Análisis Costo – Beneficio
Tren de Alta Velocidad (TAV):
México – Querétaro

Por:

modelistica

Versión Pública - Abril 2014

Informe final

CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO 1

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PPI 5

2.1 Diagnóstico de la Situación Actual 5
2.2 Análisis de la Oferta Existente 9
2.2.1 Infraestructura vial existente 9
2.2.2 Servicio de transporte público 13
2.2.3 Proyectos relevantes en la ZMVM 15
2.2.4 Oferta ferroviaria 17
2.3 Análisis de la Demanda Actual 24
2.3.1 Información documental 25
2.3.2 Aforos vehiculares electromecánicos 27
2.3.3 Variación horaria de la demanda sobre la autopista 28
2.3.4 Aforos Clasificados por 16 horas 31
2.3.5 Usuarios de transporte foráneo 33
2.3.6 Caracterización de los usuarios de vehículo privado 34
2.3.7 Caracterización de los usuarios transporte foráneo mediante la encuesta origen – destino 38
2.3.8 Supuestos para la estimación de la demanda 41
2.3.9 Demanda actual 50
2.4 Interacción de la Oferta-Demanda a lo largo del horizonte de evaluación. 51

3. SITUACIÓN SIN EL PPI 56

3.1 Optimizaciones 56
3.1.1 Mejora en las condiciones de la superficie de rodamiento de la autopista México – Querétaro, km 90.000+70.000 56
3.1.2 Modificar la frecuencia del servicio 56
3.1.3 Nueva estación de Autobuses en Huehuetoca. 57
3.1.4 Mejorar la superficie de rodamiento en las vialidades urbanas 57
3.2 Análisis de la Oferta 58
3.3 Análisis de la demanda 59
3.4 Diagnóstico de la interacción Oferta-Demanda 61
3.5 Alternativas de solución 63
3.5.1 Ampliación a un carril en cada sentido de la Autopista México–Querétaro. 63
3.5.2 Análisis de alternativas ferroviarias México-Querétaro. 64
3.5.3 Análisis de trazo 64
3.5.4 Alternativa de tren de alta velocidad (TAV) 79
3.5.5 Alternativa de tren regional México – Querétaro (TR) 82
3.5.6 Evaluación de alternativas ferroviarias 88

4. SITUACIÓN CON EL PPI 91

4.1 Descripción general 91

4.2 Alineación estratégica 93
4.3 Localización geográfica 94
4.4 Calendario de actividades 95
4.5 Monto total de inversión 95
4.6 Fuentes de financiamiento 96
4.7 Capacidad instalada 96
4.8 Metas anuales y totales de producción 97
4.9 Vida útil 97
4.10 Descripción de los aspectos más relevantes 97
4.10.1 Estudios técnicos 97
4.10.2 Estudios legales 97
4.10.3 Estudios ambientales 98
4.11 Análisis de la Oferta 100
4.11.1 Trazado 100
4.11.2 Flota 101
4.11.3 Estaciones de cabecera 101
4.11.4 Talleres 106
4.11.5 Senderos con proyecto 111
4.12 Análisis de la demanda con proyecto 114
4.13 Interacción Oferta-Demanda 122

5. EVALUACIÓN DEL PPI 125

5.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos del PPI 125
5.1.1 Costo de inversión 125
5.1.2 Costos de operación y mantenimiento 126
5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del PPI 128
5.2.1 Beneficios por ahorros en tiempo de viaje 128
5.2.2 Ahorros en costos de operación 133
5.2.3 Ahorros por inversiones futuras en infraestructura ferroviaria 135
5.2.4 Ahorros por liberación de recursos 136
5.2.5 Ahorros emisiones 137
5.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad 139
5.4 Análisis de sensibilidad 141
5.5 Análisis de riesgos 142

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 143

7. ANEXOS 144

8. BIBLIOGRAFÍA 145

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Aforo histórico en la caseta de Tepotzotlán 6
Figura 2. Parque vehicular en la ciudad de México 1995 – 2010 (vehículos ligeros). 7
Figura 3. Tasa de crecimiento del PIB 2004 – 2012..... 8
Figura 4. Autopista México - Querétaro 9
Figura 5. Red vial de la ciudad de México 10
Figura 6. Red vial analizada 11
Figura 7: Detalle de la red vial en el Área Metropolitana del Valle de México 12
Figura 8. Porcentaje de servicios ofertados por terminal..... 14
Figura 9. Trazo en planta del Viaducto Bicentenario. 15
Figura 10. Proyecto de la autopista Palmillas – Apaseo el Grande 16
Figura 11. Mapa del sistema ferroviario mexicano 17
Figura 12. Líneas férreas Juárez y Morelos 18
Figura 13. Ubicación de los trabajos de campo 25
Figura 14. Composición vehicular según datos de SCT..... 26
Figura 15. Caseta Tepotzotlán Aforo 2005 – 2012..... 26
Figura 16. Caseta Palmillas Aforo 2005 – 2012 27
Figura 17. Composición vehicular entre semana y fin de semana 28
Figura 18. Variación horaria en día hábil Tepotzotlán 29
Figura 19. Variación horaria en día hábil Palmillas 29
Figura 20. Variación horaria en fin de semana Tepotzotlán 30
Figura 21. Variación horaria en fin de semana Palmillas..... 30
Figura 22. Variación del aforo durante una semana..... 31
Figura 23. Composición vehicular por estación del aforo manual 32
Figura 24. Variación horaria por estación en día hábil 32
Figura 25. Modelo promedio por tipo de vehículo 35
Figura 26. Nivel de estrato de los usuarios 35
Figura 27. Nivel de estudio o preparación de los usuarios 36
Figura 28. Frecuencia en que los usuarios realizan su viaje 36
Figura 29. Motivo de viaje de los usuarios 37
Figura 30. Encuestas origen – destino validadas por terminal 38
Figura 31. Nivel de estrato de los usuarios 39

Figura 32. Nivel de estudio o preparación de los usuarios 40
Figura 33. Frecuencia en que los usuarios realizan su viaje 40
Figura 34. Motivo de viaje de los usuarios 41
Figura 35. Líneas de deseo, viajes totales 42
Figura 36. Líneas de deseo, 200 a 500 viajes 43
Figura 37. Líneas de deseo, 500 a mil viajes 43
Figura 38. Codificación de rutas de transporte público en el modelo Tranus 44
Figura 39. Tasas anuales de crecimiento de la población por estado 46
Figura 40. Agregación de zonas del modelo en macrozonas para ACB 47
Figura 41. Senderos con y sin proyecto para macrozonas 49
Figura 42. Generación de demanda por macrozona 50
Figura 43. Estado de la vía, Av. 100 Metros (Eje Central) 57
Figura 44. Estado de la vía, Tramo Jesus Reyes Heroles – 5 de Mayo 58
Figura 45. Demanda actual – autos 60
Figura 46. Demanda actual – autobuses 60
Figura 47. Demanda actual – carga 61
Figura 48. Sección tipo de ampliación 63
Figura 49A Solución seleccionada 80
Figura 49B. Trazo de la alternativa Tren de alta velocidad 80
Figura 50. Demanda de la alternativa Tren de alta velocidad 81
Figura 51. Costos de operación y mantenimiento alternativa TAV 82
Figura 52 Trazo y estaciones de la alternativa de tren regional 83
Figura 53. Demanda a bordo del tren por tramo 85
Figura 54. Demanda tren regional por tramos, distribución de viajes 85
Figura 55. Representación gráfica del perfil de demanda 86
Figura 56. Representación gráfica del perfil de demanda incluyendo al tren suburbano 86
Figura 57. Abordajes de pasajeros del TR México – Querétaro 87
Figura 58. Costos de operación y mantenimiento alternativa tren regional 88
Figura 59. Trazo del proyecto 93
Figura 60. Localización del proyecto 94
Figura 61. Capacidad instalada 96
Figura 62. Trazo del proyecto 100

Figura 63. Estación Buenavista 102
Figura 64. Ubicación de la estación Querétaro – Bernardo Quintana..... 102
Figura 65. Ubicación de la estación Querétaro – Bernardo Quintana..... 104
Figura 66. Superficies aproximadas..... 104
Figura 67. Urbanización y accesos 105
Figura 68. Esquemas de las instalaciones de Buenavista..... 107
Figura 69. Esquema de la instalación de Querétaro 107
Figura 70. Esquemas de las instalaciones del Taller Central 108
Figura 71. Cuadro resumen disposición vías en Taller nº2. Taller Central 109
Figura 72. Sendero sin y con proyecto zona Centro 111
Figura 73. Sendero sin y con proyecto zona Norte 112
Figura 74. Sendero sin y con proyecto zona Oriente 112
Figura 75. Sendero sin y con proyecto zona Poniente 113
Figura 76. Sendero sin y con proyecto zona Sur 113
Figura 77. Demanda captada por el tren por macrozona 115
Figura 78. Demanda sobre la autopista México – Querétaro, sin y con proyecto (miles de vehículos)..... 116
Figura 79. Escenario C, con proyecto y crecimiento conservador..... 116
Figura 80. Porcentaje de demanda que atrae el tren 118
Figura 81. Comparación de estratos por nivel de ingreso en la actualidad (sin el TAV) y de los que se anticipa usen el TAV 119
Figura 82: Demanda para diferentes niveles tarifarios 120
Figura 83: Demanda del TAV para tres niveles tarifarios 121
Figura 84. Costos de operación y mantenimiento durante el horizonte de evaluación 126
Figura 85. Ahorros en tiempo de viaje hora pico por macrozona 2018 (minutos). 129
Figura 86. Flota liberada por la construcción del proyecto 137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parque vehicular de automóviles del Estado de Querétaro y su zona Metropolitana 7
Tabla 2. Población total en del Estado de Querétaro y su zona metropolitana 8
Tabla 3. Oferta vial ZMVM, vialidades relevantes 13
Tabla 4. Servicios ofertados por terminal 14
Tabla 5. Vías férreas existentes 20
Tabla 6. Espuelas ferroviarias 20
Tabla 7. Utilización de vías principales para el tráfico de trenes de mercancías 22
Tabla 8. TPDA 2012 Volúmenes en ambos sentidos 26
Tabla 9. Usuarios que abordaron en cada terminal 33
Tabla 10. Usuarios que ya estaban a bordo en cada terminal 34
Tabla 11. Ecuaciones para la proyección hasta el 2048 de las proyecciones CONAPO 45
Tabla 12. Macrozonas establecidas para análisis 47
Tabla 13. Demanda actual por macrozona (vehículos por día) 50
Tabla 14. Demanda actual por macrozona (pasajeros) 50
Tabla 15. Demanda en la autopista México Querétaro (vehículos por día) 51
Tabla 16. Demanda en la autopista México Querétaro (pasajeros por día) 51
Tabla 17. Interacción oferta demanda Zona Centro– Querétaro 51
Tabla 18. Interacción oferta demanda Zona Sur 52
Tabla 19. Interacción oferta demanda Zona Poniente– Querétaro 52
Tabla 20. Interacción oferta demanda Zona Oriente– Querétaro 52
Tabla 21. Interacción oferta demanda Zona Norte – Querétaro 52
Tabla 22. Velocidades promedio de recorrido (km/h) 53
Tabla 23. Tiempo de recorrido en hora pico México – Querétaro (horas) 54
Tabla 24. Tiempo de recorrido en hora valle México – Querétaro 55
Tabla 25. Oferta vial ZMVM, vialidades relevantes con optimizaciones 58
Tabla 26. Velocidades en horas pico (km/h) 61
Tabla 27. Tiempo de viaje Zona Centro (horas) 62
Tabla 28. Tiempo de viaje Zona Sur (horas) 62
Tabla 29. Tiempo de viaje Zona Poniente (horas) 62
Tabla 30. Tiempo de viaje Zona Oriente (horas) 62

Tabla 31. Tiempo de viaje Zona Norte (horas) 62
Tabla 32. Corredores y tramos ferroviarios analizados 65
Tabla 33. Costo por tipo de tren 77
Tabla 34. Características básicas de los trenes empleados para la simulación de los trenes de viajeros 78
Tabla 35. Energía y emisiones de los trenes de viajeros 78
Tabla 36: Costo de la alternativa tren de alta velocidad 81
Tabla 37: Tarifas del tren regional 82
Tabla 38. Demanda diaria del TR México – Querétaro, pasajeros a bordo del tren en cada tramo 84
Tabla 39. Costos de inversión de la alternativa tren regional 88
Tabla 40. Suma de flujos durante el horizonte de evaluación (2018 -2048) 90
Tabla 41. Comparación de indicadores de las alternativas 90
Tabla 42.. Coordenadas del proyecto 94
Tabla 43.. Calendario de actividades 95
Tabla 44. Monto total de inversión 95
Tabla 45. Fuentes de financiamiento 96
Tabla 46. Metas anuales y totales de producción 97
Tabla 47. Dimensionamiento preliminar Taller nº1: Cabecera Buenavista 109
Tabla 48. Dimensionamiento preliminar Taller nº3: Cabecera Querétaro 110
Tabla 49. Dimensionamiento preliminar Taller nº2: Taller Central 110
Tabla 50. Demanda del proyecto TAV México - Querétaro 114
Tabla 51: Demanda de pasajeros para tres niveles tarifarios 120
Tabla 52: Comportamiento de la demanda del TAV para diferentes niveles tarifarios 121
Tabla 53. TV para los usuarios del tren – Zona Centro (horas) 122
Tabla 54. TV para los usuarios del tren – Zona Sur (horas) 122
Tabla 55. TV para los usuarios del tren – Zona Poniente (horas) 122
Tabla 56. TV para los usuarios del tren – Zona Oriente (horas) 122
Tabla 57. TV para los usuarios del tren – Zona Norte (horas) 122
Tabla 58. TV con proyecto para los usuarios de la red carretera 123
Tabla 59. Velocidades con proyecto durante el horizonte de evaluación 124
Tabla 60. Inversión por año 125
Tabla 61. Costos de operación y mantenimiento 127

Tabla 62. Valor del tiempo 2014 128
Tabla 63. Valor del tiempo en la zona de estudio..... 128
Tabla 64.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Centro 129
Tabla 65.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Sur 130
Tabla 66.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Poniente (h)..... 130
Tabla 67.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Oriente (h) 130
Tabla 68.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Norte (h) 130
Tabla 69. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Centro 131
Tabla 70. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Sur 131
Tabla 71. Ahorro TV los usuarios de la red carretera – Zona Poniente..... 131
Tabla 72. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Oriente 132
Tabla 73. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Norte 132
Tabla 74. Ahorro TV para los vehículos de carga 132
Tabla 75. Parámetros del VOC-MEX 133
Tabla 76. COV por kilómetro sin y con proyecto 134
Tabla 77. Recorrido por macrozona sin y con proyecto (km) 134
Tabla 78. Velocidades sin y con proyecto (2018)..... 135
Tabla 79. Ahorros en COV para los vehículos de carga..... 135
Tabla 80. Ahorro en infraestructura ferroviaria..... 136
Tabla 81. Beneficio en infraestructura ferroviaria por año 136
Tabla 82. Factores de emisión en función al tipo de recorrido 138
Tabla 83. Flujos de efectivo 139
Tabla 84.. Flujos descontados 140
Tabla 85.. Indicadores de rentabilidad proyecto TAV México - Querétaro..... 141
Tabla 86.. Análisis de sensibilidad sobre las principales variables..... 141

1. Resumen Ejecutivo[1]

Problemática, objetivo y descripción del PPI	
Objetivo del PPI	Mejorar la movilidad entre las ciudades de México y Querétaro, mediante la construcción de un Tren de pasajeros de alta velocidad, que reduzca el tiempo de viaje entre ambas ciudades a una hora. El proyecto habrá de contribuir al logro de los siguientes objetivos: • Desarrollar un servicio ferroviario de pasajeros competitivo, seguro, cómodo y confiable en la zona Central de México que contribuya a la creación de una plataforma para el desarrollo económico sustentable. • Crear un eje estructurador del transporte de pasajeros que dé servicio a las principales zonas industriales del centro del país, disminuya los costos de transporte, aumente la productividad, para incrementar la competitividad de las actividades de la región. • Impulsar el servicio ferroviario de pasajeros, ante la creciente necesidad de buscar soluciones que contribuyan a contrarrestar el calentamiento global y la contaminación ambiental, toda vez que es un modo de transporte sustentable y amigable con el medio ambiente. • Utilizar y modernizar la infraestructura de transporte existente y construir nuevas vías que permitan crear un potente Sistema Ferroviario Mexicano de pasajeros.
Problemática Identificada	La autopista México Querétaro, es una de las principales vías de comunicación a nivel regional, que forma parte del eje carretero Querétaro – Ciudad

[1] El presente constituye un informe de avance.

	Juárez y México – Nuevo Ladero, a partir del cual se mueve un importante flujo de personas y mercancías, cuyo aforo diario alcanzó en el 2012 los 50,240 vehículos en ambos sentidos. Sin embargo, también es una de las vías que registra mayor número de accidentes, con un total de 580 accidentes en 2010; el índice de accidentes por kilómetro es de 2.736. Se estima que en 2010 los daños materiales rondaron los 40 millones de pesos. Al mismo tiempo, atendiendo al dinamismo económico que presenta la región del Bajío, se hace indispensable ampliar y mejorar la infraestructura y condiciones de movilidad desde y hacia la capital del país. Adicional a las necesidades antes señaladas, es importante resaltar que una características de las grandes ciudades de América Latina, incluida la Ciudad de México, es la expansión descontrolada de la mancha urbana y el acelerado crecimiento en la tasa de motorización, hecho que ocasiona que la entrada y salida de las mismas, se traduzca en mayores tiempos y elevados costos de operación vehicular, debido principalmente a los niveles de congestión que se presentan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), los cuales persisten a pesar de la construcción de importantes obras viales tales como las autopistas urbanas y los segundos pisos. Ante esta situación y considerando el dinamismo presente y futuro que se vislumbra para la Ciudad de México y la región del Bajío (específicamente el Estado de Querétaro), así como los altos costos de inversión en los que se tendría que incurrir para continuar ampliando las avenidas de salida y entrada a la ZMCM, se ha propuesto la construcción de un Tren de Pasajeros de Alta Velocidad entre la Ciudad de México y la ciudad de Querétaro (TAV México - Querétaro), como una alternativa de modo de transporte moderna, eficiente y no contaminante, por la cual podría optar una parte importante de la demanda cuya necesidad de movilidad entre ambas ciudades, y que actualmente se trasladan por autobús o en vehículos particulares.
Breve descripción del PPI	La construcción del “Tren de pasajeros de alta

	velocidad entre la Ciudad de México y la Ciudad de Querétaro (TAV México-Querétaro)", contempla el uso compartido de una vía doble hasta Huehuetoca, con el Tren Suburbano. El resto del trazado será una nueva vía doble donde en algunos tramos irá paralela a las vías actuales de carga aprovechando de esta manera el derecho de vía actual. La velocidad promedio del trayecto estimada en 200 km/h, dividido en 10 tramos con base en el mayor grado de aprovechamiento del derecho de vía de la línea Juárez-Morelos y con la selección de los mejores criterios de actuación para cada tramo. El proyecto tiene su inicio en las coordenadas geográficas latitud 19.4483 y longitud – 99.1517; y sus coordenadas finales son: latitud 20.6037 y longitud -100.3792.

Horizonte de evaluación, costos y beneficios del PPI	
Horizonte de Evaluación	El horizonte de evaluación analizado es de 35 años, de los cuales, cuatro de ellos son para la construcción del proyecto y treinta y uno de operación.
Descripción de los principales costos del PPI	Los principales rubros de costos que considera el proyecto son: infraestructura para estaciones y terminales, vía, sistema de electrificación, seguridad y telecomunicaciones, material móvil, integración ambiental[2] y derecho de vía
Descripción de los principales beneficios del PPI	Los sistemas ferroviarios disminuyen los tiempos de viaje de los usuarios que los emplean, contribuyen a atenuar la congestión en las calles y las avenidas alternativas al trazado ferroviario, y reducen la contaminación ambiental y la emisión de los gases de efecto invernadero. También promueven un mejor uso del espacio público y un menor nivel de accidentes. Dentro del presente estudio se han considerado los siguientes beneficios: • Ahorro en tiempo de viaje • Reducción en costos de operación vehicular

[2] Estudios y mitigación ambiental.

	• Ahorros por inversiones futuras en infraestructura ferroviaria • Liberación de recursos • Ahorros por emisiones de CO2
Monto total de inversión (con IVA)	43,579 millones de pesos con IVA
Riesgos asociados al PPI	Los principales riesgos asociados con la construcción y operación del proyecto se encuentran asociados a: • Un incremento en los costos de construcción del proyecto. • Problemas en la liberación del derecho de vía. • Retrasos en el programa de construcción. • Retrasos en la elaboración de estudios y proyectos. • Retrasos en la obtención de permisos y autorizaciones.

Indicadores de Rentabilidad del PPI	
Valor Presente Neto (VPN)	$16,371.6 millones de pesos
Tasa Interna de Retorno (TIR)	14.56%
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)	10.87%

Conclusión	
Conclusión del Análisis del PPI	Como resultado del presente Análisis Costo-Beneficio se concluye que el proyecto es económica y socialmente rentable, cuya ejecución impactará positivamente en la movilidad entre México y Querétaro, por lo que se recomienda su ejecución.

2. Situación Actual del PPI

2.1 Diagnóstico de la Situación Actual

Atendiendo a la acelerada dinámica de desarrollo urbano que ha presentado en las últimas décadas la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y su estrecha vinculación con los municipios y ciudades más cercanas, se ha ocasionado que el tránsito ha aumentado significativamente. Por lo que, durante las horas de mayor tránsito (horas pico), los principales puntos de entrada y salida de la Ciudad de México, hacia las ciudades de Querétaro, Puebla, Cuernavaca, Pachuca y Toluca presenten altos costos generalizados de viaje (CGV).

Adicionalmente, como parte de las políticas de promoción al crecimiento económico regional, algunas ciudades del centro del país, se han constituido como relevantes polos de desarrollo, lo cual demanda el mejorar los canales de comunicación y traslado de personas y mercancías entre estos puntos y la capital del país. Prueba de lo anterior, lo constituye la región del Bajío[3], misma que se ha convertido en el nuevo centro manufacturero de México, especializado en partes y componentes para las industrias automotriz, aeronáutica y electrónica.

Atendiendo a la dinámica que presenta la región , pero sobre todo a la esperada, se estima que "…en los próximos cinco años lleguen a la región Bajío al menos 60 empresas japonesas del sector automotriz con inversiones por 600 millones de dólares"[4].

Por lo anterior, las necesidades de infraestructura económica en la región parecen crecer aceleradamente, en la medida en que la inversión que se haga en infraestructura repercutirá en la consolidación de los probables flujos de inversión directa que se plantea para esta zona del país.

Ante esta situación, y con el fin de mejorar las condiciones de comunicación de la región centro del país, las autoridades han puesto en marcha diferentes proyectos para mejorar las condiciones de acceso y salida de la Ciudad de México, tales como aumentar el número de casetas en las autopistas, ampliar la capacidad de las principales vías de comunicación (urbanas y carreteras).

Si bien con estas acciones se han obtenido mejoras en el flujo vehicular, los niveles de congestión y las problemáticas de movilidad no se han eliminado, y además debe considerarse que durante su periodo de construcción se generan altos costos por molestias. Es decir, estas acciones constituyen medidas de solución que, en el mediano plazo, quedan sobrepasadas, lo que hace necesario pensar en llevar a cabo acciones que tenga una vigencia mayor y que cuenten con una visión de largo plazo.

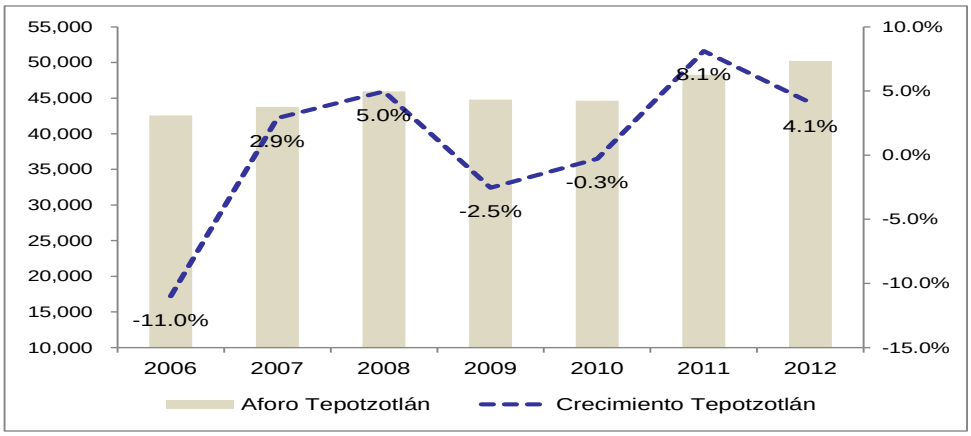
---

[3] La región del Bajío abarca a los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes y San Luis Potosí.

[4] Apoyo de infraestructura para la inversión en el Bajío*, en El Economista. 05 de enero 2014.*

En este sentido, el número de viajes realizados entre la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ), se ha incrementado en los últimos años, teniendo como principal vía de comunicación la autopista México – Querétaro. Según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en 2012 en la caseta de Tepotzotlán circularon 50,240 vehículos por día, cuya composición vehicular corresponde el 68% a autos, el 26% a camiones y el 6% autobuses.

Figura 1. Aforo histórico en la caseta de Tepotzotlán

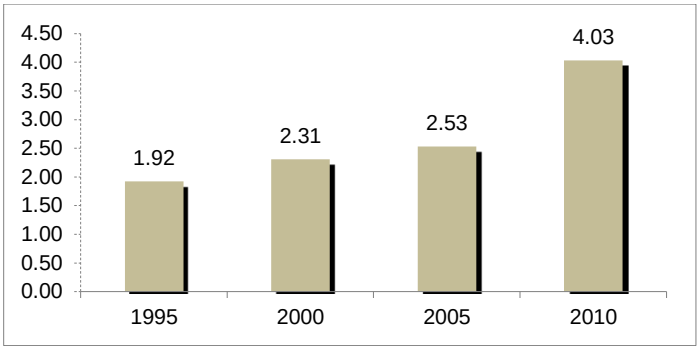


Fuente: INEGI

Durante el viaje por la autopista, independientemente de si los pasajeros se dirigen a la ZMVM o a la ciudad de Querétaro, se tiene una velocidad de circulación promedio mayor a 90 km/h, sin embargo, debido a los trabajos de mantenimiento que continuamente se realizan a la autopista, los accidentes y así como al importante volumen de vehículos de carga que circula sobre la misma, el tiempo de recorrido es variable, por las distintas demoras a lo largo de la autopista. Adicionalmente, atendiendo al crecimiento presente y futuro del flujo vehicular, como resultado de la importancia y dinámica económica esperada de la región, se estima que en breve, se observaría una disminución en las velocidades de operación, lo cual incidirá negativamente en los niveles de servicio que ofrece la autopista. Para que esto no suceda, se tendrían que llevar acciones tales como ampliar la capacidad de la autopista, en al menos un carril por sentido, lo que generaría altos costos por molestias y afectaciones a terceros

En la Ciudad de México los problemas de congestión se deben principalmente al incremento del parque vehicular. En 1995 en la Ciudad de México circulaban 1.92 millones de vehículos, en 2010 la cifra aumento a 2.53 millones, sin embargo, el incremento más alarmante se dio entre 2005 y 2010 cuando se llegó a 4.03 millones de vehículos, lo que significó un incremento de 9.8% anual en dicho periodo.

Figura 2. Parque vehicular en la ciudad de México 1995 – 2010 (vehículos ligeros)



Fuente: INEGI

En la se presenta la dinámica del parque vehicular de automóviles registrada en el estado de Querétaro. Puede observarse que se han registrado tasas de crecimiento, lo cual repercute en mayores requerimientos de recursos e inversiones en nuevas vialidades para garantizar la fluidez vehicular.

Tabla 1. Parque vehicular de automóviles del Estado de Querétaro y su zona Metropolitana

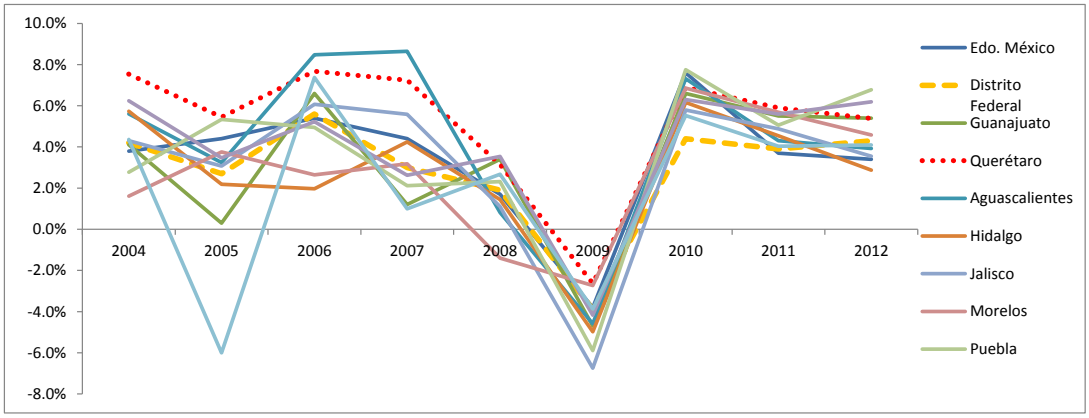
Parque vehicular de automóviles						
Año	Querétaro (total estatal)	Corregidora	Huimilpan	El Marqués	Querétaro	ZMQ
2000	**145,322**	5,403	511	2,178	107,105	115,197
2005	**167,656**	12,233	816	3,640	118,395	135,084
2010	**304,062**	29,365	2,652	8,768	195,515	236,300
tasas de crecimiento medio anual (TCMA)						
Año	Querétaro (total estatal)	Corregidora	Huimilpan	El Marqués	Querétaro	ZMQ
2000-2005	2.90%	17.80%	9.80%	10.80%	2.00%	3.20%
2005-2010	12.60%	19.10%	26.60%	19.20%	10.60%	11.80%

Fuente: INEGI

La preponderancia del automóvil privado como medio de transporte a la par de la congestión tiene como consecuencias problemas de contaminación del aire, perdidas de horas – hombre y un deterioro en la salud y la calidad de vida. Asimismo, son cuantiosos los recursos necesarios para mantener en buen estado las vialidades y para construir nuevos proyectos.

Adicionalmente, el incremento de viajes entre México y Querétaro, puede explicarse por el creciente dinamismo de la economía queretana y de la región en su conjunto. La actividad económica del estado de Querétaro ha tenido una dinámica que supera a la media nacional e inclusive a la del Distrito Federal. En la siguiente figura se presentan las tasas de crecimiento del PIB de los estados de la región centro del país:

Figura 3. Tasa de crecimiento del PIB 2004 – 2012



Fuente: INEGI

Asimismo, debido a su crecimiento económico, el estado de Querétaro ha experimentado un incremento en su población. De acuerdo al Conteo de Población y Vivienda del 2010, el estado de Querétaro registró una población de 1,827,937 personas, lo que representa el 1.6% del total nacional, de los cuales el 51.5% eran mujeres. El 60% de la población del estado se concentra en la Zona Metropolitana de Querétaro, integrada por los municipios de Querétaro, Corregidora, El Marqués y Huimilpan; mientras que el 13.2% habita en la zona semiurbana-industrial de San Juan del Río.

Tabla 2. Población total en del Estado de Querétaro y su zona metropolitana

Población total						
Año	Querétaro (total estatal)	Corregidora	Huimilpan	El Marqués	Querétaro	ZMQ
2000	**1,404,306**	74,558	29140	71,397	641,386	816,481
2005	**1,598,139**	104,218	32728	79,743	734,139	950,828
2010	**1,827,937**	143,073	35,554	116,458	801,940	1,097,025
tasas de crecimiento medio anual (TCMA)						
Año	Querétaro (total estatal)	Corregidora	Huimilpan	El Marqués	Querétaro	ZMQ
2000-2005	2.60%	6.90%	2.30%	2.20%	2.70%	3.10%
2005-2010	2.70%	6.50%	1.70%	7.90%	1.80%	2.90%

Fuente: INEGI

Ante la importancia de la movilidad en la zona es importante que se busquen soluciones para mejorar y propiciar un mayor flujo de personas, con lo que se beneficie a la actividad económica de la región y se beneficie a la población.

2.2 Análisis de la Oferta Existente

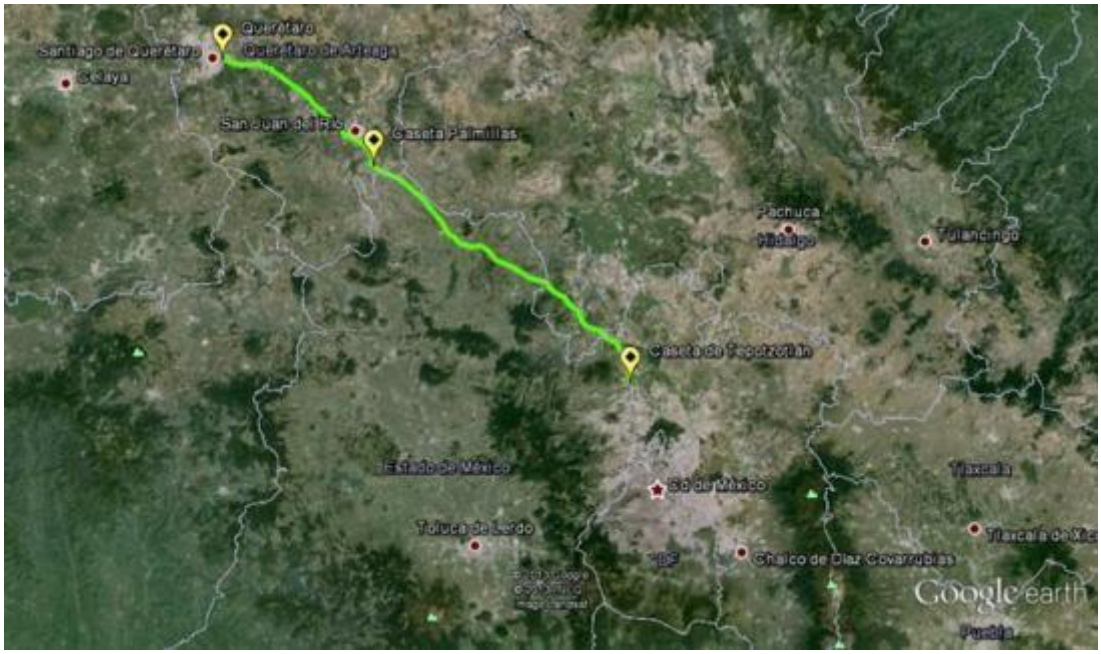
2.2.1 Infraestructura vial existente

La región centro del país se caracteriza por tener una amplia oferta de infraestructura carretera.

La principal vía de comunicación entre las ciudades de México y Querétaro es la autopista de Cuota México – Querétaro (Mex 57D). Esta vía cuenta con 3 carriles por sentido y concretó asfáltico en la mayor parte de su recorrido; actualmente se encuentra en proceso el cambio a concreto hidráulico y mejora en el acotamiento, a la altura los kilómetros 70.000 + 90.000 de Tepeji del Río, situación que genera altos costos por molestias.

Adicionalmente como parte de los procesos de revisión a los que se encuentra sujeto el transporte de carga, en la caseta de Palmillas, en el sentido México – Querétaro, en horario nocturno se presentan largas colas como consecuencia de la revisión de rayos gama a las que son objeto este tipo de vehículos. Lo anterior, ocasiona que el resto de los usuarios que transitan por la vía, se vea afectado tanto por las colas que se forman, como por la interacción con los importantes volúmenes de camiones que transitan en esos horarios por la vía.

Figura 4. Autopista México - Querétaro



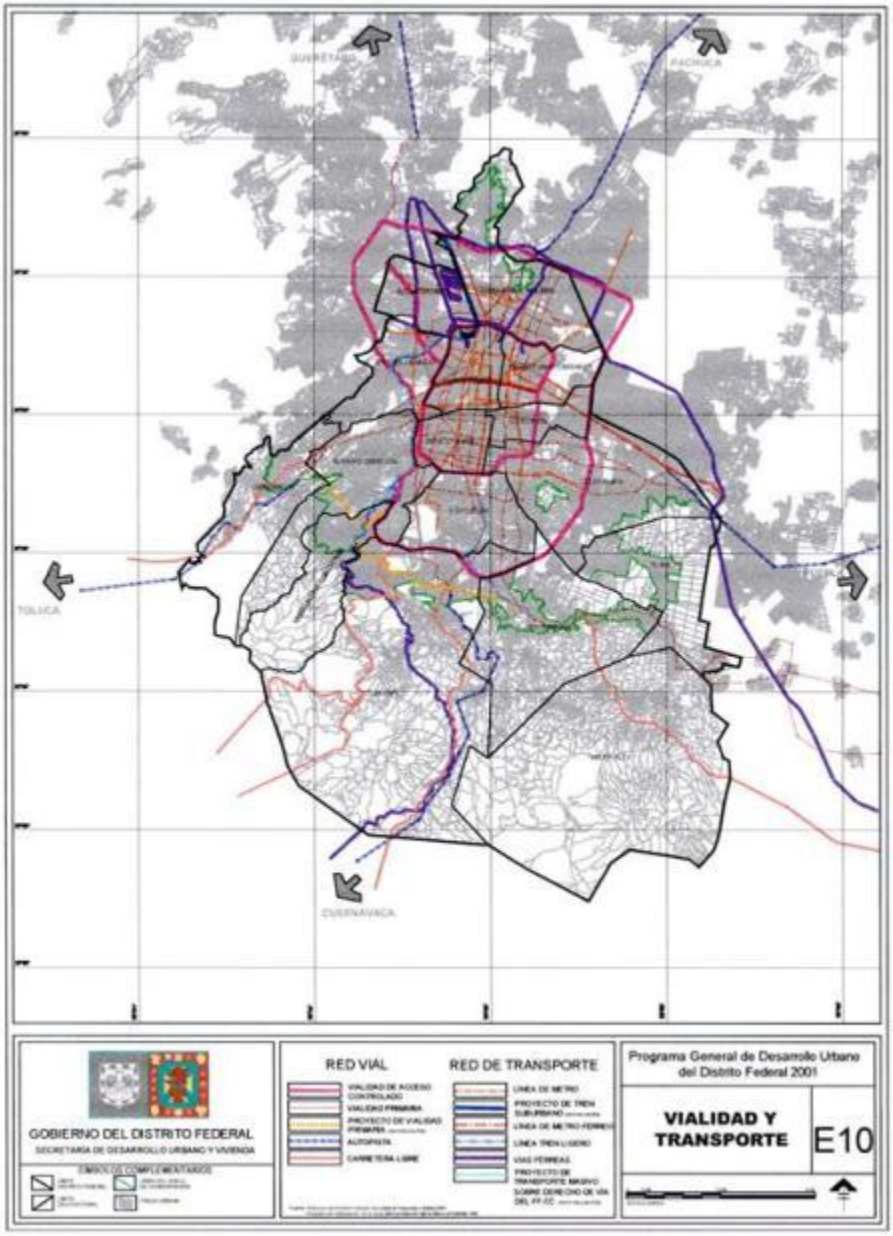
Fuente: Google Earth

Esta vía es utilizada no sólo por quienes tienen como inicio de viaje el D.F. o Querétaro, sino también por viajeros de largo recorrido, ya que la autopista forma parte del corredor Querétaro – Ciudad Juárez y México – Nuevo Ladero.

Por otra parte, quienes tienen un punto de origen diferente a la caseta de Tepotzotlán, deben trasladarse desde distintas zonas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Según información de la Secretaría de transportes y vialidad, la red vial de la ciudad tiene un total de 10 mil 200 km. Se compone por 930 km (9%) de vialidades primarias, 171.42 km de vías de acceso controlado, 421.16 km de ejes viales, 320.57 km de arterias principales y 9 mil 229 km de vialidades secundarias.

Figura 5. Red vial de la ciudad de México



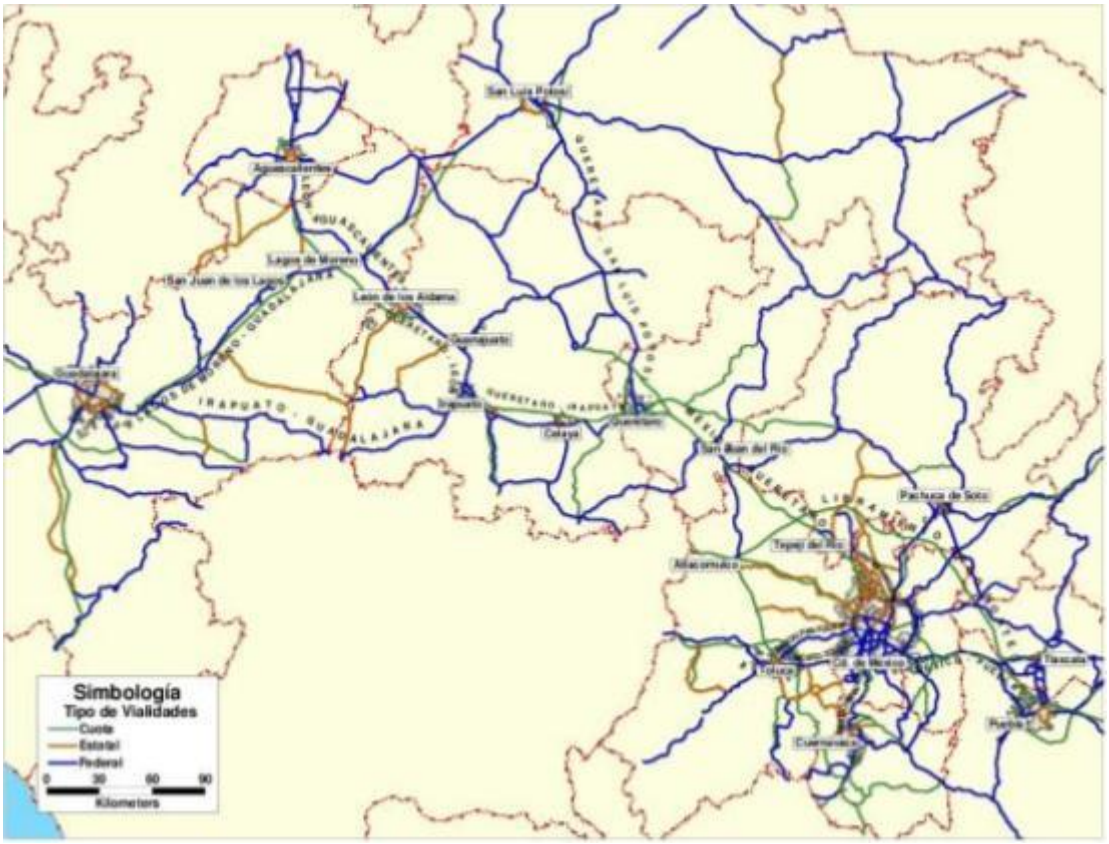
Fuente: Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal

La saturación de las vialidades genera bajas velocidades. En un análisis de aforos realizadas en 1997 y 1998 para las vialidades primarias del DF por la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad COMETRAVI se concluyó: el 85% de las vialidades primarias tienen mala fluidez, que obliga a una velocidad entre 20 y 21 km/h, mientras que los vehículos de transporte público se desplazan a 17 km/h[5]. Para 2013 el Gobierno del Distrito Federal estimó que la velocidad promedio se redujo a sólo13 kilómetros por hora para automóviles.

La movilidad en la Ciudad de México enfrenta grandes problemas, los niveles de congestión y la saturación de las vialidades, tienen como consecuencia altos costos generalizados de viaje, que impactan tanto a los habitantes locales, como a quienes realizan viajes metropolitanos o regionales.

Para el presente estudio, se amplió considerablemente la red vial y de transporte a ser analizada, presentada en la Figura 6. Nótese que el área de estudio incluye las ciudades como San Luis Potosí, Aguascalientes, todo el Bajío (León, Irapuato, Celaya), Guadalajara, Cuernavaca y Puebla, y por lo tanto se analiza la vialidad principal entre estas poblaciones.

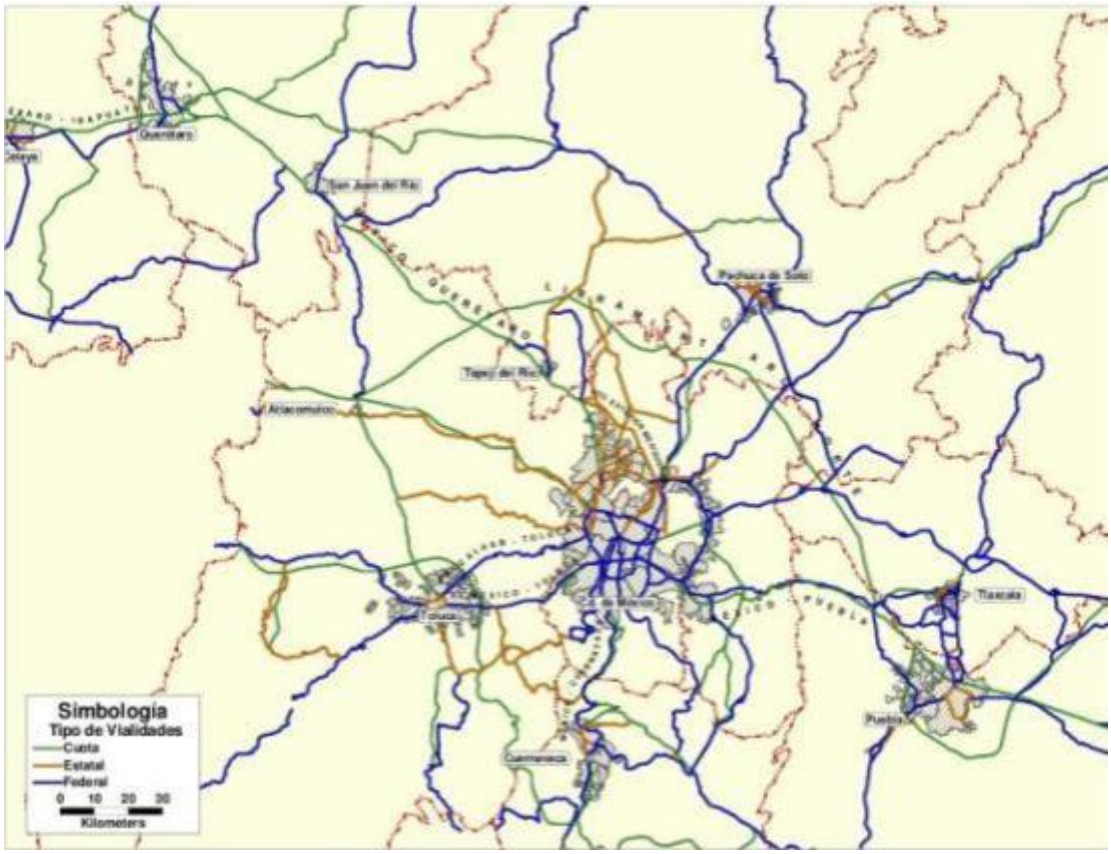
Figura 6. Red vial analizada



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

[5] Fideicomiso para el mejoramiento de las vías de comunicación del Distrito Federal.

