utilizó en el modelo de transporte:

Figura 83. Estructura del modelo de transporte



Fuente. Elaboración propia tomando como base la metodología descrita en esta tesis

Nota: Para el modelo se realizaron una serie de validaciones donde se comprobaron los sentidos de circulación número de carriles, movimientos en los entronques, tipo y estado del pavimento, velocidades y todas las características que de alguna manera inciden en la decisión de la ruta de los usuarios.

7.1 MODELO CLÁSICO DE TRANSPORTE

La modelación de transporte se focaliza en la manera en la cual uno puede simplificar y abstraer relaciones importantes subyacentes a la provisión y uso del transporte. Esto se refiere a métodos cuantitativos o cualitativos que nos permiten estudiar las relaciones que interesan a los tomadores de decisiones de transporte.

Para poder hacer uso del modelo clásico de transporte, se deben dar algunos pasos previos, por ejemplo, todo lo que es el tema de recolección de información.

Lo primero que se necesita recolectar es la información de infraestructura de transporte y de servicios en operación de transporte. Por Información de infraestructura de transporte nos referimos principalmente a tarifas de vías, autopistas, corredores de transporte público, estaciones de metro, los sentidos de las calles, operación de los semáforos, los tiempos de ciclo de los semáforos. Y también necesitamos contar con información sobre el movimiento de la carga y conocer las restricciones de algunos tipos de vehículo en ciertas ciudades para que operen determinado tipo de vehículos.

También se necesita conocer información sobre los viajes de las personas (información que se recaba a partir de encuestas de viajes).

El segundo tema relevante para poder hacer uso del modelo clásico de transporte en fase predictiva es, predecir aquellas variables que son las que nos ayudan a explicar los viajes de las personas. En tal sentido, estamos pensando en predecir la población, predecir la actividad económica, predecir las tasas de motorización y predecir el ingreso de las personas. Con respecto a la población, nos interesa saber cómo va a evolucionar la población dentro de esta área y dónde va a darse la localización residencial de las personas. En relación a la actividad económica, necesitamos conocer en qué lugares de la región metropolitana van a estar, por ejemplo, abriéndose nuevos puestos de trabajo, nuevos centros de compra, nuevos centros hospitalarios, nuevos centros de salud, etc.

También es importante saber que va a pasar con el ingreso, puesto que a mayor ingreso las personas, van a poder adquirir más fácilmente a un automóvil o van a poder viajar más, con esto se ayuda a contribuir, por ejemplo, a una mayor tasa de motorización, a un mayor uso del vehículo.

Una vez que se tiene toda la información de base y una vez que se cuenta con toda la información en relación a aquellas variables que a futuro van a afectar la demanda de viajes. Se inicia entonces con la modelación y la predicción de viajes a futuros.

En relación a la predicción de viajes a futuros, vamos a hablar de las 4 (cuatro) etapas que corresponden al modelo clásico de transporte.

- **En primer lugar, tenemos la etapa generación de viajes.** Tiene por objetivo estimar los viajes que se producen o son atraídos por una determinada área geográfica durante un periodo de tiempo. Los viajes producidos son el número de viajes-persona que



empezarán (viajes producidos) su viaje desde un origen conocido dentro de un periodo de tiempo determinado (hora, día, etc.), mientras que, los viajes atraídos son los viajes-persona que terminarán (viajes atraídos) en un destino conocido en el mismo periodo temporal. Es decir, cuántos viajes yo como individuo voy a realizar a lo largo de un periodo de tiempo, típicamente el periodo de análisis es un día.

- **En segundo lugar, tenemos la distribución de viajes.** Son los viajes que se intercambian entre cada zona. El objetivo es “distribuir” los viajes generados en la zona y entre cada zona. La suma de todos los viajes en cada zona deberán ser el total generado en esa zona; así mismo, la suma de todos los viajes que llegan a la zona deberán ser el total de los viajes atraídos estimados en el paso anterior. Es decir, de dónde a dónde voy a estar viajando. Para cada uno de estos viajes es importante conocer de dónde se origina el viaje, el origen del viaje y donde termina el viaje, es decir, el destino del viaje.
- **En tercer lugar, necesitamos conocer la selección modal.** En esta etapa el viajero selecciona el modo para movilizarse entre un origen y un destino. En una situación típica, el viajero puede seleccionar entre diversos modos de transporte (auto, avión, tren, autobús, caminar, etc.). Un modelo de selección modal tiene como objetivo representar matemáticamente el comportamiento de los viajeros al seleccionar un modo en particular con base a las características particulares de cada uno de ellos. Esta selección varía entre cada tipo de persona, motivo de viaje, distancia de recorrido, costos de viaje, etc. En los estudios de aforos e ingresos para vías regionales, se toma la etapa de selección modal como base para realizar una selección de caminos tomando los modelos existentes para el caso.

Todas estas etapas, que he descrito hasta el momento, es lo que conforman la llamada demanda de transporte.

- **Por último, se tiene la etapa de asignación de viajes.** La asignación de viajes es el proceso de hacer efectivo los viajes sobre una red de transporte, sobre una red física de transporte y aquí aparece con relevancia el concepto de oferta, es decir, la interacción entre la demanda y la oferta de transporte y el concepto de equilibrio del usuario. El resultado de la asignación es el número de vehículos, personas o carga que transitan por la red de transporte multimodal.

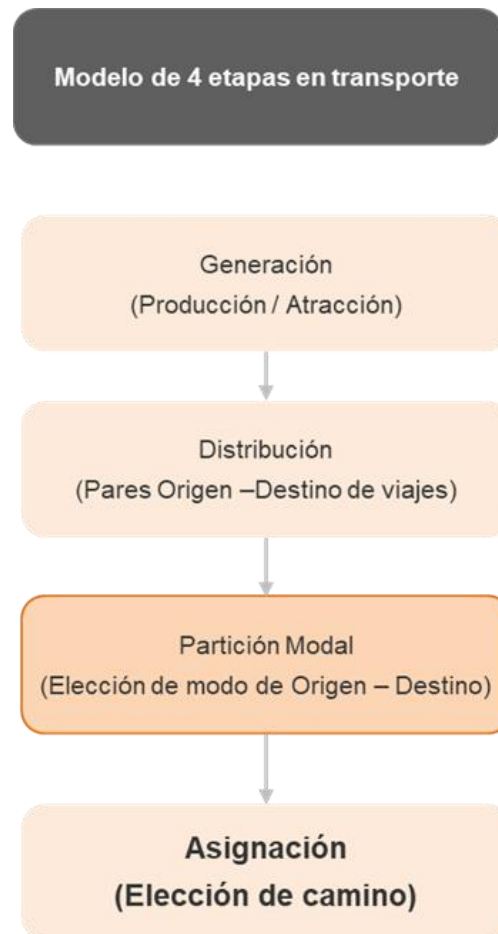
Los dos principales componentes del modelo son la demanda (representada por la necesidad de transportar de un lugar a otro un bien o persona) y la oferta (representada por la infraestructura disponible para transportar el bien o persona desde su origen a su destino).

Cuando muchas personas están tomando las decisiones de viaje de manera simultánea se genera congestión; lo que produce que muchos de los viajes que se tienen previstos no puedan darse en las condiciones previstas. Esto implica que tal vez se modifique de alguna manera el comportamiento de viaje.



El equilibrio del usuario, modela el caso en el que los usuarios eligen libremente a su conveniencia la mejor ruta para llegar a sus destinos. A medida que se ocupa la red vial, los primeros usuarios eligen generalmente las rutas más cortas a sus destinos. Pero mientras más usuarios se incorporan a la red, la congestión motiva a algunos a cambiar de ruta para mejorar sus tiempos de recorrido. Estos cambios de ruta se dan sin acuerdo entre los usuarios y al final se llega a un punto donde cualquier ruta posible para alcanzar un destino implica el mismo tiempo de recorrido y el cambio de ruta ya no conviene; con lo que se alcanza un estado de equilibrio²¹.

Figura 84. Modelo de las 4 etapas



Fuente. Elaboración propia tomando como base la metodología descrita en esta tesis

Nota: Usualmente durante el proceso de modelación, se efectúa un modelo secuencial de 4 etapas; sin embargo, en los estudios de aforos se desarrollan las dos últimas etapas del modelo clásico de transporte debido a que la metodología adoptada en estos estudios permite obtener directamente las matrices de viaje que generalmente se obtienen con las dos primeras etapas.

²¹ Función volumen-demora en la modelación de flujos vehiculares, Publicación técnica No. 427, Eric Moreno Quintero, SCT y IMT

7.2 VALORES SUBJETIVOS DEL TIEMPO (VOT)

7.2.1 Introducción

Las encuestas de *Preferencia Revelada* son datos sobre elecciones reales u observadas realizadas por los individuos. Los datos pueden tener varias limitaciones:

- Las observaciones de elecciones reales pueden no tener la suficiente variabilidad para construir buenos modelos de evaluación y predicción, (el tiempo de viaje y la tarifa).
- El comportamiento observado puede estar dominado por algunos factores haciendo muy difícil detectar la importancia relativa de otras variables (servicios de transporte público, seguridad).
- Las dificultades asociadas para conseguir respuestas a actuaciones que sean totalmente nuevas (la introducción de un nuevo proyecto)

Ofrecen una aproximación a los mismos, siendo un tipo de cuasi-experimento basado en situaciones hipotéticas establecidas por el investigador y por tanto, constituyen una aproximación de un experimento controlado. Se pregunta a los individuos sobre lo que ellos elegirían en una o más situaciones hipotéticas. El grado de artificialidad de estas situaciones puede variar de acuerdo con las necesidades y el rigor del ejercicio:

- El **contexto de la decisión** puede ser hipotético o real, en otras palabras, se puede pedir al encuestado que considere las circunstancias de su viaje actual o de uno que pudiera realizar en el futuro.
- Las **alternativas** ofrecidas son a menudo hipotéticas, aunque alguna de ellas puede ser la realmente existente; por ejemplo, el modo utilizado por el entrevistado incluyendo todos sus atributos.
- La **respuesta** obtenida de cada individuo puede tomar la forma de *elecciones* o únicamente de *preferencias* expresadas de diferentes formas.

Un problema básico con la toma de datos **Preferencias Revelada** es cuánto se puede confiar en que los individuos hagan realmente lo que declararon que harían cuando se presente la toma de información preguntada.

Las principales características de una buena encuesta son:

- Se basa en la obtención de declaraciones de los encuestados, sobre cómo reaccionarían ante diferentes alternativas hipotéticas de viaje.
- Cada alternativa se presenta como un “paquete” de diferentes atributos tales como tiempo de viaje, tarifa, frecuencia, regularidad, etcétera.
- El investigador construye estas alternativas hipotéticas de forma que se pueda estimar el efecto individual de cada atributo.
- El investigador tiene que asegurarse de que las alternativas hipotéticas presentadas sean comprensibles para los encuestados, parezcan realistas y plausibles y estén relacionadas con su nivel de experiencia real.



- Los encuestados declaran sus preferencias hacia cada alternativa, ordenándolas según su atractivo, puntuándolas en una escala que indique la fuerza de la preferencia, o simplemente eligiendo la opción preferida entre dos o más alternativas.
- Las respuestas de los individuos son analizadas para obtener medidas cuantitativas de la importancia relativa de cada atributo.

Figura 85. Estructura para una encuesta de Preferencia Revelada (PR)



Fuente. Elaboración propia tomando como base la metodología descrita en esta tesis

Los puntos a tomar en cuenta antes de realizar las encuestas son:

- **Definir las condiciones experimentales:** El analista debe comprender el objetivo del estudio y pronosticar su comportamiento para poder establecer la manera de extraer esa información.
- **Población de estudio:** Qué tamaño de muestra va a responder la encuesta, dónde estarán ubicados para elaborar el material para la encuesta, cómo van a ser abordados los encuestados para responder.
- **Definir los objetos de estudio:** El rango de las opciones, usualmente se da por el objetivo del estudio. La naturaleza de los atributos deben elegirse para obtener respuestas realistas. Se deben hacer reuniones en equipo para discutir la sensibilidad de las respuestas esperadas. Deben considerarse los datos que se obtendrán (cualitativos, cuantitativos).



- **Especificar propiedades deseables de diseño:** Experimentos etiquetados usualmente se emplean en la elección del modo y los no etiquetados para las rutas, la elección depende del número de parámetros, es importante también diseñar el número de niveles de los atributos, imponer el equilibrio de nivel de los atributos es decir, tener orden en cada uno de los reactivos, determinar el rango de los atributos o de los campos, diseños fraccionales factoriales pueden ser las matrices ortogonales simples,
- **Especificar el tipo de modelo esperado:** Hipótesis nula, logit, diseño eficiente bayesiano, etc.
- **Elaboración del cuestionario:** Dado que el diseño no es más que una matriz de valores, el analista necesita convertir esta matriz en algo que los encuestados puedan entender y responder de manera significativa. Se debe tener cuidado de evitar cualquier sesgo implícito en el material ilustrativo utilizado. Las ilustraciones gráficas a menudo se prefieren a las fotografías debido al mayor control proporcionado con respecto a los detalles incluidos en ellas.

7.2.2 Valor Subjetivo del Tiempo (VST), en Autopista Armería-Manzanillo

El tiempo y el costo representan dos de los factores determinantes en la demanda de transporte; razón por la cual es una necesidad el estimar la relación entre dichos factores para los usuarios del proyecto de interés. Es así que el Valor Subjetivo del Tiempo (VST en español o VOT por sus siglas en inglés) se define como: la disponibilidad que tiene el viajero de pagar una cierta cantidad de costo por cada unidad de tiempo que ahorre en su viaje.

En el caso de la Autopista Armería-Manzanillo, la información se recopiló en las encuestas realizadas en el 2015. Con precaución de actualizar los valores respecto a la inflación acumulada, tomando como base la calculadora de inflación que está disponible en la página del INEGI²².

La estimación de este Valor Subjetivo del Tiempo, se llevó a cabo a través de la recopilación de encuestas de Preferencia Revelada (PR) a los usuarios en la vía de competencia. Esta metodología se basa en juicios (datos) declarados por individuos, acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que le son presentadas y que deben ser lo más aproximadas a la realidad, para lo cual se desarrollan diseños experimentales de elección.

Para el diseño de experimento que interviene en las encuestas, se parte de:

- La identificación de los posibles caminos que están disponibles a los usuarios.
- La obtención de las ventajas competitivas para las variables de tiempo y costo para cada tipo de usuario.

El propósito de realizar estos experimentos, es el determinar la influencia de forma independiente de las variables de tiempo y costo (diseño en la elección observada). Se presentó un experimento binomial de seis situaciones de elección aplicada en dos bloques, cada uno de ellos se seleccionó de manera aleatoria.

²² <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/CalculadoraInflacion.aspx>



7.2.3 Supuestos y desarrollo

El supuesto principal que rige la estimación de los Valores Subjetivos del Tiempo es el concepto de utilidad ("U"). En economía se considera la utilidad como un índice, relativo con el nivel de satisfacción por el consumo de un bien en particular. En este caso, la utilidad está relacionada con el grado de satisfacción (beneficio) que percibe el usuario al utilizar una ruta o trayectoria en particular, para trasladarse de su origen a su destino, respecto a otro. Se realizan combinaciones lineales de tiempo y costo que caracterizan a cada alternativa para cada grupo de individuos. Por lo cual, esta elección tiene el supuesto de que el usuario conoce todas las rutas que existen entre su origen y su destino de viaje.

En la elección de viaje, la utilidad de una alternativa se escribe de forma lineal de la siguiente manera:

$$\bar{U} = \alpha_i + \beta c_i + \gamma t_i + \dots + \text{cte.}$$

- Dónde:
- c_i = Costo de viaje en pesos por utilizar la alternativa i
 - T_i = Tiempo de viaje en minutos por utilizar la alternativa i.
 - U = Utilidad de la alternativa i (adimensional)
 - $\alpha, \beta, \text{Cte.}$ = Parámetros de calibración por cada estrato.

Utilizando datos apropiados relativos a elecciones de viajes y características individuales, la función anterior puede ser estimada para diferentes grupos de individuos, de los cuales se obtiene la cantidad monetaria que el individuo está dispuesto a pagar para reducir el tiempo de viaje por una unidad.

Ese Valor Subjetivo del Tiempo de Viaje (VSTV) se calcula como:

$$VSTV = \frac{\partial \bar{U}_i / \partial t_i}{\partial \bar{U}_i / \partial c_i} = \frac{\gamma}{\beta}$$

El cual representa la tasa de sustitución entre el tiempo y el costo para la utilidad constante.

A partir de las funciones de utilidad, se utiliza un Modelo Logit binomial (dos alternativas) que define la probabilidad de que el individuo elija la alternativa i:

$$P(1) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(V_1 - V_2)}}$$

Es así que: P_i = Probabilidad de elegir la alternativa i.



V_1 = Velocidad de la alternativa 1.

V_2 = Velocidad de la alternativa 2.

β^{23} = Parámetro de calibración para el modelo (este es el valor que se varia para un mejor resultado)

El modelo Logit binomial puede ser extendido de modo natural para considerar más de dos opciones de elección del usuario. Si se considera que existen N opciones, con utilidades sistemáticas V_1, V_2, \dots, V_N , la forma básica del modelo para la probabilidad de elegir la opción "j" es la siguiente²⁴:

$$P(j) = \frac{1}{1 + e^{(V_j - V_1)} + e^{(V_j - V_2)} + \dots + e^{(V_j - V_N)}}$$

A partir de estos supuestos, se realizó una revisión de la muestra de las 700 encuestas PD recopiladas, las cuales equivalen a 4,200 pseudo-observaciones y, considerando la caracterización de los usuarios realizada con la encuesta origen-destino, se determina segmentar la demanda de acuerdo al motivo y longitud del viaje.

Resultados

Los resultados a continuación presentan las disposiciones de pago para cada segmento de usuario por minutos de ahorro de tiempo. Los modelos de elección fueron estimados con el apoyo del software SPSS a un nivel de significancia del 95%.

Tabla 21 Valores Subjetivos del Tiempo por segmento de usuario, Aut Armeria-Manzanillo

Segmento de viajeros	Valor del tiempo (VST MXN/min)	Intervalo de confianza	
		VST mínimo (MXN/min)	VST máximo (MXN/min)
Automóvil	4.05	3.76	4.34
Camión Unitario	10.28	9.78	10.77
Camión Articulado	13.21	12.72	13.66

Fuente: Elaboración propia

7.3 ZONIFICACIÓN

La zonificación consiste en segmentar el área de estudio en zonas de análisis de demanda tránsito, considerando a las áreas administrativas con sus características específicas y a la red carretera y de influencia actual y proyectada.

²³ En la aplicación práctica del modelo el factor de escala β no es estimable y debe normalizarse (típicamente suponiéndolo igual a uno); esto no tiene consecuencias en los resultados.

²⁴ Métodos de elección discreta en la estimación de la demanda de transporte, Eric Moreno Quintero, SCT y IMT



El proceso de zonificación consiste en delimitar áreas geográficas que permitan representar adecuadamente los orígenes y destinos de los viajes identificados en la zona de estudio.

Para la construcción de las zonas, se consideraron áreas administrativas con características homogéneas a nivel de municipios y Estados, las cuales se identificaron conforme a las claves del INEGI. Esto bajo el supuesto que en cada municipio las actividades económicas más importantes están concentradas en las cabeceras municipales.

Adicionalmente, se estableció como criterio principal que las zonas coincidieran con la delimitación de las cuencas de transporte.

Cuando la zonificación se aleja del área de influencia del proyecto, disminuyen los detalles, dado que las características de los viajes y las decisiones de los usuarios se vuelven más homogéneas. Dentro de esta zonificación se identifican las de tipo nacional y regional.

En los modelos de transporte la zonificación permite:

- La realización de análisis del área de estudio por tipo o clasificación (Nacional, estatal, regional, local, etc.),
- La representación de los pares origen - destino de los viajes en la región.
- La asignación de los viajes (demanda),
- La integración de los modelos de oferta y demanda.

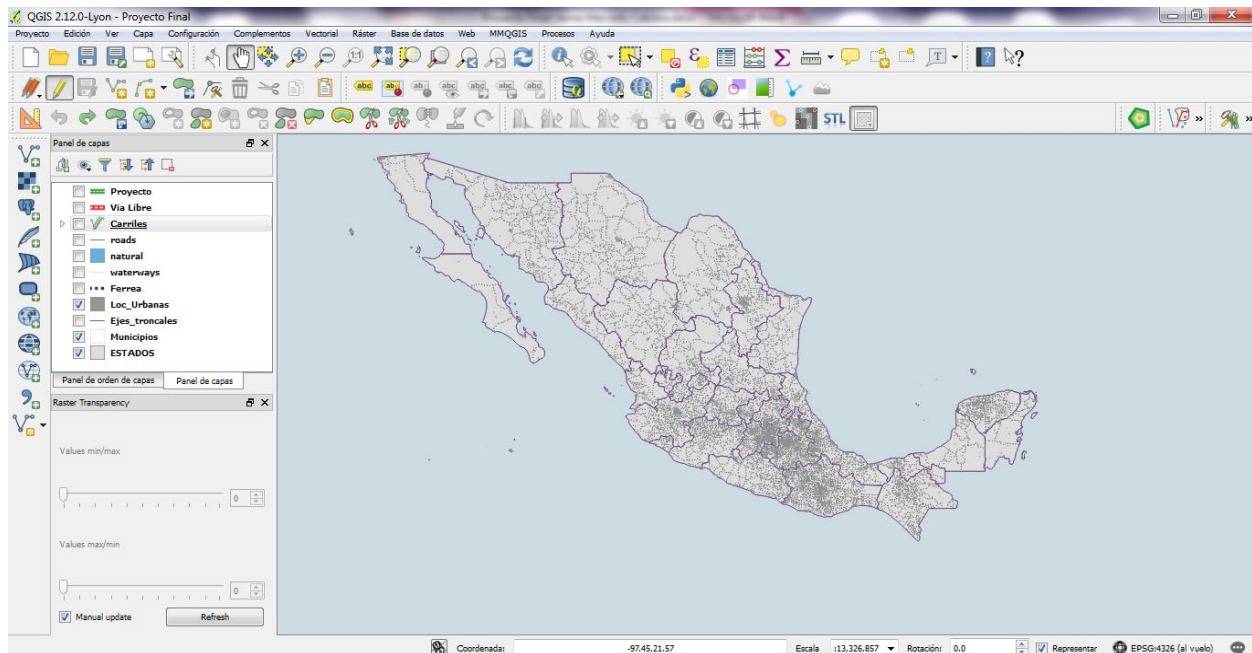
Teniendo las capas de Estados y municipios de la República Mexicana se procede a homologar zonas para de esta manera simplificar los cálculos de los viajes que se presentan en la encuesta OD a cada una de estas zonas se le coloca un identificador para que después lograr ubicar cada una de nuestras encuestas en el mapa.

Es importante mencionar que la zonificación para el presente estudio, cumple los requerimientos necesarios para representar adecuadamente los patrones de viaje de la zona, manteniendo sus características homogéneas para los niveles locales, municipales y Estatales.