Figura 7: Detalle de la red vial en el Área Metropolitana del Valle de México



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Las vías analizadas y tienen características diferentes en lo que respecta a capacidad y las relaciones entre capacidad, densidad y velocidad del tránsito sobre ellas.

Por lo anterior, las siguientes capacidades, basadas en el Highway Capacity Manual 2010, se adoptaron en el análisis:

- Carreteras de dos carriles (uno por sentido): se asume una capacidad de 1250 vpph (vehículos privados por hora) por carril,
- Carreteras de acceso controlado y separación entre sentidos: capacidad de 2000 vpph,
- Vías urbanas sin acceso controlado: 700 vpph.

Dentro de la zona urbana de la Ciudad de México, las vías más relevantes se presentan junto con sus características en la siguiente tabla:

Tabla 3. Oferta vial ZMVM, vialidades relevantes

Vialidades principales	Longitud	No. de carriles	Estado físico	IRI actual
Eje Central Lázaro Cárdenas	12.7 Km	4 en sentido sur-norte	Bueno-Regular	3.8
Eje Central 100 metros	6.61 Km	3 por sentido en cuerpo central y 2 en cuerpo lateral	Bueno-Regular	3.5
Av. Acueducto Tenayuca	2.38 Km	3 carriles por sentido	Regular	4
Periférico desde Viaducto Tlalpan hasta caseta de Tepotzotlán	58.6 Km	3 laterales y 3 centrales por sentido a nivel	Bueno	3.5
Av. Toluca - Jesus Reyes Heroles	5.87 Km	3 laterales y 3 centrales por sentido	Regular	4
Viaducto Tlalpan	2.1 Km	4 carriles por sentido	Bueno	3.4
Calzada de Tlalpan	12.9 Km	4 carriles por sentido	Bueno-Regular	3.5
Autopista México – Querétaro	106 Km			
Tramo Tepotzotlán – Palmillas	62.4 Km	3 carriles por sentido	Bueno-Regular	3.2
Palmillas - Querétaro		3-4 carriles por sentido	Bueno	3

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

2.2.2 Servicio de transporte público

A través del estudio de cierre de Circuito en terminales de autobuses, se identificaron los servicios de transporte foráneo para los principales destinos dentro del área de influencia del corredor México – Querétaro, trabajo realizado en distintas terminales de autobuses, siendo las mismas terminales y destinos que el trabajo realizado en la encuesta origen/destino.

El cierre de circuito en rutas de autobuses foráneos, se realizó dos días hábiles por terminal durante el periodo del jueves 9 al viernes 17 de enero, cada día de estudio a partir de 06:00 a 22:00 horas, con el objetivo de determinar la cantidad de usuarios que utilizan el servicio en cada terminal, así como la cantidad de destinos que ofertan las empresas de transporte foráneo, entre la principal información que se recopilo en cada terminal, se tiene: el destino del servicio, la empresa que lo oferta, la hora de salida de cada autobús y número de unidad, identificar si el servicio es local o es de paso, capacidad de autobús, abordos de usuarios en cada autobús, en caso de ser un servicio de paso, cantidad de usuarios que continúan su viaje.

Como resultado del estudio se obtuvieron cerca de 2,000 servicios ofertados en dos días durante las 16 horas de estudio en las 14 terminales que se mencionaron anteriormente. La distribución de servicios por terminal y por día se muestra en la Tabla 4.

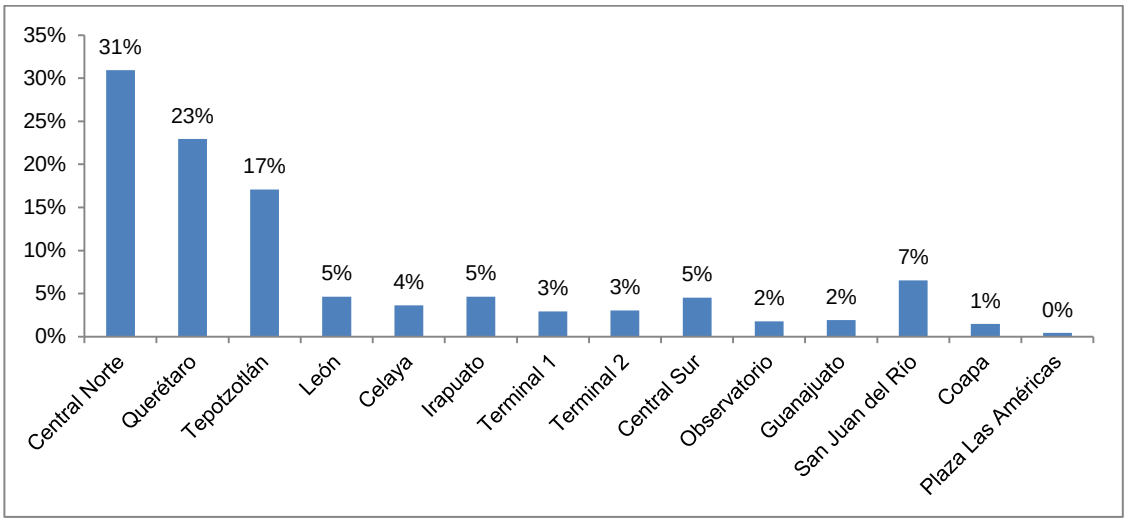
Tabla 4. Servicios ofertados por terminal

Terminal	Día 1		Día 2	
	Sevicios	%	Sevicios	%
Central Norte	238	25%	341	32%
Querétaro	209	22%	221	21%
Tepotzotlán	177	19%	143	14%
León	42	4%	45	4%
Celaya	25	3%	43	4%
Irapuato	44	5%	43	4%
Terminal 1	25	3%	30	3%
Terminal 2	27	3%	30	3%
Central Sur	39	4%	46	4%
Observatorio	16	2%	17	2%
Guanajuato	16	2%	20	2%
San Juan del Río	60	6%	62	6%
Coapa	14	1%	14	1%
Plaza Las Américas	4	0.4%	4	0%
Total	**936**	100%	**1,059**	100%

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En la siguiente figura se presenta el promedio de los servicios ofrecidos durante los días estudiados, puede apreciarse que más del 50% de los servicios se generan en las terminales Central del Norte y Querétaro; también destacan los servicios ofrecidos desde la terminal de Tepotzotlán, ubicada al norte del Estado de México.

Figura 8. Porcentaje de servicios ofertados por terminal



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

2.2.3 Proyectos relevantes en la ZMVM

Es importante considerar que en la ZMVM se han construido obras con la finalidad de mejorar el flujo de vehicular, tanto de los usuarios locales como de quienes realizan viajes de largo recorrido, y asimismo se han planteado proyectos a nivel regional para mejorar la movilidad de los viajes de largo recorrido. A continuación se presentan dos proyectos importantes:

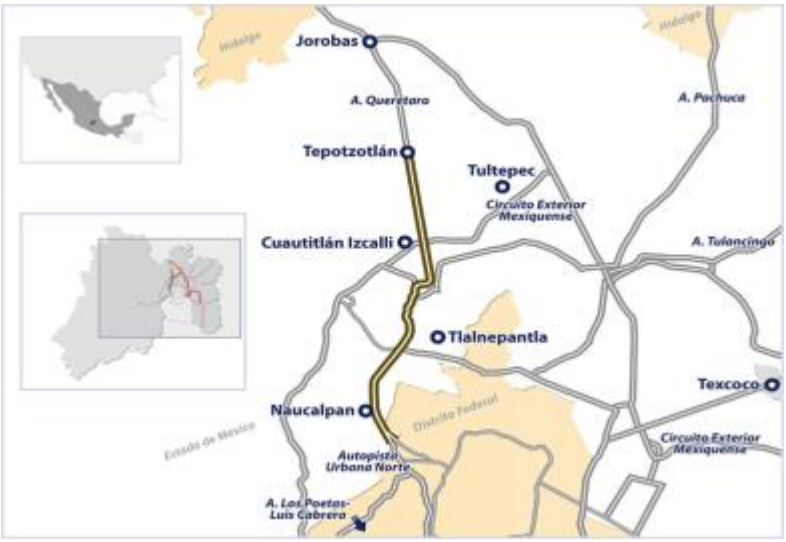
- **Construcción del Viaducto Bicentenario segundo piso Avenida Manuel Ávila Camacho**

El proyecto consiste en la construcción de un viaducto a dos cuerpos elevados con una longitud de 32 km y tres carriles de circulación en cada sentido. La obra une el límite norte del DF a la altura del Toreo con la autopista México–Querétaro a la altura de la caseta de Tepotzotlán, pasando por los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán y Tepotzotlán.[6]

Actualmente se encuentra en operación la Etapa 1 de Toreo a Tepalcapa, este tramo tiene 23 km y opera con tres carriles reversibles, de 5:00 am a 13:00 pm de norte a sur, 14:00 pm a 12:00 am de sur a norte. En esta vía solamente circulan autos, y tiene un costo de $1.85 pesos por kilómetro.[7] La inversión de esta etapa es de 7,135 millones de pesos.

En 2013 inició la construcción de la segunda sección del segundo piso de la Avenida Manuel Ávila Camacho (conocido como Periférico), desde lo que se conoce como el Toreo, hacia la salida a la Autopista México – Querétaro, mismo que será finalizado en el 2016. Esta sección complementará a la existente.

Figura 9. Trazo en planta del Viaducto Bicentenario.



Fuente: Fonadin, proyectos apoyados

[6] Fuente: Fonadin, proyectos apoyados. http://www.fonadin.gob.mx/work/sites/fni/resources/LocalContent/535/63/ViaductoBicentenario.pdf
[7] Secretaría de Comunicaciones del Estado de México.

- **Autopista Palmillas – Apaseo El Grande**

Por otra parte, se tiene en proceso de autorización de presupuesto la construcción de la autopista Palmillas – Apaseo El Grande, la cual funcionaría como un libramiento de la ciudad de Querétaro. De acuerdo con la SCT, quienes utilizarían la mencionada autopista serían los camiones de carga que no tienen como origen o destino intermedio o final, la ciudad de Querétaro. El libramiento constará de 88 km con una inversión de más de 5,000 millones de pesos, iniciará en el kilómetro 3+500 de la carretera federal Palmillas-Portezuelo, y terminará en el kilómetro 89+500 entroncando con la autopista de cuota Querétaro–Irapuato (Figura 3.4).

Es una Autopista de 4 carriles de circulación tipo A4, de aproximadamente 86.0 km de longitud, con origen en el km3+500 entronque "Huichapan" con la carretera Pachuca-Palmillas y destino en el km 89+500 Entronque "Apaseo El Grande" con la Autopista Querétaro-Irapuato.

Figura 10. Proyecto de la autopista Palmillas – Apaseo el Grande

Fuente: Fonadin, proyectos apoyados

Tras terminar su construcción, permitirá alojar cuatro carriles de circulación, dos en cada sentido, dos acotamientos exteriores y acotamientos interiores, además de que el pavimento será de concreto hidráulico y se prevé la construcción de 14 puentes, nueve entronques y 12 casetas de cobro.

2.2.4 Oferta ferroviaria

El corredor ferroviario México–Querétaro actualmente es utilizado para carga, es uno de los de mayor tránsito de mercancías en el país, ya que se trata de un eje troncal para los corredores que salen de la Ciudad de México y se dirigen hacia los Estados del norte de la República, tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 11. Mapa del sistema ferroviario mexicano

Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGTFM-SCT).

Dentro de la infraestructura de este corredor ferroviario, se cuenta con las líneas principales denominadas “A”, Juárez, Morelos y “B”, además de las respectivas vías secundarias, auxiliares y particulares.

Actualmente, estas líneas son utilizadas por cuatro empresas concesionarias de transporte de carga [Kansas City Southern de México (KCSM), Ferrocarril Mexicano (Ferromex), Ferrocarril del Sureste (Ferrosur) y Terminal Ferroviaria del Valle de México (TFVM, Ferrovalle)] y una empresa concesionaria de transporte de pasajeros (Ferrocarriles Suburbanos).

Dentro de los límites ferroviarios entre Pantaco (D.F.) y Huehuetoca (Edo. de Méx.), la TFVM (Ferrovalle) se encarga de administrar el ingreso, circulación y salida de los trenes de carga de KCSM, Ferromex y Ferrosur, provenientes de y/o con destino al norte y sureste del país.

En el tramo de Buenavista (D.F.) a Cuautitlán (Edo. de Méx.), Ferrocarriles Suburbanos se encarga de la operación del tren suburbano de pasajeros (Sistema 1, primera etapa), para lo cual utiliza las vías Morelos y “B” en el tramo de Buenavista (D.F.) a Lechería (Edo. de Méx.), y las vías Juárez y Morelos en el tramo

de Lechería a Cuautitlán; para el Sistema 1, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) considera como segunda etapa una ampliación que irá de Cuautitlán a Huehuetoca.

La vía principal A fue inaugurada en 1884 y la línea B en 1888.

2.2.4.1 Características principales de las líneas férreas Juárez y Morelos

A partir del año 1995, el Gobierno Federal Mexicano otorgó la operación de transporte ferroviario de carga, bajo la modalidad de concesión de la infraestructura ferroviaria, a empresas particulares que cumplieran las condiciones de operación estipuladas en los títulos de concesión. En la actualidad la operación de las vías existentes en el tramo de México a Querétaro es llevada a cabo por dos empresas: Ferrocarril Mexicano (Ferromex) en la denominada línea "B", y Kansas City Southern de México (KCSM) en las líneas Juárez y Morelos. La siguiente imagen muestra un plano de situación con las dos líneas ferroviarias.

Figura 12. Líneas férreas Juárez y Morelos

Fuente: Estudio técnico

La denominada línea “B” cuyo recorrido va desde la estación de Huehuetoca, en el estado de México (p.k. 49+000 de la línea B), a la estación de Hércules, al noreste de Querétaro (p.k. 265+015 de la línea B) pasando por las estaciones de Huichapan y Hidalgo (p.k. 160+000 de la línea B). Esta línea corresponde al corredor ferroviario México-Nuevo Laredo. La longitud total de la misma es de 216 km y actualmente la empresa Ferrocarril Mexicano (Ferromex) mantiene la concesión y operación.

Las líneas Juárez y Morelos son dos vías de carga cuyo inicio se sitúa en la terminal intermodal de Pantaco, en México D.F. y su fin en la estación de Maríscala, Guanajuato, pasando por las estaciones de Tula, San Juan del Río y Querétaro (p.k. 245+500). Estas líneas corresponden al corredor ferroviario México-Ciudad Juárez. La longitud total de las líneas es de 261 km y actualmente la empresa Kansas City Southern de México (KCS) posee la concesión y operación de la misma.

Algunas de sus características principales son:

- Vía doble sin electrificar
- Existencia de un número determinado de espuelas que dan cobertura a varias fábricas.
- Existencia de 9 laderos: Huehuetoca, Tula, Daxhi, Aragón, Polotitlán, Palmillas, San Juan del Río, el Ahorcado y Querétaro.
- Entreeje de las vías variables, oscilando entre 4,7 y 5 m.

2.2.4.2 Accesos ferroviarios a la ciudad de México D.F.

El acceso a la ciudad de México D.F es bastante complejo por la incorporación de otras líneas de carga y por la existente del tren suburbano, Sistema 1, desde Cuautitlán hasta la estación de Buenavista. Por tanto, el corredor de acceso a México se puede dividir entre el tramo Buenavista-Cuautitlán, donde coexisten las líneas de carga con el sistema 1, y el tramo Cuautitlán-Huehuetoca, donde existen las vías de carga.

El tramo Cuautitlán-Huehuetoca se sitúa entre los puntos kilométricos 26+100 y 47+000 del corredor ferroviario de las líneas Juárez/Morelos entre México DF-Buenavista y Querétaro. Tiene una longitud de 20,9 km, se inicia poco antes de la estación actual del Sistema 1 de Cuautitlán y termina una vez rebasada la localidad de Huehuetoca. Hacia la mitad del tramo atraviesa también el municipio de Teoloyucan.

Al paso por la estación de Cuautitlán existen 4 vías: dos vías del S1 y dos de carga por el lado derecho (en dirección de avance de p.k.). Una vez rebasados los andenes de la estación, las dos vías del S1 se funden en una sola. Esta vía se mantiene vallada y destinada a maniobras del S1 hasta el p.k. 26+450. A partir de ahí continúa fuera del vallado y queda disponible, junto con las otras dos, para el servicio de circulaciones de mercancías.

En el municipio de Teoloyucan se incorpora al corredor por el lado izquierdo una línea de mercancías (línea A). Esta línea mantiene un trazado paralelo aunque distante unos 30m desde el p.k. 32+700 hasta el 35+000 aproximadamente. En este

p.k. la vía se acerca a la triple vía del corredor principal quedando integrada en la misma plataforma ferroviaria. Esta situación de plataforma de 4 vías troncales en paralelo (esporádicamente existen vías adicionales por espuelas a instalaciones anexas) se mantiene hasta el final del tramo.

Así pues, el número de vías existentes en la plataforma ferroviaria puede resumirse en el siguiente cuadro:

Tabla 5. Vías férreas existentes

P.K. (kilometración actual de la línea Juárez-Morelos)	Nº DE VÍAS	UBICACIÓN DE LAS VÍAS
26+100	4.0	S1-S1-C-C
26+165	3.0	S1-C-C
26+450-32+000	3.0	C-C-C
32+650-47+000	4.0	C-C-C-C

Fuente: Estudio técnico PROINTEC

Como se dijo antes, en este tramo se incorpora a la plataforma una vía de mercancías por el lado izquierdo a la altura del p.k. 35+000. También existen un total de 5 espuelas ferroviarias mediante aparatos de vía, todas ellas por el lado derecho, según avance de kilometración. Los datos característicos se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 6. Espuelas ferroviarias

P.K.	POSICIÓN	DERIVACIÓN/INCORPORACIÓN	SENTIDO	PROCEDENCIA/DESTINO
35+000	MARGEN IZQUIERDO	INCORPORACIÓN	MÉXICO	TALLER FURGONETAS
42+640	MARGEN DERECHO	DERIVACIÓN	QUERÉTARO	TATSA
43+820	MARGEN DERECHO	DERIVACIÓN	QUERÉTARO	LÍNEA B
44+000	MARGEN DERECHO	DERIVACIÓN	QUERÉTARO	NAVE CAF
45+060	MARGEN DERECHO	DERIVACIÓN	QUERÉTARO	CANTERA
47+390	MARGEN DERECHO	DERIVACIÓN	QUERÉTARO	PLÁSTICOS ZAPATA

Fuente: Estudio técnico PROINTEC

El tramo Cuautitlán-Buenavista tiene una longitud de 26, 1 km, en este tramo conviven las vías de carga con las vías de pasajeros del sistema 1.

El Sistema 1 es un ferrocarril suburbano que une el centro de la ciudad de México con la localidad de Huehuetoca. Tiene una longitud aproximada de 26 km y cuenta con 7 estaciones: Buenavista, Fortuna, Tlalnepantla, San Rafael, Lechería, Tultitlán y Cuautitlán. Atiende a los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli en el Estado de México y las delegaciones Cuauhtémoc y Azcapotzalco del Distrito Federal.

La estación de origen del Sistema 1 es Buenavista donde opera con 4 vías paralelas con longitudes similares y se unen en el extremo norte a las vías (1) NORTE y (2) SUR para formar un peine de 4 espuelas con 4 andenes para ascenso y descenso de usuarios.

Los andenes 1 y 2 son los de mayor movimiento para la operación de los trenes. En cuanto a los andenes 3 y 4 la mayor parte del tiempo se ocupa por los equipos que se complementan los servicios de las horas pico y en otros por equipos que ocupan estas vías para estar detenidos provisionalmente en casos de saturación de los servicios.

Como ya se ha comentado anteriormente, el sistema 1 convive con un gran número de vías de carga a lo largo del recorrido, estas líneas son: línea A, línea Juárez, línea Morelos, línea B y línea 601. También existen un elevado número de espuelas que corresponden a las líneas H, S, SH, VS, VK y V con destinos a otras poblaciones, además de otras espuelas particulares que atienden a las empresas situadas en el área del Valle de México.

2.2.4.3 Operación actual de transporte ferroviario de carga en el corredor de entrada y salida a México D.F.

Al existir un gran número de vías que son operadas por concesionarios diferentes, existe una empresa llamada Ferrovalle, cuya terminal es Valle de México, que opera los ferrocarriles y terminales en los alrededores de la Ciudad de México Las vías de carga son operadas por la terminal Ferrovalle. La terminal Ferrovalle extiende sus servicios a las siguientes concesionarias.

- KCSM
- FERROSUR
- FERROMEX
- Más los movimientos en el interior de la terminal

La terminal del Valle de México cuenta con una infraestructura de más de 844 km de vía, un sistema de clasificación automática de carros por gravedad denominado STAR I, patios de: recibo, clasificación, despacho, satelitales e intermodales, señalización para el control y despacho de trenes, talleres para reparación de: unidades de arrastre, ruedas y locomotoras, también estaciones de trasvase y centros de distribución. La infraestructura de Ferrovalle permite contar con la capacidad y recursos necesarios para cubrir cualquier requerimiento en materia de transporte de carga por ferrocarril, tanto en las diferentes industrias existentes en el D.F., Estado de México y su área conurbada.

Proporciona el control y despacho de trenes, así como el derecho de paso en el tramo Huehuetoca - Lechería - Teotihuacan, permitiendo a los ferrocarriles conectantes, mediante el pago de una contraprestación, el uso de la infraestructura férrea para que con sus propios recursos efectúen el intercambio de lotes consolidados y trenes unitarios. Este servicio lo brinda Ferrovalle a FERROMEX, FERROSUR y KCSM, para que sus trenes con sus respectivas tripulaciones transiten por sus vías.

En el siguiente cuadro se muestra la utilización de las vías principales para el tráfico de trenes de mercancías entre Buenavista y Huehuetoca:

Tabla 7. Utilización de vías principales para el tráfico de trenes de mercancías

VÍA	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)
	KM	LUGAR	KM	LUGAR	
A	4+085	Conexión línea "CNA"	A 47+00	Huehuetoca	42,915
B	21+317	Lechería	B 49+000	Huehuetoca	29,683
Juárez	8+000 =	Río de los Remedios	A 21+000	Lechería	11,000
	A 10+000				
601.0	B 21+000	Lechería	B 28+500	Cuautitlán	7,500
Juárez	JUA 35+000	Teoloyucan	JUA 47+000	Huehuetoca	12,000
Morelos	MOR 28+500	Cuautitlán	MOR 47+000	Huehuetoca	18,500

Fuente: Estudio técnico PROINTEC

De los trabajos realizados en campo se puede hacer un primer análisis del tráfico de trenes en el tramo Huehuetoca-Pantaco se tienen algunas observaciones preliminares:

[redacted]

Eliminado: Un párrafo con 38 renglones. Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso de licitación del proyecto ejecutivo y de construcción de las obras civiles, el cual se encuentra reservado por 3 años, en términos del Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental.

Continua…

Eliminado: Un párrafo con 38 renglones. Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso de licitación del proyecto ejecutivo y de la construcción de las obras civiles, el cual se encuentra reservado por 3 años, en términos del Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental.

2.2.4.4 Conclusiones del análisis del acceso desde Huehuetoca a Buenavista

Se concluye que el acceso de Huehuetoca a Buenavista tiene las siguientes características:

Eliminado: Un párrafo con 18 renglones. Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso de licitación del proyecto ejecutivo y de la construcción de las obras civiles, el cual se encuentra reservado por 3 años, en términos del Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental.

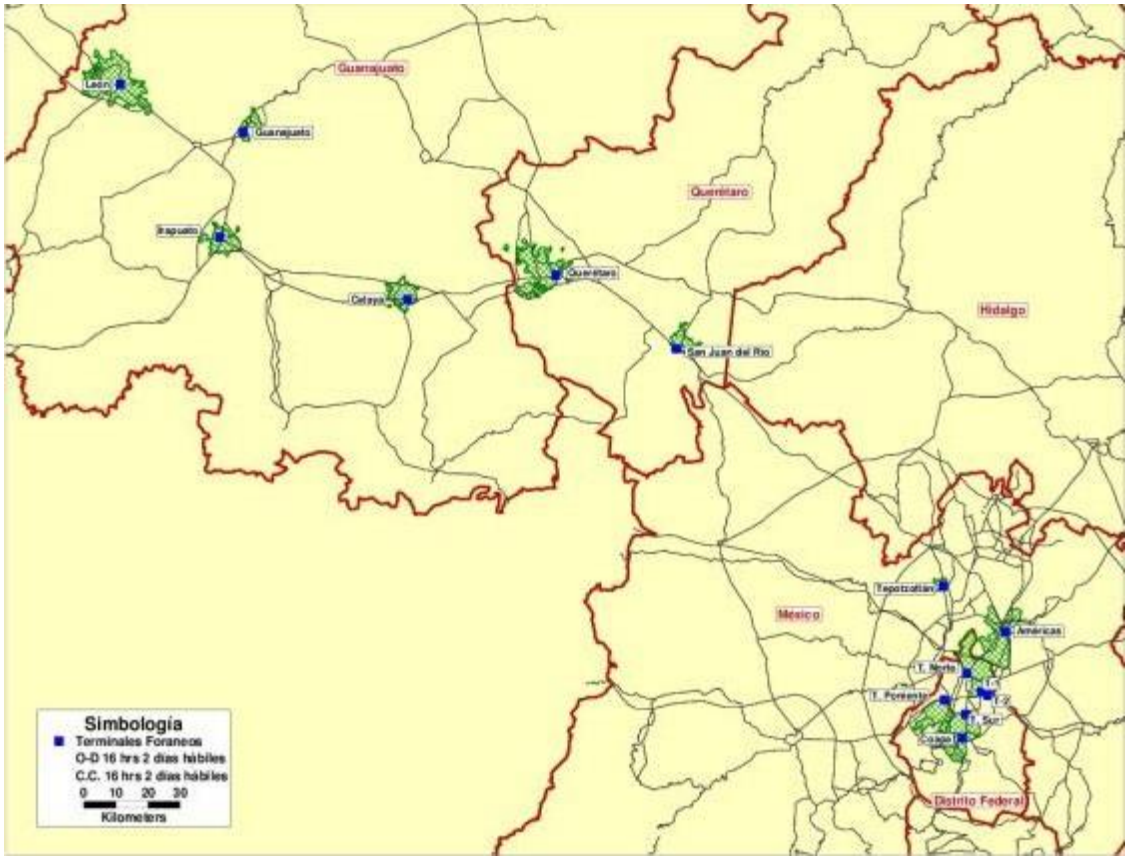
2.3 Análisis de la Demanda Actual

Con el fin de contar con la información para la caracterización de la demanda, fue preciso llevar a cabo la recopilación de información documental, así como trabajos de campo complementarios del 9 al 17 de enero del 2014, mismos que contemplaron:

- Conteos automáticos durante 24 horas los 7 días de la semana, con clasificación vehicular de: motos, autos, pick up, autobús, camión de dos ejes hasta 9 ejes en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Conteos manuales durante 16 horas y 2 días hábiles, con clasificación vehicular de: autos, pick up, combi/van, autobús suburbano, autobús foráneo de 2 ejes, autobús foráneo de 3 ejes, camión de dos ejes hasta 9 ejes y motos, en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Encuesta origen/destino aplicadas a vehículos privados durante 16 horas en dos días hábiles (mismos días que aforos manuales), en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Encuesta de preferencia declarada aplicadas a vehículos privados durante 16 horas en dos días hábiles (mismos días que aforos manuales y encuestas origen/destino), en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Aforo de ocupación vehicular en transporte privado durante 16 horas en dos días hábiles (mismos días que aforos manuales), en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Aforo de frecuencia y carga aplicado al transporte foráneo de pasajeros durante 16 horas en dos días hábiles (mismos días que aforos manuales), en dos estaciones ubicadas en la caseta de Tepotzotlán y Palmillas;
- Encuesta origen destino a usuarios de transporte foráneo durante 16 horas y dos días hábiles, en las terminales de autobuses de: Central Norte, Querétaro, Tepotzotlán, León, Celaya, Irapuato, Terminal 1 y 2 del Aeropuerto Ciudad de México, México Sur, México Poniente, Guanajuato, San Juan del Río, Coapa y Plaza Las Américas;
- Cierre de circuito en rutas de transporte foráneo durante 16 horas y dos días hábiles (mismos días que la encuesta origen/destino), en las terminales de autobús de: Central Norte, Querétaro, Tepotzotlán, León, Celaya, Irapuato, Terminal 1 y 2 del Aeropuerto Ciudad de México, México Sur, México Poniente, Guanajuato, San Juan del Río, Coapa y Plaza Las Américas.

A continuación se presenta la ubicaciones de la estaciones.

Figura 13. Ubicación de los trabajos de campo



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

2.3.1 Información documental

Para analizar en primera instancia la demanda que existe entre México y Querétaro se recabó información de las casetas de cobro existentes sobre la autopista México – Querétaro.

Acorde con información obtenida en la página web de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con información actualizada al 2012, se observa que existe un tránsito diario en ambos sentidos de 50,240 vehículos que circulan por la caseta de Tepotzotlán y 43, 626 vehículos por la caseta de Palmillas, como se presenta en la siguiente tabla.

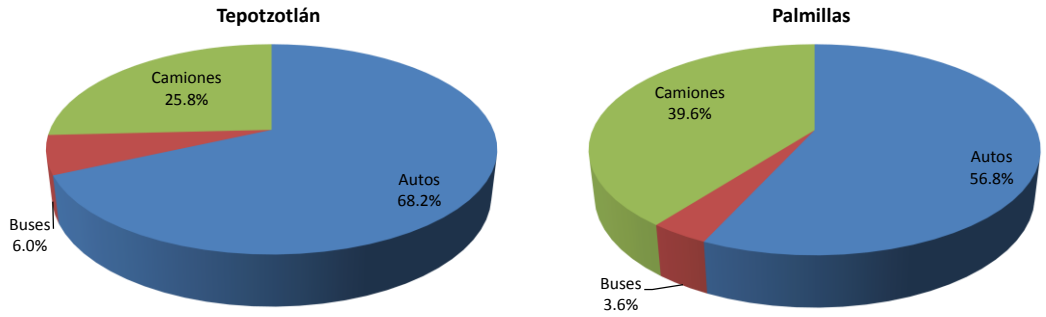
Tabla 8. TPDA 2012 Volúmenes en ambos sentidos

Ubicación	Sentido	Motos	Autos	Buses	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	Otros	Total
Tepotzotlán	1	25	17,107	1,507	1,758	1,105	2,688	226	603	100	25,120
	2	25	17,107	1,507	1,758	1,105	2,688	226	603	100	25,120
	Suma	50	34,214	3,014	3,516	2,210	5,376	452	1,206	200	50,240
Palmillas	1	22	12,368	785	1,571	1,571	3,948	371	1,025	153	21,813
	2	22	12,368	785	1,571	1,571	3,948	371	1,025	153	21,813
	Suma	44	24,736	1,570	3,142	3,142	7,896	742	2,050	306	43,626

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Respecto a la composición vehicular predominan los autos en ambos puntos de análisis, sin embargo destaca que en la caseta de Palmillas el aforo de camiones se incrementa considerablemente.

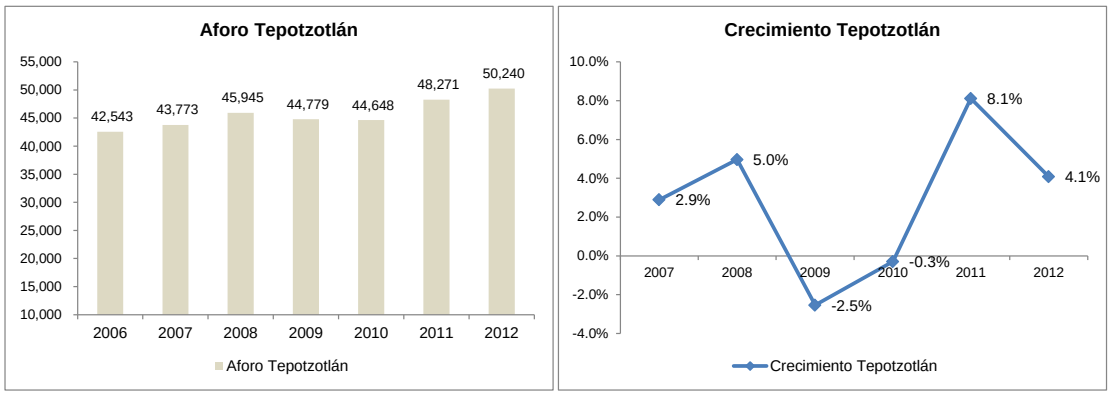
Figura 14. Composición vehicular según datos de SCT



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

El aforo de la autopista en la caseta de Tepotzotlán ha registrado tasas de crecimiento variables en los últimos años, sin embargo, la tasa de crecimiento media anual en este punto es cercano al 3%, aun cuando en 2009 y 2010 se presentó una caída importante en el aforo explicada por la caída en la actividad económica a raíz de la crisis de 2009.

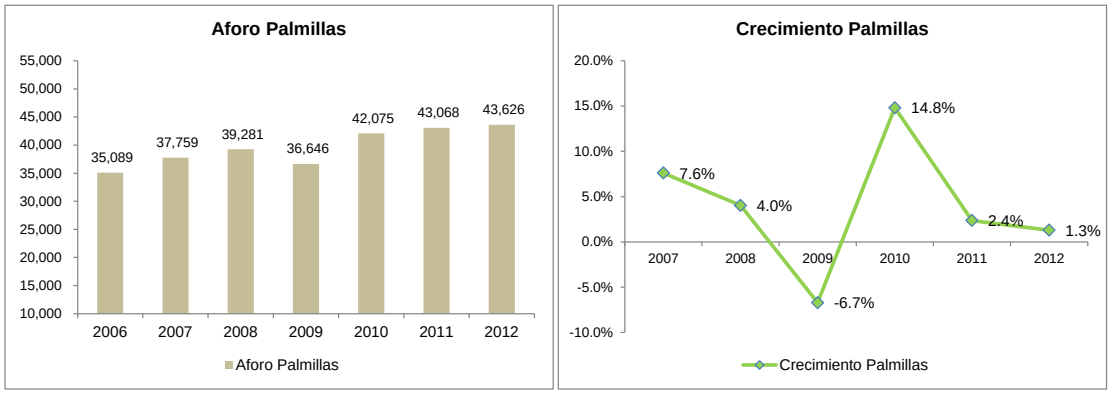
Figura 15. Caseta Tepotzotlán Aforo 2005 – 2012



Fuente: Datos viales SCT

En la caseta Palmillas, se registra un volumen menor de vehículos, sin embargo, la tasa media de crecimiento entre 2006 y 2012 es de 3.7%, superior a la registrada en Tepotzotlán.

Figura 16. Caseta Palmillas Aforo 2005 – 2012



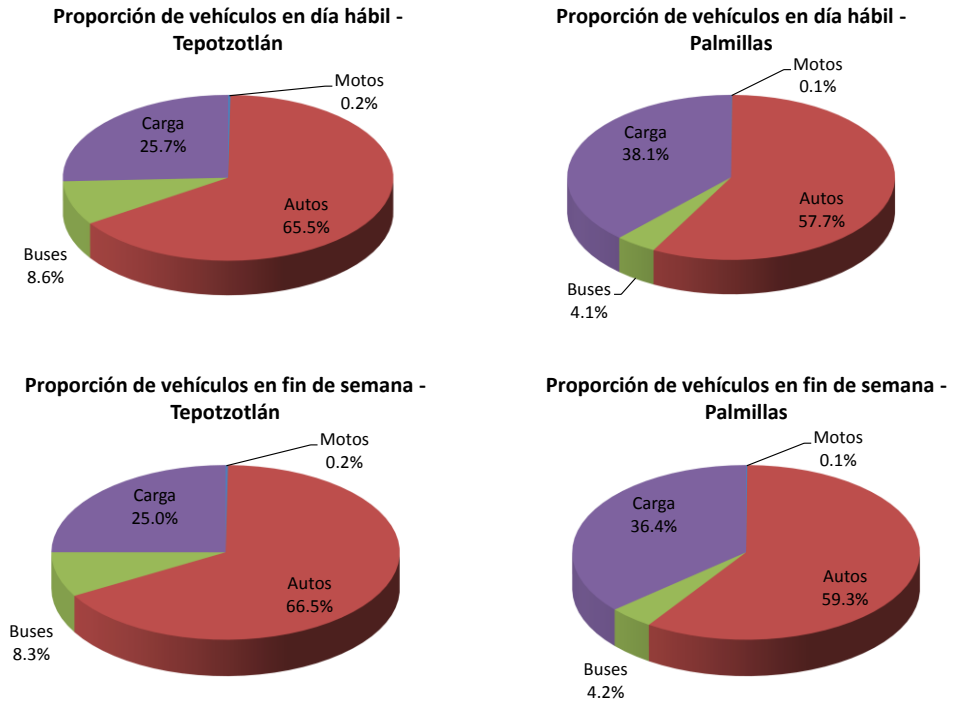
Fuente: Datos viales SCT

2.3.2 Aforos vehiculares electromecánicos

Para obtener mayor información sobre el volumen vehicular que diariamente utiliza la autopista México – Querétaro, se realizaron aforos vehiculares electromecánicos. Los conteos se realizaron durante 24 horas y 7 días de la semana, durante el periodo del 9 al 15 de enero con la siguiente clasificación vehicular: motos, autos, pick up, autobús, camión de dos ejes hasta 9 ejes.

Para lograr una mejor apreciación en la clasificación vehicular, se agruparon autos con pick up, así como todos los camiones de carga; de esta forma la clasificación vehicular se presenta para: moto, auto, autobús y camión de carga. A continuación se presentan la composición vehicular para días hábiles entresemana y en fin de semana.

Figura 17. Composición vehicular entre semana y fin de semana



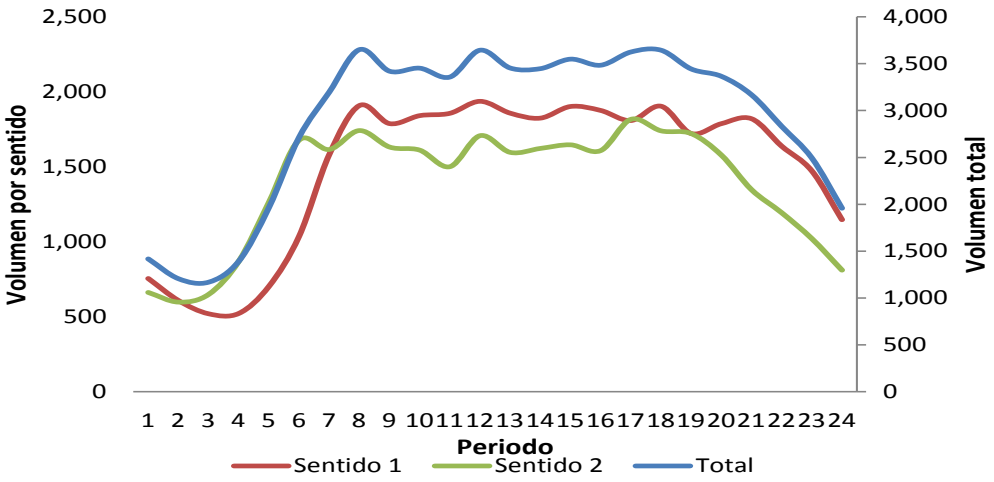
Fuente: Estudio de demanda Modelistica

De este análisis se concluye que en la caseta de Tepotzotlán la proporción de autos es mayor que en Palmillas, tanto en día hábil como en fin de semana; sin embargo, respecto a la proporción de vehículos de carga, ésta es mayor en Palmillas que en Tepotzotlán, sea para un día hábil o en un fin de semana. Asimismo, se puede observar que en cada una de las casetas, la proporción de autos es similar tanto en día hábil como en fin de semana.

2.3.3 Variación horaria de la demanda sobre la autopista

Respecto a la variación horaria de la demanda, al analizar el flujo entre semana en la estación de Tepotzotlán se presentan tres periodos punta de demanda que representan el 5.3% del flujo equivalente en cada uno los siguientes horarios de 06:00 a 07:00, de 10:00 a 11:00 y de 16:00 a 17:00 horas.

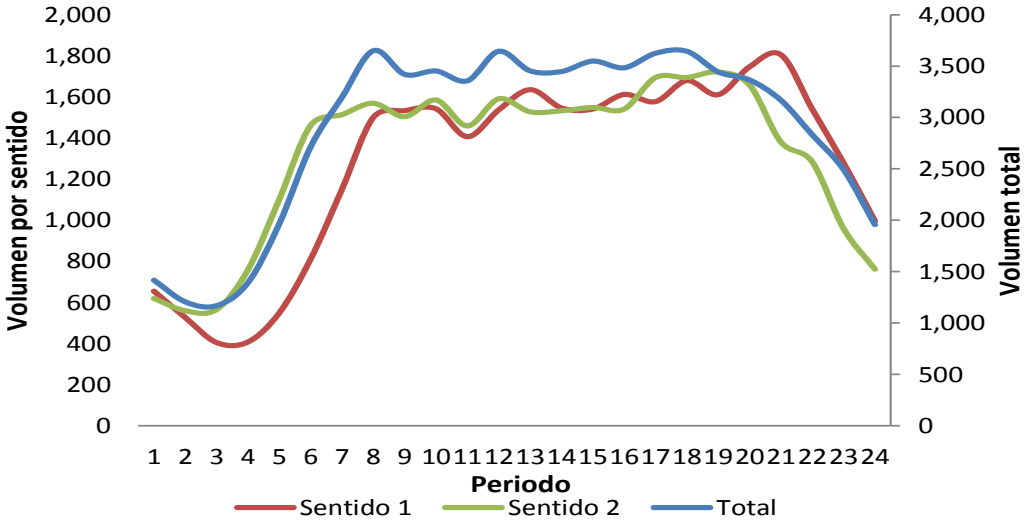
Figura 18. Variación horaria en día hábil Tepotzotlán



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En la estación de Palmillas, el volumen equivalente se reduce el 9.93%; sin embargo, el flujo equivalente es muy similar por sentido, presentándose la hora de máxima demanda de 18:00 a 19:00 horas con el 5.5% del flujo equivalente del día.

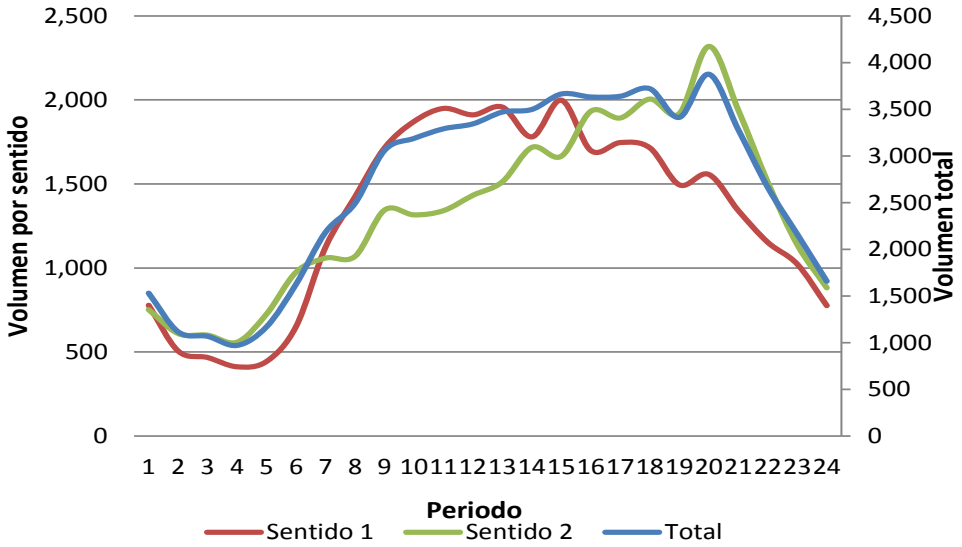
Figura 19. Variación horaria en día hábil Palmillas



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Para el fin de semana, en la estación de Tepotzotlán el volumen equivalente es mayor en el sentido 1 que corresponde de México a Querétaro hasta las 15:00 horas y se revierte, siendo mayor por la tarde en el sentido Querétaro a México; considerando ambos sentidos, el periodo de máxima demanda se presenta de 18:00 a 19:00 horas y representa el 6.1% del flujo equivalente del día.

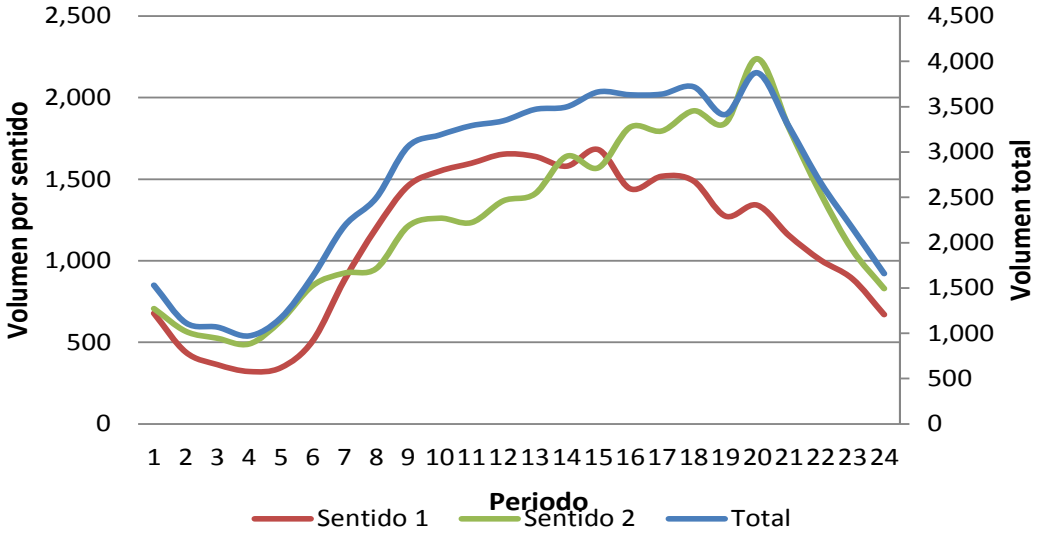
Figura 20. Variación horaria en fin de semana Tepotzotlán



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En la estación de Palmillas, el volumen equivalente se reduce el 10.91%; el flujo equivalente por sentido tiene un comportamiento similar en la estación de Tepotzotlán, por las mañanas es mayor en el sentido México a Querétaro y por las tardes se invierte el comportamiento, presentándose la hora de máxima demanda en el mismo periodo que en Tepotzotlán que corresponde de 18:00 a 19:00 horas con el 6.3% del flujo equivalente del día.

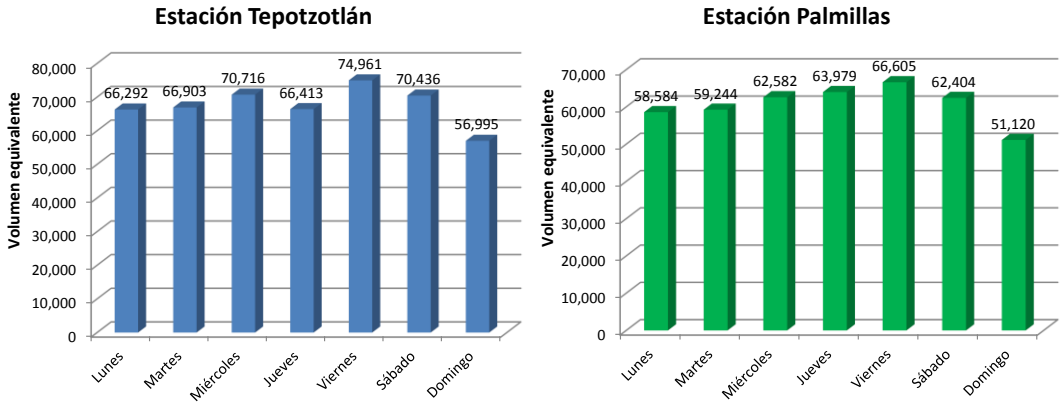
Figura 21. Variación horaria en fin de semana Palmillas



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Al analizar el volumen durante la semana, se observa que el día de mayor aforo en Tepotzotlán es el viernes y sábado, mientras que en Palmillas se registra un comportamiento similar.

Figura 22. Variación del aforo durante una semana



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

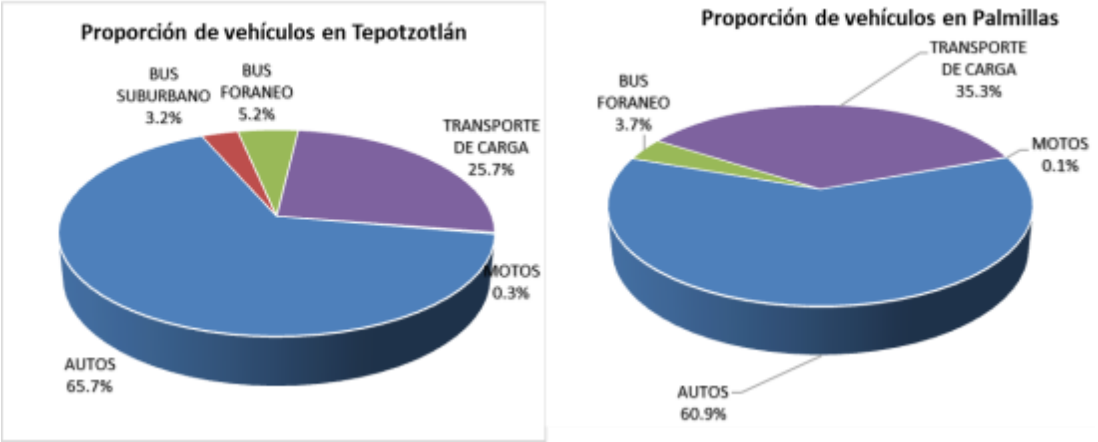
2.3.4 Aforos Clasificados por 16 horas

Para calibrar los aforos automáticos, fue necesario hacer aforos manuales de 16 horas durante el periodo de 06:00 a 22:00, siendo el periodo donde normalmente se puede captar el mayor porcentaje del flujo vehicular. Fue así que la recopilación de información se realizó el jueves 09 y viernes 10 de enero, para registrar el paso de vehículos por sentido en las mismas estaciones ubicadas en las casetas de peaje de Tepotzotlán y Palmillas.

El conteo se realizó registrando datos en periodos de 15 minutos para cada clasificación que se utilizó, siendo la siguiente: autos, pick up, vans, autobús suburbano, autobús foráneo de dos ejes, autobús foráneo de 3 ejes, camión de dos ejes hasta 9 ejes. En cada estación se ubicaron dos Aforadores por sentido, para hacer el conteo de vehículos lo más apegado a la realidad.

De igual manera, para lograr una mejor apreciación en la clasificación vehicular, se agruparon autos, pick up y vans; autobuses foráneos de 2 y 3 ejes; así como todos los camiones de carga; para quedar la clasificación vehicular solo de Moto, Auto, Autobús suburbano, Autobús foráneo y Camión de carga.

Figura 23. Composición vehicular por estación del aforo manual



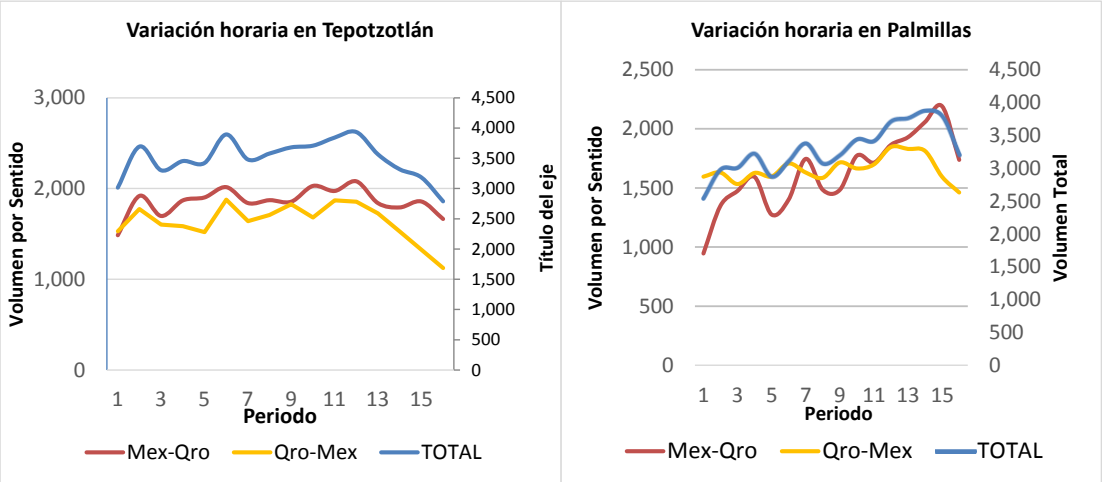
Fuente: Estudio de demanda Modelistica

De la Figura 23, se concluye que en la caseta de Tepotzotlán la proporción de vehículos sigue siendo superior que en Palmillas, comportamiento similar que en los conteos automáticos; lo mismo sucede respecto a la proporción de vehículos de carga, en donde se observa que es mayor en la estación de Palmillas que en Tepotzotlán.

Respecto a la variación horaria, de aplicó una equivalencia por tipo de vehículo para obtener los flujos vehiculares en vehículos equivalentes, aplicando las siguientes ponderaciones: autos= 1.0, pick up= 1.0, vans= 1.0, autobús suburbano= 2.25, autobús foráneo de 2 ejes= 2.25, autobús foráneo de 3 ejes= 2.35, C2= 2.25, C3= 2.35, C4= 2.45, C5= 2.55, C6=2.65, C7= 2.75, C8= 2.85, C9= 2.93 y motos= 0.25.

En la Figura 24 se aprecia la variación horaria por estación, en Tepotzotlán y Palmillas.

Figura 24. Variación horaria por estación en día hábil



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En la estación de Tepotzotlán el volumen equivalente es mayor en el sentido México a Querétaro y ronda entre los 2,700 a 3,800 vehículos equivalentes por hora; presentándose tres periodos de máxima demanda en donde el primero representan el 6.6% y los otros 2 el 7.0% del flujo equivalente en cada uno los siguientes horarios de 07:00 a 08:00, de 10:00 a 11:00 y de 16:00 a 17:00 horas; periodos similares a las estaciones automáticas.

En la estación de Palmillas, el volumen equivalente se reduce el 5.9%; sin embargo, el flujo equivalente es muy similar por sentido, presentándose la hora de máxima demanda de 18:00 a 19:00 horas con el 7.4% del flujo equivalente del periodo de aforo de 16 horas.

2.3.5 Usuarios de transporte foráneo

Para determinar la cantidad de usuarios en transporte foráneo se realizaron estudios de campo, entre los que destaca el estudio de cierres de circuito.

En dicho estudio realizado del jueves 9 al viernes 17 de enero, en un horario de 06:00 a 22:00 horas, se contabilizaron a los usuarios abordaron el autobús foráneo en distintas terminales; siendo mayor la demanda de usuarios en el segundo día de estudio, principalmente en la terminal Central del Norte, tal como se presenta en la Tabla 9. En total, en los días de observación se contabilizaron poco más de 22,500 usuarios.

Tabla 9. Usuarios que abordaron en cada terminal

Terminal	Día 1		Día 2	
	Usuarios	%	Usuarios	%
Central Norte	2,944	31%	6,285	48%
Querétaro	2,616	28%	2,458	19%
Tepotzotlán	642	7%	356	3%
León	554	6%	661	5%
Celaya	288	3%	616	5%
Irapuato	508	5%	579	4%
Terminal 1	196	2%	219	2%
Terminal 2	427	4%	486	4%
Central Sur	384	4%	586	4%
Observatorio	119	1%	195	1%
Guanajuato	105	1%	110	1%
San Juan del Río	563	6%	366	3%
Coapa	86	1%	118	1%
Plaza Las Américas	59	1%	53	0%
Total	**9,491**	**100%**	**13,088**	**100%**

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Otro de los datos obtenidos en el estudio de cierre de circuito, corresponde a los usuarios que continúan su viaje, indicando que a este tipo de usuarios no fue posible realizar la encuesta, ya que no fue permitido según argumentaban por

razones de seguridad. Se detectaron más de 4,500 usuarios con esa característica; asimismo, se puede apreciar en la Tabla 10 que las terminales donde no existen los servicios de paso son: Central del Norte, Terminal 1 de Aeropuerto, Observatorio, Guanajuato y Plaza Las Américas; presentándose una mayor cantidad de usuarios abordo en la Terminal de Tepotzotlán, aclarando que varios de esos usuarios fueron encuestados en otras terminales.

Tabla 10. Usuarios que ya estaban a bordo en cada terminal

Terminal	Día 1		Día 2	
	Usuarios	%	Usuarios	%
Central Norte	0	0%	0	0%
Querétaro	348	17%	242	3%
Tepotzotlán	942	45%	1,365	14%
León	45	2%	15	0%
Celaya	80	4%	96	1%
Irapuato	142	7%	121	1%
Terminal 1	0	0%	0	0%
Terminal 2	143	7%	212	2%
Central Sur	90	4%	90	1%
Observatorio	0	0%	0	0%
Guanajuato	0	0%	0	0%
San Juan del Río	302	14%	343	4%
Coapa	0	0%	0	0%
Plaza Las Américas	0	0%	0	0%
Total	2,092	100%	2,484	**26%**

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

2.3.6 Caracterización de los usuarios de vehículo privado

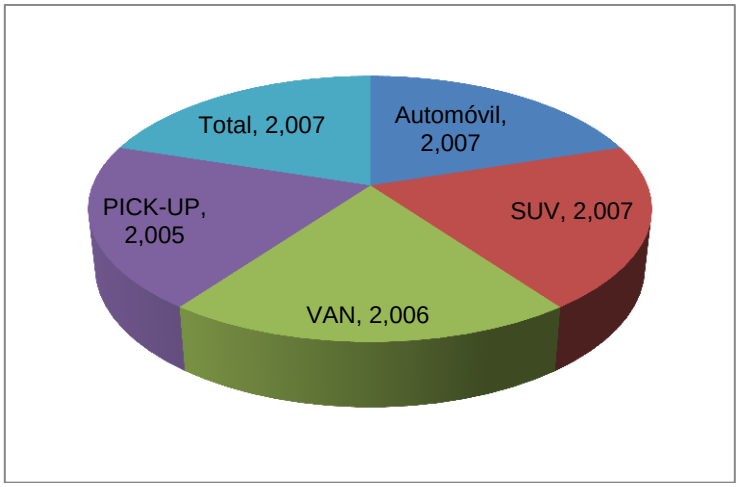
2.3.6.1 Encuesta origen – destino

La encuesta origen/destino a vehículos privados se realizó en casetas de cobro de Tepotzotlán y Palmillas, los días hábiles jueves 9 y viernes 10 de enero durante el periodo de 06:00 a 22:00 horas, con el objetivo de determinar el comportamiento de movilidad de los usuarios, entre ellos: su origen y destino, motivo del viaje, nivel de estrato económico, grado de estudio, entre otros de suma importancia. Una vez levantadas las encuestas en campo, éstas pasan por un proceso de validación y depuración antes de ser capturadas; fue así que se obtuvieron 7,267 encuestas en vehículos privados.

Independientemente de los orígenes y destinos, el modelo promedio para automóvil resultó 2007 al igual que para camionetas deportivas 4X4 (SUV), para vans el modelo promedio fue 2006 y para pick up 2005; en resumen, el modelo promedio para vehículos privados resultó de 2007, por ser los más representativos el

automóvil y camionetas deportivas 4X4, que acumulan más del 82%. En la Figura 25 se aprecia los modelos promedio por tipo de vehículo.

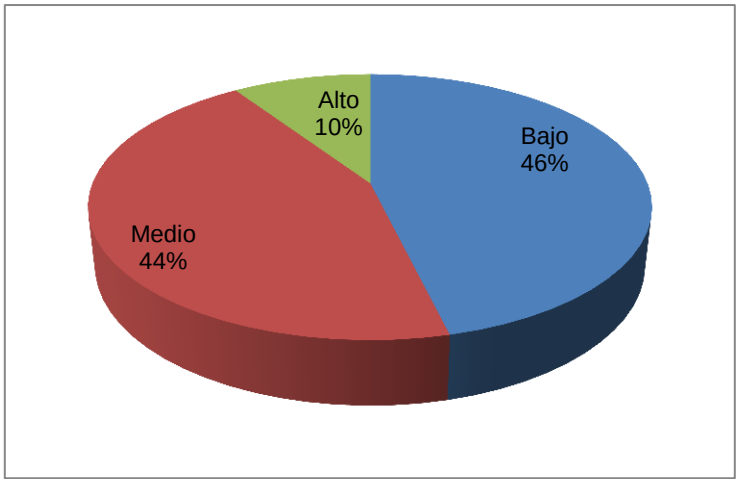
Figura 25. Modelo promedio por tipo de vehículo



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Para determinar la proporción de usuarios por estrato, se consideró usuarios de estrato bajo aquellos que tienen un ingreso mensual inferior a $ 10,000, usuarios de estrato medio aquellos usuarios que tienen un ingreso mensual entre $ 10,000 y $ 20,000, finalmente usuarios de estrato alto aquellos que tienen un ingreso mensual superior a los $ 20,000. De los resultados obtenidos, el 46% de usuarios son de estrato bajo, el 44% de estrato medio y solo el 10% son de estrato alto. En la Figura 26 se presentan gráficamente la información mencionada.

Figura 26. Nivel de estrato de los usuarios

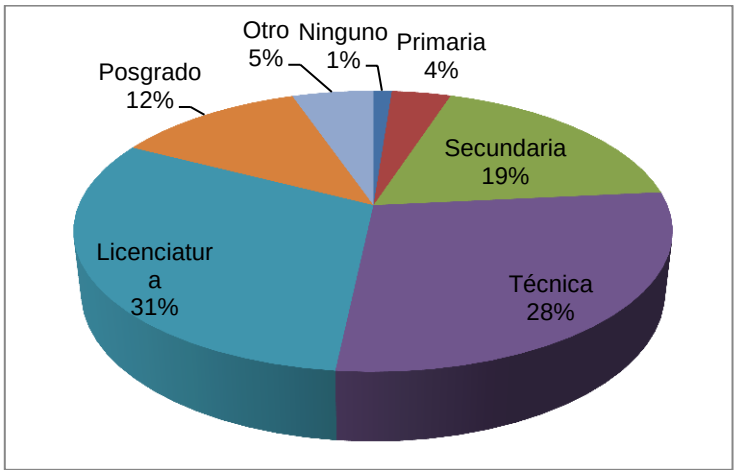


Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La encuesta también considero el grado de estudios de los usuarios encuestados, resultando en el orden de importancia lo siguiente: 31% de los usuarios cuentan con licenciatura, 28% de usuarios tienen alguna carrera técnica, 19% de usuarios

terminaron sólo secundaria, 12% de los usuarios lograron algún tipo de posgrado, 4% de los usuarios solo curso la primaria, el 1% de los usuarios no cuenta con preparación y el 5% de usuarios respondió la opción de otro nivel de preparación. En la Figura 27 se aprecian los porcentajes indicados en cuanto a la preparación académica de los usuarios que circulan por la autopista México-Querétaro. Nótese que el grado de instrucción de los usuarios de la autopista es superior al de la media nacional.

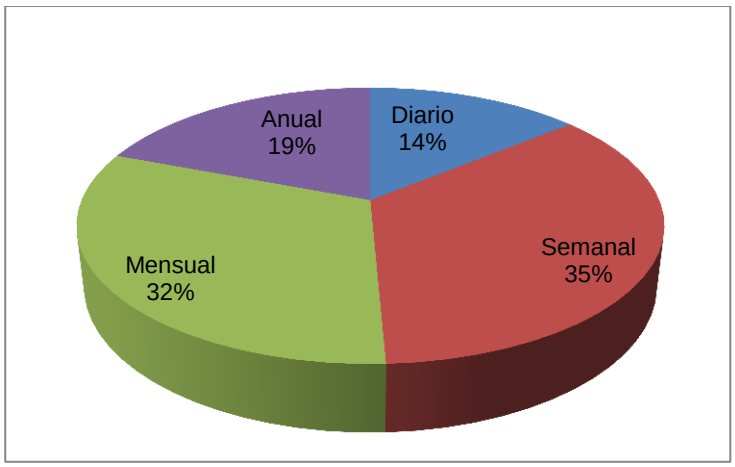
Figura 27. Nivel de estudio o preparación de los usuarios



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En cuanto a la frecuencia en que los usuarios realizan su viaje, el 35% lo hace de manera semanal, el 32% de manera mensual, el 19% lo hace cada año y sólo el 14% realiza su viaje todos los días. En la Figura 28 se muestra los porcentajes de usuarios con la frecuencia en que realizan sus viajes.

Figura 28. Frecuencia en que los usuarios realizan su viaje

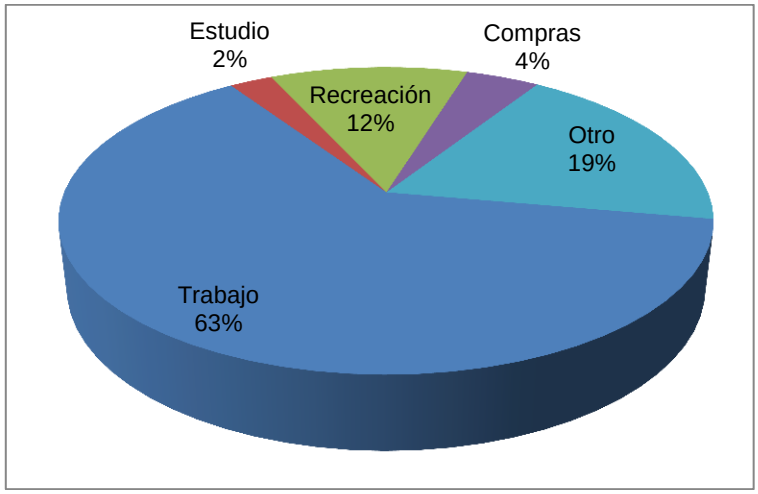


Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En lo que respecta saber si los usuarios que circulan por la autopista México – Querétaro, el 58.7% de usuarios utilizan comúnmente la autopista y el restante 41.3% de usuarios llega a cambiar de ruta.

Finalmente, se obtuvo el motivo de viaje de los usuarios encuestados, resultando lo siguiente: el 63% de los usuarios realiza su viaje por cuestiones de trabajo, el 12% lo hace por cuestiones de recreación, el 4% decide viajar a causa de realizar alguna compra, el 2% lo hace por necesidad de estudio y el 19% de usuarios respondió por otro motivo. En la Figura 29 se presenta gráficamente los porcentajes resultado del motivo de viaje que respondieron los usuarios que hoy en día viajan por la autopista México – Querétaro.

Figura 29. Motivo de viaje de los usuarios



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Las encuestas OD en vehículos privados se expanden en base al TPDA de la SCT. Los resultados de esta expansión se muestran en la sección de diseño del modelo de transporte.

2.3.6.2 Encuesta de preferencia declarada

Una vez levantadas las encuestas en campo, éstas pasan por un proceso de validación y depuración antes de ser capturadas; fue así que se obtuvieron 2008 encuestas que se suman a las 7,267 encuestas OD en vehículos privados validadas.

Los principales resultados que se obtuvieron al procesar la encuesta de preferencia declarada, se tiene lo siguiente:

a. En el sentido México a Querétaro, el 48.1% de los usuarios no aceptarían usar el tren de alta velocidad, por lo que el restante 51.9% de los usuarios estaría dispuesto a cambiar su modo de transporte (usuarios dispuestos a utilizar el tren de alta velocidad)

b. De los usuarios que están dispuestos a usar el tren de alta velocidad en el sentido México a Querétaro, el 44.5% son usuarios de estrato bajo, 43.1% usuarios de estrato medio y el 12.4% usuarios de estrato alto

c. En el sentido de Querétaro a México, el 45.9% de los usuarios no aceptarían utilizar el tren de alta velocidad, lo que indica que el 54.1% de los usuarios estaría dispuesto a cambiar su modo de transporte

d. De los usuarios que están dispuestos a usar el tren de alta velocidad en el sentido Querétaro a México, el 45.9% son usuarios de estrato bajo, 48.9% usuarios de estrato medio y el 5.3% usuarios de estrato alto

e. Considerando ambos sentidos, el 47.1% de los usuarios no aceptaría usar el tren de alta velocidad, por consiguiente el 52.9% de usuarios estaría dispuesto a cambiar su modo de transporte (usar el tren de alta velocidad).

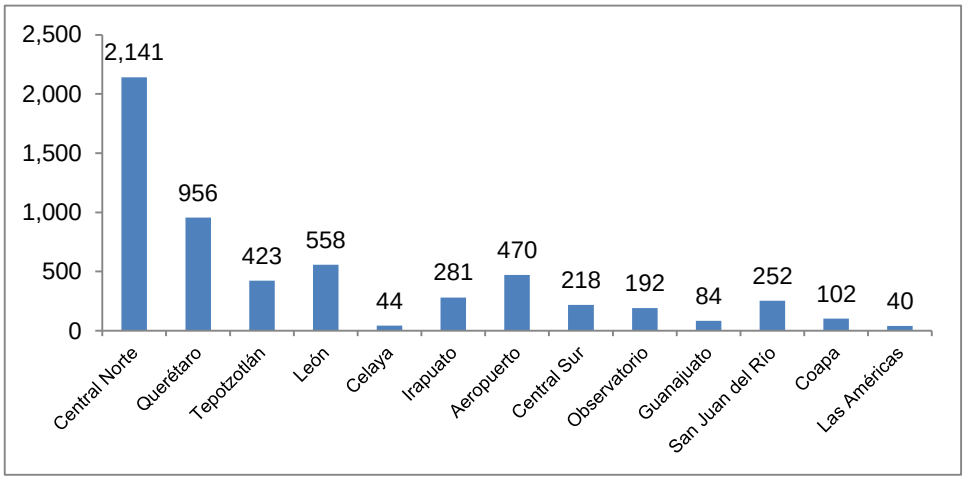
En la sección de diseño del modelo se presenta los estimados de valor del tiempo basados en esta encuesta. Esta información se puede consultar en el Anexo Estudio de demanda.

2.3.7 Caracterización de los usuarios transporte foráneo mediante la encuesta origen – destino

La encuesta origen/destino que se aplicó a usuarios del transporte foráneo en autobús, éstas se aplicaron en distintas terminales de autobuses, que tienen influencia en el corredor México - Querétaro, siendo las siguientes en el orden de importancia de acuerdo a los servicios ofrecidos por cada destino a los usuarios:

Una vez concluidas las encuestas en campo, éstas pasaron por un proceso de validación y depuración antes de ser capturadas; fue así que se obtuvieron 5,761 encuestas validadas y distribuidas por terminal tal y como se muestra a continuación.

Figura 30. Encuestas origen – destino validadas por terminal

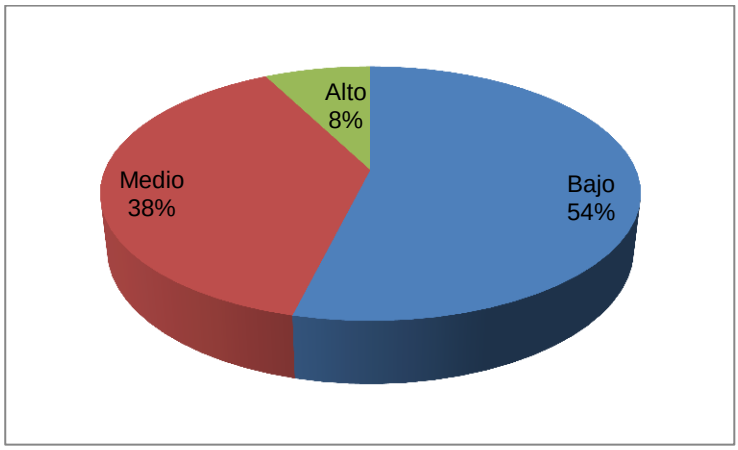


Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Independientemente de los orígenes y destinos que se desarrolla su proceso más adelante, para determinar la proporción de usuarios por estrato, se consideró usuarios de estrato bajo aquellos que tienen un ingreso mensual inferior a $ 10,000, usuarios de estrato medio aquellos usuarios que tienen un ingreso mensual entre $ 10,000 y $ 20,000, finalmente usuarios de estrato alto aquellos que tienen un

ingreso superior a los $ 20,000 (completamente similar al criterio aplicado en la encuesta origen destino para vehículos privados). De los resultados obtenidos, el 54% de usuarios son de estrato bajo, el 38% de estrato medio y solo el 8% de usuarios son de estrato alto. Estas proporciones difieren de la estratificación de los usuarios de transporte privado, que presentan proporciones mayores en los estratos altos y medios. En la Figura 31 se presentan gráficamente la información mencionada.

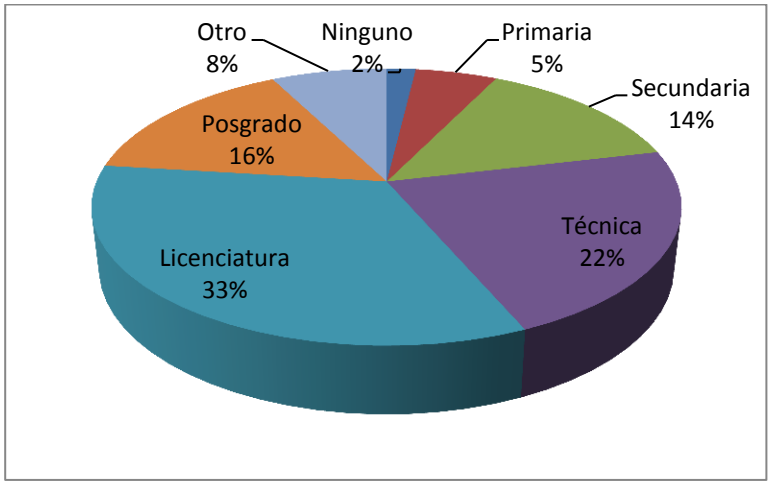
Figura 31. Nivel de estrato de los usuarios



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La encuesta considero el grado de estudios de los usuarios de transporte foráneo de pasajeros encuestados, resultando en el orden de importancia lo siguiente: 31% de los usuarios tienen preparación de licenciatura, 28% de usuarios tienen alguna carrera técnica, 19% de usuarios terminaron solo secundaria, 12% de los usuarios lograron algún tipo de posgrado, 4% de los usuarios solo curso la primaria, el 1% de los usuarios no cuenta con preparación y el 5% de usuarios respondió la opción de otro nivel de preparación; la proporción de usuarios de transporte público respecto al grado de preparación, es similar a la proporción de usuarios en vehículo privado. En la Figura 27 se aprecian los porcentajes indicados en cuanto a la preparación académica de los usuarios de transporte foráneo que circulan por la autopista México-Querétaro. Al igual que en las encuestas en vehículos privados, el grado de instrucción de los usuarios de estas rutas es superior a la media nacional.

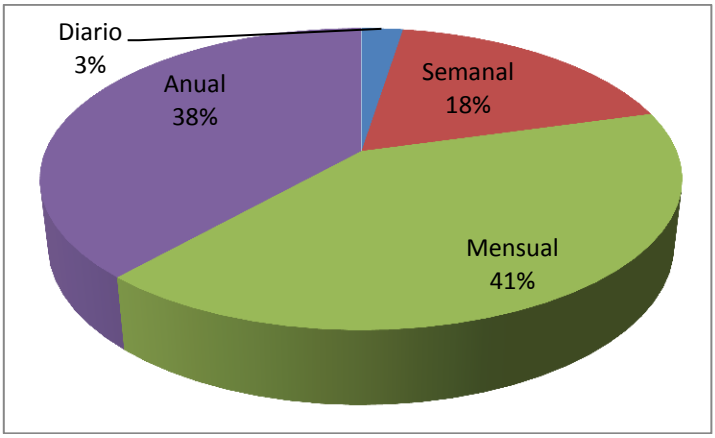
Figura 32. Nivel de estudio o preparación de los usuarios



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En cuanto a la frecuencia en que los usuarios de transporte foráneo realizan su viaje, el 41% lo realiza de manera mensual, el 38% lo hace cada año, el 18% lo hace de manera semanal y solo el 3% realiza su viaje todos los días; los porcentaje de la frecuencia de viaje para los usuarios de transporte foráneo, su comportamiento es completamente distinto a los usuarios que realizan el viaje en transporte privado. En la Figura 33 se muestra los porcentajes de usuarios con la frecuencia en que realizan sus viajes.

Figura 33. Frecuencia en que los usuarios realizan su viaje



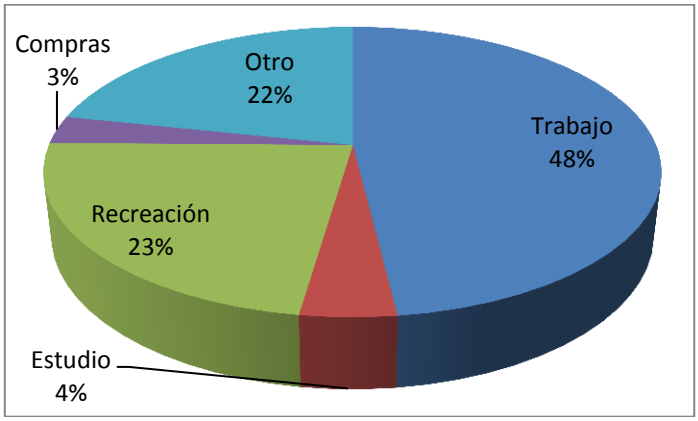
Fuente: Estudio de demanda Modelistica

En lo que respecta saber si los usuarios que su forma de realizar el viaje es mediante autobús foráneo, el 79.6% de usuarios utilizan comúnmente el servicio de autobús foráneo y el restante 20.4% de usuarios llega a cambiar su modo de viajar.

Finamente, se obtuvo el motivo de viaje de los usuarios encuestados, dando lo resultandos siguientes: el 48% de los usuarios realiza su viaje por cuestiones de trabajo, el 23% lo hace por cuestiones de recreación, el 4% lo hace por necesidad de estudio el 3% decide viajar a causa de realizar alguna compra y el 22% de

usuarios respondió por otro motivo. En la Figura 34 se presenta gráficamente los porcentajes resultado del motivo de viaje que respondieron los usuarios que hoy en día usan el servicio de autobús foráneo.

Figura 34. Motivo de viaje de los usuarios



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Las encuestas OD en vehículos de transporte público se expanden en base a las frecuencias determinadas en los cierres de circuito en terminales y corregidas de acuerdo al TPDA de la SCT.

2.3.8 Supuestos para la estimación de la demanda

2.3.8.1 Modelo de transporte[8]

Para estimar la demanda actual se desarrolló un modelo de transporte en el software *Tranus*, el cual se caracteriza por utilizar un modelo probabilístico basado en modelos de decisión discretos tipo logit.

En *Tranus*, se puede asignar con múltiples categorías de usuarios, cada uno con diferentes valoraciones del tiempo y sensibilidad. El modelo también lleva cuenta detallada de los pagos por concepto de peaje, lo cual será de gran utilidad para analizar escenarios con esta opción.

El modelo se diseñó con base en la información recabada sobre las características de la red vial actual y del ámbito socioeconómico, las encuestas de preferencias declaradas y una buena estimación de la demanda actual basada en las encuestas origen-destino que se realizaron, además de los aforos mecánicos y clasificados. También existe información para proyectar esta demanda a futuro, tal como estimaciones de crecimiento del PIB y de la población.

Este modelo se desarrolló a partir de la información recopilada en campo. Cabe mencionar que en total se realizaron más de 14 mil encuestas OD para el presente estudio: 7,267 encuestas de origen y destino de vehículos privados en las estaciones de Tepotzotlán y Palmillas (44% de las encuestas en Tepotzotlán y 56%

[8] Para mayor detalle consultar el Anexo Estudio de demanda.

de las encuestas en Palmillas), 5,761 encuestas de origen y destino en 13 terminales camioneras y 2,008 encuestas de preferencias declaradas que contenían las mismas preguntas de las encuestas OD de vehículos privados.

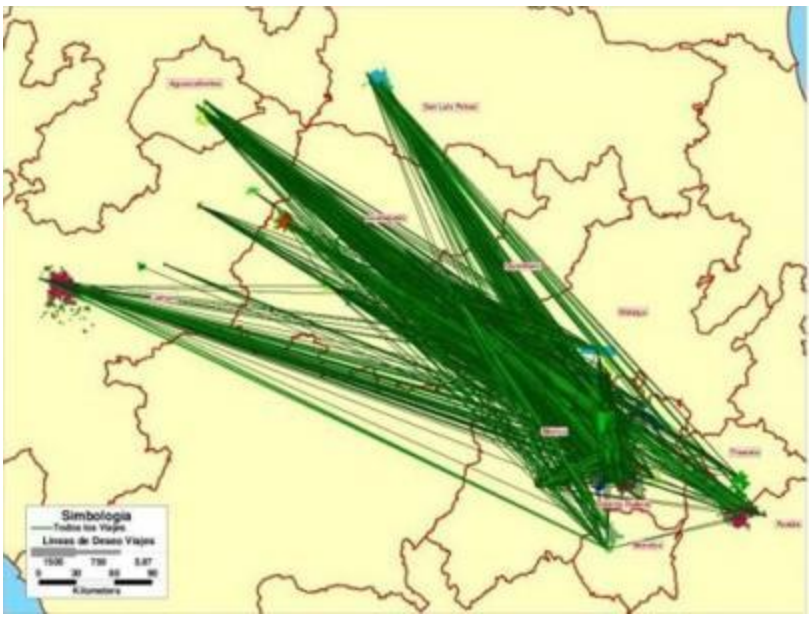
Las encuestas de vehículos privados se expanden con los valores de vehículos privados del TPDA de la SCT, 34,264 vehículos por día y por sentido en Tepotzotlán y 24,780 vehículos por día y por sentido en Palmillas. La matriz total se divide entonces en tres submatrices: matriz de privados para estratos bajos, medios y altos. Estas tres matrices son las codificadas en el modelo para las categorías respectivas.

Las encuestas de vehículos de transporte público se expanden con los resultados de los cierres de circuito en terminales, que se realizaron en paralelo a las encuestas.

De las matrices expandidas, resultó que entre la Zona Metropolitana del Valle de México y la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río, se movilizan aproximadamente 40 mil pasajeros en transporte privado y 10 mil pasajeros en transporte público.

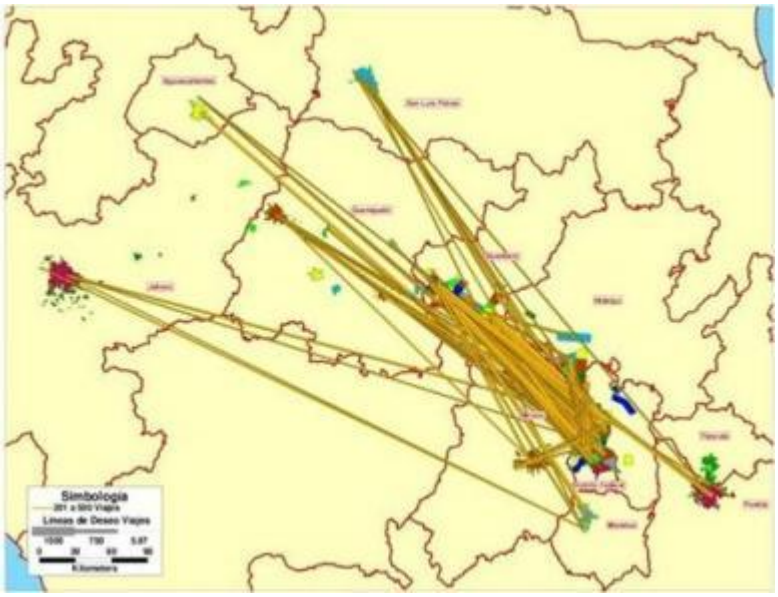
En la Figura 35, Figura 36 y Figura 37 que siguen se muestran las líneas de deseos de viajes de vehículos privados en la zona de estudio para viajes totales, entre 200 y 500 viajes y entre 500 y mil viajes.

Figura 35. Líneas de deseo, viajes totales



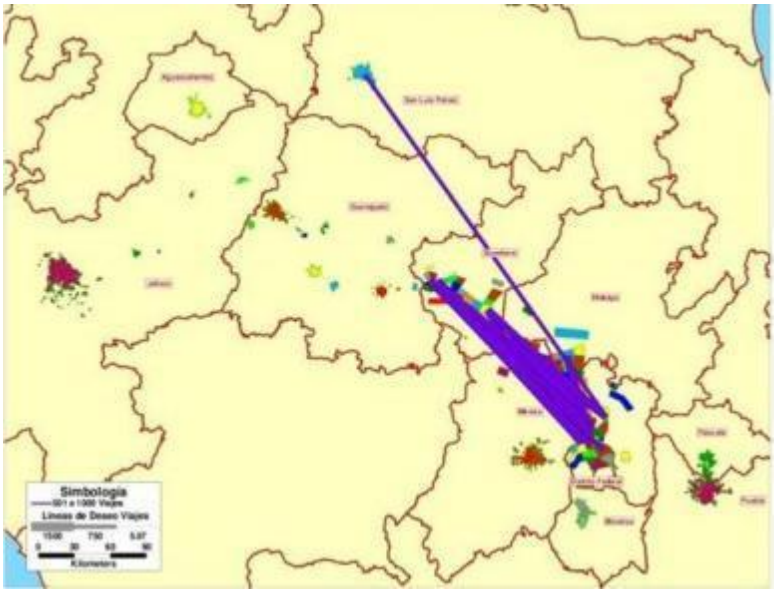
Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Figura 36. Líneas de deseo, 200 a 500 viajes



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Figura 37. Líneas de deseo, 500 a mil viajes



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Es importante destacar la cantidad de viajes que se producen entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMVM), Querétaro y las ciudades de Guanajuato. De hecho, se movilizan más de 25 mil viajes diarios entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y las ciudades del Bajío y estado de Guanajuato.

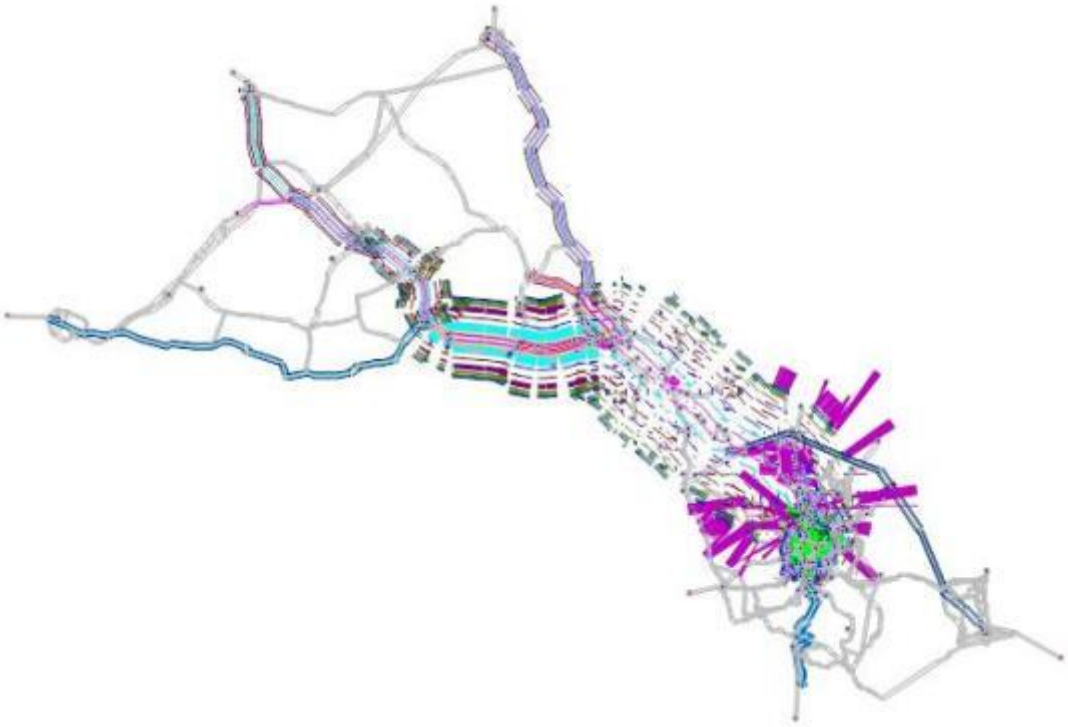
Los viajes de las matrices expandidas se mueven fundamentalmente por cinco rutas:

- Autopista Querétaro México
- Autopista Querétaro – Bajío
- Arco Norte Mex 57D
- Carreteras Federales MEX 55 y 57 (San Juan del Río – Atlacomulco – Toluca)
- Circuito Mexiquense 57D

Siendo la Autopista México Querétaro la que lleva los mayores volúmenes relacionados con este proyecto.

Con respecto a las rutas de Transporte Público, se codificaron rutas foráneas, suburbanas y urbanas que se consideraron relevantes para el proyecto por su impacto en la movilidad del área de estudio. En la Figura 38 que se muestra a continuación se puede apreciar, gráficamente, los itinerarios de las mencionadas rutas de manera esquemática.

Figura 38. Codificación de rutas de transporte público en el modelo Tranus



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

2.3.8.2 Pronósticos

Para estimar la demanda futura se analizaron las proyecciones CONAPO de población para el año 2014 y la evolución histórica del PIB entre 2003 y 2012. Con base en estas dos variables se generaron 2 escenarios de crecimiento, uno

conservador en base a crecimiento de la población, y uno optimista, en base al crecimiento promedio del PIB.

Es importante aclarar que la demanda presentada a lo largo del presente documento corresponde al escenario conservador del crecimiento de la población.

La Comisión Nacional de Población (CONAPO) tiene proyecciones de población por Municipio y Delegación hasta el año 2030. En vista que el horizonte de proyecto es el 2048, las proyecciones de la CONAPO se extendieron hasta el 2054 usando ecuaciones lineales de las proyecciones 2010 – 2030. La Tabla 11 muestra las ecuaciones utilizadas para las proyecciones lineales de población entre el 2030 y 2048.