Las zonas a nivel nacional se conforman por Entidades Federativas o por un grupo de ellas. Mientras que las zonas a nivel regional constituyen una agregación de municipios o regiones que comparten características en común. Conforme la zonificación se acerca al área de influencia inmediata del proyecto, ésta empieza a tener más segregación, con la finalidad de conocer las diferencias de la demanda. A este tipo de zonas se le conoce como locales y desagregan a nivel municipal.



Figura 86. Creación de Macro zonas, tomando como base la capa de municipios de INEGI



Fuente. Elaboración propia

Se adoptó un modelo a nivel regional, con zona de influencia en los Estados de Colima y Jalisco y sus conexiones con los otros estados. Con el fin, de representar los viajes entre un lugar y otro, se determinó que el área mínima de estudio fuera a nivel de municipio en el Estado de Colima. Por lo anterior para el análisis de la Autopista Armería-Manzanillo y a partir de los criterios anteriores, se definieron 16 zonas, divididas en dos niveles de agregación de la información: nacional y municipal. Ello se muestra en la tabla.

Tabla 22 Resumen de zonas

Tipo de Zona	Número de Zonas
Zonas Estatales	9
Zonas Regionales	7
Total de Zonas	16

Fuente. Elaboración propia

La zonificación estatal se aprecia en la figura siguiente y está conformada por 9 (nueve) grandes zonas y corresponde a la agrupación de Estados.



Figura 87 Zonificación nacional y regional de la Autopista Armería-Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Por otro lado, la zonificación municipal, está conformada por 7 (siete) zonas, las cuales son parte del área de influencia indirecta del proyecto y mantienen una integración funcional con las Ciudades de Manzanillo y Colima. Ello se aprecia en la figura anterior

Los municipios divididos son los siguientes:

- Colima
- Tecomán
- Minatitlán
- Manzanillo
- Armería
- Coquimatlán
- Ixtlahuacán

Elementos de la zonificación

Los principales elementos a incluir en la zonificación, se describen a continuación

a) Polígono.- delimita el área de estudio,

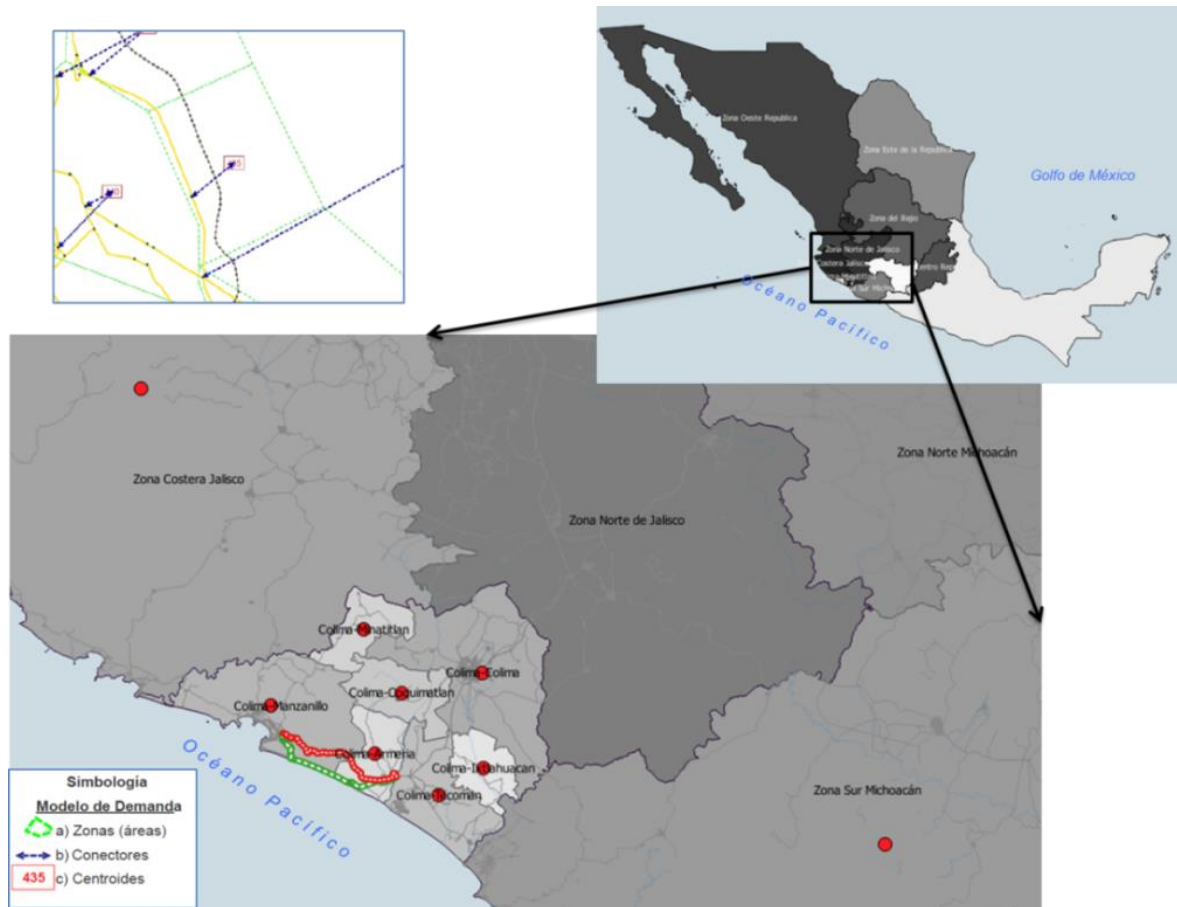
- b) Conector.- enlace que permite la interacción entre los viajes (demanda) y la red vial (oferta),
- c) Centroide.- punto generador de viajes.

Centroides

Los centroides de zonas son uno de los principales elementos que se requieren al momento de generar las líneas de deseo, ya que proporcionan las coordenadas de longitud y latitud que serán utilizadas para ubicar los orígenes y destinos cuando se generen las líneas de deseo.

Los centroides son los puntos a enumerar para formar la matriz de viaje, proveniente de la encuesta OD. La obtención de los centroides de zonas se realiza a partir de la capa de zonificación del proyecto.

Figura 88. Centroides y conectores



Fuente. Elaboración propia, con cartografía de INEGI.

7.4 DESARROLLO DEL MODELO DE TRANSPORTE

Para el desarrollo del proceso de modelación se tomaron en cuenta los siguientes elementos:

- Los aforos vehiculares son los registrados por el concesionario y complementados con los conteos realizados en los trabajos de campo, los cuales se emplearon para la calibración del modelo.
- La información de tiempos y velocidades de recorrido es la recopilada en Google Maps y se aplicó sobre las vías de influencia directa a la autopista
- La tipología vehicular está conformada por: automóvil, camión unitario (vehículos de carga de 2, 3 y 4 ejes), camión articulado I (vehículos de carga de 5 y 6 ejes) y camión articulado II (vehículo de carga de 7 a más ejes).
- El periodo de simulación se mantiene en un tiempo de modelación que representa las 24 horas (1 día), efectuándose la simulación y calibración en términos de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).
- Las matrices de viajes empleadas en el proceso de modelación, son las obtenidas a partir de las encuestas Origen - Destino (OD), aplicadas en los estaciones E01 y E02, efectuados durante los trabajos de campo realizados por la consultoría en el 2015, y actualizadas al año 2018. A partir de las matrices actualizadas, se obtiene una matriz única la cual es empleada en el proceso de asignación.
- Para la estimación de los modelos probabilísticos se empleó el Valor Subjetivo del Tiempo (VST) generado del análisis de la información recabada en las encuestas de Preferencia Revelada (PR) en la zona de estudio y para cada segmento de demanda, finalmente, se obtuvo a partir de los modelos de desarrollados con variables discretas.
- La estimación de la captación del proyecto, se basa en un modelo probabilístico con distribución logística, para lo cual se hace uso de los VST (Valores Subjetivos del Tiempo) obtenidos de las encuestas de Preferencia Revelada (PR). Asimismo, los insumos son obtenidos mediante asignaciones efectuadas con el método de equilibrio de usuario²⁵.
- Los factores de equivalencia vehicular (pcu – passenger car units) empleados en el modelo de transporte, en términos de capacidad vial, son; 1.00 para automóviles, 2.00 para camiones unitarios y 3.00 para camiones articulados.
- Las tarifas actualizadas por tipo de vehículo en la red de estudio, corresponden a las observadas en campo hasta enero de 2018.

²⁵ El equilibrio de usuario es un método que tiene como premisa la minimización de tiempos en el sistema. El algoritmo comienza con la solución de una asignación todo o nada. Posteriormente, después de recalculer los tiempos de viaje, los cuales dependen del tráfico en los enlaces, procederá a tomar algunos viajes que debido a la congestión en la vía más conveniente sacarían provecho de usar otra vía que estaba originalmente más lenta. Este procedimiento se repite hasta que el método converge y el cambio de flujos en cada enlace de una iteración a otra es mínimo.



- La estimación del año base para la autopista, se realizó con base en el principio del comportamiento cíclico estacional del tránsito durante cada año, con base en la información histórica de volúmenes vehiculares registrados en el activo y considerando la información parcial del presente año, fue posible estimar el Tránsito Promedio Anual del año (año base). Es importante mencionar que, entre mayor sea la información disponible, la estimación del año base es más precisa.
- Para la asignación de la demanda futura del proyecto, se desarrolló un modelo de oferta y demanda que representa la situación actual y futura de la red vial de estudio, empleando como herramienta de modelación el software PTV-VISUM, considerando como año base 2018.

Zonas de tránsito en área de influencia

- Se adoptó un modelo a nivel regional, con zona de influencia en los Estados de Colima y Jalisco y sus conexiones con los otros Estados. Con el fin, de representar los viajes entre un lugar y otro, se determinó que el área mínima de estudio fuera a nivel municipio en el Estado de Colima. El supuesto es que en cada municipio las actividades económicas más importantes están concentradas en las cabeceras municipales.
- Con el fin de representar la zonificación en el modelo de transporte, adicionalmente a los nodos y enlaces de la red vial, existe un tipo especial de nodo denominado "centroide", el cual representa una Zona de Análisis de Tráfico (ZAT). El centroide, o centro de actividad virtual de una zona, se conectó con la red vial que la sirve por medio de un enlace ficticio denominado conector. Así, desde este centroide se generarán y se atraerán los viajes desde o hacia una zona en específico, de acuerdo con la actividad socioeconómica de las zonas.
- Cada zona de análisis de tráfico (o municipio) queda representada por un punto (centroide) que se refiere a la ubicación de la cabecera municipal y es el sitio donde terminan o comienzan los viajes relacionados con dicho municipio.



Una adecuada estratificación influirá en la reducción del error en la estimación del valor del tiempo, mediante el ajuste de un modelo de regresión logística planteado y ajustado considerando la estratificación.

Es relevante conocer el valor que los usuarios le dan al tiempo, considerando que la utilización de la nueva vía tendrá un costo, pero a su vez una reducción de tiempo de viaje. La estratificación básica por naturaleza es el tipo de vehículo, sin embargo, también es necesario considerar otros atributos, como motivo de viaje, nivel socioeconómico, frecuencia de viaje, propiedad del vehículo, tiempo de viaje y tipo de carga.

La interacción o flujos entre las diferentes zonas y sus características respecto al tipo de usuario y su distribución, se recogen en matrices que representan la demanda de viajes. A continuación, se presentan los procesos de segmentación de demanda, expansión y fusión para la obtención de estas matrices.