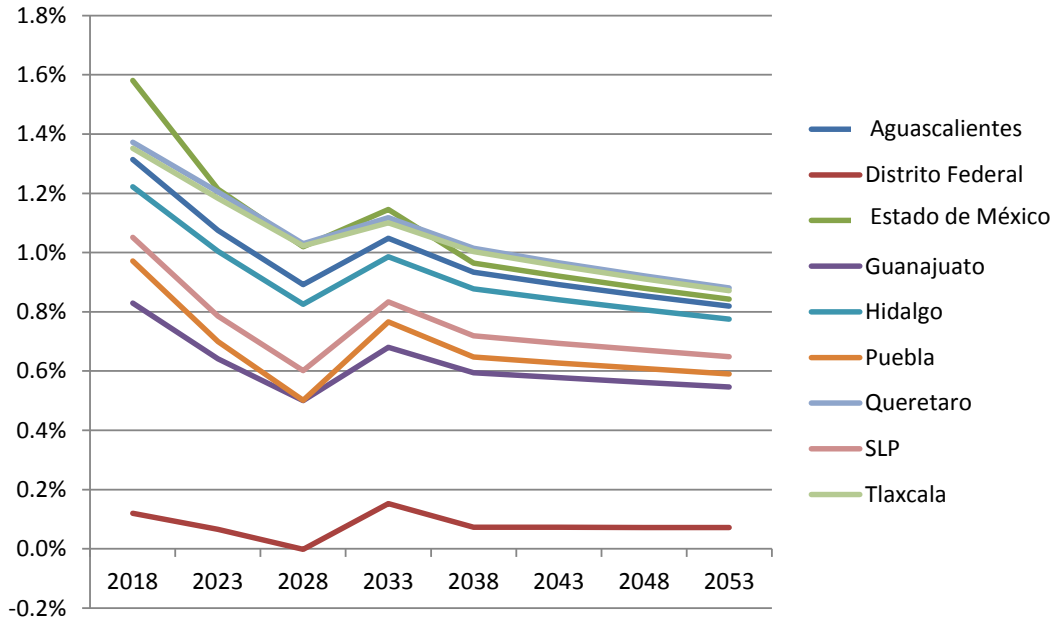
Tabla 11. Ecuaciones para la proyección hasta el 2048 de las proyecciones CONAPO

Estado	Nombre de Zona	Ecuación de Proyección
Aguascalientes	Aguascalientes	y = -11616x + 548031
Distrito Federal	Cuauhtémoc	y = -9621.7x + 431730
Distrito Federal	Venustiano Carranza (Urbano) - 82.7	y = -8297.6x + 386395
Distrito Federal	Iztacalco	y = -12480x + 412861
Distrito Federal	Benito Juárez	y = -8059.4x + 390264
Distrito Federal	Miguel Hidalgo-Polanco - 85.8	y = -10018x + 418661
Distrito Federal	Azcapotzalco	y = -22,294.61x + 1,198,097.31
Distrito Federal	Venustiano Carranza-Aeropuerto - 17.3	y = 129,000.39x + 4,001,679.54
Distrito Federal	Iztapalapa	y = -16012x + 632492
Distrito Federal	Cayoacán	y = -8835.4x + 743782
Distrito Federal	Álvaro Obregón	y = 24878x + 368094
Distrito Federal	Miguel Hidalgo - Chapultepec - 14.2	y = 46513x + 842520
Distrito Federal	Tlahuac	y = -347.22x + 366312
Distrito Federal	Xochimilco	y = -3419x + 421442
Distrito Federal	Tlalpan	y = -5788x + 675515
Distrito Federal	La Magdalena Contreras	y = -2167.3x + 244813
Estado de México	Naucalpan	y = 97,714.21x + 1,716,966.46
Estado de México	Valle de Aragón	y = 97,714.21x + 1,716,966.46
Estado de México	Ecatepec	y = 38800x + 410737
Estado de México	Tecamac	y = 13876x + 327421
Estado de México	Tlanepantla	y = 19316x + 297844
Estado de México	Buenavista	y = 32425x + 580703
Estado de México	Punta Norte	y = 22814x + 392557
Estado de México	Tultitlan	y = 45478x + 655113
Estado de México	Cuautitlan Izcali	y = 18169x + 250792
Estado de México	Tultepec - Melchor Ocampo	y = 9200.4x + 118225
Estado de México	Cuautitlan	y = 14785x + 177000
Estado de México	San Mateo Ixtacalco	y = 13906x + 216902
Estado de México	Tepotzotlan-San Mateo Xoloc-Huilango	y = 5013.7x + 80934
Estado de México	Teoloyucan	y = 1946.6x + 26633
Estado de México	Coyotepec	y = 426.27x + 4834.9
Estado de México	Huehuetoca	y = 13914x + 114691
Estado de México	Huehuetoca	y = 13914x + 114691
Estado de México	San Juan del Cuervo	y = 49.652x + 817.42
Estado de México	Jilotepec	y = 794.43x + 13079
Estado de México	Sabino	y = 3326.7x + 54767
Estado de México	Acaxuchitlan	y = 2912.5x + 50283
Estado de México	Calpulapan	y = 1142.1x + 21475
Estado de México	Canalejas	y = 3802.1x + 70523
Estado de México	Arroyo Zarco	y = 4025.5x + 79813
Estado de México	San Jeronimo	y = 695.12x + 11444
Estado de México	Polotitlan	y = 2.2343x + 36.784
Estado de México	Aculco	y = 105.94x + 2100.4
Estado de México	Juan Antonio Escabedo	y = 281.59x + 4074.2
Estado de México	Zona Metropolitana de Toluca	y = 1017.8x + 12091
Estado de México	Atlacomulco de Fabela	y = 859.05x + 12062
Estado de México - Hidalgo	San Buenaventura	y = 749.25x + 8993
Guanajuato	Guanajuato	y = 843.92x + 13158
Guanajuato	Silao	y = 302.7x + 3642.3
Guanajuato	León de los Aldama	y = 64.485x + 881.76
Guanajuato	San Franciso del Rincón	y = 415.42x + 6133.5
Guanajuato	Irapuato	y = 46.573x + 636.82
Guanajuato	Salamanca	y = 3564.6x + 50656
Guanajuato	Celaya	y = 1200.1x + 16410
Guanajuato	Apaseo el Grande	y = 35.395x + 483.99
Guanajuato	San Miguel de Allende	y = 1.5369x + 21.015
Hidalgo	Parque Industrial Tepeji	y = 1638.6x + 20978
Hidalgo	Melchor Campo	y = 465.51x + 5077.9
Hidalgo	Tepejil	y = 1191.7x + 15256
Hidalgo	Atotonilco de Tula - Bomintzha	y = 347.57x + 4449.8
Hidalgo	San Ildefonso - San Miguel Vindho	y = 690.18x + 8836
Hidalgo	Tlaxcoapan	y = 679.37x + 8593.5
Hidalgo	Tula de Allende	y = 680.25x + 8708.9
Hidalgo	La Cañada	y = 297.92x + 3814.1
Hidalgo	La Tortuga	y = 3222.6x + 37136
Hidalgo	San Antonio	y = 880.29x + 13644
Hidalgo	Tizayuca	y = 932.07x + 14447
Jalisco	Área Metropolitana de Guadalajara	y = 4594.6x + 67356
Jalisco	Tepatitlán de Morelos	y = 2433.7x + 37723
Jalisco	Capilla de Guadalupe	y = 1242.8x + 19263
Jalisco	San Juan de los Lagos	y = 1139.2x + 17657
Jalisco	Lagos de Moreno	y = 1605.2x + 24881
Morelos	Zona Metropolitana de Cuernavaca	y = 1139.2x + 17657
Puebla	Zona Metropolitana de Puebla	y = 3003.4x + 46551
Querétaro	El Cazadero	y = 11910x + 184601
Querétaro	Paso de la Mata	y = 10356x + 160522
Querétaro	Tequisquiapan	y = 3737.1x + 111369
Querétaro	La Llave	y = 3771.1x + 87472
Querétaro	San Juan del Rio	y = 52,471.29x + 1,466,953.72
Querétaro	La Estancia	y = 7446.9x + 186407
Querétaro	Arcila	y = 13757x + 403566
Querétaro	Pedro Escobedo - El Sauz	y = 4036.1x + 162787
Querétaro	La Palma	y = 11980x + 380039
Querétaro	Ajuchitancito	y = 1127x + 29259
Querétaro	San Fandalia	y = 2994.5x + 73184
Querétaro	Lázaro Cardenas - La Piedad	y = 248,930.86x + 4,559,296.74
Querétaro	Aeropuerto QRO	y = 7753.6x + 136429
Querétaro	Colorado	y = 7753.6x + 136429
Querétaro	Acceso Querétaro	y = 4099.7x + 66639
Querétaro	La Canadá	y = 6230.4x + 101324
Querétaro	Acceso Querétaro	y = 55484x + 911061
Querétaro	Casa Blanca	y = 49,369.89x + 1,126,783.32
Querétaro	Presidentes	y = 102,840.57x + 1,330,094.63
Querétaro	Club Campestre	y = 2458.9x + 25921
Querétaro	Santuarios	y = 55229x + 988241
Querétaro	La Capilla	y = 77,652.82x + 2,009,576.42
Querétaro	Centro Universitario	y = 32608x + 487194
Querétaro	Querétaro Centro	y = 11165x + 113670
Querétaro	Plaza de las Américas	y = 596.26x + 7348.5
Querétaro	Estadio la Corregidora	y = 327.71x + 4195.5
Querétaro	Santa María	y = 2226.6x + 34512
Querétaro	Santa Catarina	y = 422.21x + 10961
Querétaro	Satélite	y = 2259.6x + 26107
Querétaro	San Pedrito	y = 213.42x + 4104
Querétaro	Amealco de Bonfil	y = 2720.8x + 37505
Querétaro	La Griega	y = 4932.2x + 60666
San Luis Potosí	San Luis Potosí	y = 93,255.46x + 1,131,919.60
Tlaxcala	Zona Metropolitana de Tlaxcala	y = 16205x + 363839

Fuente: Elaboración Modelistica en base a estadísticas del CONAPO

La Figura 39 se muestra gráficamente las tasas anuales de crecimiento de población agregadas por estado, de los municipios en el área de estudio.

Figura 39. Tasas anuales de crecimiento de la población por estado



Fuente: Elaboración Modelistica en base a estadísticas del CONAPO

Las tasas de crecimiento anual de la población para las principales demarcaciones de interés, varían de valores muy bajos (negativos en ciertos años y para algunas delegaciones del Distrito Federal), a un máximo de 1.6% y 1.4% para el Estado de México y Querétaro, respectivamente. Nótese que las tasas de crecimiento tienen tendencia a la baja. Estas tasas de crecimiento son usadas en un escenario conservador de crecimiento de la demanda.

Considerando los pronóstico de CONAPO, se tiene que la tasa de crecimiento media anual empleada para el horizonte de evaluación del presente Análisis Costo – Beneficio es del 1.23%.

2.3.8.3 Adaptación de las salidas del modelo al ACB

Para introducir los datos generados por el modelo en el escenario C, conservador, al ACB, se realizó una simplificación del área de estudio, particularmente de la Zona Metropolitana del Valle de México y de las zonas al sur de la metrópoli.

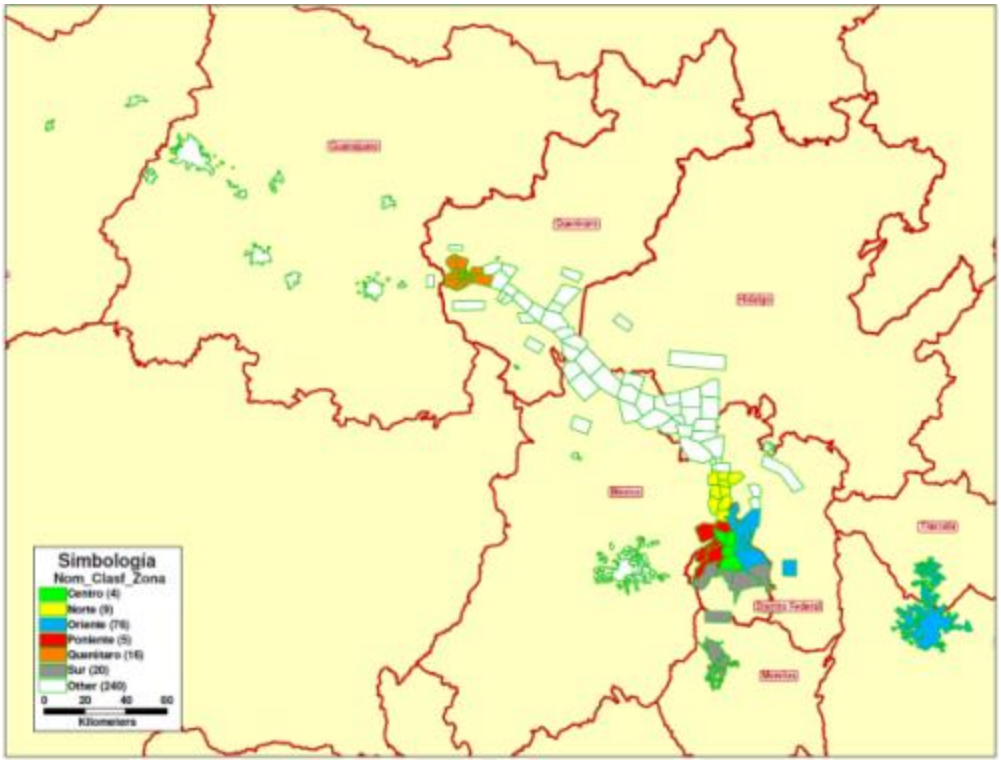
Tabla 12. Macrozonas establecidas para análisis

Zona Sur	Zona Centro	Zona Poniente	Zona Oriente	Zona Norte
Xochimilco	Coyoacán	M. Hidalgo	Gustavo A. Madero	Ecatepec
Tláhuac	Benito Juárez	Azcapotzalco	Gustavo A. Madero	Tecamac
Tlalpan	Cuauhtémoc	Álvaro Obregón	Iztacalco	Tlanepantla
Magdalena Contreras	M. Hidalgo Polanco	Santa Fe	Iztapalapa	Buenavista
Puerta 10		Naucalpan	Venustiano Carranza	Punta Norte
Puerta 11			Venustiano Carranza Aeropuerto	Tultitlan
Cuernavaca			Valles de Aragón	Cuautitlan Izcali
			Puerta 12 - Ixtapaluca	Tultepec
			Puebla	Cuautitlan
			Tlaxcala	San Mateo Xoloc
				Puerta 8 (Huichapan)

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La figura que sigue muestra la agregación de zonas anterior.

Figura 40. Agregación de zonas del modelo en macrozonas para ACB



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

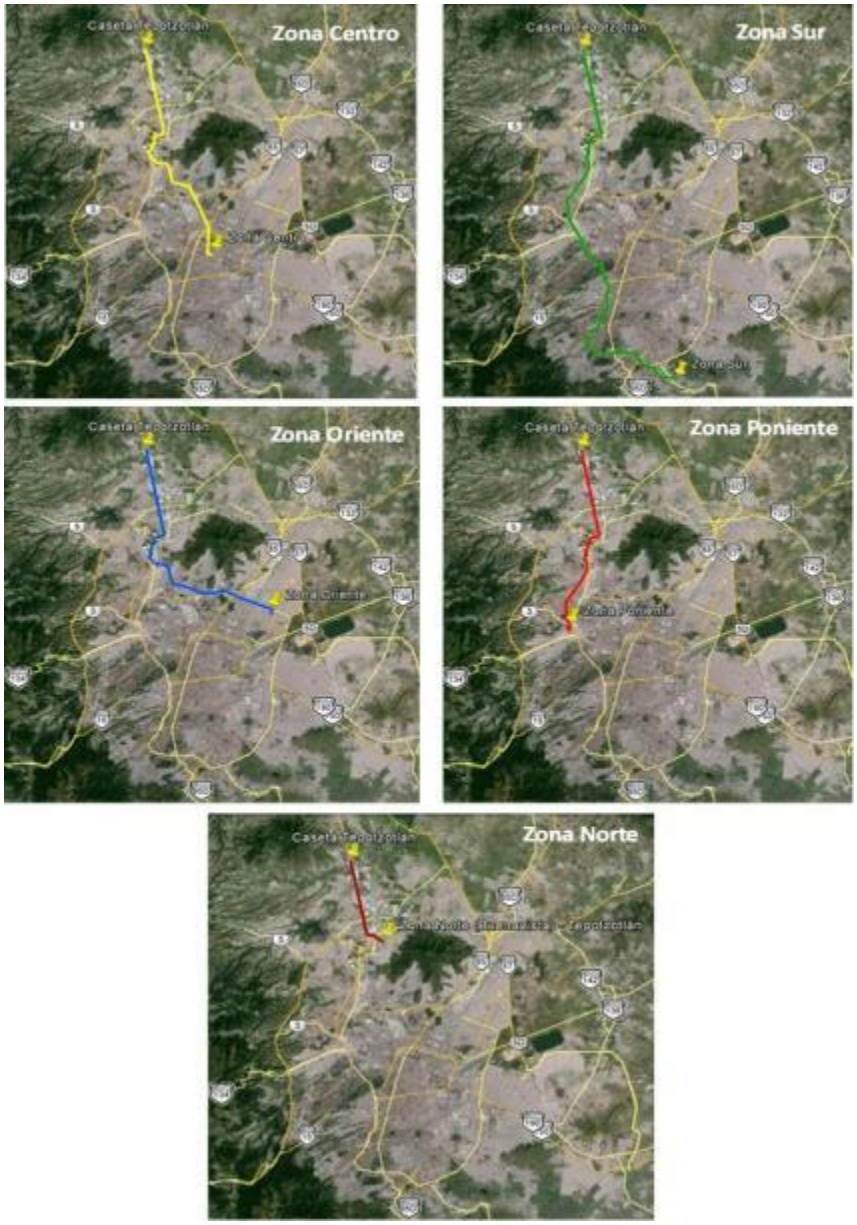
Esta agregación obedece a que es necesario considerar que los recorridos de los usuarios y los tiempos de viaje que invierten en trasladarse varían en función de su punto de inicio, y que este influye de manera muy importante sobre todo en el caso de zonas urbanas.

Es importante mencionar que dado que la problemática que busca resolverse es la de los viajeros de transporte público y privado, no se ha realizado un análisis

exhaustivo del movimiento de carga sobre el corredor México – Querétaro. Debido a lo anterior se utilizó la información disponible en las estadísticas datos viales de la SCT; y para estimar la demanda de carga durante el horizonte de evaluación se empleó la tasa de crecimiento del PIB, esto debido a que el comportamiento de la carga esta mayormente relacionado con la actividad económica.

Una vez establecidas las macrozonas, se analizó el recorrido que un usuario debe realizar hasta la caseta de Tepotzotlán, punto común para todos los que se trasladan hasta Querétaro utilizando la autopista. En la Figura 41 se presentan los recorridos que actualmente realizan los usuarios que van a Querétaro, hasta la caseta de Tepotzotlán.

Figura 41. Senderos con y sin proyecto para macrozonas



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Una vez que los usuarios llegan a Tepotzotlán, su recorrido es común sobre la autopista México Querétaro. Con base en los senderos identificados, a continuación

se presenta la información de interacción oferta – demanda para cada una de las macrozonas.

2.3.9 Demanda actual

Con base en los supuestos mencionados anteriormente se estimó la demanda existente entre para cada una de las macrozonas definidas en la ZMVM con destino a Querétaro. La demanda al día en las macrozonas urbanas se presenta en la Tabla 13 expresada en vehículos y en la Tabla 14 en pasajeros.

Tabla 13. Demanda actual por macrozona (vehículos por día)

Año	Demanda por Macrozonas ZMVM (vehículos por día)									
	Centro		Sur		Poniente		Oriente		Norte	
	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses
2018	9,175	36	3,247	0	12,964	100	9,521	1,263	12,669	30
2028	9,475	45	3,603	0	14,558	107	10,528	1,316	15,349	37
2038	10,006	47	4,050	0	16,262	115	11,697	1,372	19,960	45
2048	10,244	47	4,446	0	17,916	121	12,809	1,415	23,568	53

Fuente: Elaboración propia

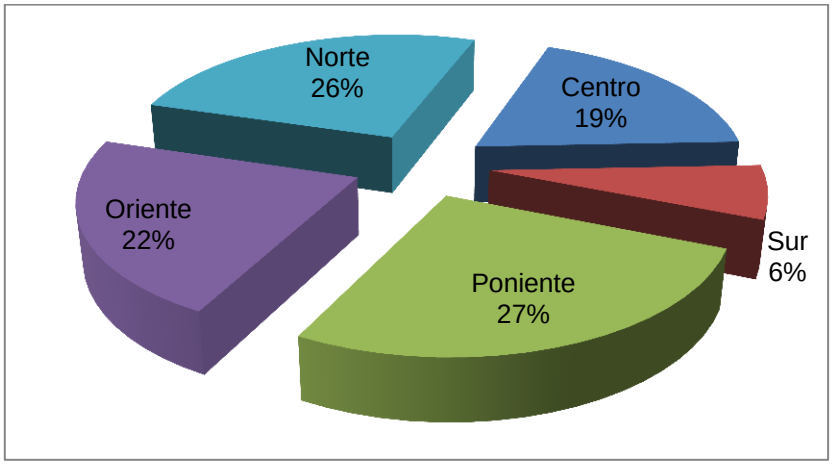
Tabla 14. Demanda actual por macrozona (pasajeros)

Año	Demanda por Macrozonas ZMVM (pasajeros)									
	Centro		Sur		Poniente		Oriente		Norte	
	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses
2018	14,681	446	5,196	0	20,743	1,230	15,234	15,476	20,270	366
2028	15,160	547	5,765	0	23,293	1,311	16,845	16,116	24,559	450
2038	16,010	572	6,479	0	26,019	1,403	18,716	16,807	31,936	547
2048	16,390	582	7,113	0	28,666	1,484	20,494	17,331	37,709	653

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la generación de viajes por cada una de las zonas analizadas, se observa que las zonas norte y poniente son las que aportan un mayor número de viajes.

Figura 42. Generación de demanda por macrozona



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La demanda generada en la ciudad de México, pasado el punto de Tepotzotlán se moviliza a través de la autopista México – Querétaro, donde la demanda para sus dos tramos se presenta a continuación en la Tabla 15 y Tabla 16

Tabla 15. Demanda en la autopista México Querétaro (vehículos por día)

Año	Autopista México-Querétaro (vehículos por día)			
	Tepotzotlán - Palmillas		Palmillas - Querétaro	
	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses
2018	47,577	1,430	47,577	1,430
2028	53,513	1,504	53,513	1,504
2038	61,975	1,578	61,975	1,578
2048	68,983	1,637	68,983	1,637

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Demanda en la autopista México Querétaro (pasajeros por día)

Año	Autopista México-Querétaro (pasajeros)			
	Tepotzotlán - Palmillas		Palmillas - Querétaro	
	Privados	Autobuses	Privados	Autobuses
2018	76,123	17,518	76,123	17,518
2028	85,621	18,423	85,621	18,423
2038	99,161	19,330	99,161	19,330
2048	110,372	20,049	110,372	20,049

Fuente: Elaboración propia

2.4 Interacción de la Oferta-Demanda a lo largo del horizonte de evaluación

Al analizar las características de los viajes que se realizan actualmente entre cada una de las macrozonas y Querétaro, se determinaron las longitudes, velocidades y tiempos de recorrido que realizan actualmente los usuarios que realizan viajes entre México y Querétaro. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 17. Interacción oferta demanda Zona Centro– Querétaro

Tramo/Concepto	Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico	Zona Centro-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	37.0	37.0	112.00	60.5	209.5	209.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	35.00	93.00	94.0	-	-
Velocidad buses (km/h)	15.00	25.00	83.00	84.0	-	-
Tiempo de viaje autos (h)	1.48	1.06	1.20	0.64	3.33	2.91
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.47	1.48	1.35	0.72	4.54	3.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Interacción oferta demanda Zona Sur

Tramo/Concepto	Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico	Zona Sur-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	60.0	60.0	112.00	60.5	232.5	232.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	35.00	93.00	94.0	-	-
Velocidad buses (km/h)	15.00	25.00	83.00	84.0	-	-
Tiempo de viaje autos (h)	2.40	1.71	1.20	0.64	4.25	3.56
Tiempo de viaje autobuses (h)	4.00	2.40	1.35	0.72	6.07	4.47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Interacción oferta demanda Zona Poniente– Querétaro

Tramo/Concepto	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	30.0	30.0	112.00	60.5	202.5	202.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	35.00	93.00	94.0	-	-
Velocidad buses (km/h)	15.00	25.00	83.00	84.0	-	-
Tiempo de viaje autos (h)	1.20	0.86	1.20	0.64	3.05	2.71
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.00	1.20	1.35	0.72	4.07	3.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Interacción oferta demanda Zona Oriente– Querétaro

Tramo/Concepto	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	38.0	38.0	112.00	60.5	210.5	210.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	35.00	93.00	94.0	-	-
Velocidad buses (km/h)	15.00	25.00	83.00	84.0	-	-
Tiempo de viaje autos (h)	1.52	1.09	1.20	0.64	3.37	2.93
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.53	1.52	1.35	0.72	4.60	3.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Interacción oferta demanda Zona Norte – Querétaro

Tramo/Concepto	Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico	Zona Norte-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	14.0	14.0	112.00	60.5	186.5	186.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	35.00	93.00	94.0	-	-
Velocidad buses (km/h)	15.00	25.00	83.00	84.0	-	-
Tiempo de viaje autos (h)	0.56	0.40	1.20	0.64	2.41	2.25
Tiempo de viaje autobuses (h)	0.93	0.56	1.35	0.72	3.00	2.63

Fuente: Elaboración propia

Acorde con el pronóstico de crecimiento de la población y el pronóstico de demanda, cada vez se necesitará de un número mayor de vehículos en circulación para satisfacer los viajes entre México y Querétaro, lo cual sumado a la saturación de las vías a nivel urbano, tendrá como consecuencia una disminución en las velocidades promedio registras hoy en día.

En la siguiente tabla se presenta el pronóstico de velocidades en la zona urbana y en la autopista México Querétaro

Tabla 22. Velocidades promedio de recorrido (km/h)

Año	Velocidades promedio en macrozonas urbanas				Tepotzotlán - Palmillas		Palmillas - Querétaro	
	Velocidad promedio hora pico (km/h)		Velocidad promedio hora valle (km/h)		Velocidad promedio al día (km/h)		Velocidad promedio al día (km/h)	
	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses
2013	25.0	15.0	35.0	25.0	93.0	83.0	94.0	84.0
2014	24.3	14.6	34.5	24.6	92.4	82.4	93.4	83.6
2015	23.6	14.3	34.0	24.2	91.8	81.8	92.8	83.3
2016	22.9	13.9	33.5	23.9	91.2	81.2	92.2	82.9
2017	22.2	13.5	33.0	23.5	90.6	80.6	91.6	82.5
2018	21.6	13.1	32.5	23.1	90.0	80.1	91.0	82.1
2019	20.9	12.8	32.0	22.8	89.4	79.5	90.4	81.8
2020	20.4	12.4	31.7	22.4	88.9	79.0	89.9	81.4
2021	19.9	12.0	31.3	22.0	88.4	78.5	89.4	81.0
2022	19.4	11.7	30.9	21.7	87.9	78.0	88.9	80.7
2023	18.9	11.3	30.6	21.4	87.3	77.5	88.4	80.3
2024	18.4	10.9	30.2	21.0	86.8	77.0	87.9	79.9
2025	18.0	10.6	29.9	20.7	86.3	76.5	87.4	79.6
2026	17.5	10.2	29.5	20.3	85.8	76.0	86.9	79.2
2027	17.1	9.8	29.2	20.0	85.3	75.5	86.4	78.8
2028	16.7	9.4	28.9	19.7	84.8	75.0	85.9	78.4
2029	16.3	9.1	28.5	19.4	84.3	74.5	85.4	78.1
2030	15.9	8.7	28.2	19.2	83.9	74.2	85.0	77.7
2031	15.6	8.3	27.9	18.9	83.4	74.0	84.7	77.3
2032	15.3	8.0	27.6	18.7	83.0	73.7	84.3	77.0
2033	14.9	8.0	27.4	18.5	82.6	73.4	84.0	76.6
2034	14.6	8.0	27.1	18.3	82.1	73.1	83.6	76.2
2035	14.3	8.0	26.8	18.1	81.7	72.9	83.3	75.8
2036	14.0	8.0	26.5	17.9	81.3	72.6	82.9	75.5
2037	14.0	8.0	26.2	17.7	80.9	72.3	82.6	75.1
2038	14.0	8.0	25.9	17.5	80.5	72.1	82.3	74.7
2039	14.0	8.0	25.7	17.3	80.0	71.8	81.9	74.4
2040	14.0	8.0	25.4	17.2	79.7	71.5	81.6	74.0
2041	14.0	8.0	25.2	17.0	79.4	71.2	81.3	73.6
2042	14.0	8.0	24.9	16.9	79.1	70.8	81.0	73.2
2043	14.0	8.0	24.7	16.8	78.8	70.5	80.6	72.9
2044	14.0	8.0	24.4	16.6	78.4	70.2	80.3	72.5
2045	14.0	8.0	24.2	16.5	78.1	69.9	80.0	72.1
2046	14.0	8.0	24.0	16.4	77.8	69.6	79.7	71.8
2047	14.0	8.0	23.7	16.3	77.5	69.2	79.4	71.4
2048	14.0	8.0	23.5	16.1	77.2	68.9	79.1	71.0

Fuente: Elaboración propia

Debido a la simplificación significativa de la red vial que se realizó para establecer las macrozonas de análisis, se usó un sólo sendero para comunicar el centro de gravedad de cada macrozona ya sea con Tepotzotlán y Buenavista. Las velocidades asumidas en horas pico y valle corresponden a velocidades promedio de operación del tránsito en el Distrito Federal y zona metropolitana.

Los tiempos de recorrido estimados para el horizonte de evaluación se presentan en la siguientes tablas para hora pico y hora valle.

Tabla 23. Tiempo de recorrido en hora pico México – Querétaro (horas)

Año	Centro		Sur		Poniente		Oriente		Norte	
	Tiempo de viaje HP		Tiempo de viaje HP		Tiempo de viaje HP		Tiempo de viaje HP		Tiempo de viaje HP	
	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses
2013	4.25	5.85	3.05	3.85	3.37	4.38	3.37	4.38	2.41	2.78
2014	4.33	5.96	3.10	3.91	3.43	4.46	3.43	4.46	2.44	2.82
2015	4.42	6.08	3.15	3.98	3.49	4.54	3.49	4.54	2.47	2.85
2016	4.51	6.20	3.20	4.04	3.55	4.62	3.55	4.62	2.50	2.89
2017	4.60	6.34	3.25	4.12	3.61	4.71	3.61	4.71	2.53	2.93
2018	4.69	6.47	3.30	4.19	3.67	4.80	3.67	4.80	2.56	2.97
2019	4.79	6.62	3.36	4.27	3.74	4.90	3.74	4.90	2.59	3.02
2020	4.87	6.77	3.40	4.35	3.80	5.00	3.80	5.00	2.62	3.06
2021	4.96	6.93	3.45	4.44	3.85	5.10	3.85	5.10	2.65	3.11
2022	5.05	7.10	3.50	4.53	3.92	5.21	3.92	5.21	2.68	3.16
2023	5.14	7.28	3.55	4.62	3.98	5.33	3.98	5.33	2.71	3.21
2024	5.23	7.47	3.61	4.73	4.04	5.46	4.04	5.46	2.74	3.26
2025	5.33	7.68	3.66	4.83	4.10	5.59	4.10	5.59	2.77	3.32
2026	5.42	7.90	3.71	4.95	4.17	5.73	4.17	5.73	2.80	3.38
2027	5.52	8.13	3.77	5.07	4.24	5.89	4.24	5.89	2.83	3.44
2028	5.62	8.38	3.82	5.20	4.30	6.05	4.30	6.05	2.86	3.51
2029	5.73	8.65	3.88	5.35	4.37	6.23	4.37	6.23	2.90	3.58
2030	5.82	8.95	3.93	5.50	4.43	6.42	4.43	6.42	2.93	3.66
2031	5.91	9.26	3.98	5.66	4.49	6.62	4.49	6.62	2.96	3.74
2032	6.00	9.61	4.03	5.84	4.56	6.84	4.56	6.84	2.98	3.83
2033	6.09	9.58	4.08	5.83	4.62	6.83	4.62	6.83	3.01	3.83
2034	6.19	9.59	4.14	5.84	4.68	6.84	4.68	6.84	3.04	3.84
2035	6.29	9.60	4.19	5.85	4.75	6.85	4.75	6.85	3.07	3.85
2036	6.39	9.61	4.25	5.86	4.82	6.86	4.82	6.86	3.11	3.86
2037	6.40	9.62	4.26	5.87	4.83	6.87	4.83	6.87	3.12	3.87
2038	6.41	9.63	4.27	5.88	4.84	6.88	4.84	6.88	3.13	3.88
2039	6.42	9.64	4.28	5.89	4.85	6.89	4.85	6.89	3.14	3.89
2040	6.43	9.65	4.29	5.90	4.86	6.90	4.86	6.90	3.14	3.90
2041	6.43	9.66	4.29	5.91	4.87	6.91	4.87	6.91	3.15	3.91
2042	6.44	9.66	4.30	5.91	4.87	6.91	4.87	6.91	3.16	3.91
2043	6.45	9.67	4.31	5.92	4.88	6.92	4.88	6.92	3.17	3.92
2044	6.46	9.68	4.32	5.93	4.89	6.93	4.89	6.93	3.18	3.93
2045	6.47	9.69	4.33	5.94	4.90	6.94	4.90	6.94	3.19	3.94
2046	6.48	9.70	4.34	5.95	4.91	6.95	4.91	6.95	3.20	3.95
2047	6.49	9.71	4.35	5.96	4.92	6.96	4.92	6.96	3.21	3.96
2048	6.50	9.72	4.36	5.97	4.93	6.97	4.93	6.97	3.21	3.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Tiempo de recorrido en hora valle México – Querétaro

Año	Centro		Sur		Poniente		Oriente		Norte	
	Tiempo de viaje HV		Tiempo de viaje HV		Tiempo de viaje HV		Tiempo de viaje HV		Tiempo de viaje HV	
	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses
2013	3.56	4.25	2.71	3.05	2.93	3.37	2.93	3.37	2.25	2.41
2014	3.60	4.30	2.73	3.08	2.96	3.40	2.96	3.40	2.27	2.43
2015	3.64	4.35	2.75	3.11	2.99	3.44	2.99	3.44	2.28	2.45
2016	3.68	4.40	2.78	3.14	3.02	3.48	3.02	3.48	2.30	2.47
2017	3.72	4.45	2.81	3.17	3.05	3.51	3.05	3.51	2.32	2.49
2018	3.75	4.50	2.83	3.21	3.08	3.55	3.08	3.55	2.34	2.51
2019	3.79	4.56	2.86	3.24	3.11	3.59	3.11	3.59	2.36	2.54
2020	3.83	4.61	2.88	3.27	3.13	3.63	3.13	3.63	2.37	2.56
2021	3.86	4.67	2.90	3.30	3.16	3.67	3.16	3.67	2.39	2.58
2022	3.89	4.72	2.93	3.34	3.18	3.71	3.18	3.71	2.41	2.60
2023	3.93	4.78	2.95	3.37	3.21	3.75	3.21	3.75	2.42	2.62
2024	3.96	4.83	2.97	3.41	3.24	3.79	3.24	3.79	2.44	2.64
2025	4.00	4.89	2.99	3.44	3.26	3.83	3.26	3.83	2.46	2.67
2026	4.03	4.95	3.02	3.48	3.29	3.87	3.29	3.87	2.48	2.69
2027	4.07	5.01	3.04	3.51	3.31	3.91	3.31	3.91	2.49	2.71
2028	4.10	5.07	3.06	3.55	3.34	3.95	3.34	3.95	2.51	2.74
2029	4.14	5.13	3.09	3.58	3.37	4.00	3.37	4.00	2.53	2.76
2030	4.17	5.18	3.11	3.61	3.39	4.03	3.39	4.03	2.54	2.78
2031	4.20	5.22	3.13	3.64	3.42	4.06	3.42	4.06	2.56	2.80
2032	4.24	5.27	3.15	3.67	3.44	4.10	3.44	4.10	2.57	2.81
2033	4.27	5.32	3.17	3.70	3.47	4.13	3.47	4.13	2.59	2.83
2034	4.30	5.36	3.20	3.73	3.49	4.16	3.49	4.16	2.60	2.85
2035	4.34	5.41	3.22	3.75	3.52	4.20	3.52	4.20	2.62	2.87
2036	4.37	5.46	3.24	3.78	3.54	4.23	3.54	4.23	2.64	2.89
2037	4.41	5.51	3.26	3.81	3.57	4.27	3.57	4.27	2.65	2.91
2038	4.44	5.56	3.28	3.84	3.59	4.30	3.59	4.30	2.67	2.93
2039	4.47	5.61	3.31	3.87	3.62	4.34	3.62	4.34	2.68	2.95
2040	4.51	5.64	3.33	3.90	3.64	4.36	3.64	4.36	2.70	2.96
2041	4.54	5.68	3.35	3.92	3.66	4.39	3.66	4.39	2.71	2.98
2042	4.57	5.72	3.37	3.94	3.69	4.41	3.69	4.41	2.73	2.99
2043	4.60	5.75	3.39	3.96	3.71	4.44	3.71	4.44	2.74	3.01
2044	4.64	5.79	3.41	3.98	3.74	4.47	3.74	4.47	2.75	3.02
2045	4.67	5.83	3.43	4.01	3.76	4.49	3.76	4.49	2.77	3.04
2046	4.70	5.86	3.45	4.03	3.78	4.52	3.78	4.52	2.78	3.05
2047	4.74	5.90	3.47	4.05	3.81	4.55	3.81	4.55	2.80	3.07
2048	4.77	5.94	3.49	4.08	3.83	4.57	3.83	4.57	2.81	3.08

Fuente: Elaboración propia

3. Situación sin el PPI

3.1 Optimizaciones

Las medidas de optimización tienen como finalidad brindar mejoras en las condiciones de viaje para los usuarios del área de estudio mediante acciones o medidas de bajo costo.

Es importante señalar, que atendiendo a que la problemática de la congestión se ha incrementado en la zona norte de la ciudad de México, así como en los principales puntos de acceso y salida de la misma, se han realizado proyectos con la finalidad de mejorar la movilidad en la zona. No obstante, la magnitud de estos proyectos ha evidenciado que para conseguir impactos que se reflejen en mejoras en tiempos de viaje y en costos de operación vehicular, la aplicación de optimizaciones, es decir, medidas de bajo costo, resulta ser insuficiente.

Considerando lo anterior se han analizado posibles optimizaciones que puedan ayudar a mejorar la situación actual tanto en la zona urbana como en la autopista México – Querétaro. A continuación se presentan las posibles optimizaciones analizadas

3.1.1 Mejora en las condiciones de la superficie de rodamiento de la autopista México – Querétaro, km 90.000+70.000

Desde hace algunos años, a la altura de los kilómetros 70.000+ 90.000, se iniciaron trabajos con el fin de ampliar de 2 a 3 carriles por sentido la autopista, mismos que ya se concluyeron. Sin embargo, debido a las condiciones que existen en la denominada “zona de curvas” de la autopista, la ampliación de carriles, ocasionó que en algunos tramos, el acotamiento prácticamente desapareciera, además de que el ancho de los carriles, no es homogéneo.

Por lo anterior, una medida de optimización, consiste en complementar y homologar las condiciones de este tramo de la autopista, dotándola de las dimensiones y características adecuadas, con el fin de mejorar la operación de los vehículos.

3.1.2 Modificar la frecuencia del servicio

Con base en los trabajos de campo realizados, se observó que la ocupación promedio al día de los autobuses con destino la ciudad de Querétaro es de 12 pasajeros, evidenciando que las unidades se encuentran operando muy por debajo de su capacidad. Atendiendo a lo anterior, una medida de optimización consiste en espaciar la frecuencia de la corridas de los autobuses, con el fin de buscar una mayor eficiencia económica y reducir el número de unidades de éste tipo que circulen sobre la autopista. Lo anterior, acarrearía una mejora en las velocidades de circulación, como consecuencia de la reducción en la interacción entre el transporte foráneo y el resto del tránsito.

Sin embargo, con esta medida se perjudicaría a los usuarios del transporte público, ya que se incrementaría el tiempo de espera para abordar una unidad. Asimismo, se afectaría a los concesionarios de las líneas del transporte, quienes tendrían que movilizar la flota hacia otros destinos.

3.1.3 Nueva estación de Autobuses en Huehuetoca.

Se plantea la prolongación del Sistema 1 del Tren Suburbano (S1), desde Cuautitlán hasta Huehuetoca, para desarrollar ahí una nueva central de autobuses. Se considera para esta terminal todas las instalaciones de soporte como talleres, naves de mantenimiento, espacio de la estación, accesos, vialidades CETRAM y áreas verdes en una superficie de 36.3 Ha. El presupuesto para la construcción de esta central se estima en $6,000 aproximadamente.

Cabe mencionar que el inconveniente de esta alternativa radica en el tiempo de traslado, pues para ir de México a Querétaro se tendrá que invertir tiempos adicionales para acceder al suburbano, traslado desde Buenavista a Huehuetoca y posteriormente realizar un trasbordo con su penalización de tiempo asociada y arribar a la nueva central de autobuses para de ahí transbordar hacia Querétaro.

Con esta optimización el impacto que se tendría en los indicadores de oferta y demanda sería marginal y no impactaría en los tiempos de viaje de la red, en cambio, se afectaría de forma negativa a los usuarios que optarán por esta opción, ya que su tiempo de recorrido sería mayor.

3.1.4 Mejorar la superficie de rodamiento en las vialidades urbanas

Actualmente el estado del pavimento de las vialidades de acceso a la ZMVM utilizadas por quienes viajan entre México y Querétaro se encuentran en estado regular, lo cual impacta negativamente en la velocidad de circulación de los vehículos, los tiempos de recorrido y en mayores costo de operación vehicular.

Como medida de optimización se propone el llevar a cabo obras de bacheo y reencarpetado, a fin de mejorar la velocidad y las condiciones generales de circulación.

Figura 43. Estado de la vía, Av. 100 Metros (Eje Central)

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Figura 44. Estado de la vía, Tramo Jesus Reyes Heroles – 5 de Mayo

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

3.2 Análisis de la Oferta

En la situación optimizada la oferta vial y de servicio de transporte público sería la misma que en la situación actual. Sin embargo, se mejoraría el estado físico en las principales vialidades, tal como se presenta en la siguiente tabla, como consecuencia de la implementación de las medida de optimización señaladas.

Tabla 25. Oferta vial ZMVM, vialidades relevantes con optimizaciones

Vialidades principales	Longitud	No. de carriles	Estado físico actual	IRI actual	Estado físico optimizado	IRI optimizado
Eje Central Lázaro Cárdenas	12.7 Km	4 en sentido sur-norte	Bueno	3.8	Bueno	3
Eje Central 100 metros	6.61 Km	3 por sentido en cuerpo central y 2 en cuerpo lateral	Bueno-Regular	3.5	Bueno	3
Av. Acueducto Tenayuca	2.38 Km	3 carriles por sentido	Regular	4	Bueno	3
Periférico desde Viaducto Tlalpan hasta caseta de	58.6 Km	3 laterales y 3 centrales por sentido a nivel	Bueno	3.5	Bueno	3
Av. Toluca - Jesus Reyes Heroles	5.87 Km	3 laterales y 3 centrales por sentido	Regular	4	Bueno	3
Viaducto Tlalpan	2.1 Km	4 carriles por sentido	Bueno		Bueno	3
Calzada de Tlalpan	12.9 Km	4 carriles por sentido	Bueno	3.4	Bueno	3
Autopista México – Querétaro	106 Km			3.5	Bueno	3
Tramo Tepotzotlán – Palmillas	62.4 Km	3 carriles por sentido	Bueno-Regular	3	Bueno	3
Palmillas - Querétaro		3-4 carriles por sentido	Bueno	3	Bueno	3

Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La oferta se conforma por las vialidades que son utilizadas por los usuarios en su ruta hacia la Caseta de Tepotzotlán en primer instancia, para posteriormente tomar la autopista México – Querétaro. A continuación se describen los recorridos realizados.

- Centro – Tepotzotlán (37 Km)

Zócalo, Monte de Piedad, Tacuba, Eje Central (Lázaro Cárdenas), Eje Central (Lázaro Cárdenas – 100 Metros), Periférico Norte (Av. Acueducto Tenayuca), Av. Toluca – Jesús Reyes Heroles, Padre Agustín Parada, Autopista México-Querétaro, Hasta llegar a la Caseta de Tepotzotlán.

- Norte – Tepotzotlán (14 Km)

Saliendo de Zona Buenavista (Tultitlán), Cruce de Av. De Insurgentes con Av. De las Torres, Av. De las Torres, Vía López Portillo, Av. 11 de Julio, México-Cuautitlán-Tlalnepantla, Camino Lago de Guadalupe, Autopista México-Querétaro, Hasta llegar a la Caseta de Tepotzotlán.

- Zona Sur – Tepotzotlán 2 (60 Km)

Centro de Xochimilco, Cruce 16 de Septiembre y Calle Pino, Pino – Guadalupe Ramírez, Acueducto Aldama, México-Xochimilco, Viaducto Tlalpan, Calzada de Tlalpan, Tlaxcoaque, 20 de Noviembre, José María Izazaga, Eje Central (Lázaro Cárdenas),), Eje Central (Lázaro Cárdenas – 100 Metro), Periférico (Av. Acueducto Tenayuca), Av. Toluca – Jesús Reyes Heroles, Padre Agustín Parada, Autopista México-Querétaro, Hasta llegar a la Caseta de Tepotzotlán.

- Zona Oriente – Tepotzotlán (38 Km)

Valle de Aragón 1ra Secc., Cruce Valle de Santiago y De las Zapatas, Valle de Santiago, Periférico Norte (Río de los Remedio) dirección Poniente, Periférico Norte (Av. Acueducto Tenayuca), Av. Toluca – Jesús Reyes Heroles, Padre Agustín Parada, Autopista México-Querétaro, Hasta llegar a la Caseta de Tepotzotlán.