Con base en la definición de los estratos del mercado potencial, se define las matrices que conformaran el modelo de demanda. La segmentación de la demanda atiende la categorización establecida por la operación de la vía. En total se definieron 9 segmentos de demanda, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 23. Estratificación de la demanda utilizada

Segmento	Código	Descripción	Tipo de vehículo
1	A1	Viajeros con ingreso personal bajo	Automóvil
2	C2	Camiones de 2 ejes	Camiones unitarios
3	C3	Camiones de 3 ejes	Camiones unitarios
4	C4	Camiones de 4 ejes	Camiones unitarios
5	C5	Camiones de 5 ejes	Camiones articulados I
6	C6	Camiones de 6 ejes	Camiones articulados I
7	C7	Camiones de 7 ejes	Camiones articulados II
8	C8	Camiones de 8 ejes	Camiones articulados II
9	C9+	Camiones de 9 y más ejes	Camiones articulados II

Fuente. Tabla obtenida con la información de matrices de viaje.

Esta segmentación de categorías presentó una desagregación a nivel de automóvil y de camiones, según la cantidad de ejes. Este nivel de desagregación, permitió tener un mayor detalle por tipo de vehículo.



Algunas consideraciones adicionales son:

- Los autobuses foráneos, se realizaron en un post- proceso, debido a que los recorridos por las vías, deben tener autorización y no pueden elegir su camino libremente.
- Las motocicletas, se cobran con el 50% de la tarifa de un automóvil desde noviembre del 2012, por lo anterior se ingresaran al modelo como 0.5 de vehículo.

7.6 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La elaboración del modelo, considera la información de campo de tráfico sobre la red de vía libre y de cuota, la zonificación y demanda. Al respecto, se utilizó la información primaria presentada anteriormente, sobre las características de la red de influencia que incluyó información primaria de velocidades, encuestas Origen-Destino de interceptación (EODI) y aforos vehiculares (manuales y automáticos).

7.6.1 Cálculo de los vehículos equivalentes

Es necesario calcular los vehículos equivalentes de acuerdo a la segmentación de demanda adoptada. Esto, se ha obtenido de acuerdo a la metodología general, establecido por Transportation Research Board (TRB) y adecuado a las características, dimensiones de los vehículos y un terreno predominante plano (pendiente menor a 3%), para la zona de estudio.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos de los vehículos equivalentes, la descripción también se puede hacer como PCU (Passanger Car Unit) o PCE (Passanger Car Equivalent).

La cantidad de vehículos equivalente que habrá en un tramo de la red vial es:

$$VT_l^l = \sum_{i=1}^n PCE_i * VH_i^l$$

Donde:

l Enlace.

i Tipo de vehículo.

n Cantidad de tipo de vehículo.

VH_i^l Cantidad de vehículos en TPDA.



Tabla 24. Vehículos equivalentes en el modelo de transporte

Código	Descripción	PCU/PCE
A1	Automóvil ingreso Bajo	1.00
C2	Camiones 2 Ejes	2.1
C3	Camiones 3 Ejes	2.1
C4	Camiones 4 Ejes	2.5
C5	Camiones 5 Ejes	3.0
C6	Camiones 6 Ejes	3.0
C7	Camiones 7 Ejes	3.4
C8	Camiones 8 Ejes	3.4
C9	Camiones 9M Ejes	3.4

Fuente. Elaboración propia, con base en Transportation Research Board (TRB)

7.6.2 Cálculo de la capacidad de los enlaces y velocidad de flujo libre

La capacidad de los enlaces, se determinan de acuerdo con las características de las vialidades y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25. Capacidad en los enlaces y velocidad de flujo libre

Descripción	Carriles	Capacidad (pce/sentido/hr)	Velocidad a Flujo Libre (km/hr)
Autopista de cuota de 1 carril /sentido	1	1,500	100km/h
Autopista de cuota de 2 carriles /sentido	2	3,000	120km/h
Autopista de cuota de 3 carriles /sentido	3	4,500	130km/h
Autopista de cuota de 4 carriles /sentido	4	6,000	130km/h
Carretera de 1 carril/sentido	1	1,500	100km/h
Carretera de 2 carril/sentido	2	3,000	100km/h
Carretera de 3 carril/sentido	3	4,500	100km/h
Camino primario de 1 carril por sentido	1	1,300	100km/h
Camino primario de 2 carril por sentido	2	2,600	100km/h
Camino primario de 3 carril por sentido	3	3,900	100km/h
Camino secundario de 1 carril por sentido	1	1,000	80km/h
Camino secundario de 2 carril por sentido	2	2,000	80km/h
Terracería de 1 sentido	1	800	70km/h
Camino de residencias	1	400	50km/h
Calles locales	1	200	30km/h

Fuente: Elaboración propia, con base en Transportation Research Board (TRB)



La capacidad mostrada en la tabla, se multiplica por 10 horas, para obtener la capacidad total y ser compatible con la cantidad de vehículos dado en TPDA.

7.6.3 Función - volumen demora

Las funciones volumen – demora son modelos que permiten representar el comportamiento de las vialidades, reflejan el tiempo de recorrido ante diferentes niveles de flujo vehicular y capacidad de la vía. En condiciones normales, cuando el volumen es bajo, el conductor circula a una velocidad de flujo libre, la cual oscila alrededor del límite de velocidad establecido por las autoridades competentes. Sin embargo, a medida que el flujo se incrementa, la velocidad baja hasta que se llega a un nivel de congestión en que la velocidad de recorrido tiende a cero y el tiempo de recorrido para un tramo en específico en esas condiciones tiende a infinito (teóricamente). En la vida real, aún en condiciones de congestión, la velocidad nunca llega a 0.

Las funciones se calibran en función de los datos de los aforos de tránsito y mediciones de tiempos y velocidades de recorrido simultáneas. Existen diversos tipos de funciones volumen – demora, siendo dos las más utilizadas en este tipo de aplicaciones: las funciones desarrolladas por el Bureau of Public Roads de EUA (funciones BPR) o las funciones cónicas, que en realidad son una derivación de las funciones BPR y que son utilizadas en situaciones de congestión severo.

Esta función matemática, relaciona el volumen de vehículo equivalente, en un enlace con la capacidad de la misma y el tiempo de viaje en dicho enlace, de esta manera se puede estimar o calcular la variación de los tiempos de viaje en la red.

La función volumen demora tiene la siguiente especificación:

Para vías principales:

$$t = t_o \left[1 + \alpha \left(\frac{V}{C} \right)^\beta \right]$$

Donde:

- V = Volumen de tráfico en vehículos equivalentes en un periodo de tiempo.
- C = Capacidad de enlace en vehículos equivalentes en un periodo de tiempo.
- t_o = Tiempo de viaje a flujo libre (en minutos).
- t = Tiempo de viaje en la red vial (en minutos).
- α, β = Parámetros calibrados y depende del tipo de vía.

Para vías Secundarias:



$$t = t_o \left[2 + \sqrt{\alpha^2 (1-x)^2 + \beta^2} - \alpha(1-x) - \beta \right]$$

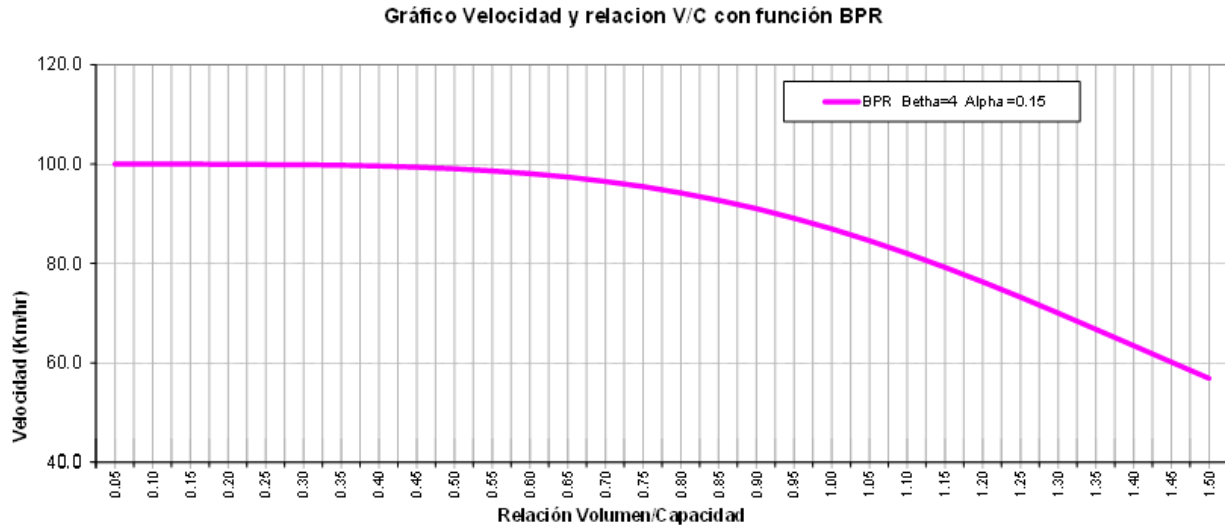
Donde: $\beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}$, y $x = \frac{\text{Volumen}}{\text{Capacidad}}$

Donde:

- V = Volumen de tráfico en vehículos equivalentes, en un periodo de tiempo.
- C = Capacidad de enlace en vehículos equivalentes, en un periodo de tiempo.
- t_o = Tiempo de viaje a flujo libre (en minutos).
- t = Tiempo de viaje en la red vial (en minutos).
- α = Parámetro calibrado y depende del tipo de vía.

Una representación gráfica de estas funciones se muestra a continuación:

Figura 90 Funciones volumen demora por tipo de vía



Fuente. Elaboración propia

Es importante mencionar que las funciones volumen – demora deben calcularse sólo cuando, se observen condiciones de congestión en periodos pico, por lo que el periodo de simulación debe ser de una hora o dos según sea el caso. Sin embargo, cuando se utilizan matrices diarias y no se observan condiciones de congestión, las funciones volumen demora son constantes, es decir que el tiempo no varía en función del volumen de tránsito



existente en la vía, por lo tanto, no es necesario calibrar una función, sino que se utiliza un valor promedio por sentido a partir de los tiempos y velocidades de recorrido registrados en campo.

7.7 MÉTODO DE ASIGNACIÓN

Si consideramos una red de carreteras en una situación dada, con costos y tiempos en cada segmento, existirá siempre una ruta más corta (en términos de costos generalizados) para cada par O-D. Asignar a todos los viajeros entre O y D a esa ruta, constituye el método de asignación de tráfico más sencillo y recibe el nombre de “todo-o-nada”, ya que sólo una ruta es usada para cada par O-D. Sin embargo, hay un par de problemas con este método. El primero, es que podemos terminar asignando más tráfico a una carretera que su capacidad. El segundo es que los conductores no se comportan de esa manera en la práctica.

De hecho, es común observar que diferentes conductores pueden elegir distintas rutas para unir dos puntos A y B. Esta dispersión de rutas puede deberse a una o más de las siguientes razones:

- Diferencias en los objetivos que cada uno tiene al elegir ruta; por ejemplo un conductor quiere minimizar tiempos mientras que otro desea minimizar distancias y costos (puede modelarse identificando los diferentes grupos de usuarios que aproximadamente compartan objetivos en la selección de ruta. Estos tipos (o clases) de usuarios pueden tener distintos costos de operación (autos, autobuses, camiones de distinto tamaño) o simplemente valorizar los ahorros de tiempo de viaje de diferente manera. Esta distinción genera modelos de asignación de tráfico con múltiples clases de usuarios).
- Diferencias en las percepciones de los atributos de las distintas rutas. Las personas no saben estimar tiempos y distancias con gran exactitud, y por lo tanto pueden cometer errores en sus apreciaciones. (se pueden emplear modelos estocásticos que reconocen que los costos de cada segmento no son percibidos con exactitud).
- Congestión en uno o más arcos hace que las personas busquen alternativas para evitar cuellos de botella. (tiene relación con las restricciones de capacidad y la congestión. A medida que algunas rutas se congestionan (sus volúmenes se acercan a la capacidad de las mismas), los tiempos de viaje por ellas crecen y hacen más atractivas otras rutas alternativas)²⁷.