- Zona Poniente – Tepotzotlán (30 Km)

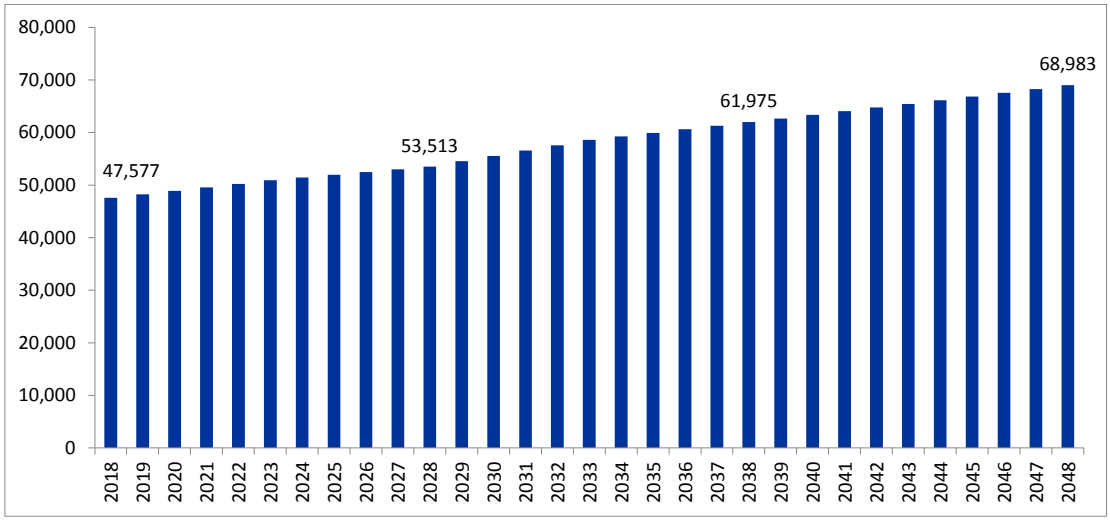
Palacio Municipal de Naucalpan, Benito Juárez-Valle de México, Valle de Toluca, Av. México, Av. Juárez, Av. Morelos, Gustavo Baz, Periférico Poniente (Blvd. Manuel Ávila Camacho), Autopista México-Querétaro, Hasta llegar a la Caseta de Tepotzotlán.

3.3 Análisis de la demanda

La demanda se conforma por los usuarios que actualmente se trasladan entre la ciudad de México y Querétaro ya sea en auto privado o en autobús. Esta demanda fue estimada con base en un modelo de transporte, el cual fue desarrollado a partir de la información recopilada en campo, tal como se explica en el estudio de demanda anexo al ACB y bajo los supuestos presentados en el apartado 2.4.

La demanda de autos privados se estima que alcanzará los 47, 576 vehículos en 2018 y que crezca a una tasa media anual de 1.25% hasta el 2048.

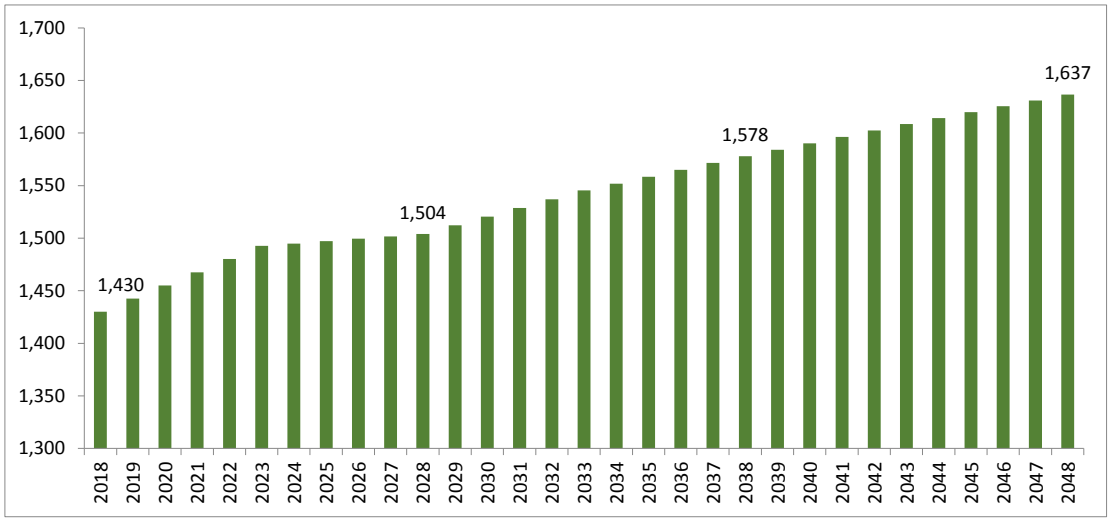
Figura 45. Demanda actual – autos



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

La demanda en autobuses se estima en 1,442 unidades para 2018, misma que se incrementará un ritmo de 0.46% en el mismo periodo.

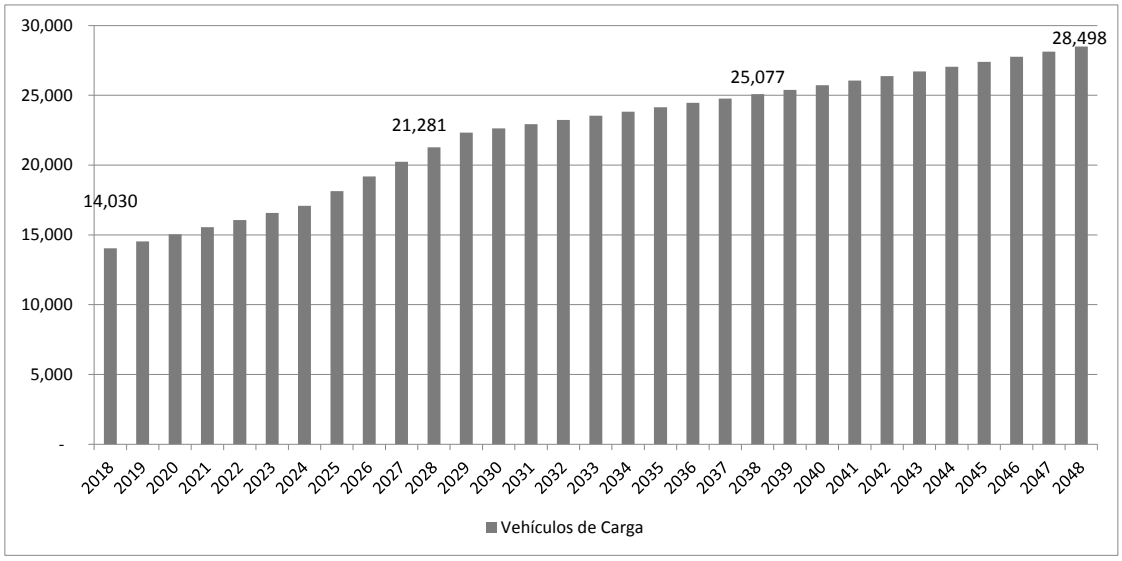
Figura 46. Demanda actual – autobuses



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

También es importante considerar el movimiento de carga, debido a su importancia en la autopista México – Querétaro. El dinamismo del movimiento de carga es mayor, ya que se encuentra estrechamente vinculado con la actividad económica.

Figura 47. Demanda actual – carga



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

3.4 Diagnóstico de la interacción Oferta-Demanda

Elementos esenciales resultante de las condiciones en las que se encuentra la oferta vial y de transporte analizada, así como de los niveles de demanda existentes, son las velocidades de operación y los tiempos de recorrido que se registran. En relación con el primer punto, las velocidades en la zona urbana se estiman en promedio en 25 km/h en las horas pico para autos y de 15 km/h para autobuses. Mientras que en la autopista actualmente se alcanzan velocidades promedio de más de 90 km/h, a lo largo del día, para autos.

Tabla 26. Velocidades en horas pico (km/h)

Sin proyecto	Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico	Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro
Longitud (km)	37.0	60.0	30.0	38.0	14.0	112.0	60.5
Velocidad auto (km/h)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	93.00	94.00
Velocidad buses (km/h)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	83.00	84.00

Fuente: Elaboración propia

En horas valle en los tramos urbanos, la velocidad promedio se ha estimado de 35 km/h para autos y de 25 km/h para autobuses. Debido a la simplificación significativa de la red vial que se realizó para establecer las macrozonas de análisis, se usó un sólo sendero para comunicar el centro de gravedad de cada macrozona ya sea con Tepotzotlán y Buenavista. Las velocidades asumidas en horas pico y valle corresponden a velocidades promedio de operación del tránsito en el Distrito Federal y zona metropolitana.

Sobre los tiempos de viaje de los usuarios, se ha estimado el tiempo que tarda un usuario en recorrer cada uno de los senderos identificados en el capítulo 2;

distinguiendo entre el tiempo de viaje en periodos pico y valle. A continuación se presentan los resultados:

Tabla 27. Tiempo de viaje Zona Centro (horas)

Tramo/Concepto	Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico	Zona Centro-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	37.0	37.0	112.00	60.5	209.5	209.5
Tiempo de viaje autos (h)	1.48	1.06	1.20	0.64	3.33	2.91
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.47	1.48	1.35	0.72	4.54	3.55

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 28. Tiempo de viaje Zona Sur (horas)

Tramo/Concepto	Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico	Zona Sur-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	60.0	60.0	112.00	60.5	232.5	232.5
Tiempo de viaje autos (h)	2.40	1.71	1.20	0.64	4.25	3.56
Tiempo de viaje autobuses (h)	4.00	2.40	1.35	0.72	6.07	4.47

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 29. Tiempo de viaje Zona Poniente (horas)

Tramo/Concepto	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	30.0	30.0	112.00	60.5	202.5	202.5
Tiempo de viaje autos (h)	1.20	0.86	1.20	0.64	3.05	2.71
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.00	1.20	1.35	0.72	4.07	3.27

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 30. Tiempo de viaje Zona Oriente (horas)

Tramo/Concepto	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	38.0	38.0	112.00	60.5	210.5	210.5
Tiempo de viaje autos (h)	1.52	1.09	1.20	0.64	3.37	2.93
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.53	1.52	1.35	0.72	4.60	3.59

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 31. Tiempo de viaje Zona Norte (horas)

Tramo/Concepto	Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico	Zona Norte-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud (km)	14.0	14.0	112.00	60.5	186.5	186.5
Tiempo de viaje autos (h)	0.56	0.40	1.20	0.64	2.41	2.25
Tiempo de viaje autobuses (h)	0.93	0.56	1.35	0.72	3.00	2.63

Fuente: elaborado con información Modelistica

3.5 Alternativas de solución

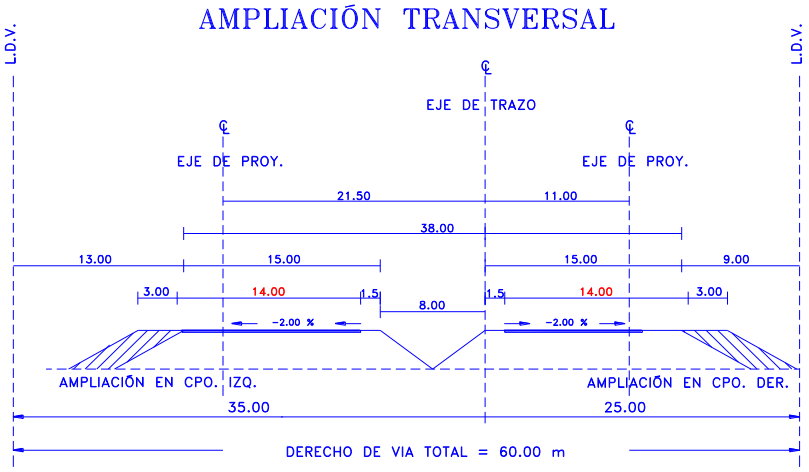
Atendiendo a las condiciones existentes, y sobre todo el alto costo de inversión y por molestias, que implicaría el llevar a cabo la ampliación en capacidad de la autopista México – Querétaro, se identificaron como alternativas viables de solución el análisis de dos esquemas ferroviarios, que permitan mejorar la movilidad de quienes se trasladan entre las ciudades de México y Querétaro, acompañado de un previo análisis del trazo. A continuación se detalla el análisis de las alternativas de solución identificadas.

3.5.1 Ampliación a un carril en cada sentido de la Autopista México–Querétaro.

La Autopista México–Querétaro cuenta con una longitud de 220 km, con dos cuerpos de 15m de ancho de corona para 3 carriles de circulación cada uno, formando una sección tipo A6S. La velocidad de proyecto es de 110 km/h de acuerdo con el proyecto geométrico de la autopista (Dirección General de Carreteras Federales de la SCT, 1995).

Debido a que una medida de optimización para el transporte de pasajeros consistiría básicamente en el mejoramiento de la superficie de rodamiento, sin embargo, sería necesaria también una solución que incremente la capacidad de flujo de vehículos. Con este fin, se plantea una ampliación transversal de un carril (3.5 m) en cada cuerpo de la autopista, aprovechando el derecho de vía existente de 60 m.

Figura 48. Sección tipo de ampliación



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al presupuesto de obra para esta ampliación, el costo directo paramétrico para dos autovías de 3.5 m de ancho, considerando movimiento de tierras, pavimento, estructuras, obras de drenaje y señalamiento, se estima en cuando menos $5.300 millones de pesos.

3.5.2 Análisis de alternativas ferroviarias México-Querétaro.

El transporte entre las ciudades de México y Querétaro se realiza principalmente en vehículos privados y vehículos de transporte foráneo, los cuales se desplazan sobre la infraestructura carretera existente. Si bien estos modos cumplen su objetivo, dada la problemática existente, es necesario analizar alternativas de transporte diferentes que puedan mejorar la movilidad en la zona centro del país de una manera más eficiente.

En este sentido se ha analizado la construcción y aprovechamiento de la infraestructura existente ferroviaria, como una solución viable a la problemática de transporte. A continuación se describe el análisis realizado.

3.5.3 Análisis de trazo

Para el análisis de trazo se realizó tramo por tramo de la vía férrea, identificando 3 tramos críticos para la toma de decisión. Estos tramos son los corredores de entrada y salida a México D.F. y Querétaro y los libramiento de Tula y San Juan del Río. Para estos tramos críticos se analizaron las distintas opciones con base en tres criterios principales:

- costo de la inversión
- tiempo/demanda
- derecho de vía

Tabla 32. Corredores y tramos ferroviarios analizados

CORREDORES	TRAMOS	ACTUACIONES	P.K. INCIAL*	P.K. FINAL*
CORREDOR DE ENTRADA Y SALIDA A MÉXICO D.F.	Buenavista-Cuautitlán Norte	Escenario 1A	0+000	30+500
		Escenario 1B		
		Escenario 2		
	Cuautitlán Norte-Huehuetoca	Cuautitlán Norte-Huehuetoca	30+500	47+000
CORREDOR CENTRAL DE LA LÍNEA FFCC JUÁREZ-MORELOS	El Salto	El Salto	47+000	64+500
	Libramiento de Tula	Libramiento de Tula 1	64+500	93+000
		Libramiento de Tula 2		
		Libramiento de Tula 3		
		Libramiento de Tula 4	47+000	93+000
	Tula-Santuario del Agua	Tula-Santuario del Agua. Subtramo 1	93+000	101+700
		Tula-Santuario del Agua. Subtramo 2 Este	107+700	125+600
		Tula-Santuario del Agua. Subtramo 2 Oeste		
		Tula-Santuario del Agua. Subtramo 2 Centro		
		Tula-Santuario del Agua. Subtramo 3	125+600	140+600
	Santuario del Agua	Santuario del Agua	140+600	150+000
	Libramiento de San Juan del Río	Libramiento de San Juan del Río 1	150+000	197+000
		Libramiento de San Juan del Río 2		
		Libramiento de San Juan del Río 3		
		Libramiento de San Juan del Río 4		
	San Juan del Río-La Griega	San Juan del Río-La Griega	197+000	220+000
CORREDOR DE ENTRADA Y SALIDA A QUERÉTARO	Curva La Griega	Curva La Griega 1	220+000	227+000
		Curva La Griega 2		
		Curva La Griega 3		
	La Griega-Querétaro	Escenario 1. La Griega-Querétaro solución 1	227+000	240+900
		Escenario 1. La Griega-Querétaro solución 2		
		Escenario 1. La Griega-Querétaro solución 3		
		Escenario 2. La Griega-Querétaro solución 1	227+000	243+612
		Escenario 2. La Griega-Querétaro solución 2		
		Escenario 2. La Griega-Querétaro solución 3		

Fuente: Prointec

A continuación se describen las actuaciones propuestas para cada corredor y tramo:

1. Corredor de entrada y salida a México D.F.

El corredor de entrada y salida a México DF se ha dividido en dos tramos. El primero, Buenavista – Cuautitlán Norte, se extiende desde la estación terminal de Buenavista, en México DF, hasta pasado el núcleo urbano del municipio de Cuautitlán, aproximadamente en el P.K. 30+500 de la línea Juárez-Morelos.

El segundo, desde Cuautitlán Norte hasta pasado el núcleo urbano del municipio de Huehuetoca, en el P.K. 47+000 de la línea Juárez Morelos.

La línea de Suburbano (también llamado Sistema 1) se encuentra actualmente en explotación desde Buenavista hasta Cuautitlán, estando su estación en el P.K. 25+705 de la línea Juárez-Morelos. Es una línea de transporte masivo de pasajeros que cuenta con una vía doble independizada mediante un vallado continuo del resto de vías de carga que discurren en paralelo.

El título de concesión de Sistema 1 otorga derechos para la explotación de la línea hasta el municipio de Huehuetoca, utilizando para ello la plataforma de las vías

Juárez y Morelos. Esta prolongación no se encuentra aún en construcción por lo que a partir de la estación de Cuautitlán las vías Juárez y Morelos siguen siendo utilizadas parcialmente como vías de carga.

La frontera entre los tramos propuestos (Cuautitlán Norte, P.K. 30+500) ha sido elegida por ser aquel lugar a partir del cual es factible construir la plataforma de las nuevas vías de altas prestaciones sobre superficie y en paralelo a la plataforma ferroviaria actual. Desde la estación actual de Cuautitlán hasta esa progresiva, debido a lo constreñido del espacio urbano y en el caso de que fuese necesario respetar las vías Juárez y Morelos para un hipotético uso futuro del Suburbano hasta Huehuetoca, estas deberían ser de uso compartido con la alta velocidad (en el escenario 1) o bien discurrir a distinto nivel debiéndose construir un viaducto, según se puede comprobar en los planos de este proyecto.

- ***Tramo Buenavista-Cuautitlán Norte***

Como se mencionaba anteriormente, en este tramo se contemplan dos escenarios posibles de explotación en función de si se comparten o no las vías de ambos servicios ferroviarios.

En el escenario 1 se requieren unos trabajos que son principalmente de reforma, adaptación e integración de las instalaciones ferroviarias actuales: electrificación, señalización y comunicaciones. La inversión en infraestructura se limita a la construcción del haz de vías en Buenavista y de los distintos laderos de adelantamiento según la opción A ó B que se elija.

El escenario 2 contempla la construcción de una nueva plataforma ferroviaria de doble vía totalmente independiente del Suburbano para lo cual se precisará de una muy importante obra de infraestructura. Si bien la base de diseño de este escenario es la reposición de una capacidad de servicio similar a la actualmente existente para las vías de carga y del Suburbano, su construcción les afectará inevitablemente debiendo posibilitarse el mantenimiento de la explotación mediante situaciones provisionales temporales.

- ***Tramo Cuautitlán Norte-Huehuetoca***

Este tramo, de una longitud de 16.5 km, se extiende desde el PK 30+500 al 47+000 del eje Juárez Morelos. El inicio se sitúa al norte del área urbana de Cuautitlán y el final se encuentra en idénticas circunstancias aunque referido a la localidad de Huehuetoca.

El corredor es el correspondiente a las vías Juárez y Morelos. De terreno llano a lo largo de todo él, pasa inicialmente por campos de cultivo (3.5 km) hasta la localidad de Teoloyucan; el tramo semiurbano de Teoloyucan se extiende a lo largo de los 3 km siguientes retomando terrenos de cultivo en una longitud aproximada de 6 km, hasta alcanzar las primeras edificaciones de Huehuetoca. A su paso por dicha localidad, se extiende hasta el final del tramo, cuyo tramo, netamente urbano se limita a una longitud de 1.5 km aproximadamente.

2. Corredor central de la línea Juárez-Morelos

El corredor central de la línea de ferrocarril Juárez-Morelos se extiende durante 176 kilómetros, entre los puntos kilométricos 47+000 y 220+000, según la numeración seguida en este estudio.

- ***Tramo El Salto. Actuación El Salto***

En el tramo El Salto, que cubre desde el P.K. 47+000 al 64+500 de la línea actual Juárez-Morelos, se propone una única actuación, denominada de la misma manera que el tramo: Actuación El Salto.

Dicha actuación, consistente en una vía doble para tráfico exclusivo de viajeros, cuenta con una longitud de 16.412,415 m y está diseñada con parámetros geométricos aptos para el desarrollo de velocidades de hasta 300 km/h. La traza discurre por los términos municipales de Huehuetoca en el Estado de México y de Atotonilco de Tula y Tepeji del Río de Ocampo ya en el Estado de Hidalgo.

- ***Tramo Libramiento de Tula***

Este tramo se extiende entre los puntos kilométricos 64+500 y 93+000 de la línea Juárez-Morelos (28,5 km) en el que el trazado se caracteriza por una interminable sucesión de curvas y contracurvas de radios reducidos (700 – 800m) con intercalación de pequeños tramos rectilíneos que bordea el núcleo urbano de Tula de Allende.

La línea actual mantiene una marcada orientación norte-sur siguiendo el curso del río Tula en la primera mitad del tramo, para cambiar a otra este-oeste en su recorrido final bordeando el cerro El Magoni y las estribaciones de Cerro Grande.

- ***Tramo Tula – Santuario del Agua***

El tramo Tula – Santuario del Agua, como su propio nombre indica, se extiende desde el final del tramo “Libramiento de Tula” en el P.K. 93+000 según el kilometraje de la línea actual Juárez-Morelos y el inicio del denominado “Santuario del Agua” en el 140+600, con una longitud de 47.6 km.

Este tramo se caracteriza por tener una geometría en planta sinuosa con una sucesión continua de curvas y contracurvas de radios comprendidos mayoritariamente entre los 500 y 600 m, con intercalaciones de rectas de escasa longitud (100-200m). No obstante, todas las actuaciones propuestas se desarrollan en el corredor actual de la línea Juárez-Morelos, si bien el grado de aprovechamiento de su derecho de vía, salvo en sus 15 km finales, es prácticamente nulo.

- ***Tramo Santuario del Agua. Actuación Santuario del Agua***

En el tramo Santuario del Agua, que cubre desde el P.K. 140+600 al 150+000 de la línea actual Juárez-Morelos, se propone una única actuación, denominada de la misma manera que el tramo: Actuación Santuario del Agua.

Dicha actuación consiste en la inserción de una vía doble para tráfico exclusivo de viajeros dentro del derecho de vía de la línea férrea Juárez-Morelos, por lo que discurre íntegramente por el término municipal de Polotitlán en el Estado de México.

El trazado propuesto reproduce en paralelo el de las vías actuales con la mejora de las dos curvas existentes en el tramo que pasan de radios en torno a los 4,500 m a otros de 5,350m (mínimo para el desarrollo de velocidades de 300 km/h).

- ***Tramo Libramiento de San Juan del Río.***

Este tramo se extiende entre los puntos kilométricos 150+000 y 197+000 de la línea Juárez-Morelos (47 km), caracterizándose por el gran rodeo que describe el trazado en planta, bordeando por el sur el núcleo urbano de San Juan del Río.

Este gran desarrollo de 47 km, cuando la distancia en línea recta entre el punto inicial y final no sobrepasa los 25km, se debe, no a la necesidad de sortear ningún obstáculo físico del entorno por el que discurre, sino a la diferencia de cotas existente entre ambos puntos (325 m).

3. Corredor de entrada y salida a Querétaro

Se ha denominado así al corredor final de la línea México-Querétaro que abarca desde el P.K. 220+000 de la Juárez Morelos hasta la entrada en la ciudad de Santiago de Querétaro (P.K. 241+000 aprox.).

Tiene pues un total de unos 21 km de longitud y su estudio se ha dividido en dos tramos:

- Curva de la Griega: P.K. 220+000 a 227+000
- La Griega – Querétaro: P.K. 227+000 a 243+600 (240+900 en Esc-1)

Como se explicará más adelante, se han considerado dos escenarios de posibles puestas en servicio según sea la ubicación de la estación final. Los P.K. de final del tramo varían pues en función del escenario; el escenario 2 es el que contempla la estación definitiva y supone una prolongación con respecto al escenario 1 de 2.7 km.

- ***Tramo curva La Griega***

Este tramo se encuentra al final de una larga recta de 9 kms de longitud procedente de San Juan del Río. En esta zona la línea Juárez Morelos tiene una curva bastante pronunciada hacia el oeste y su trazado enfila después la búsqueda del lto de la cañada del río Querétaro para posteriormente, a través de ella, alcanzar la ciudad del mismo nombre.

Es en esta curva donde la línea de carga denominada B, que se había separado de la JM en Huehuetoca (PK 45+080), confluye en la misma plataforma que la Juárez Morelos. Comparando ambos trazados se diría más bien que es la línea Juárez Morelos la que girando hacia el este se incorpora a la plataforma de la línea B asumiendo el direccionamiento que desde más atrás viene trayendo ésta en dirección a Querétaro.

- ***Tramo La Griega – Querétaro***

Este tramo tiene una longitud aproximada de 14 km, comienza en el PK 227+000 tras la curva de La Griega, en un punto en el que dejamos el trazado de las nuevas vías compartiendo plataforma con las vías Juárez, Morelos y la línea B.

La cota de terreno en el inicio es la 1,890 y en la ciudad de Querétaro es la 1,810. Es pues un tramo eminentemente descendente en dirección de avance de la kilometraje. Si se pudiera resolverse con una sola alineación inclinada se obtendría una pendiente constante de 5,7%. Las pendientes máximas que obtendremos en los trazados propuestos serán por tanto en todos los casos superiores a este valor.

3.5.3.1 Solución de trazo recomendada.

- **Tramo Buenavista-Cuautitlán Norte:**

Actuación, adaptación de la infraestructura actual. Este tramo consiste en el aprovechamiento de la infraestructura actual del tren suburbano, para el uso compartido con el nuevo tren de alta velocidad, además de la implantación de laderos de adelantamiento en diferentes estaciones estratégicamente elegidas según las necesidades que demanda el estudio de explotación, dicho escenario requiere un plazo corto de ejecución y la mínima inversión requerida con respecto a las distintas propuestas, presentando un costo de inversión de 891.62 millones de pesos.

Este tramo contempla la utilización del edificio de estación de Buenavista como Terminal de la nueva línea México-Querétaro. Se prevé construir nuevas vías y andenes en la mitad este de la nave de andenes que actualmente se encuentra en desuso

- **Tramo Cuautitlán Norte-Huehuetoca: infraestructura compartida con S1 hasta Huehuetoca.**

En este tramo se comparte la infraestructura del nuevo tren de altas prestaciones con la infraestructura necesaria para la futura prolongación del tren suburbano, Sistema 1, con el objetivo de aprovechar al máximo el derecho de vía y no salirse del mismo, mejorando con esto, el trazado y edificaciones que se encuentran situadas en ambos lados del actual pasillo ferroviario.

- **Tramo Libramiento de Tula: Actuación, combinación con el tramo El Salto**

Esta actuación consiste, en la combinación de dos tramos: El Salto y el Libramiento de Tula, ya que en los primeros cuatro kilómetros coinciden en el trazado, es la actuación que más se aleja de Tula y por consiguiente, que menos interferencias tiene con las otras infraestructuras o servicios existentes actualmente, además de presentar un menor paso de ejecución y menor superficie afectada a la estructura de propiedad.

El costo de inversión de esta actuación es de 10,328.94 millones de pesos, dicho monto es el más alto en relación con otras opciones, ya que incluye la construcción

de 6 viaductos y 7 túneles, además del costo directo de inversión del tramo El Salto, este libramiento está diseñado para desarrollar velocidades máximas de 300 km/h, dotado de una vía doble para tráfico exclusivo de viajeros.

- **Tramo Tula Santuario del Agua: Actuación, Tula-Santuario del Agua, subtramo 1 + subtramo 2 Este + subtramo 3.**

Este tramo se extiende desde el final del tramo "Libramiento de Tula", en el PK 93+000 de la línea actual Juárez-Morelos y el inicio del denominado "Santuario del Agua" en el PK 140+600, con longitud de 47.6 Km. Este tramo se caracteriza por tener una geometría en planta sinuosa con una sucesión continua de curvas y contracurvas de radios comprendidos mayoritariamente entre los 500 y 600 m, con intercalaciones de rectas de escasa longitud (100-200m). No obstante, todas las actuaciones propuestas se desarrollan en el corredor actual de la línea Juárez-Morelos, si bien el grado de aprovechamiento de su derecho de vía, salvo en sus 15 km finales, es prácticamente nulo.

El costo de inversión del este tramo asciende a 6,415.43 millones de pesos.

Subtramo 1

Es la subdivisión más corta con 8.7 Km de longitud, comprende el intervalo de las vías actuales entre el PK 93+000 y el 101+700. En lo que respecta a su inserción en el territorio, el trazado actual describe un cambio acusado de dirección, pasando de una orientación sensiblemente este-oeste a otra marcadamente sur-norte bordeando la presa de Carranza.

Subtramo 2

Comprende el tramo de la línea Juárez-Morelos que se extiende entre los PP.KK 101+700 y 125+600, con una longitud de 23.9 Km. Tiene una orientación que comienza siendo hacia el norte para acabar con un marcado sentido hacia el oeste.

Desde el PK 116+000 hasta el 120+000, la línea férrea "B", transita en paralelo a la Juárez- Morelos por su margen derecha, mientras que por su izquierda se encuentra el ladero de Aragón.

Subtramo 3

Cubre el intervalo de la línea Juárez-Morelos entre los PP.KK 125+600 y 140+600, es decir, 15 Km con una orientación sensiblemente Este-Oeste, en este subtramo se encuentra la cota más alta alcanzada por la línea Juárez-Morelos entre las ciudades de México - Querétaro (2,400 m).

- **Tramo Santuario del Agua: Actuación, Inserción de una vía doble.**

En este tramo que cubre desde el PK 140+600 al 150+000 de la línea actual Juárez-Morelos, se propone una única actuación que consiste en la inserción de una vía

doble para tráfico exclusivo de viajeros dentro del derecho de vía de la línea férrea Juárez-Morelos, el costo del tramo asciende a 935.78 millones de pesos.

- **Tramo Libramiento de San Juan del Río: actuación, vía doble y ahorro de 20 km de la línea existente.**

Este tramo se extiende entre los puntos 150+000 y 197+000 de la línea Juárez-Morelos (47.0 km), caracterizándose por el gran rodeo que describe el trazado actual de las vías de carga en planta, bordeando por el sur el núcleo urbano de San Juan del Río. En cuanto a las instalaciones ferroviarias existentes en el tramo, cabe destacar, los laderos de Palmillas y San Juan del Río, así como el triángulo ferroviario de unión entre la línea "B" y la Juárez-Morelos (línea San Juan del Río - San Nicolás) y las San Juan de Río -Chintepec y San Juan del Río-Cazadero.

Esta actuación de 26.896,202 m de longitud busca un nuevo pasillo por el que discurrir alejándose del corredor utilizado por la línea actual hasta 6km en algunos puntos, con lo que el grado de aprovechamiento del derecho de vía es inexistente.

Como contrapartida, este libramiento supone un ahorro en longitud de 20km con respecto a la línea férrea existente.

Tiene una orientación sureste – noroeste dejando siempre la ciudad de San Juan del Río al norte, discurriendo en el primer tercio de su recorrido también al norte de la línea Juárez-Morelos, para cruzarla y situarse al sur hasta volver a su corredor.

Esta actuación, consistente en una vía doble para tráfico exclusivo de viajeros, alcanza hasta un 53% de trazado rectilíneo, y en su diseño se han utilizado valores para los parámetros geométricos que permiten desarrollar velocidades de 300 km/h.

- **Tramo San Juan del Río-La Griega: actuación, inserción de vía doble dentro del derecho de vía de la línea existente.**

Este tramo discurre entre los PP.KK 197+000 al 220+000 de la línea actual Juárez-Morelos, proponiéndose una única actuación que consiste en la inserción de una vía doble para tráfico exclusivo de viajeros dentro del derecho de vía de la línea existente, ya que este tramo presenta una geometría altamente aprovechable para la alta velocidad (300 km/h). Como instalación ferroviaria existente, cabe destacar la estación de El Ahorcado y el ramal nuevo a Laredo.

- **Tramo Curva La Griega 1: actuación, aprovechamiento de los derechos de vía.**

Este tramo se encuentra al final de una larga recta de 9 km de longitud, procedente de San Juan del Río, el terreno de trazado es llano y de carácter rural hasta su parte final, en el que se encuentra un asentamiento de viviendas de reducida extensión. Por lo que su trazo no afecta estas edificaciones y son por tanto factibles los derechos de vía en las condiciones en las que se ha analizado. En esta zona la línea Juárez-Morelos tiene una curva bastante pronunciada al Oeste y su trazado enfila después la búsqueda del alto de la cañada del río Querétaro para posteriormente, a través de ella, alcanzar la ciudad de Querétaro. Esta curva se encuentra en el PK 220+000 al 227+000, tiene un radio de 1,800 m, que obliga a

reducir la velocidad de las circulaciones que desde 24 km anteriores, carece de limitaciones debidas al trazado. En este sentido el mejor trazado de esta curva generará reducciones en los tiempos de recorrido México-Querétaro. El radio de curvatura de trazado que se obtiene es de 2,500 m y permite circular a unas velocidades máximas de 200 km por hora.

- **Tramo La Griega-Querétaro: Actuación, aprovechamiento de los derechos de vía.**

Este tramo tiene una longitud aproximada de 14 km y comienza en el PK 227+000 a 240+900 tras la curva de La Griega, en un punto en el que se deja el trazado de las nuevas vías compartiendo plataforma con las vías Juárez-Morelos y la Línea “B”, pero siempre con vías independientes para cada tráfico. La cota de terreno en el inicio es de 1,890 y en la ciudad de Querétaro es la 1,810 por lo que es un tramo eminentemente descendente, en dirección de avance.

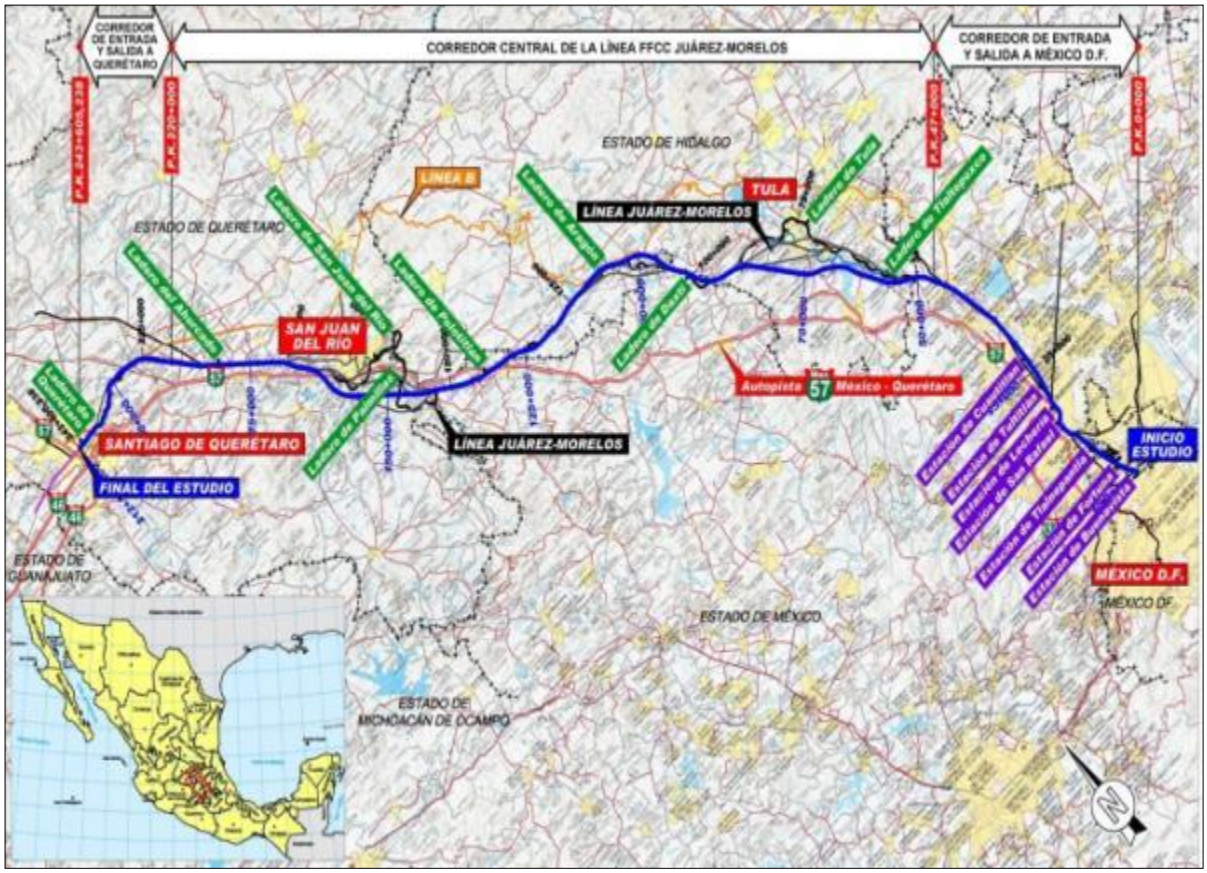
Esta alternativa es la que más se ajusta a los derechos de vía actuales.

Tras el apeadero de Hércules y debido a la alineación que impone la recta de andenes de la estación provisional (que debe estar en prolongación del puente sobre el Bvd. Bernardo Quintana) es necesario proyectar un túnel (250 m) que evite la última curva de la plataforma ferroviaria actual y dé acceso en recta a la llanada final en donde se prevé implantar la estación provisional. El costo de este tramo asciende a 2,559.27 millones de pesos.

En Querétaro se ha optado por proyectar una estación a la entrada de la ciudad, cuyos andenes se situarán antes del puente que cruza sobre el Bvd. Bernardo Quintana.

En la siguiente figura No. 4.18 se muestra un plano de la solución seleccionada:

Figura 49A Solución seleccionada



Fuente: Estudio Técnico "Tren Rápido México-Querétaro" de la empresa consultora Prointec

3.5.3.2 Escenarios estudiados

El proyecto Tren Rápido México - Querétaro es un proyecto que pretende concretar una oportunidad de negocio para el país, es decir, es un proyecto que busca reducir los costos de transporte de las personas que viajan desde la ZMCM a la ciudad de Querétaro y viceversa. Es por ello que las alternativas de solución que se definieron corresponden a diferentes trazados del tren. En total, en el estudio técnico, se definieron seis alternativas de trazado del tren, con sus debidos costeos y analizando las ventajas y desventajas de cada una de ellas. A continuación se presenta un pequeño resumen de cada una de las alternativas mencionadas y del porqué 5 de ellas se descartaron como la mejor alternativa de proyecto optando por una como la solución recomendada.

Escenario B

El escenario B aprovecha el derecho de vía de la actual línea de carga Juárez y Morelos, en aquellos tramos donde el trazado presente una geometría aceptable

para los parámetros de calidad que requiere una línea de altas prestaciones, para la implantación de dos nuevas vías de alta velocidad junto a las vías actuales y en el resto de los tramos el trazado se aleja de las vías actuales siendo de especial relevancia los libramientos en Tula y en San juan del Río. En el tramo Buenavista-Cuautitlán, se opta por la adaptación de la infraestructura actual del Suburbano, sistema 1, para el uso compartido con el nuevo tren de alta prestaciones, pero con vías adicionales para adelantamiento. En el tramo siguiente entre Cuautitlán y Huehuetoca se construyen dos vías nuevas independientes las vías de la posible ampliación de suburbano sistema 1. En Querétaro, se propone la construcción de una estación provisional al este de Av. Bernardo Quintana, sin llegar al centro de la ciudad.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 02 min, utilizando material móvil de 300 km/h.

Escenario B1

El escenario B1 es el mismo que el B excepto en el tramo Cuautitlán – Huehuetoca donde la infraestructura es compartida con la ampliación del SISTEMA 1 y además el material móvil utilizado que en este caso son trenes diesel.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 35min, utilizando material móvil de 160 km/h.

Escenario B2

El escenario B2 es la misma que la opción B excepto en el tramo Cuautitlán – Huehuetoca donde la infraestructura es compartida con la ampliación del Sistema 1.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 02min, utilizando material móvil de 300 km/h.

En cuanto al ahorro en la inversión, compartir la infraestructura del tren México – Querétaro con la ampliación del SISTEMA 1 hasta Huehuetoca, produce un ahorro en la infraestructura necesaria con respecto al escenario B:

Escenario B2+E1

Este escenario parte del escenario B2 excepto el tramo de San Juan del Río donde en lugar de ir por el nuevo libramiento se propone una tercera vía, paralela a las vías actuales de carga, por donde circularán los nuevos trenes de pasajeros.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 28min, utilizando material móvil de 300 km/h.

Escenario B2+E2

Este escenario parte del escenario B2 excepto el tramo de Tula donde en lugar de ir por el nuevo libramiento se propone una tercera vía, paralela a las vías actuales de carga, por donde circularán los nuevos trenes de pasajeros.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 26min, utilizando material móvil de 300 km/h. El presupuesto de inversión es de 32.181 millones de pesos de 2013 (costo directo + 13 unidades de material rodante eléctrico).

Escenario B2+E3

Este escenario parte del escenario B2 excepto los tramos de Tula y San Juan del Río donde en lugar de ir por los nuevos libramientos se propone una tercera vía, paralela a las vías actuales de carga, por donde circularán los nuevos trenes de pasajeros.

El tiempo de recorrido con esta opción es de 1hr 48min, utilizando material móvil de 300 km/h. El presupuesto de inversión es de 30.456 millones de pesos de 2013 (costo directo + 15 unidades de material rodante eléctrico).

Ventajas y desventajas de las distintos escenarios

En el caso de considerar la ejecución de una tercera vía, por tanto explotación en vía ÚNICA para el servicio de pasajeros por el libramiento de Tula y San Juan del Río, se deben considerar tres aspectos asociados a la explotación del servicio que consideramos relevantes a la hora de la toma de decisión:

i. La vía requerirá la ejecución de laderos adicionales para solucionar los cruces que los trenes en ambos sentidos realizarán a lo largo del recorrido. El número de cruces aumenta en función de dos parámetros, frecuencia de trenes y tiempo de recorrido.

   En este caso se realizaría un cruce por tren y sentido, con un tiempo medio de espera del 50% del tiempo de recorrido del tramo, más el tiempo de frenado y arranque en ladero, 10 min.

ii. Por otro lado, los costes operativos de la explotación se verán incrementados debido al incremento de consumo de energía por cada una de las paradas y arranque de los trenes. Un porcentaje muy elevado del consumo de energía de los trenes se produce en el arranque y hasta alcanzar la velocidad régimen.

   Adicionalmente, si bien a priori no somos capaces de cuantificarlo, la vida útil de los trenes se vería reducida o bien incrementado el coste de mantenimiento por el tipo de trabajo al que se vería sometido de número de ciclos de parada y arranque.

iii. Asimismo, cada cruce implica un incremento del tiempo de recorrido a cada servicio. Si bien la planificación teórica puede establecer los horarios precisos, la explotación real puede acarrear que un retraso mínimo en un tren por una incidencia, derive en una alteración notable de la circulación y por ello resulte impredecible la calidad de servicio a través del cumplimiento de horarios.

Por las razones expuestas anteriormente, el escenario finalmente propuesto es el escenario B2 puesto que es el que mejor conjuga costes de inversión con tiempo de recorrido, garantizando de este modo la construcción de una infraestructura útil de altas prestaciones y abierta a otro tipo de servicios ferroviarios de pasajeros a implantar a futuro en este corredor compatibilizando una infraestructura única debidamente diseñada.

Una vez elegido el trazado de la alternativa se estudiaron alternativas tecnológicas de trenes y alternativas de servicio a ofrecer: un tren de alta velocidad y un tren regional. A continuación se presentan alternativas de servicio analizadas.

3.5.3.3 Análisis de tecnologías de trenes

Para determinar el tipo de tecnología se analizaron 3 tipologías de material móvil: trenes eléctricos de velocidad máxima 300 km/h, trenes eléctricos de velocidad máxima 250 km/h y trenes diesel de velocidad máxima 160 km/h.

Las características de cada tren se enumeran a continuación:

Tren de 300 km/h:

- Estructura de la caja: Aluminio.
- Velocidad máxima (km/h): 350 km/h.
- Plazas sentadas por unidad: 404/405.
- Potencia total en llanta: >8.000 kW.
- Frenado: Regenerativo, reostático y neumático.
- Distancia de frenado (320 a 0 km/h): 3.900 m.
- Aceleración (0 a 320 km/h): <400 s.
- Sistemas de señalización: ERTMS niveles 1 y 2, ASFA.
- Longitud total del tren: 200 m.
- Anchura de caja: 2.950 mm.
- Altura: 3.890 mm.

Tren de 250 km/h:

- Ancho de vía : 1.435 mm.
- Tensión : Bitensión 25 kV c.a..
- Potencia : 4.000 kW
- Motores: asíncronos .
- Velocidad máxima : 250 km/h

- Cabinas de conducción : 2.
- Señalización: ASFA, Ertms.
- Plazas totales : 220
- Peso del tren: 250 Tn.
- Longitud total del tren: 107'36 m.
- Anchura de la caja: 2'92 m

Tren de 160 km/h:

- Composición mínima : M-M.
- Composición múltiple : 5 unidades (10 coches).
- Estructura de caja : Aluminio
- Velocidad máxima (Km/h) : 160 km/h.
- Plazas sentadas por unidad de tren : 120
- Motores de tracción diesel : 4.
- Potencia total de tracción : 1.200 kW.
- Potencia por motor : 300 kW.
- Autonomía : 1.000 km.
- Longitud total del tren : 47,748 m.
- Anchura del coche : 2,937 m.
- Altura del coche : 3,888 m.

. El costo de referencia de las unidades móviles considerado es el siguiente

Tabla 33. Costo por tipo de tren

Presupuesto de materiales móviles	Millones de pesos
Carros de 300 km/h	454
Carros de 250 km/h	275
Carros diesel de 160 km/h	275

Fuente: PROINTEC

Análisis de consumo energético

A continuación se presenta una síntesis de la comparativa de consumo energético de distintos tipos de trenes equivalentes a los aquí considerados, con el fin de

aportar un criterio adicional para la elección del material rodante más adecuado para el proyecto.

La fuente es un estudio realizado por la Fundación de los Ferrocarriles Españoles en 2010, recopilado en "Análisis comparativo del consumo de energía y emisiones de trenes eléctricos, diesel y duales"[9]:

Resumen

El objetivo de este estudio es comparar el consumo de energía y emisiones en un recorrido determinado de un tren con tracción eléctrica, diesel y dual (entiendo por tales los que son a la vez eléctricos y diesel-eléctricos). En este último caso, el cálculo se realiza en función del porcentaje del recorrido que se realice con un tipo u otro de tracción.

Tabla 34. Características básicas de los trenes empleados para la simulación de los trenes de viajeros

		Trenes de viajeros			
		730 Dual	s130 eléctrico	130T	334 Diésel
Fabricante		Talgo	Talgo		Vossloh+Talg
Composición		M+11R+M	M+10R+M	M+10,5+M	Lc+10R
Tara	*t*	346	304,3	328,55	245,3
Longitud	*m*	186,500	171,015	178,487	157,587
Potencia eléctrica	*kW*	2.400 (c.a) / 2.000 (c.c)	4.800 (c.a)	2.400 (c.a) / 2.000 (c.c)	0
Potencia diésel	*kW*	3.600	0	3.600	2.390
Velocidad máxima	*km/h*	250	250	250	200
Plazas		265	262	265	262

Fuente: PROINTEC

Resultados de la simulación

Como hipótesis de simulación se ha considerado que el tren eléctrico y el tren dual en régimen eléctrico circulan a velocidad máxima de 250 km/h y el tren diésel y el dual en régimen diesel lo hacen a 160 km/h. En la siguiente tabla se muestran los resultados de las simulaciones.

Tabla 35. Energía y emisiones de los trenes de viajeros

	Tracción eléctrica	Tracción dual (R. eléctrico)	Tracción dual (R. eléctrico)	Tracción diésel	Tracción dual (R. diésel)	Tracción dual (R. diésel)
	s130 (10 coches)	*130T*	*730*	*Loc334+10R*	*130T*	*730*
Energía importada en pantógrafo o entrada depósito gasóleo *(kWh/km)*	17,57	18,41	19,15	26,63	33,48	30,32
Consumo neto en pantógrafo o entrada depósito gasóleo *(kWh/km)*	15,43	16,26	17,00	26,63	33,48	30,32
Emisiones de CO_2 *($kgCO_2$/km)*	4,44	4,68	4,89	6,98	9,31	7,95

Fuente: Investigación FFE Memoria de artículos, publicaciones y conferencias 2009-2010

[9] Grupo de estudios e investigación de economía y explotación del transporte. Grupo de estudios e investigación de energía y emisiones en el transporte. © De esta 2ª edición, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2011 pág. 209 a 220.

Como puede verse en la tabla anterior en todos los casos es muy superior el consumo energético de los trenes impulsados por motores Diesel.

Adicionalmente, la cantidad de energía eléctrica (medida en la entrada de la subestación de tracción) devuelta a la red en una explotación de alta velocidad con una densidad de tráfico media puede ser de alrededor del 6,3% de la energía importada de la red, hecho diferencial adicional de mejora con respecto a la tracción Diesel.

Ventajas de freno regenerativo y la devolución a la red.- La generación de energía eléctrica por el frenado de los trenes y su devolución a la red eléctrica pública tiene las siguientes ventajas:

- No supone emisiones, ni consumo de energía procedente de fuentes no renovables.
- La cantidad de energía aportada a la red pública pueden ser conocida con un razonable grado de aproximación.
- El coste marginal de esta generación es nulo.

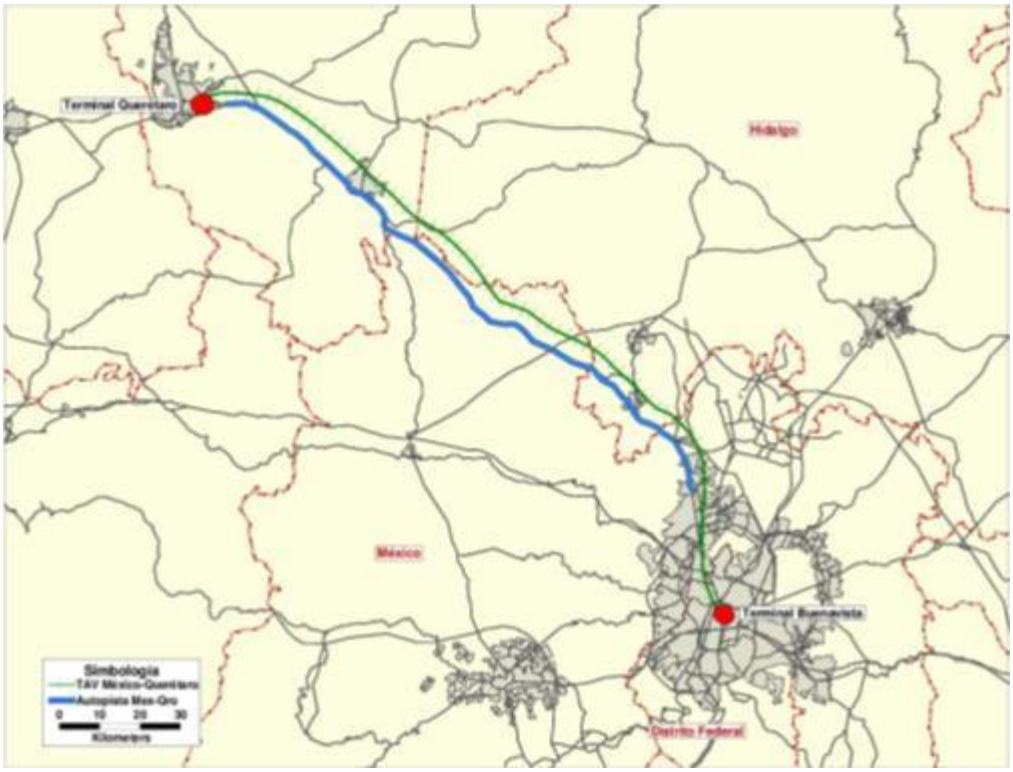
Por ello, adicionalmente a un menor consumo energético, los trenes con tracción eléctrica permiten el aumento de la cantidad de energía exportada a la red conducirá a una mejora de la eficiencia del sistema eléctrico y, a la vez, una reducción de las emisiones asociadas a la generación.

3.5.4 Alternativa de tren de alta velocidad (TAV)

En esta alternativa se propone la construcción de una línea ferroviaria de entre México y Querétaro con una longitud de 209.2 km. Se propone que entre se inicie en la terminal Buenavista (la cual se propone ser adecuada para este fin) y finalice en la ciudad de Querétaro, siendo una vía doble de uso compartido hasta Huehuetoca con el Tren Suburbano. El resto del trazado será una nueva vía doble donde en algunos tramos irá paralela a las vías actuales de carga aprovechando de esta manera el derecho de vía actual.

El principal beneficio de esta alternativa es que dado que se tendría una velocidad promedio de 200 km/h, sería posible realizar el viaje entre México y Querétaro tan sólo en una hora. La tarifa propuesta para esta alternativa es de 300 pesos.

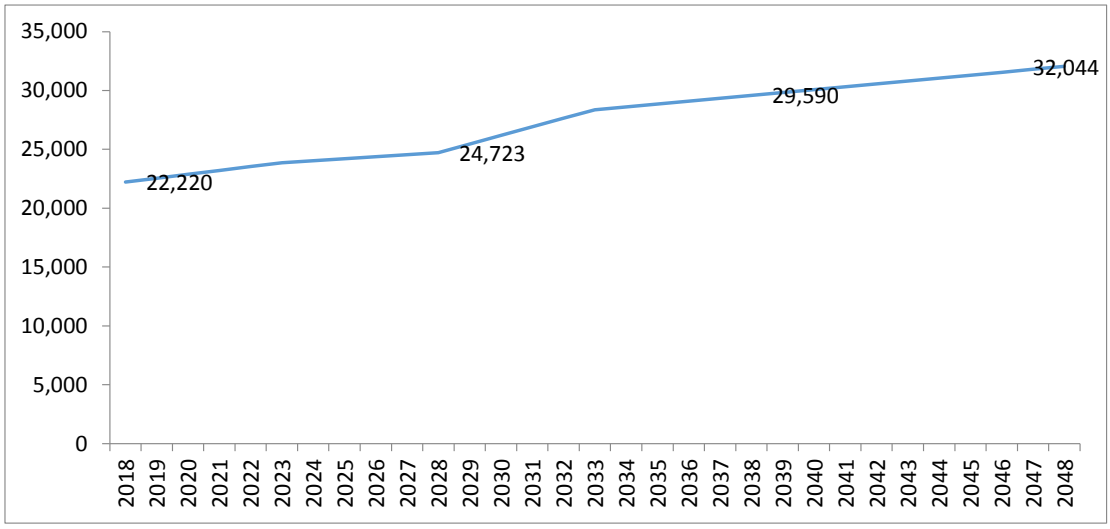
Figura 49B. Trazo de la alternativa Tren de Alta Velocidad



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Se estima que dadas las características de la alternativa y la tarifa se capte una demanda en 2018 de 22,220 pasajeros por día, de los cuales el 77% serian usuarios que actualmente utilizan el transporte privado y el 23% provendrían del transporte público. La demanda estimada para los próximos 30 años se presenta en la siguiente figura:

Figura 50. Demanda de la alternativa Tren de alta velocidad



Fuente: Estudio de demanda Modelistica

Con esta demanda se dejarían de utilizar una cantidad importante de vehículos, sobre todo de automóviles privados, lo cual tendría como beneficio una baja en la congestión de las vialidades.

El costo de esta alternativa es de $37,569 millones de pesos sin IVA.

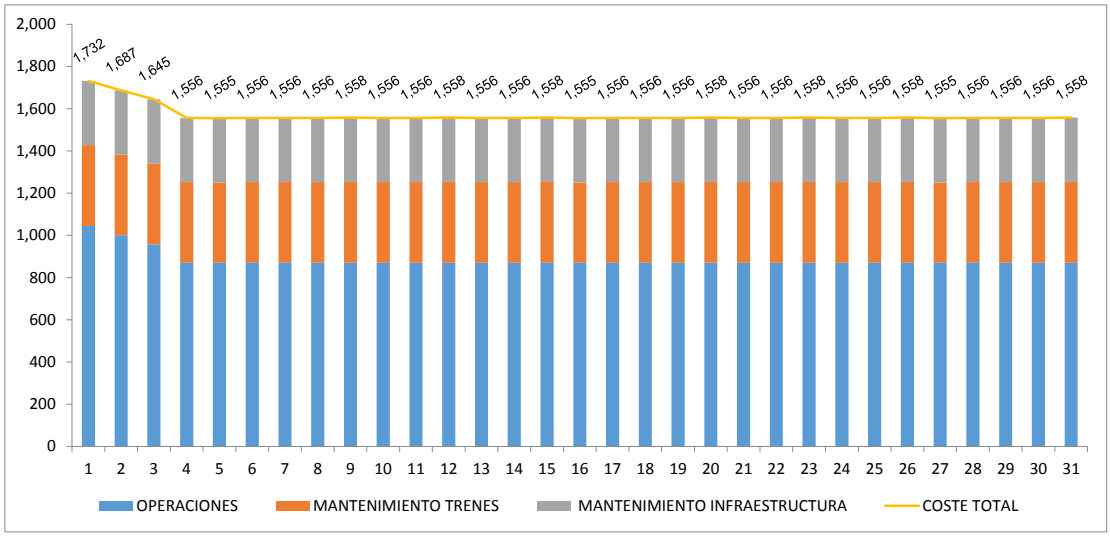
Tabla 36: Costo de la alternativa tren de alta velocidad

Actividad	Total Sin IVA	Total con IVA
Infraestructura	24,249	28,129
Vía	3,937	4,567
Electrificación	1,980	2,297
Seguridad y Telecomunicaciones	3,031	3,515
Material Móvil	4,019	4,662
Derecho de vía	353	409
Inversión total	**37,569**	**43,580**

Fuente: PROINTEC

Los costos de operación de la alternativa

Figura 51. Costos de operación y mantenimiento alternativa TAV



Fuente: PROINTEC

3.5.5 Alternativa de tren regional México – Querétaro (TR)

Esta alternativa de proyecto consiste en un Tren regional (TR) con velocidad máxima de 160 km/h con un recorrido idéntico al planteado para el Tren de Alta Velocidad, sin embargo, en esta alternativa se plantea la construcción de dos estaciones intermedias. Las estaciones a lo largo de la línea férrea son: Buenavista, Tepeji (Salida a Tula de Allende), San Juan del Río y Querétaro

Las rutas consideradas para el estudio parten desde la estación de Buenavista en el Distrito Federal y terminan en la Ciudad de Querétaro y viceversa.

El costo por la utilización del servicio se codificó por kilómetro

Tabla 37: Tarifas del tren regional

Eliminado: Tabla . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

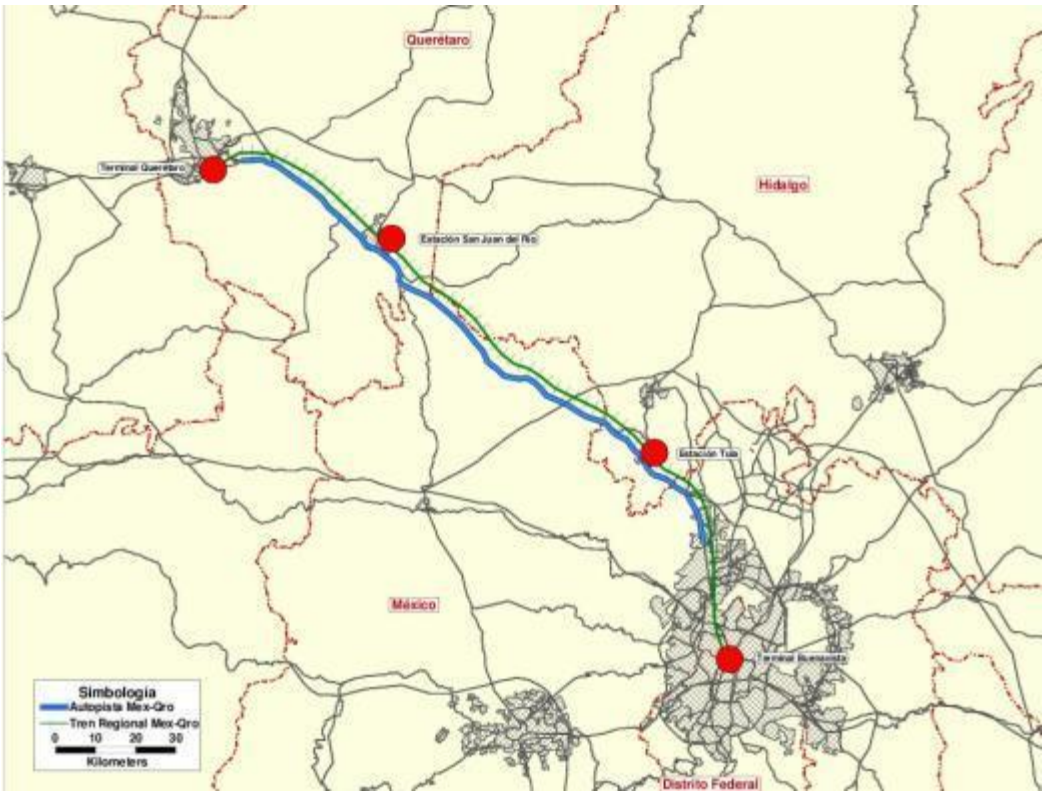
Fuente: Elaboración Modelistica en base a las hipótesis de modelación

En este escenario se incluye la línea del Suburbano, por considerarla de importancia en la disputa de la demanda entre los sistemas ferroviarios. El Suburbano transita sobre la misma línea férrea en un itinerario de Buenavista - Huehuetoca a una

Eliminado: Pá5rrafo de 2 renglones . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

En la gráfica que sigue se identifica el trazado del tren regional así como las estaciones de pasajeros.

Figura 52 Trazo y estaciones de la alternativa de tren regional



Fuente: Elaboración Modelistica

Demanda del Tren Regional

Eliminado: Párrafo de 6 renglones . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

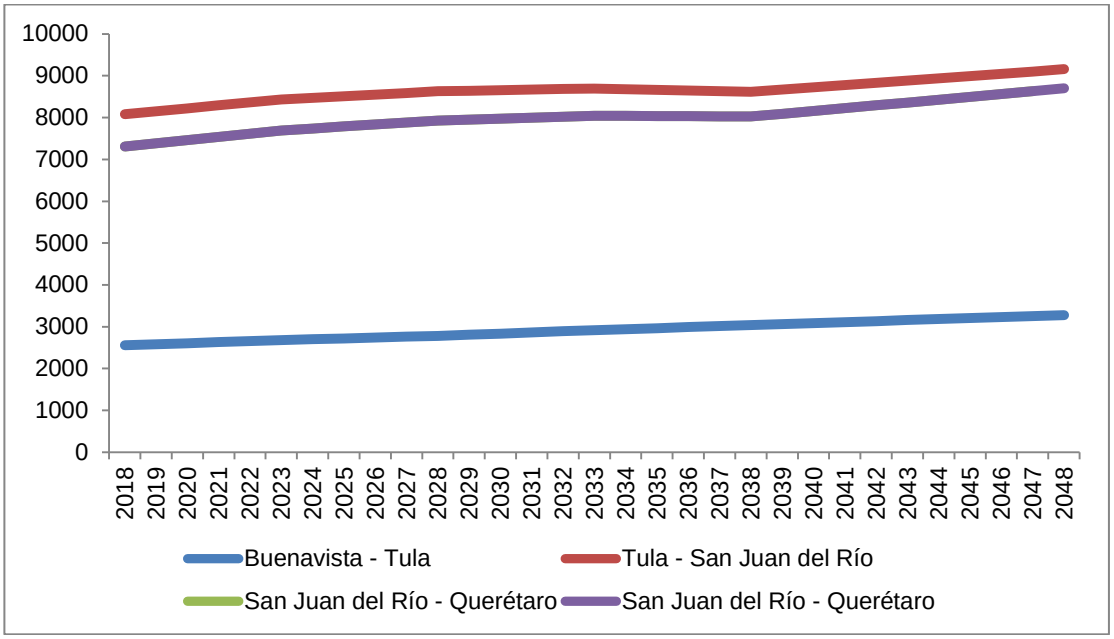
Tabla 38. Demanda diaria del TR México – Querétaro, pasajeros a bordo del tren en cada tramo

	Buenavista Tula (Demanda del TREN) (Diaria)			Tula San Juan del Rio (Demanda del TREN (Diaria)			San Juan del Rio Querétaro (Demanda del TREN (Diaria)		
Año	Pasajeros Privados	Pasajeros Publicos	Buenavista - Tula	Pasajeros Privados	Pasajeros Publicos	Tula - San Juan del Río	Pasajeros Privados	Pasajeros Públicos	San Juan del Río - Querétaro
2018	2520	36	2556	2418	5664	8082	993	6317	7310
2019	2545	36	2581	2444	5708	8152	999	6387	7386
2020	2570	36	2606	2469	5753	8222	1005	6457	7463
2021	2596	36	2632	2495	5797	8292	1012	6528	7539
2022	2621	36	2657	2520	5842	8362	1018	6598	7616
2023	2646	36	2682	2546	5886	8432	1024	6668	7692
2024	2666	36	2702	2567	5905	8471	1028	6712	7740
2025	2686	36	2722	2587	5923	8510	1032	6755	7787
2026	2705	36	2741	2608	5942	8550	1036	6799	7835
2027	2725	36	2761	2628	5960	8589	1040	6842	7882
2028	2745	36	2781	2649	5979	8628	1044	6886	7930
2029	2772	36	2808	2677	5964	8641	1051	6902	7953
2030	2800	36	2836	2705	5950	8655	1057	6918	7976
2031	2827	36	2863	2733	5935	8668	1064	6935	7998
2032	2855	36	2891	2761	5921	8682	1070	6951	8021
2033	2882	36	2918	2789	5906	8695	1077	6967	8044
2034	2906	36	2942	2814	5866	8680	1082	6958	8040
2035	2930	36	2966	2839	5826	8665	1087	6949	8037
2036	2954	36	2990	2865	5785	8650	1093	6941	8033
2037	2978	36	3014	2890	5745	8635	1098	6932	8030
2038	3002	36	3038	2915	5705	8620	1103	6923	8026
2039	3026	36	3062	2940	5733	8673	1108	6984	8092
2040	3050	36	3086	2965	5761	8726	1113	7046	8159
2041	3075	36	3111	2990	5789	8779	1118	7107	8225
2042	3099	36	3135	3015	5817	8832	1123	7169	8292
2043	3123	36	3159	3040	5845	8885	1128	7230	8358
2044	3147	36	3183	3065	5874	8939	1133	7294	8427
2045	3171	36	3207	3090	5904	8993	1137	7359	8496
2046	3194	36	3230	3114	5933	9048	1142	7423	8565
2047	3218	36	3254	3139	5963	9102	1146	7488	8634
2048	3242	36	3278	3164	5992	9156	1151	7552	8703

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo de transporte TRANUS

Como se puede observar en la tabla anterior las demandas, de los tramos entre Tula y San Juan del Rio, San Juan del Río Querétaro son bastante aproximadas en el total. En cambio la demanda del tramo Buenavista Tula es diferente, siendo muy baja la demanda proveniente del transporte público. Esta diferencia se explica debido a la demanda captada por el Servicio del Suburbano que capta la mayor parte de la demanda del transporte público en el tramo.

Figura 53. Demanda a bordo del tren por tramo



Fuente: Elaboración propia con datos del modelo de transporte TRANUS

En la figura que sigue se puede apreciar la composición de la demanda del tren para el escenario 2018 cuando se pone en marcha el proyecto del tren regional.

Figura 54. Demanda tren regional por tramos, distribución de viajes

[redacted]

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

Eliminado: Párrafo de 6 renglones . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Figura 55. Representación gráfica del perfil de demanda

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

Eliminado: Párrafo de 5 renglones . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Con respecto a los abordajes, en la tabla que sigue se indica el comportamiento del ingreso total de usuarios a la línea de tren regional en toda la extensión de su recorrido desde Buenavista hasta Querétaro.

[redacted]

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

[redacted]

Eliminado: Párrafo de 5 renglones . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Figura 58. Abordajes de pasajeros del TR México – Querétaro

[redacted]

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Se observa por lo tanto, como un tren con las características anteriores es atractivo para los usuarios de transporte público.

Costos del Tren Regional

Tabla 39. Costos de inversión de la alternativa tren regional

[redacted]

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Fuente: estimación PROINTEC

Los costos de operación y mantenimiento estimados para esta alternativa durante el horizonte de evaluación son los siguientes:

Figura 59. Costos de operación y mantenimiento alternativa tren regional

[redacted]

Eliminado: Figura . Fundamento legal: Artículo 14 fracción VI de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la información Pública Gubernamental. Motivación: Esta información forma parte del proceso deliberativo hasta en tanto no se tome la decisión de llevar a cabo el proyecto.

Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

3.5.6 Evaluación de alternativas ferroviarias

Con base en los costos estimados para cada alternativa, así como en su respectiva demanda, se estimaron indicadores de rentabilidad socioeconómica.

Los supuestos bajo los cuales se estimaron los indicadores de rentabilidad son los siguientes:

- Horizonte de evaluación con 4 años de construcción y 31 años de operación.
- Tasa social de descuento del 10%.

Costos

En la evaluación se consideraron los costos de inversión inicial, operación ferroviaria, mantenimiento de trenes y mantenimiento de la infraestructura.

Beneficios

Para ambas alternativas analizadas se estimaron los siguientes beneficios[10]:

- Ahorro en el tiempo de viaje, tanto de la población que pasa a ser usuaria de la alternativa, ya sea tren regional o de alta velocidad, como de la población que permanece circulando por carretera entre México y Querétaro, y que se beneficia por la descongestión en las vialidades.
- Ahorros en los costos de operación vehicular, por efecto de los vehículos que salen de circulación, así como para los que permanecen circulando por la red vial analizada, quienes se benefician como resultado de la mejora de las condiciones de operación.
- Ahorros por inversiones futuras en infraestructura ferroviaria, en el tramo Buenavista – Huehuetoca.
- Ahorros por la liberación de recursos, de los autobuses que dejarán de utilizarse a lo largo del horizonte de evaluación.
- Valor de rescate de la infraestructura
- Ahorros por emisiones contaminantes

Flujos de costos y beneficios

En la siguiente tabla se presenta la suma de los flujos de los costos y beneficios a valores constantes para cada una de las alternativas analizadas.

[10] La metodología para la estimación de los beneficios se explica en el capitulo 5

Tabla 40. Suma de flujos durante el horizonte de evaluación (2018 -2048)

Concepto		Tren de alta velocidad	Tren regional
Costos	Inversión	37,569	35,650
	Costos de Operaciones ferroviarias	27,370	13,775
	Costos de Mantenimiento de infraestructura	11,834	5,294
	Costos de Mantenimiento de trenes	9,443	9,443
	Total Costos	**86,215**	**64,161**
Beneficios por movilidad ferroviaria	TV pas tren	26,992	8,339
	COV Pas tren	130,448	29,464
	Total Movilidad tren	157,440	37,803
Beneficios por movilidad carretera	TV autos y buses	22,641.2	4,941.4
	COV autos y buses	47,264	8,778
	Beneficio a la carga	43,597	20,170
	Total Movilidad carretera	113,503	33,889
Ahorro por inversiones Huehuetoca		2,387	2,387
Liberación de recursos (autobuses)		2,313	3,492
Ahorro en emisiones		1,229	264
Valor de rescate		37,569	35,650
	Total de beneficios	**314,440**	**113,484**

Fuente: elaboración propia

Se aprecia que si bien la alternativa del tren regional suma una menor cantidad de costos durante el horizonte de evaluación (28%), los beneficios que genera el tren de alta velocidad son superiores a los del tren regional.

Al estimar los indicadores de rentabilidad, el resultado es el siguiente:

Tabla 41. Comparación de indicadores de las alternativas

Indicadores		Alternativa tren de alta velocidad	Alternativa tren regional
VPN	Valor presente neto	16,371.60	-16,732.94
TIR	Tasa interna de retorno	14.56%	4.41%
TRI	Tasa de rentabilidad inmediata	10.87%	2.85%
B/C	Relación beneficio/costo	1.39	0.53

Fuente: elaboración propia

Como resultado del análisis realizado y de los indicadores obtenidos se concluye que la alternativa de tren de alta velocidad es la mejor alternativa de solución.

4. Situación con el PPI

4.1 Descripción general

Se propone un proyecto de infraestructura para mejorar la conexión entre Querétaro y México, consistente en la construcción de un tren de altas prestaciones que brinde un servicio de pasajeros moderno, eficiente y rápido. El objetivo del proyecto Tren de alta velocidad México-Querétaro, es resolver la problemática de movilidad en la región centro del país, específicamente entre las ciudades de México y Querétaro, para lo que se propone implantar un nuevo modo de transporte de pasajeros altas prestaciones la Ciudad de México con la ciudad de Querétaro. El proyecto beneficiará a los habitantes de ambas ciudades al disminuir el tiempo de viaje al tiempo de los usuarios, evitar costos de operación vehicular por los vehículos que dejarán de utilizarse y mejorar la circulación en general al retirarse volumen de las vialidades.

De tal forma, el Proyecto contribuirá al logro de los objetivos siguientes:

- Desarrollar un servicio ferroviario de pasajeros competitivo, seguro, cómodo y confiable en la zona Central de México que contribuya a la creación de una plataforma para el desarrollo económico sustentable.
- Crear un eje estructurador del transporte de pasajeros que dé servicio a las principales zonas industriales del país, disminuya los costos de transporte, aumente la productividad, para incrementar la competitividad de las actividades de la región.
- Impulsar el servicio ferroviario de pasajeros, ante la creciente necesidad de buscar soluciones que contribuyan a contrarrestar el calentamiento global y la contaminación ambiental, toda vez que es un modo de transporte sustentable y amigable con el medio ambiente.
- Utilizar y modernizar la Infraestructura existente y construir nuevas vías que permitan crear un potente Sistema Ferroviario Mexicano de pasajeros.

La construcción del “Tren de alta velocidad México-Querétaro” será una vía doble de uso compartido hasta Huehuetoca con el Tren Suburbano. El resto del trazado será una nueva vía doble donde en algunos tramos irá paralela a las vías actuales de carga aprovechando de esta manera el derecho de vía actual. La velocidad promedio del trayecto estimada en 200 km/h, con una longitud de 210 km, dividido en 10 tramos con base en el mayor grado de aprovechamiento del derecho de vía de la línea Juárez-Morelos y con la selección de los mejores criterios de actuación para cada tramo. Cabe mencionar que la zona de desarrollo del proyecto se encuentra en su mayoría sobre superficie plana y lomerío, lo que favorece a este tipo de proyectos por el menor movimiento de tierras.

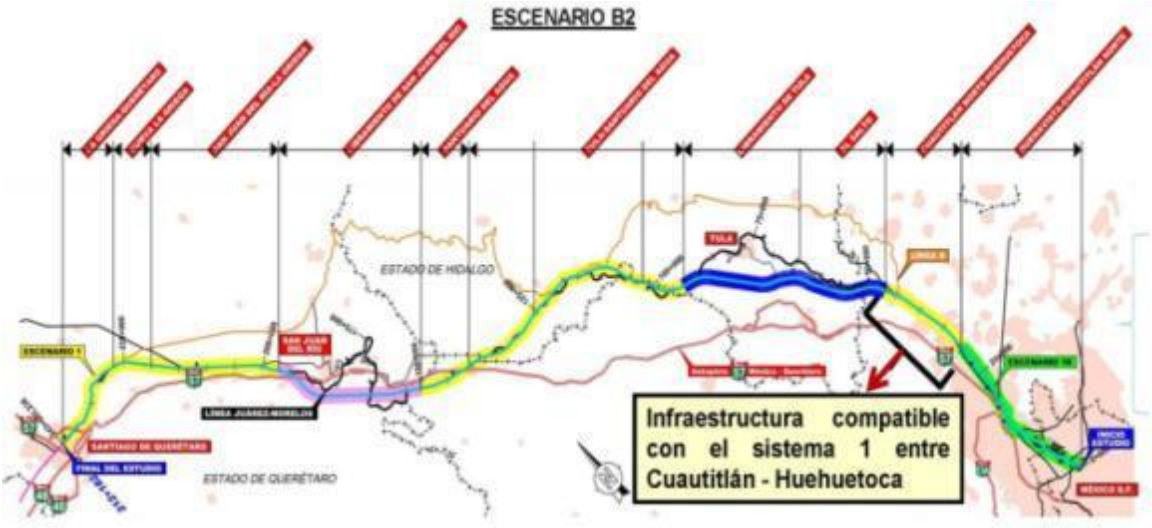
En este sentido, el proyecto se compone por los siguientes tramos y actuaciones; los cuales se describen a continuación.

Como resultado del análisis de la línea existente Juárez y Morelos y de las potencialidades del trazado objeto del Anteproyecto, las características de diseño deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Máximo aprovechamiento del derecho de vía de la línea existente de mercancías Juárez y Morelos.
- Independización (manteniéndolas adosadas), en aquellos tramos donde se aprovecha el derecho de vía existente, de las plataformas destinadas a la doble vía para tráfico de viajeros de altas prestaciones y a la doble vía para tráfico de mercancías.
- En la entrada y salida de México D.F. la dificultad de disponer de una nueva plataforma de vía doble para tráfico de viajeros de altas prestaciones sin perturbar la explotación actual ferroviaria, tanto de las vías de carga como de las vías de pasajeros unido a la existencia de numerosas estructuras correspondientes al cruce con viales importantes obliga a plantear la posibilidad de utilizar, provisionalmente y hasta que la capacidad de las vías lo permita, la plataforma del sistema 1.
- En la recta de entrada a Querétaro y antes de llegar a la curva denominada “la Griega”, la doble vía destinada a tráfico de viajeros de altas prestaciones ocupa la parte izquierda de la plataforma en el sentido de avance del kilometraje. Sin embargo, al llegar a la curva “La Griega” y para evitar la afección a edificaciones e infraestructuras existentes situadas en la margen izquierda es preciso cambiar la configuración de las vías, pasando la doble vía de pasajeros a ocupar la parte derecha de la plataforma mediante un salto de las vías que le dan soporte sobre las destinadas al tráfico de mercancías.
- En la entrada a la ciudad de Querétaro, al ser un tramo con un fuerte carácter periurbano al inicio y completamente urbano al final, los pasillos de entrada se reducen prácticamente al corredor de la vía actual si se quiere discurrir en superficie, en caso de plantearse la posibilidad de ejecutar una solución soterrada el pasillo ya no sería este, pudiéndose alejarse del mismo en función de la mejora de las prestaciones ferroviarias. Al igual que ocurre con el corredor de entrada a México, la dificultad estriba en implantar una plataforma nueva vía doble destinada al tráfico de viajeros de altas prestaciones en una zona predominantemente urbana y con la existencia de tráfico ferroviario de mercancías.
- Implantación de la estación provisional de Querétaro antes de entrar en el área urbana de Querétaro, en el cruce con el Bvd. Bernardo Quintana. Una vez rebasado el Boulevard es necesario el soterramiento de las vías ya que no hay espacio en superficie para implantarlas sin afectar a numerosas edificaciones existentes. La situación de la estación provisional propuesta permitiría la puesta en servicio del México-Querétaro sin necesidad de impactar en la almendra central de la ciudad.

En la siguiente figura se muestra un plano con el trazo del proyecto:

Figura 60. Trazo del proyecto



Fuente: estudio técnico

4.2 Alineación estratégica

Este proyecto pretende contribuir a la consecución de los objetivos y estrategias establecidas en el Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018, en el Sector de Comunicaciones y Transportes, que establece que la reducción en el CGV de la sociedad en su conjunto, será un objetivo estratégico que se manejará como rector en esta política pública. Es así, ya que uno de los compromisos del C. Presidente Enrique Peña Nieto, es mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de este país, al comprometerse con el sistema de transporte ferroviario de pasajeros, como una forma de mejorar los tiempos de traslado, seguridad y confort de las personas que se transportan desde la Ciudad de Querétaro a la ZMCM y viceversa.

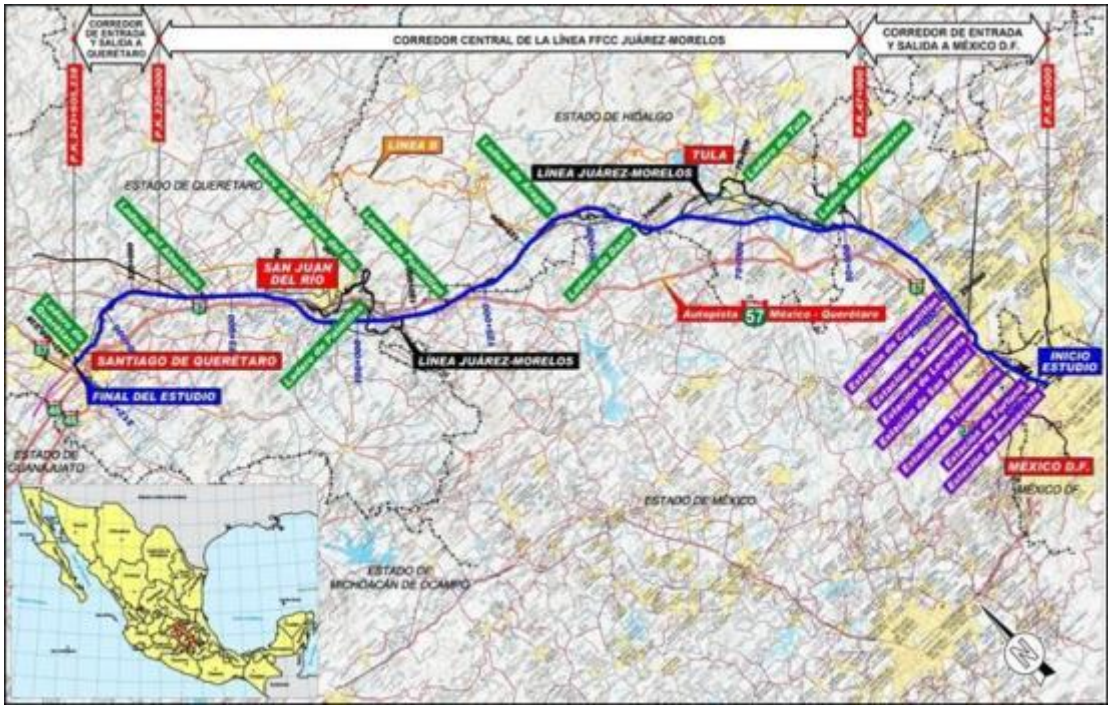
En este contexto se menciona, dentro del PND 2013-2018, el “Objetivo 4.9. Contar con una infraestructura de transporte que se refleje en menores costos para realizar la actividad económica a través de la estrategia 4.9.1. Modernizar, ampliar y conservar la infraestructura de los diferentes modos de transporte, así como mejorar su conectividad bajo criterios estratégicos y de eficiencia. Línea de acción I; construir nuevos tramos ferroviarios, libramientos, acortamientos y relocalización de vías férreas que permitan conectar nodos del Sistema Nacional de Plataformas Logísticas. Línea de acción II; vigilar los programas de conservación y modernización de vías férreas y puentes, para mantener en condiciones adecuadas de operación la infraestructura sobre la que circulan los trenes”[11].

[11] Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 pág. 140

4.3 Localización geográfica

El proyecto se localiza en la zona centro del país, comunica la ciudad de México y la ciudad de Querétaro. El trazo del proyecto corre por el Distrito Federal, el Estado de México, Hidalgo y Querétaro.

Figura 61. Localización del proyecto



Fuente: estudio técnico PROINTEC

Las coordenadas de ubicación del proyecto son las siguientes:

Tabla 42. Coordenadas del proyecto

Localización inicial		
	Coordenadas geodésicas	Coordenadas geográficas
Latitud	19° 26’ 53.99409”	19.44833169
Longitud	99° 09’ 06.13983”	-99.15170551
Localización final		
	Coordenadas geodésicas	Coordenadas geográficas
Latitud	20° 36’ 13.15928”	20.60365536
Longitud	100° 22’ 45.173000”	-100.3792147

Fuente: PROINTEC

4.4 Calendario de actividades

Las actividades para la construcción del proyecto están previstas para realizarse en 4 años, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 43.. Calendario de actividades

Actividad	2014	2015	2016	2017	2018
Infraestructura					
Vía					
Electrificación					
Seguridad y Telecomunicaciones					
Integración ambiental					
Material Móvil					
Derecho de vía					
Inicio de operaciones					

Fuente: estudio técnico PROINTEC

4.5 Monto total de inversión

El monto de inversión del proyecto asciende $37,569 millones de pesos sin IVA, y de 43,579 millones de pesos con IVA. Los principales rubros de inversión se presentan a continuación.

Tabla 44. Monto total de inversión

Actividad	Total Sin IVA (MDP)	Total con IVA (MDP)
Infraestructura	23,516.5	27,279.1
Vía	3,936.9	4,566.8
Electrificación	1,980.4	2,297.2
Seguridad y Telecomunicaciones	3,030.6	3,515.5
Integración ambiental	732.3	849.5
Material Móvil	4,019.2	4,662.3
Derecho de vía	353.0	409.5
Total	**37,568.77**	**43,579.77**

Fuente: estudio técnico PROINTEC Nota: la integración ambiental contempla los estudios y mitigaciones que se requieran para el proyecto.

4.6 Fuentes de financiamiento

El proyecto será financiado 100% con recursos federales tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 45. Fuentes de financiamiento

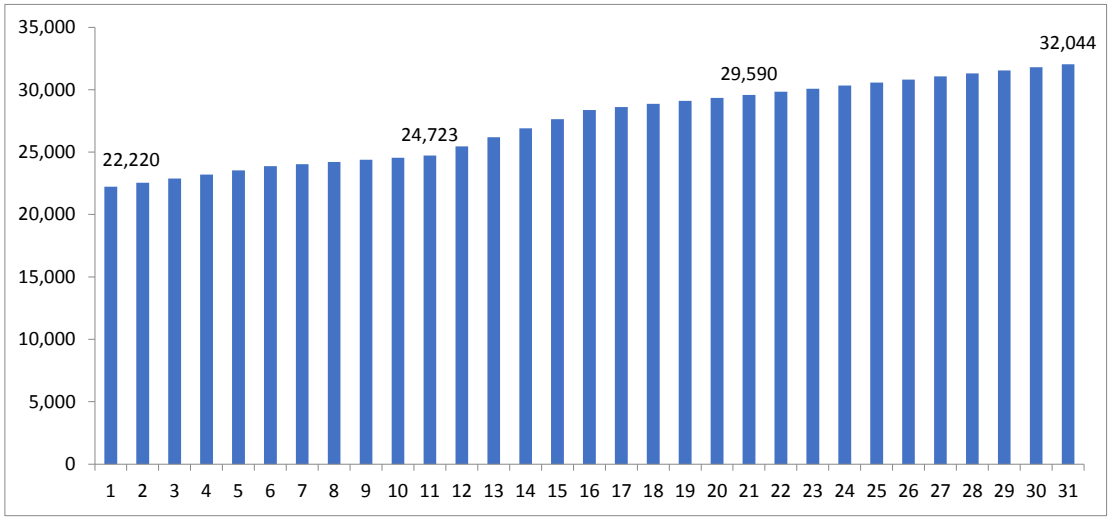
Componentes	Procedencia	Monto s/iva	Monto c/iva	Porcentaje
Infraestructura	Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF multianual 2014-2018)	24,248.76	28,128.56	65%
Vía		3,936.88	4,566.78	10%
Electrificación		1,980.35	2,297.21	5%
Seguridad y Comunicaci		3,030.58	3,515.47	8%
Material Movil		4,019.20	4,662.27	11%
Derecho de vía		353.00	409.48	1%
Total		**37,568.77**	**43,579.77**	**100%**

Fuente: SCT

4.7 Capacidad instalada

La capacidad instalada del tren esta diseñada para satisfacer la demanda de usuarios a lo largo de la vida útil del proyecto.

Figura 62. Capacidad instalada



Fuente: estudio de demanda Modelistica

4.8 Metas anuales y totales de producción

La construcción del proyecto está programada para finalizarse en el 2018. En la siguiente tabla se presenta el avance planeado por año para cada uno de los componentes del proyecto:

Tabla 46. Metas anuales y totales de producción

Conceptos	2014	2015	2016	2017	SUMA
Infraestructura	10%	16%	34%	40%	100%
Vía	-	-	20%	80%	100%
Electrificación	-	-	15%	85%	100%
Seguridad y Telecomunicacio	-	-	15%	85%	100%
Material Móvil	10%	20%	30%	40%	100%
Obtención de los Derechos de Vía	60%	40%	-	-	100%

Fuente: estudio técnico PROINTEC

4.9 Vida útil

El horizonte de evaluación del proyecto es de 35 años, con los 4 primeros años de construcción y un periodo de operación y vida útil de 31 años. Sin embargo, la vida útil de la infraestructura ferroviaria es mayor a este periodo de tiempo, basta recordar que aun hoy en día se utilizan infraestructuras construidas hace más de 100 años.

4.10 Descripción de los aspectos más relevantes

4.10.1 Estudios técnicos

La SCT cuenta con los planos arquitectónicos, diseños de ingeniería básica en cuanto a criterios ferroviarios, y de aprovechamiento del derecho de la vía ferroviaria Juárez-Morelos y se encuentra en proceso de planeación el proyecto ejecutivo. En este sentido la SCT ha manifestado que técnicamente el proyecto es factible, al igual que las estructuras de los diez tramos que incluyen viaductos y túneles.

4.10.2 Estudios legales

En cuanto a la factibilidad legal, la SCT cuenta con las facultades legales, otorgadas por la Federación en su Ley Orgánica, para realizar este tipo de actividades y poder gestionar, licitar y concesionar a terceros estas obras de infraestructura. Asimismo de acuerdo a las leyes reglamentarias existe la factibilidad legal de acuerdo a lo siguiente:

“Con fundamento en los artículos 25 y 28 constitucionales, y en las leyes Reglamentarias del Servicio Ferroviario y de Asociaciones Público Privadas, se establece que el desarrollo de los proyectos ferroviarios son viables jurídicamente tanto mediante el esquema tradicional como el esquema de APP pero sujetos al

cumplimiento de las disposiciones legales aplicables para cada esquema, principalmente, a la demostración de la viabilidad técnica y económica. Asimismo, hasta ahora la viabilidad económica ha dependido del apoyo gubernamental (aportaciones a fondo perdido, fondo de contingencia y créditos en condiciones preferentes)".