Para esta tesis se utilizó el método de asignación de equilibrio del usuario, el cual se explica a continuación.

La asignación de equilibrio trata de modelar condiciones en que los viajeros tratan de encontrar sus mejores rutas en cada caso. Continúan su búsqueda hasta que encuentran la mejor ruta (esto supone que se busca esta ruta óptima con alguna regularidad). En las situaciones de

²⁷ Manual de modelación para carreteras de cuota, Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT



congestión se logran condiciones de equilibrio cuando ningún viajero puede reducir sus costos de viajar cambiándose de ruta. Si todos los viajeros perciben los costos en la misma forma, este principio puede presentarse como:

- En las situaciones de congestión se logran condiciones de equilibrio cuando todas las rutas en uso para cada par O-D tienen el mismo costo y las que no se usan tienen un costo igual o mayor.

Este programa matemático tiene una solución única si la función flujo-costo es creciente (no baja el costo al subir el flujo). Es esta propiedad, la unicidad de la solución al equilibrio²⁸.

7.8 CALIBRACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE TEORÍA²⁹

El proceso de calibración es una parte importante durante la simulación, toda vez que este permite verificar y validar que los datos asignados en el modelo de transporte (tiempos y volúmenes vehiculares), sean similares a los observados en la realidad. Lo anterior, debido que la estimación de la demanda de viajes, se basa en las características físicas y operativas de los activos y del proyecto, así como de las características de la demanda actual y de su disposición de pago. De allí la importancia de contar con un modelo de transporte calibrado que represente la realidad.

A continuación se enlistan algunas de las actividades que requiere la calibración de una red carretera en general:

- Asegurarse que todos los arcos necesarios se encuentran representados
- Utilizar la mejor y más realista función de flujo-tiempo de viaje
- Adoptar una versión realista de los costos de operación de los distintos vehículos
- Asegurarse que se utilizan suficientes categorías de usuarios y que estas tienen un VST³⁰ apropiado en el modelo
- Estar seguros que las matrices utilizadas son realistas.

Una vez depurada la red tanto como sea posible y asignándole a ella las relaciones flujo - tiempo de viaje y costos de operación que corresponda, es necesario probar la asignación de la matriz, idealmente observada, del año base; es decir, todavía sin ninguna nueva infraestructura. Una vez obtenida esta asignación se debe comparar flujos y tiempos de viaje con observaciones independientes del año base.

Una manera sencilla de mostrar los resultados es consignar en un gráfico las observaciones en el eje horizontal y los resultados del modelo en el vertical, ajustando una recta de mínimos cuadrados a los puntos correspondientes. Esto puede hacerse fácilmente en Excel para flujos y tiempos de viaje.

²⁸ Manual de modelación para carreteras de cuota, Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT

²⁹ Manual de modelación para carreteras de cuota, Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT

³⁰ Valor Subjetivo del Tiempo (VST)



Es importante que la recta muestre, en orden de importancia:

- Un valor de la pendiente muy cercano a uno para mostrar que no hay sesgos
- Un valor del intercepto muy cercano a cero
- Un buen valor de R2, mejor que 0.7

La comparación de volúmenes de tráfico en arcos, puede hacerse sobre la base de flujos horarios.

Existen dos indicadores utilizados frecuentemente en este campo: GEH 17 y RMSE³¹. Considerando los pasos anteriores, se realiza la asignación del modelo de transporte y los resultados se comparan con los datos de tráfico observados.

Una forma para determinar que un modelo se encuentra correctamente calibrado es a partir de la obtención de indicadores estadísticos. El indicador estadístico GEH por enlaces es aceptado por la mayoría de los Consultores como indicador de calibración en la red. La ecuación que denota el GEH es la siguiente:

Para calcular la estadística del GEH se utiliza la siguiente ecuación:

$$GEH = \sqrt{\frac{(E - V)^2}{(E + V)/2}}$$

Dónde:

E= Resultados estimados del modelo

V= Valores registrados en terreno

El resultado de la estadística del GEH, luego es evaluada en función de los rangos aceptables de calibración. Estos niveles de ajuste del modelo serán evaluados para cada tipo de vehículo y para el total de mixtos que hacen cada movimiento en cada intersección.

Los criterios de aceptación para el GEH con tráfico por hora son:

- En al menos el 60% se tiene un GEH<=5.
- El 90% de los casos tiene un GEH <=10
- El 100% de los casos tiene un GEH<=12

La razón de introducir este estadístico es debido a la diferencia absoluta de los datos. En particular un error del 10% no es lo mismo en un tráfico de 100 vehículos/hora que en un tráfico de 3000 vehículos/hora, lo cual podría ser importante al momento de tomar una decisión. Como regla general, en comparación de volúmenes asignados con volúmenes observados un parámetro GEH de 5 o menos podría indicar un ajuste aceptable, mientras que enlaces con GEH mayor que 10 podría requerir atención inmediata.

³¹ El indicador GEH tiene la ventaja de tomar en cuenta el error relativo y de no depender de valores nulos que pueden aparecer.



7.8.1 Calibración del proyecto Armería – Manzanillo.

El proceso de calibración, consistió en reproducir los tiempos y volúmenes vehiculares observados en la red vial y que se mostraron en anteriores capítulos, de manera que los parámetros obtenidos de la asignación sean lo más similares posibles a la actualidad. Así mismo obtener que los flujos vehiculares simulados presenten una correlación adecuada con los flujos observados en campo, para posteriormente generar escenarios o situaciones hipotéticas, y así permitir obtener el tráfico observado que circula en la vía.

El proceso seguido para la calibración del modelo desarrollado se detalla a continuación:

- Selección de puntos de control. Se tomaron como puntos de control las estaciones de peaje de la concesión y la vía libre, dichos puntos se tomaron debido a que en estos fue donde se contaba con información.
- Las matrices de viajes, se construyeron de acuerdo a la definición de los segmentos de demanda, (dicha segregación la encontramos en el subcapítulo denominado segmentación de la demanda utilizada; para este estudio esta segmentación de categorías presentó una desagregación a nivel de automóvil y de camiones, según la cantidad de ejes).

Finalmente, en el modelo se utilizó el algoritmo del VISUM para ajuste de matrices denominado TFlowfuzzy, en donde se deben definir algunos parámetros que a continuación se explican:

- Se seleccionan los puntos de control y se comparan los tráficos modelados del modelo frente a los tráficos observados.
- El ajuste de las matrices se realiza por categoría vehicular para los datos del TPDA del 2017 reportados en los peajes (son 9 categorías).
- En el proceso de asignación siempre se mantienen todas las categorías, con el fin de mantener la consistencia en la congestión.
- Con una primera asignación, sin ajuste de matriz se define la tolerancia. Es decir, la diferencia entre el tráfico observado y el tráfico modelado. Si el GEH^{32} es ≤ 5 , no se modifican los pares de viajes de dicho punto y se fija una tolerancia de 1 vehículo (colocar una tolerancia igual a 0 arrojaría un error en el algoritmo). Este proceso se realiza para cada categoría de matriz a ajustar.
- En el proceso, se permite la modificación de todos los pares de viajes que pasan por algunos de los puntos de control.
- Se continúa con este proceso iterativamente hasta lograr en lo posible un $GEH \leq 10$ en al menos el 90% de los casos, para cada categoría vehicular.

³² GEH: Estadístico GEH para volúmenes asignados y aforados



- Como un análisis de validación, se realizó una comparación de los tráficos por cada enlace (vía de peaje y la libre), a nivel agregado como tráfico en automóvil, camiones unitarios, camiones articulados I y camiones articulados II.

A continuación se muestran los resultados de los estadísticos que se obtuvieron para el presente modelo de la carretera Armería - Manzanillo.

Tabla 26. Estadísticos GEH por tramos (observado – modelo)

Enlace	TPDA Observado					TPDA Modelo					GEH				
	A	CU	CA1	CA2	Total	A	CU	CA1	CA2	Total	A	CU	CA1	CA2	Total
Peaje SN	2193	212	362	630	3546	1999	220	333	400	2757	0.71	0.99	0.76	1.73	0.03
Peaje NS	2193	212	362	630	3546	2090	230	356	546	2803	0.55	0.94	0.75	1.49	0.22
Libre SN	2302	360	343	34	3039	2568	476	491	47	3581	1.52	1.6	2.05	0.56	2.67
Libre NS	2302	360	343	34	3039	2012	242	198	25	2477	1.77	1.92	2.49	0.48	3.02

Fuente. Tabla obtenida con la información de las salidas de modelo de transporte.

Los resultados consolidados en la etapa de calibración para el estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27. Resultados de GEH

Rango GEH	A	CU	CA1	CA2	Total
GEH<5	100%	100%	100%	100%	100%
5<=GEH<10	0%	0%	0%	0%	0%
GEH>=10	0%	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

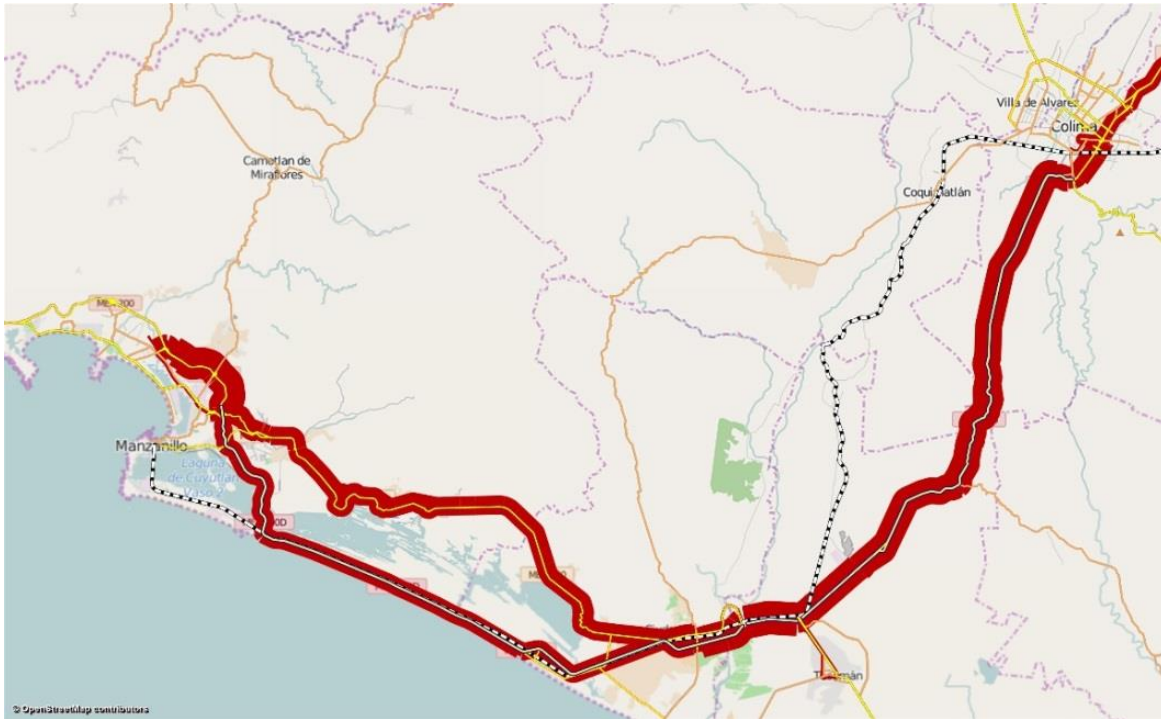
Fuente. Tabla obtenida con la información de las salidas de modelo de transporte.

Como se observan todas las salidas que arroja el modelo para los casos los GEH son menores a 5, lo que significa que el modelo queda calibrado.

Como resultado de los procesos anteriormente descritos, se obtuvo la construcción de un modelo de transporte para la situación base 2017 con indicadores de calibración dentro de los rangos comúnmente aceptados.



Figura 91. Resultado de Calibración en la red todas las categorías



Fuente. Elaboración propia

7.9 ANÁLISIS DEL MODELO

Cuando el modelo se encuentra calibrado, es necesario efectuar análisis adicionales, con el fin de hacer una validación del modelo, mediante las siguientes características.

- Características de las vialidades. Verificar las características.
- Líneas de deseo. Consistente distribución de los viajes.
- Análisis de caminos con Select Link / Flow Bundle.- permite analizar la consistencia de los caminos que toman los viajes en un determinado tramo o grupos de tramos en la red vial.
- Ver consistencia con la realidad.
- Analiza los tiempos de recorrido promedio desde un punto específico de la red a todos los demás considerando rangos de recorrido.
- Diagramas de distribución
- Longitud de viajes. Longitud Euclidiana entre los pares Origen – Destino.
- Tiempos de viajes. Tiempos medios, por tipo de vehículo.

Estas características y otras permiten identificar posibles errores en fuente de información. A pesar de que la calibración parezca muy razonable, se debe realizar este análisis.

7.10 TRÁNSITO ATRAÍDO (O DESVIADO) A VÍA, PROVENIENTE DE OTROS MODOS DE TRANSPORTE

Se debe considerar que debido al mejoramiento de las vías actuales existe la posibilidad de cambio de modo de transporte:

- Avión vs. Automóvil
- Autobús vs. Automóvil

Se considera el análisis entre estas dos situaciones recopilando información entre las rutas posibles de cambio modal, por ejemplo número de pasajeros en rutas aéreas y de autobús entre la Ciudad de Guadalajara, que es donde se mejorará la infraestructura carretera con rumbo a Colima. Se obtuvo información de costo y tiempo de la situación actual vs con situación con la Autopista Guadalajara-Colima modernizada para generar un Modelo Logit que estime la probabilidad de cambio de modo.

A continuación se presenta la imagen donde se muestra todas las posibilidades de vuelos que se tienen a la Ciudad de Manzanillo. Pero cabe destacar que el único vuelo directo que existe en estos momentos sale de la Ciudad de México, por lo tanto todas estas combinatorias tienen que hacer escala en dicha ciudad.

Figura 92. Posibles viajes al Aeropuerto de Manzanillo



Fuente. Elaboración propia

Figura 93. Viajes Directos en modo avión al Aeropuerto Manzanillo



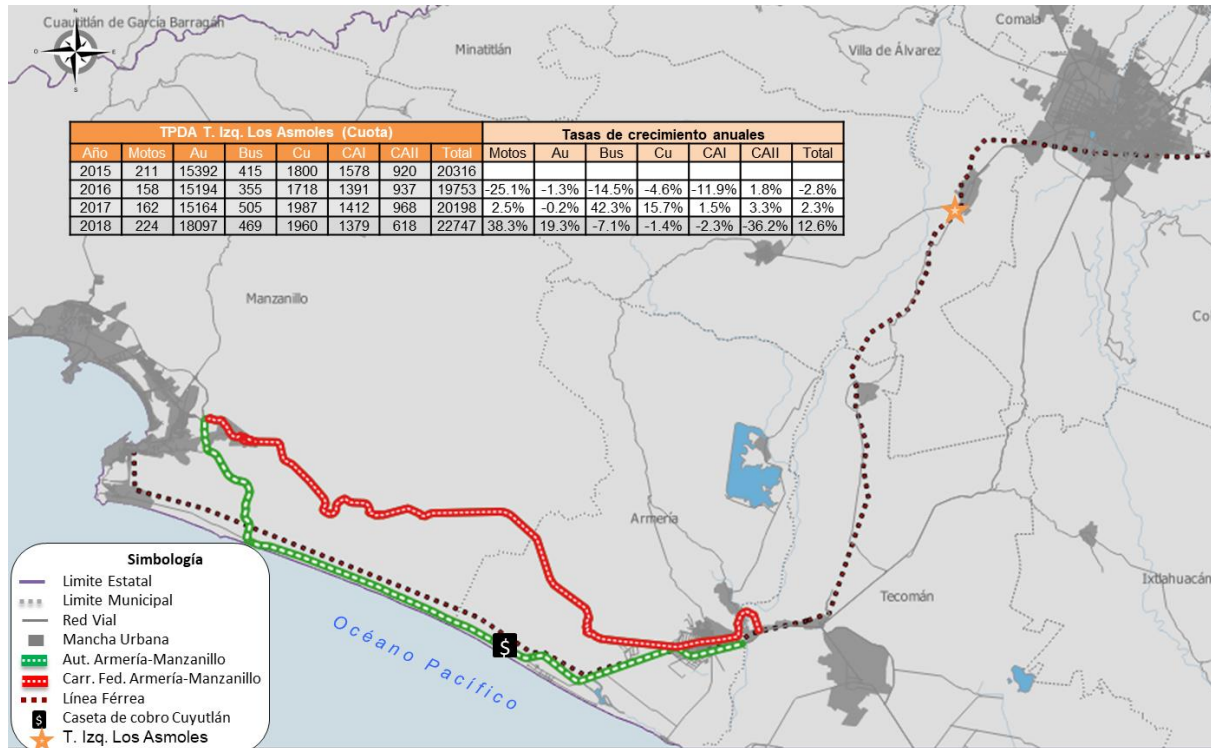
Fuente. Elaboración propia

Por lo anterior y tomando en cuenta la modernización de la Autopista Guadalajara-Colima el Puerto de Manzanillo se vuelve la opción de recreación con playa más cercana a la Ciudad de Guadalajara y es probable que aumente el aforo que se presenta en esta vía; lo anterior beneficia directamente al activo que se está estudiando.

Aunado a esto se verificó el histórico del TPDA³³ que presento la Autopista GDL-Colima para el periodo de 2015 al 2018 en un punto cercano a la Autopista Armería-Manzanillo y se observó que la ampliación realizada en el 2016 trajo los siguientes resultados.

³³ Datos viales 2015 a 2018

Figura 94. Crecimiento de la vía Colima-Tecomán



Fuente. Elaboración propia, con información de Datos Viales SCT.

Como se observa en la figura anterior existió un crecimiento importante en el modo automóvil para el año 2018 derivado en mayor medida por el término de la ampliación de la Autopista Guadalajara-Colima. Dicho crecimiento afecta directamente a la vía en estudio. Por lo anterior teniendo que la vía tenía una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA 2006-2016) de 2.8% y para el año 2018 creció un 19.3% se considera un incremento de 16.5% en el aforo que se venía presentando debido al tránsito atraído. Dicho crecimiento, reflejara el resultado del año base 2018 que tendrá la autopista y que se presentara en el próximo capítulo.

7.11 ERRORES COMUNES EN LA MODELACIÓN DE TRANSPORTE

Cuando se aplican y calibran los modelos de transporte, muchas veces tendemos a pensar que los modelos están libres de errores.

Se puede pensar que los datos fueron recabados de manera perfecta y por otro lado, que las formas funcionales que nosotros estamos utilizando son las correctas. Lamentablemente, esto no es cierto, y tenemos que estar conscientes de que los modelos contienen varios tipos de errores. Los datos nunca son perfectos, están sometidos a márgenes de errores y los modelos



tampoco son perfectos. A continuación se enumeran los principales errores en la etapa de modelación.

- Errores de medición
- Errores de codificación
- Errores de captura de datos.
- Error de muestreo, (dicho error se puede corregir si se aumenta el tamaño de la muestra).
- Errores de especificación: serían al plantear una forma funcional incorrecta del modelo que estamos utilizando. El error de especificación más grave es cuando una variable relevante no está siendo considerada, es decir, el llamado error de omisión, el cual es bastante serio porque genera que nuestros coeficientes al estimar modelos sean todos sesgados. Es decir, vamos a estimar parámetros que van a estar de manera sistemática alejados de los verdaderos parámetros poblacionales.
- Error de calibración y el error de predicción. El error de calibración está asociado con la manera en que estimamos los modelos o calibramos los modelos y aquí prácticamente, es un problema computacional. Existen errores que surgen por la manera en que calibramos los modelos y esto es un tema relacionado con la precisión computacional y desde el punto de vista de errores de predicción, a lo que me refiero es que cuando queremos utilizar nuestros modelos para predecir a futuro, las variables independientes o las variables explicativas de nuestros modelos van a tener que ser predichas para un año futuro. Cualquier error que este asociado con la predicción de dichas variables explicativas claramente va a impactar en la predicción de la variable a explicar, es decir la variable dependiente en el modelo.
- Error de transferencia: se debe a que muchas veces tenemos que hacer predicciones de qué va a ocurrir con determinadas, variables de interés de transporte y no se tiene calibrado un modelo local. Por lo tanto, vamos a tener que tomar un modelo que se calibró en otra ciudad y aplicarlo en nuestra ciudad o se tiene que aplicar un modelo que se calibró en nuestra ciudad pero tal vez diez años atrás, que muy probablemente está desactualizado actualmente.
- Errores asociados a la agregación, los cuales en algunos casos, los errores tienden a desaparecer y en otros casos los errores tienden a potenciarse y para este último caso es el peor de los casos, porque cada vez el margen de error se va amplificando cada vez más, lo cual claramente ocasiona que los resultados de la última fase del modelo completo tengan márgenes de errores tan altos que sus resultados sean muy poco útiles.

Por lo tanto, es muy importante que seamos conscientes de cómo se van acumulando los errores a lo largo de las distintas fases de la modelación e intentar encontrar maneras de hacer que estos errores tiendan a desaparecer y no que tiendan a aumentar.



8 ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO PARA EL AÑO BASE 2018

De acuerdo a la información analizada en los apartados anteriores así a partir del modelo de transporte, se estimó el siguiente año base 2018 por tipo de vehículo para la autopista Armería – Manzanillo.

Para lo anterior se muestra el aforo histórico que presentó la autopista para el periodo 1994-2017.