Adicionalmente, "la legislación aplicable al desarrollo y construcción de proyectos de ferrocarril de pasajeros se rigen por la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario (en adelante "LRSF") publicada el 12 de mayo de 1995. Esta legislación norma los proyectos que se denominan "tradicionales" para distinguirlos de una nueva modalidad de proyectos de infraestructura denominados como "asociaciones público privadas" (en adelante "APP"), que a su vez están regidos por la Ley de Asociaciones Público Privadas, publicada el 16 de enero de 2012 (en adelante "LAPP").

En el caso de los proyectos ferroviarios de pasajeros, éstos se desarrollan conforme a ambas leyes, por mandato de la misma LAPP. Ésta última dispone que los proyectos APP se desarrollarán conforme a las leyes específicas de la materia, que en este caso, la legislación en el ámbito ferroviario es la LRSF, excepto en lo que se refiere al plazo de las concesiones y al procedimiento de concurso; en estos dos supuestos, aplica la LAPP, según lo establece claramente su artículo 87:

Artículo 87. Cuando en un proyecto de asociación público-privada el uso de bienes públicos o la prestación de los servicios por parte del o de los desarrolladores requieran de permisos, concesiones u otras autorizaciones, éstos se otorgarán conforme a las disposiciones que los regulen, con las salvedades siguientes:

I. Su otorgamiento se realizará mediante el procedimiento de concurso previsto en la presente Ley; y

II. La vigencia de cada una de las autorizaciones para la prestación de los servicios se sujetará a lo siguiente:

a) Cuando el plazo inicial máximo que establezca la ley que regula la autorización sea menor o igual al plazo de cuarenta años, aplicará éste último;

b) Cuando la ley que rige la autorización establezca un plazo inicial máximo mayor al de cuarenta años, aplicará el plazo mayor, y

c) Independientemente del plazo inicial por el que se otorgue la autorización, su duración, con las prórrogas que en su caso se otorguen conforme a la ley de la materia, no podrá exceder el plazo máximo señalado por dicha ley.

De lo anterior se concluye que la LRSF sí aplica a los proyectos ferroviarios en lo que corresponde proyectos que requieran permisos o concesiones, como lo es el ferrocarril de pasajeros, puesto que para su operación, necesita disponer de vías férreas, que conforme al artículo 28 Constitucional, son bienes de dominio público". En conclusión, para el desarrollo de un proyecto de ferrocarril de pasajeros aplican ambas leyes.

4.10.3 Estudios ambientales

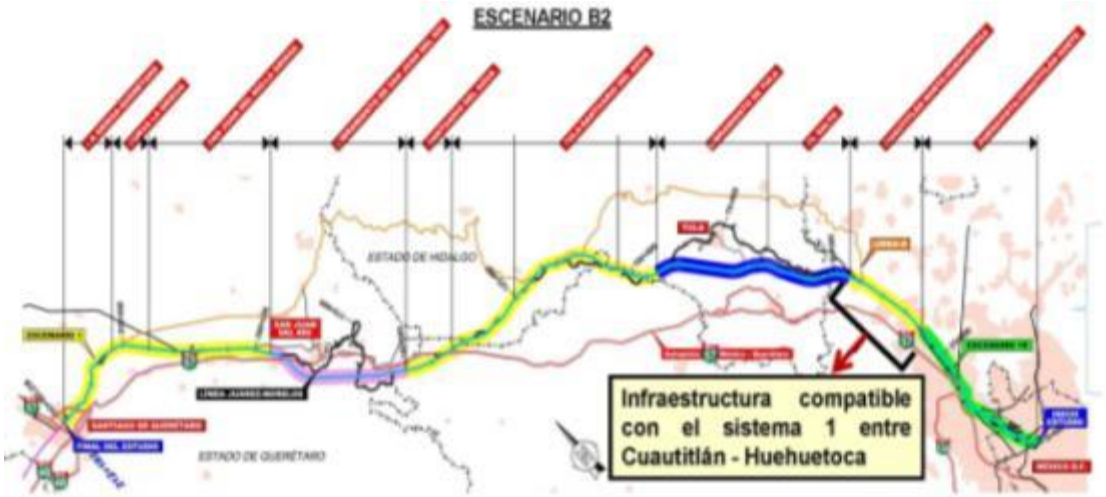
La SCT presentó el dictamen de la Manifestación de Impacto Ambiental, el cual se encuentra en trámite de autorización, observando que el impacto no afecta la flora o

fauna de la zona, lo anterior de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En este sentido se espera la resolución positiva de la instancia correspondiente. La Manifestación de Impacto Ambiental sólo realiza recomendaciones para llevar a cabo actividades de mitigación de la fauna propia de la región.

4.11 Análisis de la Oferta

Con la implementación del proyecto se dotará al centro del país de una nueva infraestructura ferroviaria de altas prestaciones. El tren entraría en operación en el año 2018 y tendría una velocidad promedio de 200 kilómetros por hora, lo que implicaría que el tiempo de recorrido entre los orígenes y destinos mencionados, sería de 1 hora.

Figura 63. Trazo del proyecto



Fuente: estudio técnico PROINTEC

A continuación se presentan los componentes del proyecto.

4.11.1 Trazado

El tramo objeto del anteproyecto parte del norte de la Ciudad de México y se dirige al Noroeste para conectar con Santiago de Querétaro, cruzando los estados de México, Hidalgo y Querétaro, recorriendo 210 Km a partir de la estación de ferrocarriles “Buenavista” en el Distrito Federal hasta el municipio de Santiago de Querétaro. Se sitúa entre los puntos kilométricos 0+000 245+00 de la línea ferroviaria existente Juárez y Morelos destinada en la actualidad al tráfico de mercancías.

En el tramo se puede diferenciar entre tramos urbanos e interurbanos, los cuales presentan realidades muy diferentes:

Tramos urbanos: Las entradas/salidas de las ciudades de México D.F. y Querétaro se han estudiado y considerado como casos particulares de la nueva infraestructura en los que su inserción en un entorno urbano consolidado, su relativa proximidad a las estaciones de fin de línea, así como el hecho de aprovechar el pasillo de entrada de otra línea férrea de características totalmente distintas, ya sea de viajeros o de mercancías, hacen que no pueda desarrollar las velocidades intrínsecas de este tipo de líneas y por ende su geometría resulta más restrictiva.

Tramo interurbano: A efecto de este estudio se considera tramo interurbano el resto del recorrido, tanto si el nuevo trazado comparte corredor con las líneas Juárez y Morelos como si forma parte de un libramiento que se separa de él, estando caracterizado por mantener una geometría apta para el desarrollo de velocidades de hasta 300 km/h.

4.11.2 Flota

Para el presente estudio se consideró una configuración básica de tren con una longitud de 200 metros y capacidad media de 400 pasajeros. Una configuración con unidades tren de estas características permite una mayor adaptabilidad a la demanda mediante el incremento de frecuencias. Más aún cuando, como en este caso no es posible la configuración de doble composición, debido a la limitación en la longitud de los andenes de la estación cabecera de Buenavista.

A lo largo de este estudio de dimensionamiento, la determinación de la frecuencia se basa únicamente en el Volumen de viajeros a transportar en el periodo considerado y a capacidad de material móvil constante.

En ese mismo sentido, al objeto de dimensionar la infraestructura se ha considerado un escenario mínimo con frecuencia de 60 minutos, 1 tren cada hora, en la franja horaria de servicio, si bien en la fase de definición de servicios en explotación se deberán aplicar los criterios finales definidos por la política comercial.

Ahora bien, en función de la demanda considerada, puede ser preciso la modificación de la infraestructura, trazado de vías y estaciones, para permitir la circulación de trenes en doble composición, 400 metros de longitud, y una capacidad de 800 pasajeros, en cuyo caso se deben actualizar las inversiones asociadas.

4.11.3 Estaciones de cabecera

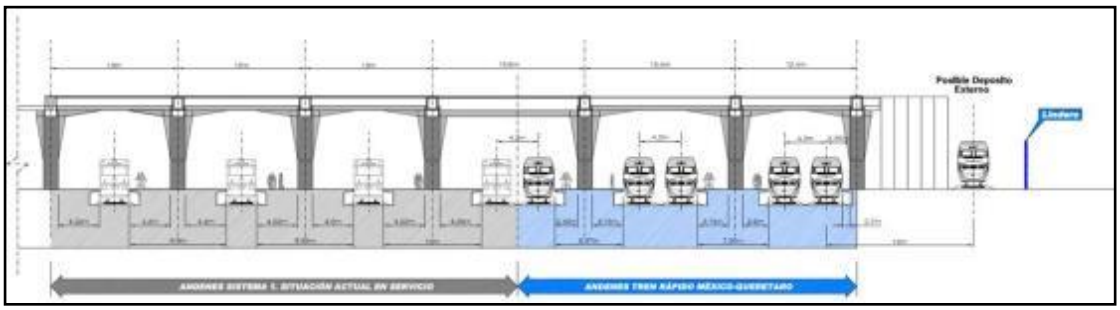
Para el proyecto se han diseñado dos terminales de cabecera, es decir estaciones situadas en el extremo de una línea ferroviaria: Buenavista y Querétaro - Bernardo Quintana.

4.11.3.1 Estación Buenavista

En la Ciudad de México para la estación del TAV se contempla la utilización del edificio de estación de Buenavista como Terminal de la nueva línea México-Querétaro. Se prevé construir nuevas vías y andenes en la mitad este de la nave de andenes que actualmente se encuentra en desuso.

En la siguiente figura se muestra una sección tipo de la futura estación de Buenavista:

Figura 64. Estación Buenavista



Fuente: estudio técnico PROINTEC

4.11.3.2 Estación Querétaro – Bernardo Quintana

Como parte de la adecuación y remodelación de la línea de tren que une México con Querétaro, se establece la necesidad de una nueva terminal de pasajeros de acuerdo a las nuevas demandas de intercambio que se prevén surjan de pasajeros y de mercancías. La nueva estación de Querétaro se situará en la zona de Balcones del Acueducto

Figura 65. Ubicación de la estación Querétaro – Bernardo Quintana

Fuente: estudio técnico PROINTEC

El área de la estación estará dividida en tres zonas diferenciadas:

- Zona edificada de la estación, con un edificio de desarrollo longitudinal junto al Anden 1
- Zona de circulación, en un esquema claro bordeando la parcela y limitado por el edificio.
- Zonas de parada que comprenden tanto las zonas de aparcamiento de pasajero, aparcamiento de personal, Kiss & Ride, paradas de Bus y Taxis con su zona de espera.

El edificio de Estación

La estación está formada por un edificio con una estructura lineal y modular siguiendo el sentido de las vías y andenes, por su configuración tiene posibilidad de ser ampliado, según la necesidad de mayores servicios.

Se trata de un edificio formado por tres piezas. La pieza principal recoge el gran vestíbulo y los accesos, y sirve de articulación con el resto de los usos. De ella se accede a los andenes que se componen de:

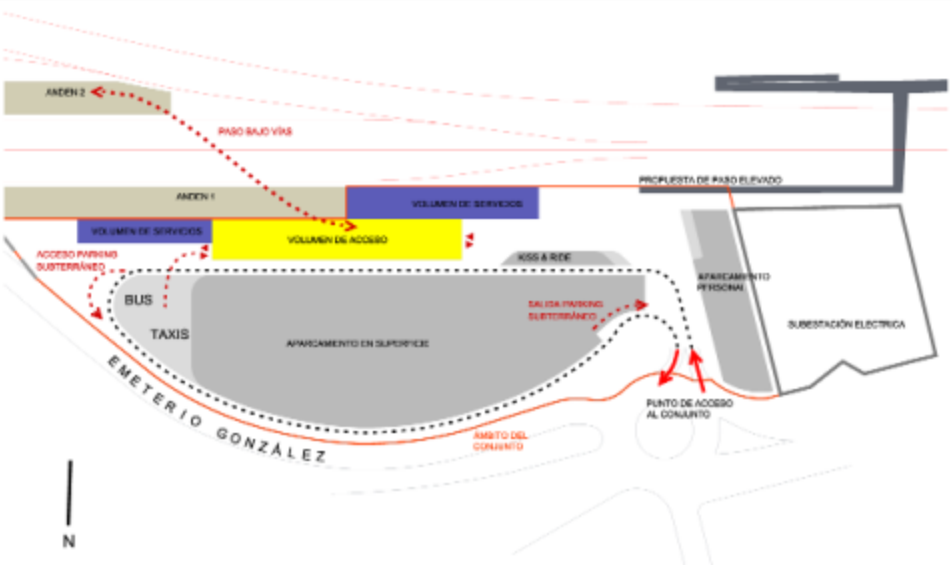
- Andén Norte o 1, cuyo acceso se produce directamente desde cabeza de andén,
- Y Andén Sur o 2, al que se accede a través de un paso subterráneo por su ubicación desplazada en relación a la estación y al anden1.

El vestíbulo cuenta con pequeños locales comerciales, los típicos despachos de Tickets y Taquillas, de él se accede hacia el este, a otra zona comercial, con zona de espera de larga duración y una de las áreas de servicios de la estación y hacia el Oeste a mas de servicios de la estación.

Existen dos accesos principales en función de la forma de acceso al recinto estación. Uno directo al vestíbulo principal y otro hacia la zona intercambio con los servicios públicos de movilidad de taxi y bus.

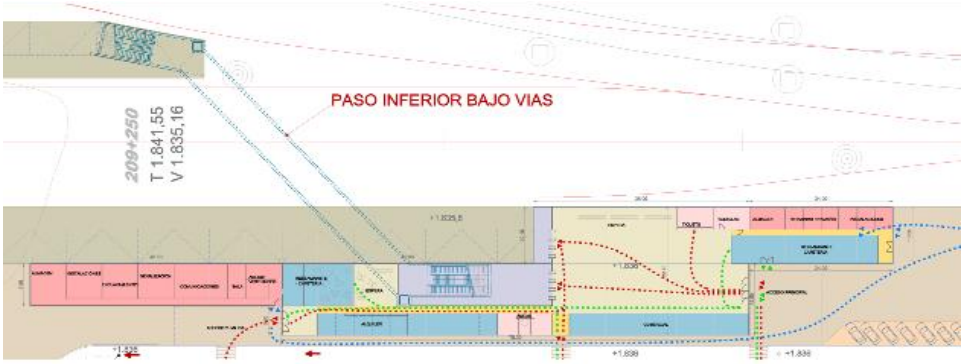
La planta de usos queda definida en la siguiente planta y cuadro de superficies aproximadas:

Figura 66. Ubicación de la estación Querétaro – Bernardo Quintana



Fuente: estudio técnico PROINTEC

Figura 67. Superficies aproximadas



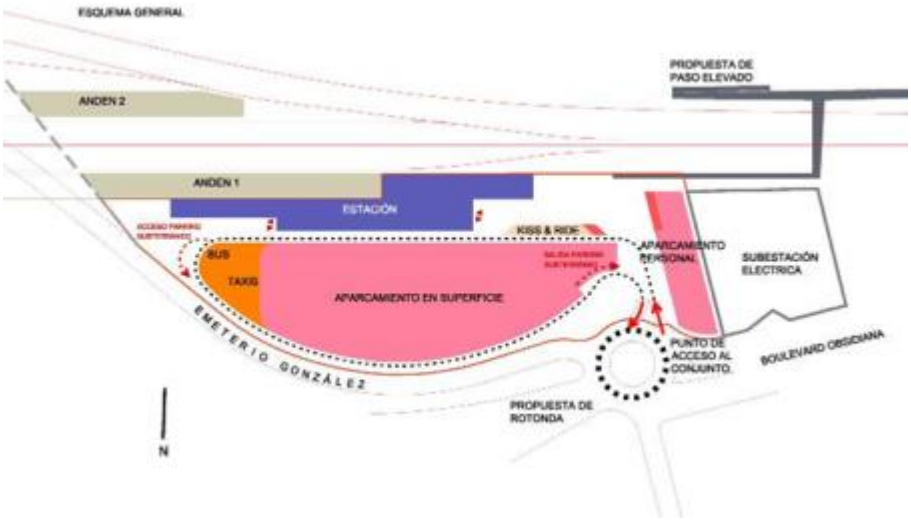
Cuadro general de Edificio. Estación aproximada de Superficies por usos, en m2	
Vestíbulo Principal	552
Vestíbulos Secundarios	86
Servicios Estación: Instalaciones, almacenes, vestuarios comunicaciones, señalización…	495
Comercial	446
Circulaciones	102
Acceso Anden 1	32
Acceso Anden 2 (en túnel bajo rasante)	490
Total	**2,203**

Fuente: estudio técnico PROINTEC

Urbanización y accesos

La urbanización exterior recoge los usos complementarios de la estación. Esta área se enmarca en el espacio entre el edificio de Estación, la calle Emeterio González y la Subestación Eléctrica. La implantación del conjunto queda esquematizada en la siguiente imagen.

Figura 68. Urbanización y accesos



Fuente: estudio técnico PROINTEC

El acceso se realiza desde el nudo del Boulevard Obsidiana y Emeterio González con una reconfiguración del tráfico.

Estacionamiento

El estacionamiento tendrá un área de 5162m2 donde se estiman unas 185 plazas para turismos, 8 de ellas para personas de movilidad reducida, y 20 motos. Por otro lado se ha habilitado una zona de estacionamiento el personal de servicio con 27 plazas, y una superficie de 826m2

El Parking subterráneo con una superficie construida de 7125m2 tendrá una capacidad para unos 243 vehículos con las instalaciones necesarias para su buen funcionamiento. Si fuera necesario se podría ampliar en otra planta para aumentar la capacidad.

Zona de Taxis y Bus

En el borde Oeste de la zona de estacionamiento se crea una zona de espera cubierta de taxis con capacidad para 15 vehículos y de Bus con capacidad para tres vehículos.

Kiss & ride

En cuanto a la parada momentánea se reservan 10 plazas al lado del acceso principal de la estación.

Carga y descarga y Emergencias.

Se reserva espacio de carga y descarga junto a la zona reservada para aparcamiento del personal de servicio.

Y la zona de emergencias se ubica al lado de la zona de paradas momentáneas que está más directamente relacionada con la entrada a la estación.

Bicis

Se ha reservado una zona específica para aparcamiento de bicicletas para 40, cerca del acceso principal y relacionado con la posible pasarela sobre vías que se ha planteado como mejora a la accesibilidad de la estación

Andenes y vías

Los andenes de una longitud de 210m y ancho de 10, están dotados de marquesina de espera de unos 100m ya que parte de ellos quedaran cubiertos bajo el inicio del falso túnel previsto para salvar los desniveles del terreno. Estarán dotados de las instalaciones y equipamientos necesarios para su perfecto funcionamiento y directamente relacionados con la estación.

4.11.4 Talleres

Teniendo en cuenta los condicionantes de partida, en particular los de tipo territorial, que limitan la disponibilidad de grandes superficies en las inmediaciones de las cabeceras, se opta por una segregación de servicios y funciones que se distribuyen en tres zonas: una en cada cabecera y un taller central con el grueso de las instalaciones.

Taller nº1: Cabecera de Buenavista. Instalación de inspección básica diaria y depósito. Se localiza en el PK aproximado 4+000 de la línea Juárez – Morelos, próxima a la estación de Fortuna.

En este caso se propone una nave de inspección diaria y de soplado, con capacidad para alojar una vía, y anexa, un área de estacionamiento con capacidad para tres composiciones. De manera adicional se localiza un área administrativa, donde se disponen servicios para conductores y personal de mantenimiento. La configuración se muestra en la figura 4.21.3 y 4.21.4.

Figura 69. Esquemas de las instalaciones de Buenavista

		VÍA ORIGEN	PK ORIGEN	LONGITUD TOTAL	LONGITUD DENTRO DE EDIFICIO
Playa de vías	Repartidor	Vía Drcha LAV (Sentido Querétaro)	3+650	339,03	---
	Vía 1 - Estacionamiento	Repartidor	0+175	391,52	220
	Vía 2- Estacionamiento	Repartidor	0+200	367,38	220
	Vía 3- Estacionamiento	Repartidor	0+225	342,86	220
	Vía 4- Soplado	Repartidor	0+265	303,79	220

Fuente: estudio técnico PROINTEC

Taller nº3: Cabecera de Querétaro. Instalación de inspección básica diaria y depósito. Se localiza en el punto kilométrico aproximado 209+000 de la línea Juárez – Morelos, junto a Bvd. Bernardo Quintana.

En este caso se propone una nave de inspección diaria y de soplado, con capacidad para alojar una vía, y anexa, un área de estacionamiento con capacidad para una única composición.

En esta zona se aprovechan las vías de maniobras y las dispuestas en la estación para solucionar el aparcamiento de unidades. De manera adicional se localiza un área administrativa, donde se disponen servicios para conductores y personal de mantenimiento. La configuración se muestra en la figura 21.4.3.

Figura 70. Esquema de la instalación de Querétaro

Fuente: estudio técnico PROINTEC

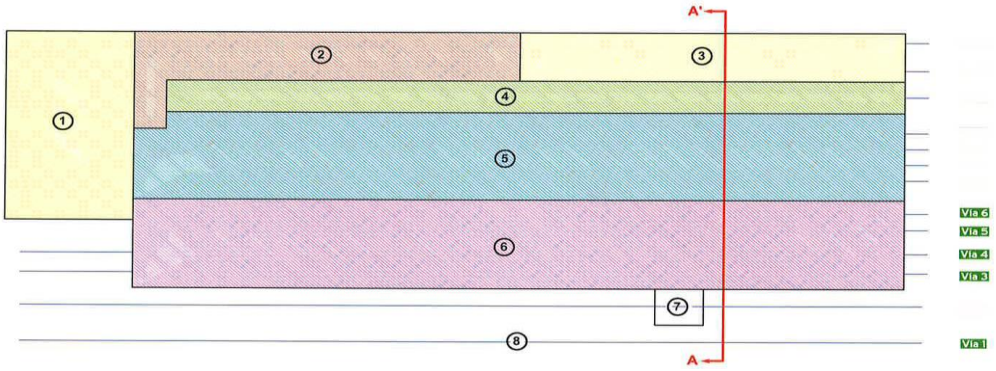
Taller nº2: Taller central. Instalación principal de mantenimiento de material móvil y de la infraestructura de la línea, localizada en el punto kilométrico aproximado 31+500 de la línea Juárez – Morelos, al norte de Cuautitlán, está compuesta por las siguientes áreas:

- Almacén y estancias para reparaciones de mecánica, electricidad y electromecánica.
- Área administrativa.
- Nave de mantenimiento de instalaciones fijas (infraestructura).
- Nave de lavado.
- Nave de mantenimiento preventivo de ciclo corto y correctivo.
- Nave de mantenimiento de ciclo largo y reparaciones mecánicas.
- Torno Foso

A este conjunto de 12 vías (13 si consideramos la vía de pruebas) habría que asociar una edificación destinada a la gestión y administración de la instalación, así como una zona de almacenamiento de materiales y talleres específicos que se detallan en el Anejo 21: Patios y Cocheras

A partir de esta zonificación se propone una disposición preliminar de vías y áreas, cuya que se resumen en el siguiente cuadro y se muestra en las figuras 21.4.4, 21.4.5 y 21.4.6:

Figura 71. Esquemas de las instalaciones del Taller Central



Fuente: estudio técnico PROINTEC

Figura 72. Cuadro resumen disposición vías en Taller nº2. Taller Central

		VÍA ORIGEN	PK ORIGEN	LONGITUD TOTAL	LONGITUD DENTRO DE EDIFICIO
Playa de vías	Repartidor	Vía 2. Vía Mango (Torno-Foso)	0+950	415,275	---
	Vía 1. Vía Pruebas	---	---	1581,747	---
	Vía 2. Vía Mango (Torno - Foso)	---	---	1581,936	15
	Vía 3 - RCL	Repartidor	0+040	866,13	240
	Vía 4 - RCL	Repartidor	0+090	818,24	240
	Vía 5 - Pintura y lavado	Repartidor	0+120	636,76	240
	Vía 6- Pintura y lavado	Repartidor	0+150	607,68	240
	Vía 7 - Mant. Ciclo Corto	Repartidor	0+190	569,08	240
	Vía 8- Mant. Ciclo Corto	Repartidor	0+220	539,96	240
	Vía 9- Mant. Ciclo Corto	Repartidor	0+240	520,65	240
	Vía 10- Mant. Ciclo Corto	Repartidor	0+265	496,43	240
	Vía 11 - Lavado	Repartidor	0+315	438,08	230
	Vía 12 - Mant. Inst. Fijas	Repartidor	0+350	294,23	120
	Vía 13- Mant. Inst. Fijas	Repartidor	0+390	255,54	120

Fuente: estudio técnico PROINTEC

Las dimensiones de los distintos recintos se resumen a continuación:

Tabla 47. Dimensionamiento preliminar Taller nº1: Cabecera Buenavista

ÁREAS DE TRABAJO	VÍAS	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	DISPONIBILIDAD FOSO	SUPERFICIE (m^2)
Estacionamiento	3	220	14,40	6,00	NO	3.168
Inspección básica y soplado	1	220	15	7,50	SI	3.3
Área administrativa		24	14	2,50	NO	336
TOTAL	**4**					**6.804**

Fuente: estudio técnico PROINTEC

Tabla 48. Dimensionamiento preliminar Taller nº3: Cabecera Querétaro

ÁREAS DE TRABAJO	VÍAS	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	DISPONIBILIDAD FOSO	SUPERFICIE (m^2)
Estacionamiento	1	220	9	6,00	NO	1.980
Inspección básica y soplado	1	220	15	7,50	SI	3.300
Área administrativa		24	14	2,50	NO	336
TOTAL	**4**					**5.616**

Fuente: estudio técnico PROINTEC

Tabla 49. Dimensionamiento preliminar Taller nº2: Taller Central

ÁREAS DE TRABAJO	VÍAS	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	DISPONIBILIDAD FOSO	SUPERFICIE (m^2)
Ciclo largo y mecánica	4 (*)	240	32	9,00	SI (2 Vías)	7.680
Preventivo y correctivo ciclo corto	4	240	31,50	7,50	SI (4 Vías)	7.560
Lavado	1	230	11,50	7,50	NO	2.645
Mantenimiento instalaciones fijas	2	120	17,50	7,50	SI (1 Vía)	2.100
Almacén		68	40	6,00	NO	2.720
Foso torno	1	15	13	6,00	SI	195
Área administrativa		120	17,50 (**)	2,50	NO	2.265
TOTAL	**12**					**25.165**

(*): 2 Vías pasantes. *(**): Dimensión con mayor proporción (superficie mayor). Ocupación de una planta*

Fuente: estudio técnico PROINTEC

4.11.5 Senderos con proyecto

Acorde con el planteamiento realizado en la situación actual respecto al uso de las vialidades dentro de la ZMVM para trasladarse a Querétaro, se ha analizado cómo se modificarán los senderos de los usuarios, ya que ahora el punto común de viaje hacia Querétaro será la terminal de Buenavista.

Debido a lo anterior, los usuarios que antes se trasladaban desde las macrozonas centro, sur, poniente y oriente tendrán un ahorro en la distancia su de recorrido. Sin embargo, para el caso de la macrozona norte no existirá tal ahorro, ya que trasladarse al centro de la ciudad implica para los usuarios una mayor distancia de viaje.

Figura 73. Sendero sin y con proyecto zona Centro

Sendero sin proyecto, Centro – Tepotzotlán Longitud 37 km	Sendero con proyecto, Centro – Buenavista Longitud 4 km

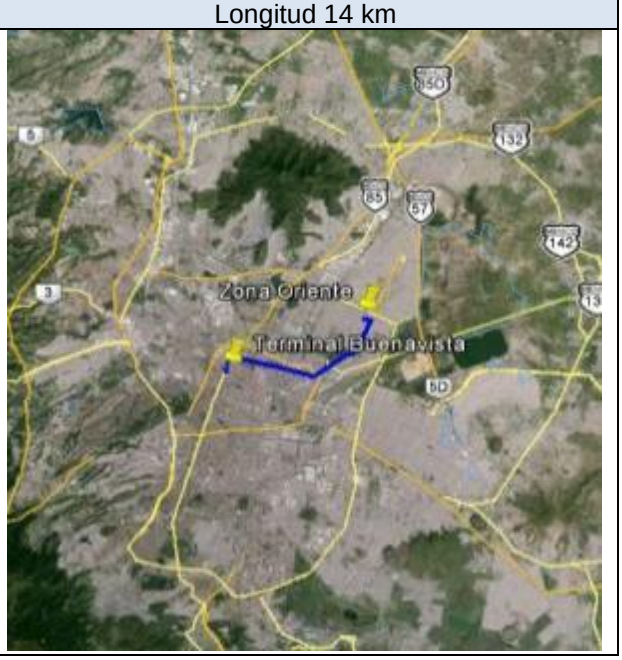
Fuente: estudio de demanda Modelistica

Figura 74. Sendero sin y con proyecto zona Norte

Sendero sin proyecto, Norte – Tepotzotlán Longitud 60 km	Sendero con proyecto, Norte – Buenavista Longitud 29 km

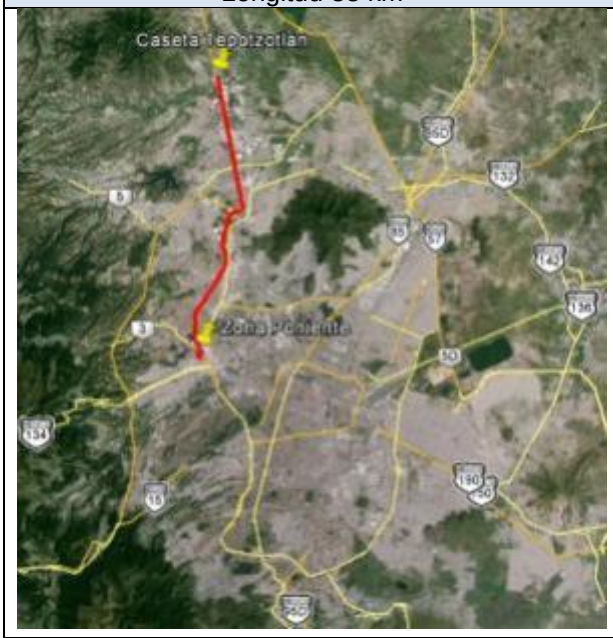
Fuente: estudio de demanda Modelistica

Figura 75. Sendero sin y con proyecto zona Oriente

Sendero sin proyecto, Oriente – Tepotzotlán Longitud 30km	Sendero con proyecto, Oriente – Buenavista Longitud 14 km
	

Fuente: estudio de demanda Modelistica

Figura 76. Sendero sin y con proyecto zona Poniente

Sendero sin proyecto, Poniente – Tepotzotlán Longitud 38 km	Sendero con proyecto, Poniente – Buenavista Longitud 15 km
	

Fuente: estudio de demanda Modelistica

Figura 77. Sendero sin y con proyecto zona Sur

Sendero sin proyecto, Sur – Tepotzotlán Longitud 14 km	Sendero con proyecto, Sur – Buenavista Longitud 20 km

Fuente: estudio de demanda Modelistica

4.12 Análisis de la demanda con proyecto

Con base en el modelo de transporte, se ha estimado que la demanda usuaria del proyecto será de 22,220 pasajeros en el 2018, y que crecerá a una tasa anual de 1.2% en un escenario conservador.

Tabla 50. Demanda del proyecto TAV México - Querétaro

Año	Demanda diaria TAV	Pasajeros Privados	Pasajeros Publicos
2018	22,220	77%	23%
2019	22,549	77%	23%
2020	22,878	78%	22%
2021	23,208	78%	22%
2022	23,537	78%	22%
2023	23,866	78%	22%
2024	24,037	78%	22%
2025	24,209	78%	22%
2026	24,380	78%	22%
2027	24,552	78%	22%
2028	24,723	78%	22%
2029	25,453	79%	21%
2030	26,183	79%	21%
2031	26,914	80%	20%
2032	27,644	80%	20%
2033	28,374	80%	20%
2034	28,617	80%	20%
2035	28,860	80%	20%
2036	29,104	81%	19%
2037	29,347	81%	19%
2038	29,590	81%	19%
2039	29,835	81%	19%
2040	30,079	81%	19%
2041	30,324	81%	19%
2042	30,568	81%	19%
2043	30,813	81%	19%
2044	31,059	81%	19%
2045	31,305	81%	19%
2046	31,552	81%	19%
2047	31,798	81%	19%
2048	32,044	82%	18%

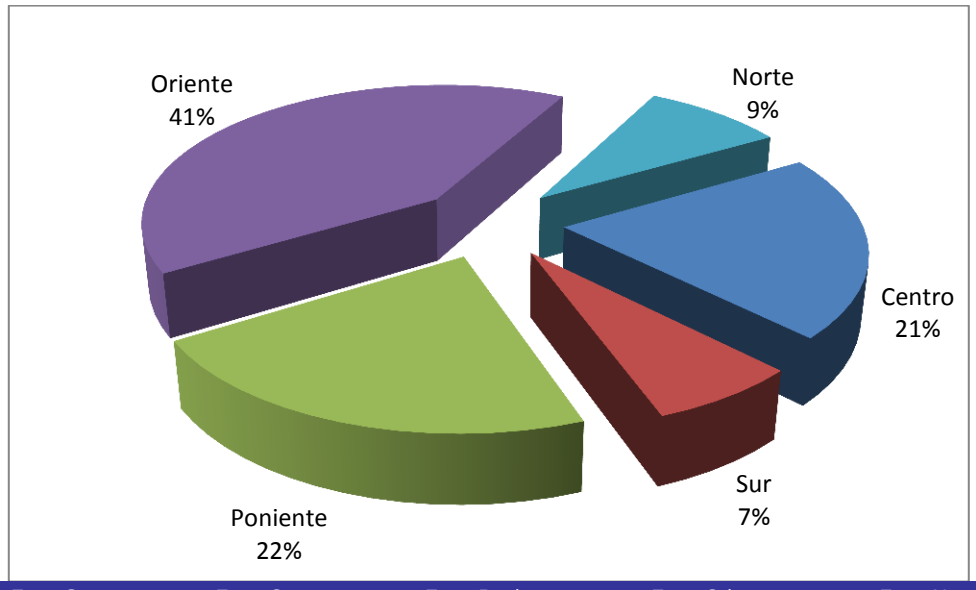
Fuente: estudio técnico PROINTEC

La estimación de la demanda se realizó a partir del modelo TRANUS, la explicación detallada puede consultarse en el estudio de demanda.

La demanda captada proviene de las distintas macrozonas de estudio, siendo de la macrozona oriente la que aporta un mayor número de viajes. Esto se explica por la zonificación empleada.

La delegación Cuauhtémoc es la zona que mas produce viajes, sin embargo, con la agregación de macrozonas, en la zona oriente se incluye se ha considerado mla zona muchas en la oriente (incluyendo algunas lejanas y lo mismo para las otras macrozonas) y por eso para el ACB esta

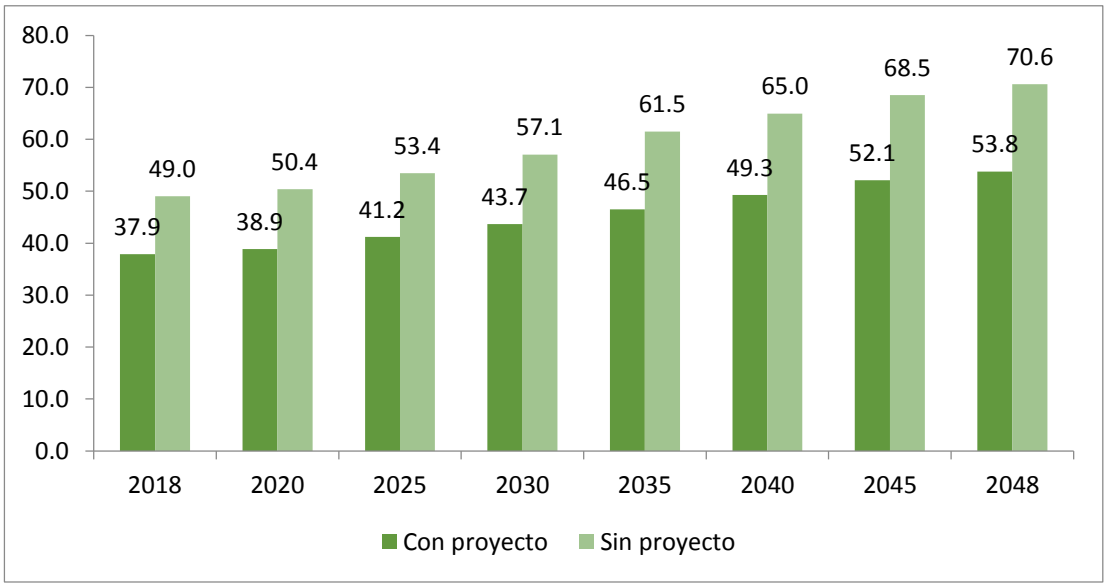
Figura 78. Demanda captada por el tren por macrozona



Zona Sur	Zona Centro	Zona Poniente	Zona Oriente	Zona Norte
Xochimilco, Tláhuac, Tlalpan, Magdalena Contreras, Puerta 10, Puerta 11, Cuernavaca ,	Coyoacán Benito Juárez Cuauhtémoc M. Hidalgo Polanco	M. Hidalgo Azcapotzalco Álvaro Obregón Santa Fe Naucalpan	Gustavo A. Madero Iztacalco, Iztapalapa Venustiano Carranza, Venustiano Carranza-Aeropuerto, Valles de Aragón, Puerta 12 - Ixtapaluca Puebla Tlaxcala	Ecatepec Tecámac Tlanepantla, Buenavista, Punta Norte, Tultitlan, Cuautitlán Izcalli, Tultepec, Cuautitlán San Mateo Xoloc Puerta 8 (Huichapan)

Fuente: estudio de demanda Modelistica

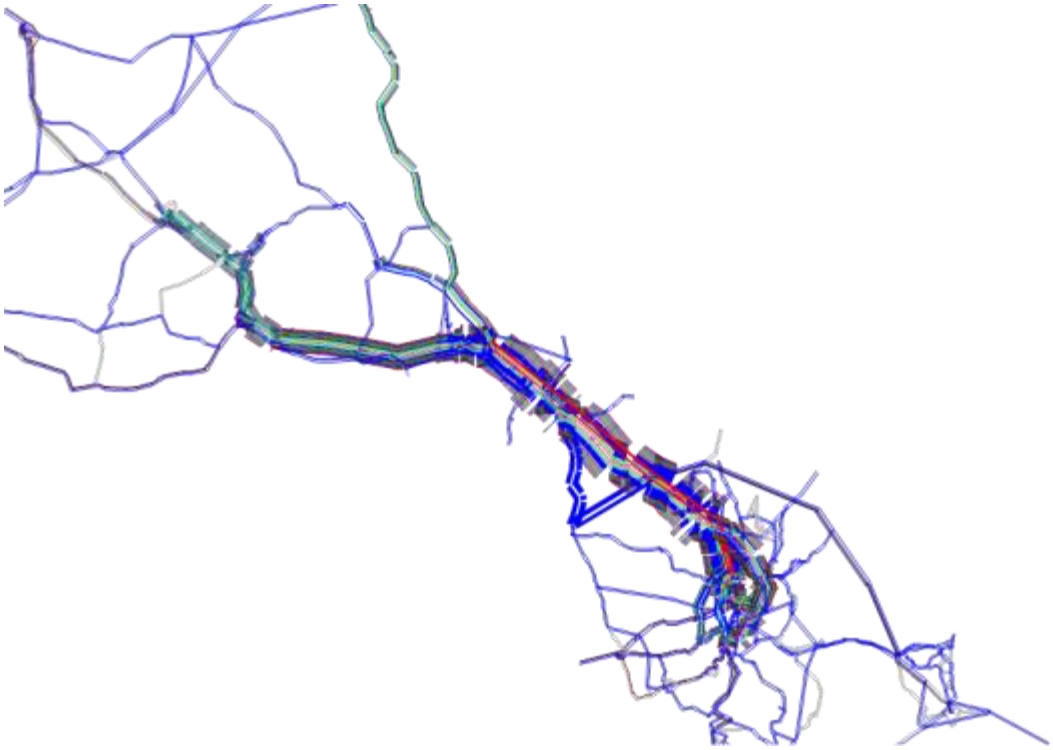
Figura 79. Demanda sobre la autopista México – Querétaro, sin y con proyecto (miles de vehículos)



Fuente: estudio de demanda Modelistica

En la siguiente imagen se puede apreciar gráficamente la demanda:

Figura 80. Escenario C, con proyecto y crecimiento conservador



Fuente: estudio de demanda Modelistica

De la demanda del tren en este escenario para el año 2018 destaca lo siguiente:

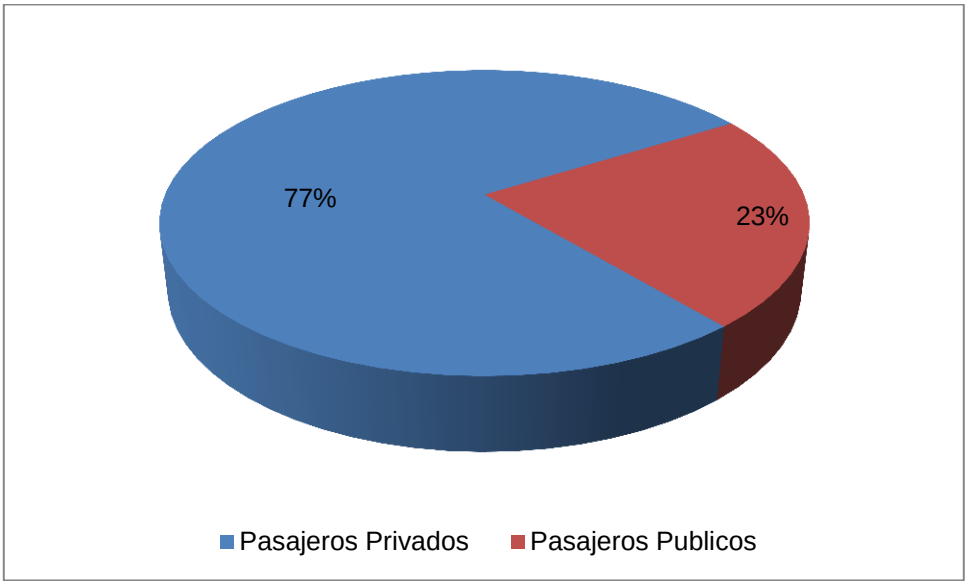
Los pasajeros diarios que se anticipan para el tren tienen los siguientes orígenes y destinos:

- 28.5% de los viajes del tren tiene destino en el Distrito Federal
- 10% de los viajes del tren tiene destino en el Estado de México, zona metropolitana
- 33.2% de los viajes del tren tienen destino en el estado de Querétaro
- 13% de los viajes del tren tienen destino en el estado de Guanajuato (Bajío y ciudades)
- 3.1% de los viajes del tren tienen destino en el estado de Jalisco (principalmente a la zona metropolitana de Guadalajara)
- 1.6% de los viajes del tren tienen destino en el estado de Aguascalientes
- 3.5% de los viajes del tren tienen destino en el estado de San Luis Potosí
- 2.5% de los viajes del tren tienen destino en los estados de Puebla y Tlaxcala
- 39.6% de los viajes tiene origen en el Distrito Federal
- 14.5% de los viajes tiene origen en el estado de México, zona metropolitana
- 22.9% de los viajes tiene origen en el estado de Querétaro
- 12 % de los viajes tiene origen en el estado de Guanajuato
- 1.8% de los viajes tiene origen en el estado San Luis Potosí
- 2.8% de los viajes tiene origen en los estados de Puebla y Tlaxcala

El resto con origen y destino en otras zonas, incluyendo externas, con una muy baja participación

La composición de la demanda del tren establece que tanto el sector privado como el público estaría interesado en usar el tren, sin embargo debido a que la actual demanda en la autopista México Querétaro tiene una mayoría de viajes en vehículos privados sobre el transporte público, si existiera el tren, el usuario del vehículo privado tendría una participación mayor en la demanda futura del tren que el usuario del transporte público, tal y como se muestra en la Figura 81.

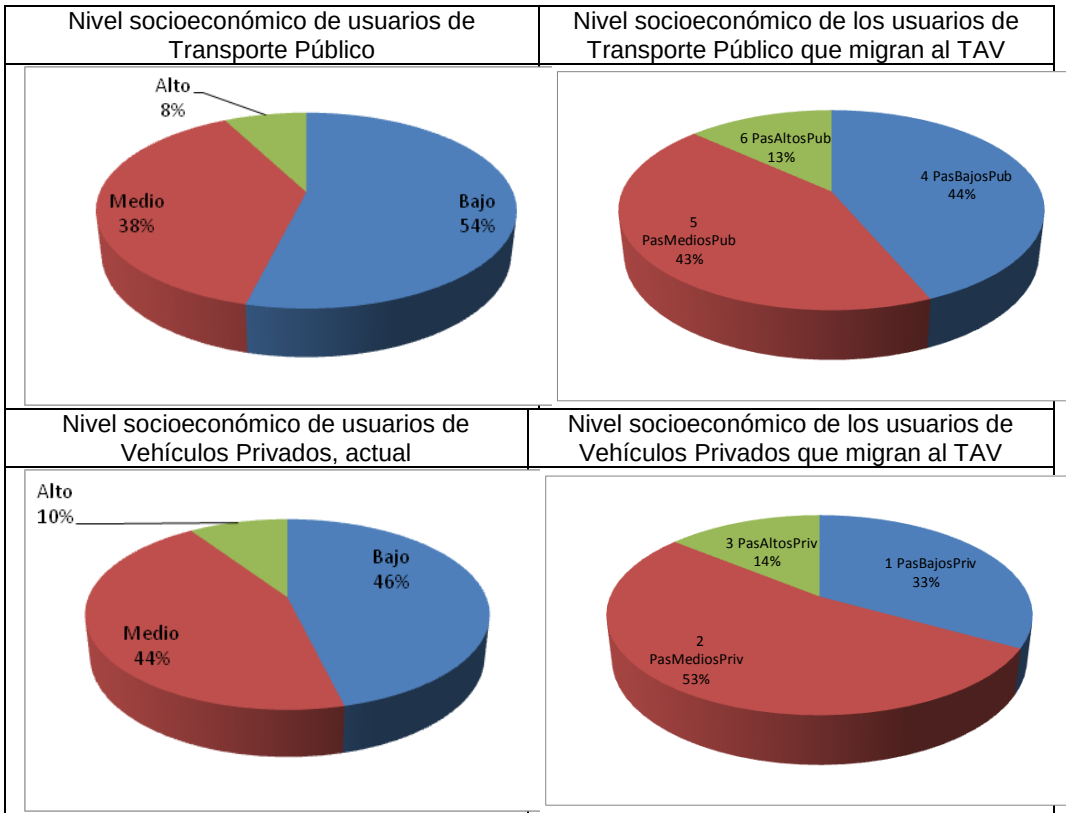
Figura 81. Porcentaje de demanda que atrae el tren



Fuente: Resultados del Modelo de transporte Modelistica

Adicionalmente, el TAV atrae principalmente a usuarios de estrato alto y medio de ambos modos (vehículos privados y transporte público), y en menor proporción a los de estratos bajos. En las figuras que siguen se muestra una comparación de la distribución de estratos en base a ingreso de (1) los usuarios actuales del transporte público (de las encuestas OD en terminales) con (2) los usuarios que migran del transporte público al TAV y de (3) los usuarios actuales de vehículos privados con (4) los usuarios que migran de los vehículos privados al TAV.