Tabla 28 TPDA observado y tasas de crecimiento anuales en la Autopista Armería - Manzanillo

TPDA observado al 1994- 2017								Tasas de crecimiento anuales						
Año	M	Au	Bus	Cu	Cal	Call	Total	M	Au	Bus	Cu	Cal	Call	Total
1994	0	1839	143	71	33	6	2093							
1995	0	1575	128	71	41	22	1837	0.0%	-14.4%	-10.4%	0.2%	24.1%	239.8%	-12.2%
1996	0	1582	128	81	94	53	1938	0.0%	0.5%	0.1%	12.8%	131.3%	142.3%	5.5%
1997	0	1677	131	86	105	69	2069	0.0%	6.0%	2.1%	7.2%	11.8%	30.8%	6.8%
1998	0	1747	134	93	113	88	2175	0.0%	4.2%	2.3%	7.3%	6.9%	27.7%	5.1%
1999	0	1907	142	104	109	116	2378	0.0%	9.1%	5.7%	12.3%	-3.2%	32.1%	9.4%
2000	0	2160	151	109	105	138	2663	0.0%	13.3%	6.6%	4.4%	-3.5%	18.6%	12.0%
2001	0	2306	162	121	133	208	2931	0.0%	6.8%	7.2%	11.6%	26.7%	50.5%	10.0%
2002	0	2351	161	124	137	265	3038	0.0%	2.0%	-0.9%	2.6%	2.3%	27.6%	3.7%
2003	0	1570	95	72	75	168	1979	0.0%	-33.2%	-41.1%	-42.3%	-45.2%	-36.6%	-34.8%
2004	0	3411	222	162	194	430	4419	0.0%	117.2%	134.8%	125.3%	160.0%	155.8%	123.2%
2005	0	2808	191	136	137	376	3647	0.0%	-17.7%	-14.0%	-16.1%	-29.5%	-12.6%	-17.5%
2006	0	3187	207	161	154	471	4178	0.0%	13.5%	8.2%	18.5%	12.1%	25.3%	14.6%
2007	0	3394	201	197	200	549	4541	0.0%	6.5%	-2.6%	22.6%	30.3%	16.6%	8.7%
2008	0	3474	206	224	236	630	4769	0.0%	2.4%	2.2%	13.7%	17.8%	14.8%	5.0%
2009	0	3462	203	222	235	580	4702	0.0%	-0.3%	-1.6%	-0.8%	-0.5%	-7.9%	-1.4%
2010	0	3640	218	326	313	742	5238	0.0%	5.1%	7.6%	46.5%	33.6%	27.9%	11.4%
2011	0	3786	236	358	364	765	5508	0.0%	4.0%	8.4%	10.0%	16.0%	3.1%	5.2%
2012	1	3835	251	353	441	801	5683	0.0%	1.3%	6.1%	-1.4%	21.3%	4.8%	3.2%
2013	11	3712	262	327	471	813	5597	681.4%	-3.2%	4.6%	-7.4%	6.8%	1.5%	-1.5%
2014	15	3720	261	342	546	930	5813	32.9%	0.2%	-0.7%	4.6%	15.8%	14.3%	3.9%
2015	22	3841	264	368	605	1047	6146	48.2%	3.3%	1.2%	7.4%	10.9%	12.6%	5.7%
2016	31	4204	265	399	669	1154	6722	36.9%	9.5%	0.3%	8.5%	10.7%	10.2%	9.4%
2017	33	4385	266	424	723	1260	7091	8.3%	4.3%	0.4%	6.2%	8.0%	9.2%	5.5%

Fuente: Elaboración propia con base en la información proporcionada por el concesionario.



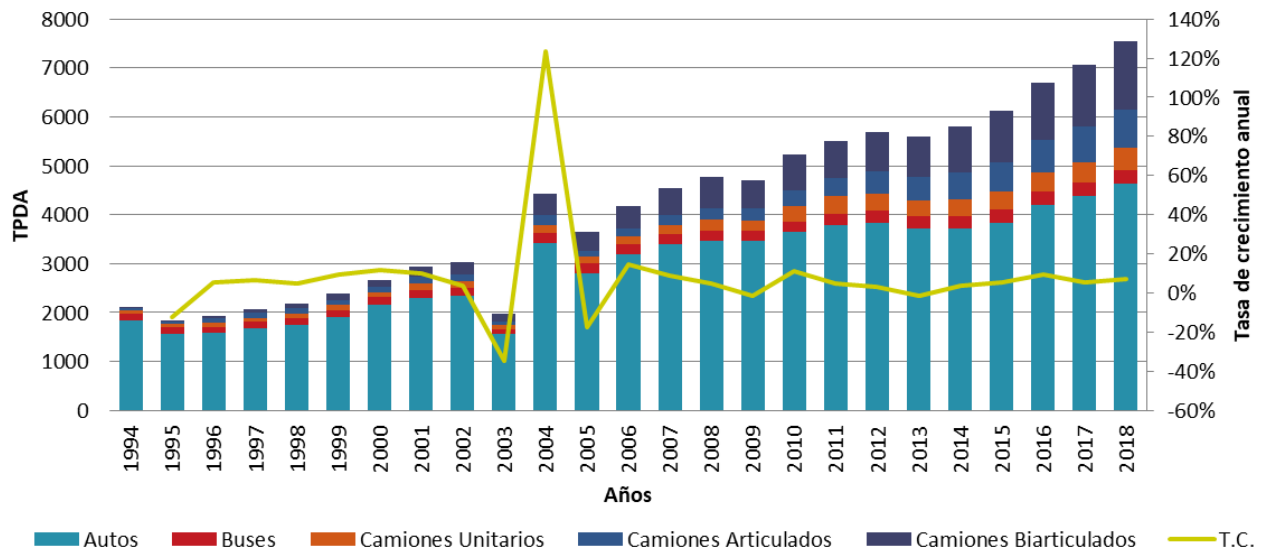
Tabla 29 TPDA por tipo de vehículo, año base 2018, Autopista Armería-Manzanillo

Año	Motos	Au	Bus	Cu	CAI	CAII	Total
2,018	37	4,634	267	455	794	1,395	7,583

Fuente: Elaborado tomando como base los resultados obtenidos del modelo de transporte³⁴

A continuación se muestra cómo quedaría la serie del periodo si agregamos el año base al periodo observado; se aprecia como la autopista en los últimos 3 años ha tenido crecimientos importantes, esto derivado de las obras de mejora en la región.

Figura 95. TPDA y tasa de crecimiento anual en el periodo 1994-2017.



Fuente. Elaboracion propia con base en la informacion proporcionada por el concesionario.

³⁴ Autobuses = Autobuses de 2, 3 y 4 ejes
 Camiones Unitarios = Camiones de 2, 3 y 4 ejes
 Camiones Articados 1 = Camiones de 5 y 6 ejes
 Camiones Articados 2 = Camiones de más de 7 ejes



9 CONCLUSIONES

La construcción de carreteras es uno de los sectores en donde la inversión privada está focalizando su interés. Como en cualquier mercado, los inversionistas requieren que su inversión genere las rentas esperadas, entonces los estudios del mercado de transporte regional deben realizarse con mucha profundidad para optimizar el beneficio a los usuarios, cuidando en todo momento que se construya con las normas más adecuadas, para que de esta manera se genere confianza en los inversionistas. Las técnicas empleadas en los estudios deben probar su eficacia, logrando estar documentados apropiadamente, para que de manera muy sencilla puedan evaluarse y auditarse.

Para el desarrollo del estudio de aforos e ingresos es de vital importancia conocer previamente el objetivo general del proyecto de infraestructura carretera, es decir, además de conocer las características físicas y operativas del proyecto, se debe conocer el mercado que se busca atender o beneficiar, así como cuál es el impacto regional esperado a través de la construcción y operación del proyecto.

La vocación que permite este tipo de estudios es lograr analizar el comportamiento pasado que cuanta una vía para de esta manera lograr una proyección al futuro de la demanda, analizando los factores de diversa índole que influyen sobre los usuarios

Es importante tener presente que ningún modelo se acerca completamente a la realidad. Por lo tanto es importante ser precavidos a la hora de interpretar los resultados, entender los resultados de los modelos como rangos de valores, más que como un valor único perfecto y nuestra responsabilidad consiste en explicarle a los tomadores de decisiones cuáles son los inconvenientes que tienen los resultados que estamos entregando.

Un tomador de decisiones es finalmente la persona que se expone pone ante la ciudadanía y por lo tanto, parte de nuestra ética profesional debería ser explicarle a este tomador cuáles son los errores que están asociados a los resultados que les estamos dando. Si trabajamos con un nivel de confianza del 95% y con un margen de error de 5%, cada 100 recomendaciones que nosotros hagamos, en cinco recomendaciones vamos a estar haciendo una recomendación errónea o vamos a estar suponiendo que determinados valores son tales, cuando en realidad tienen un margen de error mucho mayor al que estimamos.

Conclusiones de la Aut. Armería – Manzanillo

La Autopista Armería Manzanillo muestra un importante crecimiento en el TPDA observado en los últimos años, presentando una TCMA del 5.5% para el año 2017, siendo los camiones articulados II (CAII) los que presentan un mayor crecimiento respecto al resto de los vehículos, del orden del 9.2%, esto debido a que en el reglamento de Pesos y Dimensiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes especifica en su Apartado 6, la restricción de paso de vehículos de carga tipo CAII por la vía alterna a la autopista Armería-Manzanillo, situación que ha favorecido el uso de la autopista por éste tipo de vehículo y que se puede



apreciar en el análisis, por lo que el continuar con esta directriz favorecerá sustancialmente al aforo de la vía.

El TPDA, de la vía en análisis presenta crecimientos importantes los últimos años esto debido en parte a las mejoras en las vías de comunicación que alimentan a la Ciudad de Colima y Manzanillo así como al crecimiento del movimiento de carga en el Puerto de Manzanillo. Se observó que la autopista ha presentado desde el inicio de su operación un crecimiento del tráfico para 1994 el aforo era cercano a los 2,000 vehículos y en 2018 cerca de 7,000 vehículos. Es decir, en 24 años el tráfico se incrementó 3.5 veces. Aunado a esto el porcentaje de captación de la autopista, del total del tráfico, supera el 50% y ha presentado en su historia una moderada tendencia general al alza. En los autos ha oscilado entre el 50% y el 60%, con tendencia estable; mientras que en los camiones articulados 2 (Call) la tendencia ha sido creciente, a partir de niveles cercanos al 80% y hasta aproximadamente el 90%, en los últimos años. Es importante notar, que los camiones articulados 2 tienen restricción para utilizar la vía libre.

Tomando como consideración el modelo de transporte fue posible cuantificar el aforo atraído derivando de la ampliación a 3 carriles por sentido de la Autopista Colima-Guadalajara lo que ocasionó un incremento en la densidad del corredor carretero, al complementar y generar nuevas sinergias con la Autopista Armería-Manzanillo. Así mismo, el proyecto del túnel ferroviario incrementará la competitividad del puerto, principalmente a la carga que tiene clara vocación ferroviaria, esto puede impactar negativamente a la autopista consecuencia de un cambio de modo de transporte.

El Puerto de Manzanillo, y en particular la Terminal de Contenedores, se encuentran desarrollando la ampliación de su infraestructura en las áreas de reserva disponibles durante los próximos años, con la finalidad de aumentar su capacidad en manejo de carga. La autopista seguirá siendo una vía de comunicación indispensable para el movimiento de carga de altura y cuenta con la capacidad suficiente para captar el tráfico generado por el crecimiento del puerto, ofreciendo mejores tiempos de recorrido que la vía alterna así como mejores condiciones de seguridad.

El Puerto de Lázaro Cárdenas compite con el del Puerto de Manzanillo. Este puerto inició su operación recientemente tiene servicios similares a los de Manzanillo, y ha captado, por ahora una pequeña parte del mercado de contenedores de Manzanillo. Se estima que al consolidarse el Puerto de Manzanillo pierda la carga con destino principalmente a la CDMX, Estado de México y Querétaro, lo cual equivale a cerca del 10% del total de su carga. Dicho puerto tiene un potencial de expansión importante, ya que no cuenta con limitaciones importantes de terreno para sus ampliaciones futuras. Tiene una buena conectividad férrea, mientras que la carretera que le brinda conectividad es de un carril por sentido. Lo anterior marca una distribución modal en la cual el modo carretero no supera el 45%.

El uso y aplicación de las nuevas tecnologías en las operaciones del puerto, de carga y descarga comercial, de transporte, vigilancia y seguridad, es una herramienta indispensable que debe usarse como detonante para optimizar todos los procesos. Todo puerto en el mundo requiere adaptarse a las nuevas tendencias de velocidad tecnológica si no quiere quedarse rezagado en la carrera comercial.



Acrónimos y abreviaturas	
API	Administración Portuaria Integral
AU	Automóvil
BPR	Bureau of Public Roads
CAI	Camión Articulado de 5 y 6 ejes
CAII	Camión Articulado de 6 o más ejes
CDMX	Ciudad de México
CU	Camión unitario de 2 a 4 ejes
EODI	Encuesta Origen-Destino de Intercepción
EU	Equilibrio del Usuario
GAEP	Grupo Alianza Estratégica Portuaria
GIS	Geographic Information Systems
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
OD	Origen-Destino
PCE	Passanger Car Equivalent
PCU	Passanger Car Unit
PIB	Producto Interno Bruto
PNI	Programa Nacional de Infraestructura
PR	Preferencia Revelada
SCT	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
SIG	Sistema de Información Geográfica
TCMA	Tasa de Crecimiento Media Anual
TEU	Twenty - foot Equivalent Unit.
TPDA	Transito Promedio Diario Anual
TPDM	Transito Promedio Diario Mensual
TRB	Transportation Research Board
TUM	Terminal de Usos Múltiples
VST	Valor Subjetivo del Tiempo
ZAT	Zona de Análisis de Tráfico



10 REFERENCIAS

Bibliografía

- Cal y Mayor, R., Cárdenas, J. Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones. Alfaomega, 460-484, 1998
- Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Modelación de Demanda para carreteras de cuota, Dirección General de Desarrollo Carretero
- Reyes Espíola, Ing. Rafael Cal y Mayor y Asociados. Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Bogotá: Secretaria de Tránsito y Transportes, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Víctor M. Islas Rivera Publicación técnica no. 213 Sanándola, Qro, 2002 Secretaría de Comunicaciones y Transporte, del IMT Estudio de la demanda de transporte
- Board, Transportation Research. 2000. Highway Capacity Manual . [aut. libro] Comité Ejecutivo TRB. highway Capacity Manual 2000. Washington D.C. : Transportation Research Board, 2000,
- Ortuzar, J. de D. (2000) Modelos Econométricos de Elección Discreta. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Comunicaciones y Transportes, Secretaría. 1991. Manual de Capacidad Vial. México : Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 1991
- Box, P.C. y Oppenlander, (1985) Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. 4a edición, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, D.F.
- Ortuzar, Juan de Dios Modelos de transporte Ediciones de la universidad de Cantabria Edición 2008.
- Ángel R. Molinero Molinero Transporte público: planeación diseño, operación y administración Luis Ignacio Sánchez Arellano Universidad Autónoma del Estado de México 1 edición mayo 1997
- Highway Capacity Manual 2000.



Archivos Electrónicos

- Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Manzanillo 2105-2020 (http://www.puertomanzanillo.com.mx/datos_abiertos/2_PMDP_Manzanillo_2015-2020.pdf)
- <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/>
- http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2019/33_Vols_Casetas_ok.pdf
- <https://www.puertomanzanillo.com.mx/espi/0000001/inicio>
- <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020202/ubicacion-y-zona-de-influencia>
- <https://tyt.com.mx/reportajes/puerto-de-manzanillo-grandeza-portuaria/>
- <http://www.sela.org/media/2303846/2-modelo-de-operacion-logistica-puerto-de-manzanillo.pdf>
- <http://t21.com.mx/maritimo/2017/06/16/manzanillo-estudia-ampliacion-hacia-laguna-cuyutlan>
- <http://www.obrasweb.mx/construccion/2016/07/01/colima-prepara-una-ampliacion-en-el-puerto-de-manzanillo-para-2020>
- <https://www.coursera.org/learn/demanda-de-transporte/home/welcome>



ANEXO: PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE LÍNEAS DE DESEO EN UN PROGRAMA GIS (TRANSCAD).

A continuación se describe un proceso para la generación de las líneas de deseo tomando como base las encuestas de Origen-Destino y la zonificación, así como algunos aspectos básicos y puntos de control que se deben de considerar cuando se realizan.

Para la realización de las líneas de deseo, se deben considerar los siguientes aspectos:

- a. La metodología descrita a continuación es sólo aplicable para el programa Transcad.
- b. Se debe tener conocimiento del manejo de tablas dinámicas en Excel.
- c. Se debe tener conocimiento sobre el manejo básico del software Transcad (abrir/ cerrar capas, selecciones, entre otros).
- d. Se debe de contar con la capa de zonificación correspondiente al proyecto.
- e. Se debe contar también con base de datos de la encuesta de Origen-Destino correspondiente al proyecto.
- f. Las líneas de deseo generadas podrán utilizarse para la revisión de la congruencia de los viajes de la base Origen-Destino y/o para la creación de temáticos de los principales pares de viaje.

Los procedimientos que se describirán en el documento son los siguientes:

- Obtención de centroides de zonas.
- Preparación y obtención del archivo para la generación de las líneas de deseo.
- Generación de la capa de líneas.
- Integración de datos en la capa de líneas.
- Revisión de la congruencia de los viajes



Centroides de zonas

Los centroides de zonas se requieren al momento de generar las líneas de deseo, ya que proporcionan las coordenadas de longitud y latitud que serán utilizadas para ubicar los orígenes y destinos cuando se generen las líneas de deseo. Los centroides de zonas se realizan a partir de la capa de zonificación del proyecto siguiendo los siguientes pasos:

- a. Abrir el programa Transcad junto con la capa de zonificación archivo (".dad").
- b. En la barra de menú dar clic en la opción "Tools" y en seleccionar "Export".
- c. En la opción "Export" seleccionar del menú desplegable "All Features". En la opción de "To" seleccionar "Standard Geographic File", el cual es el formato de salida de la capa. En la opción "ID Field" seleccionar del menú desplegable el nombre del campo donde se encuentra el dato de número de zona. Activar la opción "Export as Centroid Points" y dar clic en "OK".
- d. A continuación se selecciona dónde se va a guardar la capa que se está generando.
- e. Agregar la capa que se acaba de crear al mapa, en esta están considerados los centroides. Dar clic en el icono "Map layers" de la barra de herramientas y en la ventana auxiliar dar clic en "Add Layer".
- f. Ya con la capa cargada se ingresa a la opción de "Dataview" de la barra de herramientas, en esta tabla se podrán conocer la longitud y latitud de cada centroide, así como el ID. Es importante mencionar que cada la ubicación del centroide varía dependiendo de la forma de cada zona.

Archivo para la generación de las líneas de deseo.

Para la generación de las líneas de deseo se parte de la base de datos de la encuesta Origen – Destino del proyecto. Se debe de realizar de la siguiente manera.

- a. Abrir la base de datos de la encuesta Origen-Destino en Excel.
- b. Hacer una tabla dinámica con la estratificación deseada incluyendo los campos donde se encuentra la zona de origen y la zona de destino asignada a cada registro. A continuación eliminar los totales de la cada columna, únicamente se pondrá como cuenta la columna del ID, (esto con el fin de poder conocer los principales viajes en la encuesta)
- c. Se copia la tabla dinámica en otra hoja y se rellenan los espacios en blanco a manera que todas las columnas y filas estén llenas.



- d. A continuación se abren el archivo de centroides que se generó en el programa Transcad y se copia el archivo en el Excel de la encuesta
- e. Se agregan los siguientes encabezados ID, Nodo, Longitud Origen, Latitud Origen, Longitud Destino y Latitud Destino, concatenado. El ID será un número consecutivo el cual es el registro de cada línea que será creada en el programa Transcad. El Nodos: este dato hace referencia al número de puntos con los cuales serán construidas las líneas, para el procedimiento siempre se utilizará el número 2 (origen y destino). Y las longitudes y latitudes serán las ubicaciones correspondientes a cada una de las zonas de nuestra encuesta Origen-Destino. El concatenada es la columna donde se procederá a desarrollar la fórmula de =concatenar (todas las anteriores columnas), los datos estarán separados por coma (,).
- f. Se realiza búsquedas verticales de tal manera que para cada zona de la base de datos se tenga su ID, longitud y latitud.
- g. La columna de concatenado se abre y copia en block de notas y se guarda con la extensión .txt. Dicha columna se guarda sin ningún tipo de encabezado.
- h. A continuación se cierra el archivo y se cambiar la extensión del archivo “.txt” por “.geo”

Generación de la capa de líneas

La generación de las líneas de deseo utiliza el archivo con extensión “.geo” creado anteriormente, una vez generado se procede la siguiente manera:

- i. Se abre el archivo con extensión “.geo” en Transcad.
- j. Aparecerá una ventana que dice “Import Text/Geography File” es necesario activar la opción “Line” y dar clic en “Ok”.
- k. A continuación se preguntara en donde se quiere guardar el archivo de líneas de deseo que se va a generar.
- l. De este modo el programa genera la capa de líneas de deseo.

Integración de datos en la capa de líneas.

La integración de la información de la base de datos Origen – Destino a la capa de líneas se realizara a partir del archivo “.dbf” creado en el paso anterior, siguiendo los siguientes pasos



- m. Abrir la base de datos de la encuesta Origen-Destino en Excel.
- n. Abrir el archivo “.dbf” que se generó en el paso anterior dentro del programa Transcad.
- o. En una nueva columna se procederá a poner toda la información que se necesita vincular al archivo, como podrían ser: sentido, tipo vehicular, periodo, estación de toma de información, ingresos, etc.
- p. A continuación se realizaran las búsquedas verticales las cuales nos permitirán complementar cada uno de los espacios vacíos del archivo de trabajo; dichos datos se llenaran tomando la columna de “ID” como pivote.
- q. Será necesario una vez terminado lo anterior guardar el archivo Excel en formato “Libro de Excel 97-2003 (*.xls).
- r. A continuación se abre esta base de datos en el programa de Transcad y se selecciona la hoja donde está ubicada la tabla de nuestro interés.

Revisión de la congruencia de los viajes

- s. Una vez teniendo del archivo anterior se procede a revisar la congruencia que tendrá la línea de deseo, para esto es necesario contar con el sentido y la estación donde se realizó la encuesta.
- t. Seleccionamos el layer donde se encuentran nuestras líneas de deseo y se procede a habilitar la selección que queremos que nos muestre. De esta manera y de forma visual podemos checar que pares origen-destino están correctamente referenciados. Para este paso es recomendable acomodar las ventanas de forma que se puede ver tanto el mapa con las líneas y su tabla de datos
- u. Para revisar la congruencia de los viajes, se recomienda empezar con los registros que tienen mayor número de registros. Para esto acomodaremos el campo con el número de encuestas o registros de mayor a menor, dar clic en el encabezado de la columna que contiene este valor, dar clic derecho y del menú auxiliar seleccionar “Sort Decreasing”.
- v. De cada selección se dará un click en cada renglón esto generara una línea de color en el registro seleccionado y en la ventana del mapa aparece la línea correspondiente al registro seleccionado.



- w. Una vez analizado el viaje, en una nueva columna se escribirá un indicador el cual permitirá llevar el control de los registros analizados, es recomendable utilizar números los cuales nos indiquen que los viajes son congruentes tanto en sentido como en configuración, que los viajes que si pueden ser captados/encuestados en la estación, pero tienen mal el sentido, o que los viajes son inválidos debido a que por su configuración no pueden ser captados en la estación.
- x. Teniendo toda la revisión de todos los registros se deben realizar los cambios de sentido de los registros identificados en la base de datos origen-destino, así como quitar los registros inválidos antes de realizar el proceso de expansión.
- y. Estas líneas de deseo nos pueden servir para la generación de imágenes o temáticos en el cual se muestre de manera visual un resultado del origen-destino de la encuesta realizada. Para la generación propiamente del temático se deben cambiar el color de las zonas, de la red y de los pares de viaje, estos colores dependerán del gusto de cada persona, pero es recomendable utilizar colores claros y que permitan la fácil identificación de cada uno de los elementos que componen el mapa temático.