Figura 82. Comparación de estratos por nivel de ingreso en la actualidad (sin el TAV) y de los que se anticipa usen el TAV



Fuente: Elaboración Modelistica con base a modelación

Nótese como las proporciones varían significativamente entre los usuarios de transporte público y privado en el corredor México – Querétaro en la actualidad y los usuarios potenciales del TAV.

4.12.1.1 Sensibilidad a la tarifa

Se prepararon dos escenarios adicionales para evaluar la elasticidad de la demanda a la modificación de la tarifa del Tren de Alta Velocidad, pero esta simulación no viene acompañada de una simulación financiera, que considere los costos de operación y mantenimiento del sistema ferroviario, la cual es necesaria para determinar el nivel óptimo de tarifa que permita cubrir costos operacionales y hasta posiblemente recuperar la inversión.

De la tarifa original que se consideró para el trayecto de Buenavista hasta la ciudad de Querétaro (300.00 pesos), se corrió nuevamente el modelo de transporte con un 20% de aumento (360.00 pesos) y un 20% de reducción (240.00 pesos, similar al promedio de los servicios de buses) a la tarifa que dio como resultado los valores de la demanda que se presentan en el cuadro:

Tabla 51: Demanda de pasajeros para tres niveles tarifarios

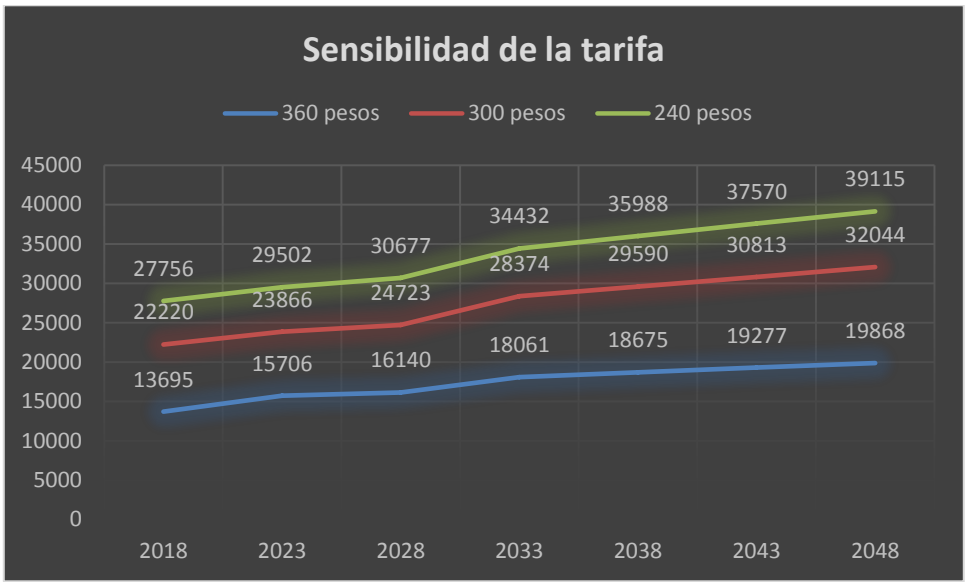
Año	360 pesos	300 pesos	240 pesos
2018	13,695	22,220	27,756
2023	15,706	23,866	29,502
2028	16,140	24,723	30,677
2033	18,061	28,374	34,432
2038	18,675	29,590	35,988
2043	19,277	30,813	37,570
2048	19,868	32,044	39,115

Fuente: Elaboración propia con datos del modelo de transporte TRANUS

Con el resultado podemos apreciar la disminución de la demanda para el aumento de la tarifa en el porcentaje de 20% y también se puede reconocer el aumento de la demanda para cuando se disminuye la tarifa en el mismo porcentaje.

Gráficamente se puede apreciar el comportamiento de la demanda en el gráfico que sigue:

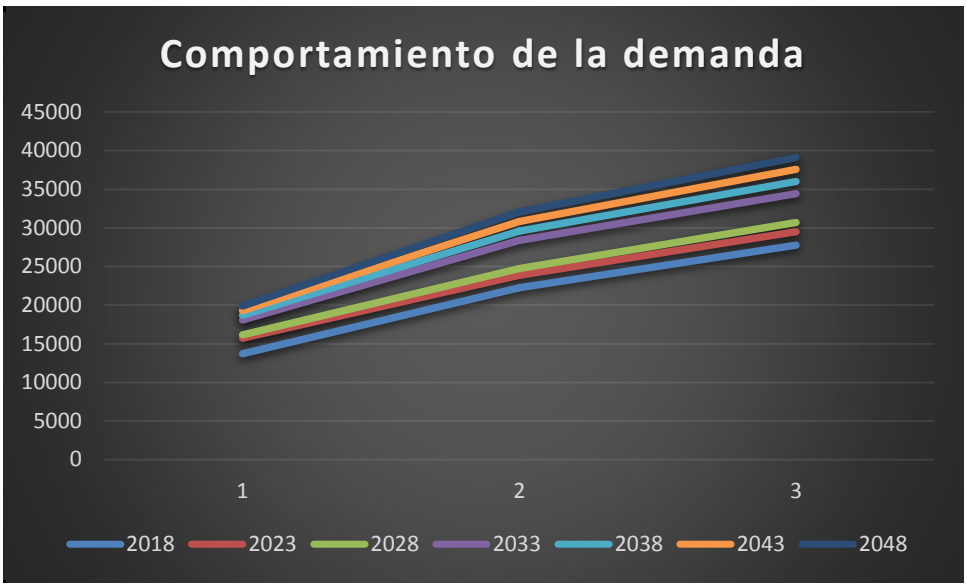
Figura 83: Demanda para diferentes niveles tarifarios



Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

Se puede también apreciar el comportamiento de la demanda para cada año simulado en el gráfico que sigue:

Figura 84: Demanda del TAV para tres niveles tarifarios



Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

Tomando como base la demanda del escenario de la tarifa de 300 pesos del modelo original los porcentajes de aumento y disminución de la demanda con los nuevos niveles tarifarios son:

Tabla 52: Comportamiento de la demanda del TAV para diferentes niveles tarifarios

Con	360.00 pesos	240.00 pesos
La demanda	Disminuye en	Aumenta en
2018	38%	25%
2023	34%	24%
2028	35%	24%
2033	36%	21%
2038	37%	22%
2043	37%	22%
2048	38%	22%

Fuente: Elaboración Modelistica con datos del modelo de transporte TRANUS

4.13 Interacción Oferta-Demanda

Con la implementación del proyecto habrá una mejora en los tiempos de recorrido para los usuarios del proyecto. A continuación se presentan los tiempos de viaje con proyecto considerando como inicio de viaje cada una de las macrozonas estudiadas:

Tabla 53. TV para los usuarios del tren – Zona Centro (horas)

Tramo	Zona Centro-Buenavista hora pico	Zona Centro-Buenavista hora valle	Recorrido Tren Buenavista - Qro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	4.0	4.00	113.00	117.00	117.00
Tiempo de viaje autos	0.14	0.11	1.00	1.14	1.11
Tiempo de viaje autobuses	0.23	0.16	1.00	1.23	1.16

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 54. TV para los usuarios del tren – Zona Sur (horas)

Tramo	Zona Centro-Buenavista hora pico	Zona Centro-Buenavista hora valle	Recorrido Tren Buenavista - Qro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	29.0	29.00	113.00	142.00	142.00
Tiempo de viaje autos	1.04	0.83	1.00	2.04	1.83
Tiempo de viaje autobuses	1.66	1.16	1.00	2.66	2.16

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 55. TV para los usuarios del tren – Zona Poniente (horas)

Tramo	Zona Poniente-Buenavista hora pico	Zona Poniente-Buenavista hora valle	Recorrido Tren Buenavista - Qro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	14.0	14.00	113.00	127.00	127.00
Tiempo de viaje autos	0.48	0.40	1.00	1.48	1.40
Tiempo de viaje autobuses	0.78	0.56	1.00	1.78	1.56

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 56. TV para los usuarios del tren – Zona Oriente (horas)

Tramo	Zona Oriente-Buenavista hora pico	Zona Oriente-Buenavista hora valle	Recorrido Tren Buenavista - Qro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	15.0	15.00	113.00	128.00	128.00
Tiempo de viaje autos	0.54	0.43	1.00	1.54	1.43
Tiempo de viaje autobuses	0.86	0.60	1.00	1.86	1.60

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 57. TV para los usuarios del tren – Zona Norte (horas)

Tramo	Zona Norte-Buenavista hora pico	Zona Norte-Buenavista hora valle	Recorrido Tren Buenavista - Qro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	20.0	20.00	113.00	133.00	133.00
Tiempo de viaje autos	0.69	0.57	1.00	1.69	1.57
Tiempo de viaje autobuses	1.11	0.80	1.00	2.11	1.80

Fuente: elaborado con información Modelistica

Como resultado de la implementación del proyecto habrá un incremento marginal en las velocidades de la zona urbana, mejorándose también los tiempos de viaje. Esto representa un beneficio para quienes no utilicen el tren en la situación con proyecto.

Tabla 58. TV con proyecto para los usuarios de la red carretera

Tramo	Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico	Zona Centro-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	37.0	37.0	112.00	60.5	209.5	209.5
Velocidad auto (km/h)	28.00	35.00	110.00	110.0	82.7	85.00
Velocidad buses (km/h)	17.50	25.00	95.00	95.0	69.2	71.67
Tiempo de viaje autos (h)	1.32	1.06	1.02	0.55	2.89	2.63
Tiempo de viaje autobuses (h)	2.11	1.48	1.18	0.64	3.93	3.30
Tramo	Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico	Zona Sur-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	60.0	60.0	112.00	60.5	232.5	232.5
Velocidad auto (km/h)	28.00	35.00	110.00	110.0	82.7	85.00
Velocidad buses (km/h)	17.50	25.00	95.00	95.0	69.2	71.67
Tiempo de viaje autos (h)	1.04	0.83	1.02	0.55	2.60	2.40
Tiempo de viaje autobuses (h)	1.66	1.16	1.18	0.64	3.47	2.98
Tramo	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	30.0	30.0	112.00	60.5	202.5	202.5
Velocidad auto (km/h)	29.00	35.00	110.00	110.0	83.0	85.00
Velocidad buses (km/h)	18.00	25.00	95.00	95.0	69.3	71.67
Tiempo de viaje autos (h)	0.48	0.40	1.02	0.55	2.05	1.97
Tiempo de viaje autobuses (h)	0.78	0.56	1.18	0.64	2.59	2.38
Tramo	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	38.0	38.0	112.00	60.5	210.5	210.5
Velocidad auto (km/h)	28.00	35.00	110.00	110.0	82.7	85.00
Velocidad buses (km/h)	17.50	25.00	95.00	95.0	69.2	71.67
Tiempo de viaje autos (h)	0.54	0.43	1.02	0.55	2.10	2.00
Tiempo de viaje autobuses (h)	0.86	0.60	1.18	0.64	2.67	2.42
Tramo	Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico	Zona Norte-Tepotzontlan Hora valle	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro	Total hora pico	Total hora valle
Longitud	14.0	14.0	112.00	60.5	186.5	186.5
Velocidad auto (km/h)	29.00	35.00	110.00	110.0	83.0	85.00
Velocidad buses (km/h)	18.00	25.00	95.00	95.0	69.3	71.67
Tiempo de viaje autos (h)	0.69	0.57	1.02	0.55	2.26	2.14
Tiempo de viaje autobuses (h)	1.11	0.80	1.18	0.64	2.93	2.62

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 59. Velocidades con proyecto durante el horizonte de evaluación

Año	Velocidades promedio en macrozonas urbanas				Tepotzotlán - Palmillas		Palmillas - Querétaro	
	Velocidad promedio hora pico (km/h)		Velocidad promedio hora valle (km/h)		Velocidad promedio al día (km/h)		Velocidad promedio al día (km/h)	
	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses	Autos	Autobuses
2013	28.0	17.5	35.0	25.0	110.0	95.0	110.0	95.0
2014	27.6	17.1	34.7	24.7	109.7	94.7	109.7	94.7
2015	27.3	16.8	34.4	24.4	109.3	94.4	109.3	94.4
2016	26.9	16.4	34.1	24.1	109.0	94.1	109.0	94.1
2017	26.5	16.0	33.8	23.8	108.7	93.7	108.7	93.8
2018	26.1	15.6	33.5	23.5	108.3	93.4	108.4	93.5
2019	25.8	15.3	33.2	23.2	108.0	93.1	108.0	93.2
2020	25.4	14.9	32.9	22.9	107.6	92.8	107.7	92.9
2021	25.0	14.5	32.6	22.6	107.3	92.5	107.4	92.6
2022	24.7	14.2	32.3	22.3	107.0	92.2	107.1	92.3
2023	24.3	13.8	32.0	22.0	106.6	91.9	106.7	92.0
2024	23.9	13.4	31.7	21.7	106.3	91.6	106.4	91.7
2025	23.6	13.1	31.4	21.4	106.0	91.2	106.1	91.4
2026	23.2	12.7	31.1	21.1	105.6	90.9	105.8	91.1
2027	22.8	12.3	30.8	20.8	105.3	90.6	105.4	90.8
2028	22.4	11.9	30.5	20.5	104.9	90.3	105.1	90.5
2029	22.1	11.6	30.2	20.2	104.6	90.0	104.8	90.1
2030	21.7	11.2	29.9	19.9	104.3	89.7	104.4	89.8
2031	21.3	10.8	29.6	19.6	103.9	89.4	104.1	89.5
2032	21.0	10.5	29.3	19.3	103.6	89.0	103.8	89.2
2033	20.6	10.5	29.0	19.0	103.3	88.7	103.5	88.9
2034	20.2	10.5	28.7	18.7	102.9	88.4	103.1	88.6
2035	19.8	10.5	28.4	18.6	102.6	88.1	102.8	88.3
2036	19.5	10.5	28.1	18.5	102.3	87.8	102.5	88.0
2037	19.1	10.5	27.8	18.4	101.9	87.5	102.2	87.7
2038	18.7	10.5	27.5	18.3	101.6	87.2	101.8	87.4
2039	18.4	10.5	27.2	18.2	101.2	86.9	101.5	87.1
2040	18.0	10.5	26.9	18.1	100.9	86.5	101.2	86.8
2041	17.6	10.5	26.6	18.0	100.6	86.2	100.9	86.5
2042	17.2	10.5	26.3	17.9	100.2	85.9	100.5	86.2
2043	16.9	10.5	26.0	17.8	99.9	85.6	100.2	85.9
2044	16.5	10.5	25.7	17.7	99.6	85.3	99.9	85.6
2045	16.1	10.5	25.4	17.6	99.2	85.0	99.5	85.3
2046	15.8	10.5	25.1	17.5	98.9	84.7	99.2	85.0
2047	15.4	10.5	24.8	17.4	98.6	84.4	98.9	84.7
2048	15.0	10.5	24.5	17.3	98.2	84.0	98.6	84.4

Fuente: elaborado con información Modelistica

5. Evaluación del PPI

Específicamente se siguieron los Lineamientos para la Presentación de Programas y Proyectos de Inversión (los Lineamientos), emitidos por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (UI-SHCP) cuya última versión se publicó el 30 de diciembre de 2013.

La evaluación socioeconómica se realizó bajo los supuestos y lineamientos establecidos por la UI-SHCP, siendo los más relevantes los siguientes:

- Tasa de descuento del 10%.
- Horizonte de evaluación de 2014 a 2048, considerando 4 años de construcción y 31 años de operación.
- La evaluación se realizó utilizando la demanda del escenario conservador estimado en el estudio de demanda.
- Se utilizaron precios constantes sin IVA.

5.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos del PPI

Los costos incluidos en la evaluación tienen como fuente la información proporcionada por la empresa PROINTEC.

5.1.1 Costo de inversión

Los costos de inversión ascienden a $37,569 millones de pesos, los cuales están desglosados en infraestructura, vías, electrificación, seguridad, telecomunicaciones y material móvil. En la siguiente tabla se presenta el desglose de inversión por año:

Tabla 60. Inversión por año

Conceptos (m.d.p.)	2014	2015	2016	2017	SUMA
Infraestructura	2.424,88	3.879,80	8.244,58	9.699,51	**24.248,76**
Vía	0,00	0,00	787,38	3.149,50	**3.936,88**
Electrificación	0,00	0,00	297,05	1.683,30	**1.980,35**
Seguridad y Telecomunicacio	0,00	0,00	454,59	2.575,99	**3.030,58**
Material Móvil	401,92	803,84	1.205,76	1.607,68	4.019,20
SUMAS	**2.826,80**	**4.683,64**	**10.989,36**	**18.715,98**	**37.215,77**
Obtención de los Derechos de Vía	211,80	141,20	0,00	0,00	**353,00**
SUMAS	**3.038,60**	**4.824,84**	**10.989,36**	**18.715,98**	**37.568,77**

Fuente: PROINTEC

5.1.2 Costos de operación y mantenimiento

Para la conservación y mantenimiento durante el horizonte de evaluación se han estimado tres rubros:

- Costos de Operaciones ferroviarias,

Los costes de operación de la explotación ferroviaria varían en función de las plazas ofertadas, que dependen de la demanda y la capacidad de las unidades tren, y el parámetro de costes considera una explotación de altas prestaciones en servicio en Europa en un corredor equivalente. Este rubro suma 29,499.7 millones de pesos a lo largo del horizonte de evaluación.

- Costos de Mantenimiento de infraestructura

Para brindar un mantenimiento adecuado a las instalaciones que se construirán, se han estimado recursos por 12,767.9 durante el horizonte de evaluación

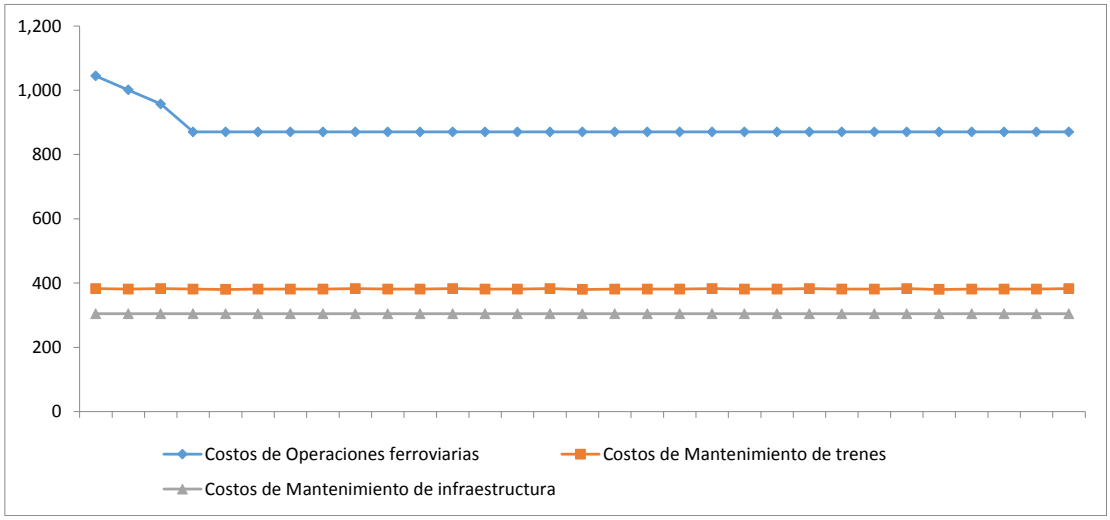
- Costos de Mantenimiento de trenes

El mantenimiento de trenes varía en función del volumen de kilómetros realizados por cada unidad, y se ha considerado un valor medio acorde con el esquema de mantenimiento establecido en el modelo operacional de dimensionamiento empleado en el estudio. La evolución anual del coste unitario por tren varía en función del volumen de kilómetros realizado por cada unidad de tren. Por tanto la evolución del coste de mantenimiento del material rodante por escenario varía a lo largo del tiempo para cada escenario de demanda.

Acorde con las características del proyecto se ha estimado un costo de 9,442.7 durante el horizonte de evaluación.

En la siguiente figura se muestran los costos de operación y mantenimiento estimados para el horizonte de evaluación:

Figura 85. Costos de operación y mantenimiento durante el horizonte de evaluación



Fuente: PROINTEC

Tabla 61. Costos de operación y mantenimiento

Año	Costos de Operaciones ferroviarias	Costos de Mantenimiento de trenes	Costos de Mantenimiento de infraestructura	SUMA DE COSTOS
2018	1,044.32	382.67	304.60	1,731.59
2019	1,000.80	381.50	304.60	1,686.91
2020	957.29	382.67	304.60	1,644.56
2021	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2022	870.26	380.34	304.60	1,555.20
2023	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2024	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2025	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2026	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2027	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2028	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2029	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2030	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2031	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2032	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2033	870.26	380.34	304.60	1,555.20
2034	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2035	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2036	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2037	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2038	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2039	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2040	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2041	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2042	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2043	870.26	382.67	304.60	1,557.54
2044	870.26	380.34	304.60	1,555.20
2045	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2046	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2047	870.26	381.50	304.60	1,556.37
2048	870.26	382.67	304.60	1,557.54

Fuente: PROINTEC

5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del PPI

5.2.1 Beneficios por ahorros en tiempo de viaje

Como resultado de la implementación del proyecto se beneficiará a los usuarios que se trasladan entre México y Querétaro, ya sea este su viaje completo, bien si este tramo sea una parte de su viaje, ya que el tiempo de viaje será de 1 hora a bordo del tren. Asimismo, se beneficiará a los usuarios que no utilizan el tren y que seguirán viajando por carretera, debido a la descongestión de las vialidades.

Para la obtención de este beneficio, se determinaron los tiempos de viaje con y sin proyecto para desde cada una de las macrozonas definidas. Una vez obtenidos los tiempos, se les aplicó el valor monetario, para lo cual se tomó como base el valor del tiempo publicado por el Instituto Mexicano del Transporte IMT, En su boletín núm. 147, Marzo-Abril 2014, artículo 1, donde el valor del tiempo a nivel nacional se establece en 37.33 pesos por hora.

Tabla 62. Valor del tiempo 2014

Definición de variable	Fuente variable	2014		
		Área A	Área B	Nacional
Salario mínimo general promedio	CONASAMI	67.29	63.77	65.58
Factor de ajuste del ingreso promedio de la población en proporción del SMGP	IMT (2010)	3.37	3.37	3.37
Promedio de las horas trabajadas por semana	IMT (2010)	41.44	41.44	41.44
Valor social del tiempo por hora (pesos)	SHP = (FIP*SMGP*7)/HTP	38.31	36.30	37.33

Fuente: IMT boletín núm. 147, Marzo-Abril 2014

En el citado artículo del IMT, también se estiman los valores del tiempo por cada uno de los estados, destacando que el valor de tiempo de México y Querétaro son mayores a la media nacional, debido a lo anterior se actualizó el valor del tiempo para la zona centro estimado en 2013, con lo que resulta un valor de 39.7 pesos por hora .

Tabla 63. Valor del tiempo en la zona de estudio

Querétaro	DF	Valor del tiempo zona centro 2013	Valor del tiempo zona centro 2014
42.32	44.32	35.54	37.89

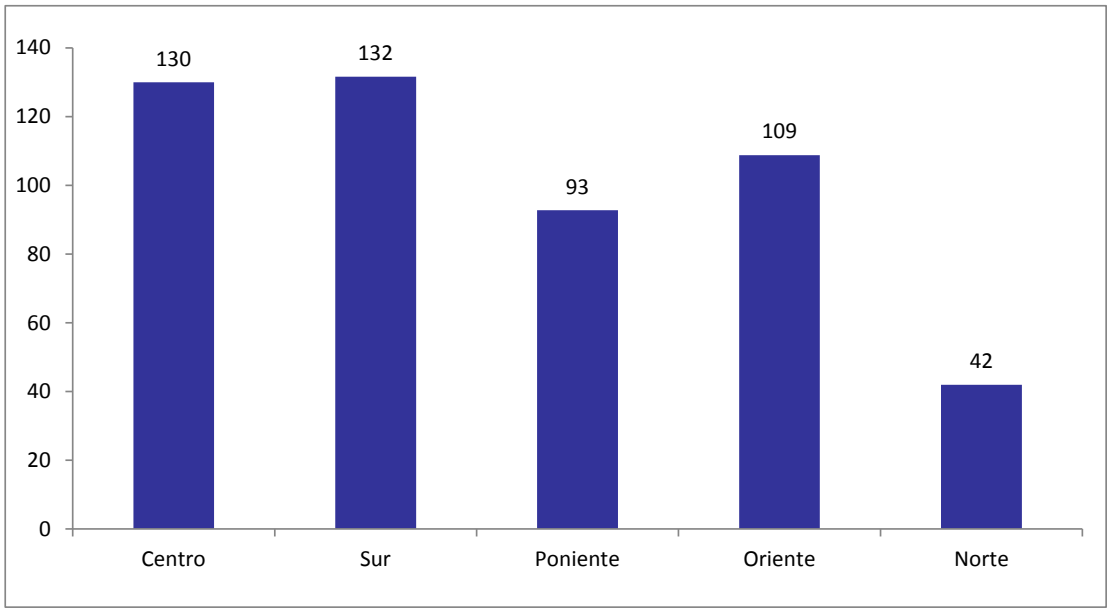
Fuente: elaboración propia con datos de IMT

Con base en la información del valor del tiempo de la región de la zona centro, definida en la publicación NOTAS núm. 140, Enero-Febrero 2013, artículo 2, se estimó el valor del tiempo 2014, dado que el proyecto tiene un impacto regional, se consideró que dicho valor del tiempo es el más adecuado para la evaluación del proyecto.

5.2.1.1 Ahorros en tiempo de viaje para los usuarios del proyecto ferroviario (directos)

Con la implementación del proyecto los usuarios obtendrán beneficios en su recorrido desde la ciudad de México hasta Querétaro, al reducirse el tiempo de traslado. Los ahorros en tiempo son mayores en función de la distancia de origen de viaje (macrozona) a la terminal Buenavista, de tal forma que la zona centro tiene un ahorro alto en función de su cercanía con la terminal, mientras que la zona norte tiene un menor ahorro, ya que para abordar al tren tienen que recorrer una distancia mayor en tramo urbano, comparado al recorrido que sin proyecto realizaban a Tepotzotlán.

Figura 86. Ahorros en tiempo de viaje hora pico por macrozona 2018 (minutos)



Fuente : elaborado con información Modelistica

A continuación se presenta el ahorro para autos y autobuses por cada una de las macrozonas estudiadas:

Tabla 64.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Centro

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.3	1.14	2.19	131
Tiempo de viaje autobuses	4.5	1.23	3.31	198
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.9	1.11	1.79	107
Tiempo de viaje autobuses	3.5	1.16	2.39	143

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 65.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Sur

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	4.2	2.04	2.21	133
Tiempo de viaje autobuses	6.1	2.66	3.41	205
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	3.6	1.83	1.73	104
Tiempo de viaje autobuses	4.5	2.16	2.31	139

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 66.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Poniente (h)

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.0	1.48	1.57	94
Tiempo de viaje autobuses	4.1	1.78	2.29	138
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.7	1.40	1.31	78
Tiempo de viaje autobuses	3.3	1.56	1.71	103

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 67.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Oriente (h)

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.4	1.54	1.83	110
Tiempo de viaje autobuses	4.6	1.86	2.75	165
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.9	1.43	1.51	90
Tiempo de viaje autobuses	3.6	1.60	1.99	119

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 68.. Ahorro TV para los usuarios del tren – Zona Norte (h)

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	2.4	1.69	0.72	43
Tiempo de viaje autobuses	3.0	2.11	0.89	54
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.2	1.57	0.68	41
Tiempo de viaje autobuses	2.6	1.80	0.83	50

Fuente : elaborado con información Modelistica

Con base en los datos presentados, se obtiene un ahorro en el 2018 de 556.8 millones de pesos por este concepto; durante el horizonte de evaluación este ahorro suma 25,311 millones de pesos.

5.2.1.2 Ahorros en tiempo de viaje para los usuarios de la red carretera (indirectos)

Quienes no utilizarán el tren, se beneficiarán debido a la descongestión de vialidades, tanto en la autopista con las principales vialidades de la ciudad de México.

Tabla 69. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Centro

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.3	2.89	0.44	26
Tiempo de viaje autobuses	4.5	3.93	0.61	36
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.9	2.63	0.28	17
Tiempo de viaje autobuses	3.5	3.30	0.25	15

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 70. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Sur

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	4.2	3.71	0.54	32
Tiempo de viaje autobuses	6.1	5.24	0.83	50
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	3.6	3.28	0.28	17
Tiempo de viaje autobuses	4.5	4.22	0.25	15

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 71. Ahorro TV los usuarios de la red carretera – Zona Poniente

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.0	2.60	0.45	27
Tiempo de viaje autobuses	4.1	3.48	0.59	35
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.7	2.43	0.28	17
Tiempo de viaje autobuses	3.3	3.02	0.25	15

Fuente: elaborado con información Modelistica

Tabla 72. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Oriente

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	3.4	2.93	0.44	27
Tiempo de viaje autobuses	4.6	3.99	0.62	37
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.9	2.65	0.28	17
Tiempo de viaje autobuses	3.6	3.34	0.25	15

Fuente : elaborado con información Modelistica

Tabla 73. Ahorro TV para los usuarios de la red carretera – Zona Norte

Vehículo	TV hora pico (h) Sin proyecto	TV hora pico (h) Con proyecto	Ahorro TV (h) hora pico	Ahorro TV hora pico (min)
Tiempo de viaje autos	2.4	2.05	0.36	21
Tiempo de viaje autobuses	3.0	2.59	0.41	25
Vehículo	**TV hora valle (h) Sin proyecto**	**TV hora valle (h) Con proyecto**	**Ahorro TV (h) hora valle**	**Ahorro TV hora valle (min)**
Tiempo de viaje autos	2.2	1.97	0.28	17
Tiempo de viaje autobuses	2.6	2.38	0.25	15

Fuente : elaborado con información Modelistica

Los ahorros en tiempo de viaje para los usuarios de red carretera representan 432.9 millones de pesos en el año 2018, y sumarán en el horizonte de evaluación 22,641.2 millones de pesos.

Además de los beneficios que obtendrán los usuarios de vehículos públicos y privados, también se beneficiará la carga transportada. Este beneficio se obtiene como resultado de las mejoras en las condiciones de operación sobre la autopista México – Querétaro. Asimismo, dado que mucho de estos vehículos tienen como destino las zonas industriales del valle de México, se consideró un ahorro para la macrozona urbana norte, suponiendo que el 5% de los vehículos de carga circularán hasta donde se ubica una importante zona industrial. En la siguiente tabla se presentan los ahorros en tiempo de viaje por vehículo.

Tabla 74. Ahorro TV para los vehículos de carga

Longitud Tepotzotlán - Palmillas (km)	Velocidad promedio (km/h)		Costo de operación vehicular ($/veh/km)		
	Sin proyecto	Con proyecto	Sin proyecto	Con proyecto	Ahorro
172.5	75	81	10.0	9.7	0.3
Longitud reccorida Tepotzotlán-Zona norte (km)	**Velocidad promedio (km/h)**		**Costo de operación vehicular ($/veh/km)**		
	Sin proyecto	**Con proyecto**	**Sin proyecto**	**Con proyecto**	**Ahorro**
14	15	19	16.1	15.0	1.1

Fuente : elaborado con información Modelistica

Para valorar el ahorro en tiempo se utilizaron los parámetros de la Dirección General de Desarrollo Carretero de la SCT, en los que se establece un valor del tiempo de carga de 15 pesos/hora/ton y una carga promedio de 18.15 toneladas por vehículo.

5.2.2 Ahorros en costos de operación

Con la construcción del proyecto se reducirá el volumen de vehículos que circularán entre México y Querétaro, como consecuencia se obtendrán ahorros por costos de operación vehicular, tanto por los vehículos que se retiran, como para los vehículos que quedan circulando en la red carretera, ya que podrán desplazarse a velocidades mayores.

Para calcular los costos de operación (combustible, lubricantes, llantas, depreciación y mantenimiento de los vehículos), se empleó el modelo computacional Highway Design and Standard Model Vehicle Operating Cost (HDM-VOC) versión 4.0 adaptada a México por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) denominado VOC-MEX. El VOC-MEX incluye modelos matemáticos que hacen posible encontrar el costo de operación vehicular bajo ciertas condiciones de la vía y el vehículo.

A partir del uso del VOC-MEX, en donde se consideran las características técnicas de los precios de los vehículos, los consumibles y sus insumos, se conforman un conjunto de variables que permiten la estimación de costos de operación vehicular, para cada tipo de vehículo.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros utilizados para alimentar el VOC-MEX:

Tabla 75. Parámetros del VOC-MEX

Parámetro	Unidad	Automóvil	Autobús	Camión
Utilización del vehículo				
1 No. kilómetros conducidos por año	Km	20,000	240,000	180,000
2 No. horas conducidas por año	Horas	1,716	2,860	2,860
3 Índice de utilización horaria	Fracción	1	1	1
4 Vida útil promedio de servicio	Años	6	8	8
5 ¿Usar vida útil constante?	1=Si 0=No	1	1	1
6 Edad del vehículo en kilómetros	Km	70,000	750,000	600,000
7 Número de pasajeros por vehículo	#	2	23	0
Costos unitarios				
1 Precio del vehículo nuevo	$	212,152	2,080,852	1,085,955
2 Costo del combustible	$/litro	10	10	10
3 Costo de los lubricantes	$/litro	26	25	25
4 Costo por llanta nueva	$/llanta	883	2,653	2,475
5 Tiempo de los operarios	$/hora	23	66	53
6 Tiempo de los pasajeros	$/hora	0	0	0
7 Mano de obra de mantenimiento	$/hora	22	56	37
8 Retención de la carga	$/hora	0	0	0
9 Tasa de interés anual real	%	1	1	1
10 Costos indirectos por vehículo-km	$	0	1	1

Fuente :Elaboración con información de SCT

Atendiendo a las características generales de la zona de estudio, y a las velocidades, se calcularon las funciones en el VOC-MEX para los vehículos del

transporte público, tanto para la situación sin y con proyecto. Los costos de operación obtenidos para autos y autobuses son los siguientes:

Tabla 76. COV por kilómetro sin y con proyecto

Tramo/zona	COV sin proyecto ($/veh/km)				COV con proyecto ($/veh/km)			
	Hora pico		Hora valle		Hora pico		Hora valle	
	Autos privados	Autobuses	Autos privados	Autobuses	Autos privados	Autobuses	Autos privados	Autobuses
Zonas urbanas	7.06	20.24	5.60	16.73	6.28	18.95	5.55	16.59
Tepotzotlán - Palmillas	3.37	13.02	3.37	13.02	3.01	12.35	3.01	12.35
Palmillas - Querétaro	3.35	12.92	3.35	12.92	3.01	12.34	3.01	12.34

Fuente: elaborado con información Modelistica

Es importante aclarar que en los tramos Tepotzotlán – Palmillas y Palmillas Querétaro no se ha realizado distinción entre horas pico y valle, por lo cual el COV es un promedio a lo largo del día.

5.2.2.1 Ahorros en costos de operación vehicular por movilidad ferroviaria (directos)

Con la implementación del proyecto se obtendrán importantes beneficios por costos de operación vehicular: los usuarios seguirán utilizando vehículos privados, taxis o un medio de transporte público para acceder a la estación Buenavista, lo cual significa una disminución en la distancia recorrida en la mayoría de los casos. Asimismo, dado que una vez que los usuarios del tren lleguen a la terminal Buenavista tomarán el tren, no utilizarán más los vehículos para trasladarse hasta Querétaro, por lo cual se obtendrá una reducción cuantiosa en COV.

Tabla 77. Recorrido por macrozona sin y con proyecto (km)

Longitud	Zona Centro-Tepotzontlan Hora valle	Zona Sur-Tepotzontlan Hora valle	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora valle	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora valle	Zona Norte-Tepotzontlan Hora valle
Sin proyecto	37.0	60.0	30.0	38.0	14.0
Con proyecto	4.0	29.0	14.0	15.0	20.0
Ahorro	33.0	31.0	16.0	23.0	-6.0

Fuente: Elaboración propia

El ahorro estimado por este concepto es de 3,204.17 millones tan solo en el año 1 de operación.

5.2.2.2 Ahorros en costos de operación vehicular para movilidad carretera (indirectos)

Con la implementación del proyectos quienes seguirán utilizando la red carretera para su viaje, tendrán una mejora en su velocidad, lo que impacta en un menor costo de operación vehicular, tal como se presenta a continuación.

Tabla 78. Velocidades sin y con proyecto (2018)

Sin proyecto	Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico	Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico	Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico	Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico	Tepotzotlán - Palmillas	Palmillas - Querétaro
Longitud	37.0	60.0	30.0	38.0	14.0	112.0	60.5
Velocidad auto	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	93.00	94.00
Velocidad buses	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	83.00	84.00
Con proyecto	**Zona Centro-Tepotzontlan Hora pico**	**Zona Sur-Tepotzontlan Hora pico**	**Zona Poniente-Tepotzontlan Hora pico**	**Zona Oriente-Tepotzontlan Hora pico**	**Zona Norte-Tepotzontlan Hora pico**	**Tepotzotlán - Palmillas**	**Palmillas - Querétaro**
Longitud	37.0	60.0	30.0	38.0	14.0	112.0	60.5
Velocidad auto	28.00	28.00	29.00	28.00	29.00	110.00	110.00
Velocidad buses	17.50	17.50	18.00	17.50	18.00	95.00	95.00

Fuente :Elaboración propia

Debido a la mejora de velocidades, disminuye el costo de operación vehicular por kilómetro, tal como se presentó en la Tabla 76. COV por kilómetro sin y con proyecto.

Para el primer año de operación del proyecto el ahorro por este rubro se estima en 1023.24 millones de pesos, y representará 47,264 millones durante el horizonte de evaluación.

Por otra parte para estimar el ahorro en costo de operación vehicular (COV) para los vehículos de carga se utilizó de igual forma el HDM-VOC, y con base en las velocidades de circulación en la autopista y en la zona urbana norte, y en las longitudes recorridas se estimó el ahorro que tendrán estos vehículos al beneficiarse por la descongestión y el consecuente incremento en la velocidad. En la siguiente tabla se presenta el ahorro por kilómetro para los vehículos de carga.

Tabla 79. Ahorros en COV para los vehículos de carga

Longitud Tepotzotlán - Palmillas (km)	Velocidad promedio (km/h)		Costo de operación vehicular ($/veh/km)		
	Sin proyecto	Con proyecto	Sin proyecto	Con proyecto	Ahorro
172.5	75	83	12.4	11.7	0.6
Longitud reccorida Tepotzotlán-Zona norte (km)	**Velocidad promedio (km/h)**		**Costo de operación vehicular ($/veh/km)**		
	Sin proyecto	**Con proyecto**	**Sin proyecto**	**Con proyecto**	**Ahorro**
14	15	19	16.5	15.0	1.5

Fuente :Elaboración propia

5.2.3 Ahorros por inversiones futuras en infraestructura ferroviaria

La SCT planea la construcción de un tren suburbano de Cuautitlán – Huehuetoca. La construcción de la infraestructura del proyecto TAV México - Querétaro, permitiría su uso compartico por el tren suburbano en un segmento significativo. El coste la ampliación del suburbano es de 5,178 millones de pesos; sin embargo, con la construcción del proyecto TAV México – Querétaro, este costo se reduciría en un 46%, es decir que el ahorro atribuible al TAV es de 2,387 millones de pesos.

Tabla 80. Ahorro en infraestructura ferroviaria

Concepto	Inversión total	Inversión Suburbano	Inversión TAV Mex-Qro
Vía permanente:	***994.5***	***212.4***	***782.1***
- Vías suburbano	590.8	38.4	552.4
- Vía trenes de carga	393.0	174.0	219.0
- Vías Pantaco	10.7	-	10.7
Infraestructura ferroviaria	197.8	-	197.8
Edificios para servicio	59.2	-	59.2
Suministro de energía	645.1	201.2	443.9
Obras civiles	114.1	114.1	-
Instalaciones fijas Concesionario	982.0	208.6	773.4
Equipo ferroviario	1,984.7	1,984.7	-
Proyecto ejecutivo y dirección de obras	200.0	70.0	130.0
Total	**5,177.5**	**2,790.9**	**2,386.6**

Fuente :SCT – Propuesta Formal de Ampliación a Huehuetoca, Ferrocarriles Suburbanos, SAPI de CV

Para incluir este ahorro en la estimación de indicadores, acorde con el programa de inversión en infraestructura se prorrateo la inversión a realizarse año por año durante los 4 años de construcción del proyecto, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 81. Beneficio en infraestructura ferroviaria por año

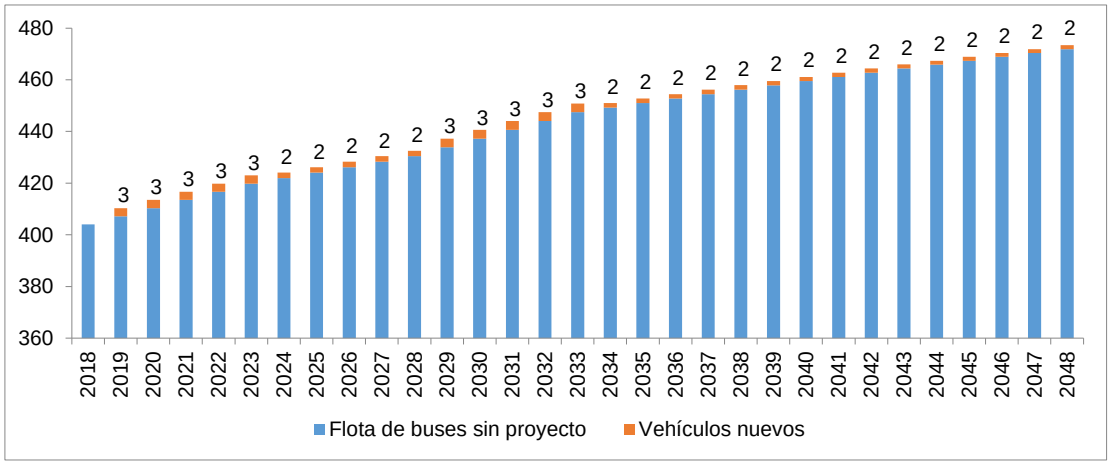
Actividad/año	2014	2015	2016	2017	Total
Inversión en Infraestructura por año	10%	16%	34%	40%	100%
Beneficio en inversión por año	238.66	381.86	811.44	954.64	2,386.60

Fuente : elaboración propia con información de Prointec y SCT – Propuesta Formal de Ampliación a Huehuetoca, Ferrocarriles Suburbanos, SAPI de CV

5.2.4 Ahorros por liberación de recursos

En la situación con proyecto se supone que cierta cantidad de autobuses dejan de circular, pues los pasajeros que transportaban en la situación sin proyecto, ahora viajarían en tren. Estos vehículos tienen un valor de rescate, o bien pueden utilizarse en otra ruta. Para el cálculo de este beneficio, se supuso que se venderían a su valor de rescate; pero además a lo largo del horizonte de evaluación, se evitaría que se compraran más de estos vehículos pues en la situación sin proyecto, las líneas de autobuses hubieran tenido que satisfacer una demanda creciente, tal como se presenta en la siguiente figura, en el año 2018 se venderían 404 autobuses y en el horizonte de evaluación se evitaría la compra de 68 unidades.

Figura 87. Flota liberada por la construcción del proyecto



Fuente :Elaboración propia

Para valorar a estos autobuses se utilizó el precio de un autobús foráneo en el mercado el cual es de 230 mil dólares considerando un autobús con WC y aire acondicionado. En el caso de las unidades existentes, el precio de un vehículo nuevo fue depreciado considerando 7 años promedio de uso, siendo este su valor de rescate.

Para incluir este beneficio en el calculo de indicadores de rentabilidad, se calculó una anualidad, considerando tanto el valor de rescate inicial como el ahorro en las compras futuras, con lo anterior se obtuvo un beneficio que asciende a 74.6 millones de pesos por año durante el horizonte de evaluación.

5.2.5 Ahorros emisiones

Debido a que dejará de circular un volumen importante de vehículos, y se disminuirá la congestión, el proyecto evitará la emisión de contaminantes. Para estimar este beneficio se estimaron los autobuses equivalentes que saldrán de circulación.

La estimación de este beneficio se realizó con base en la “Guía práctica para el cálculo de emisiones de efecto invernadero GEI” publicado por la oficina Catalana para el Cambio Climático en marzo de 2012.

De acuerdo con este documento un camión diesel que realiza un recorrido interurbano, emite 663.01 gramos de CO_2/km. Tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 82. Factores de emisión en función al tipo de recorrido

VEHÍCULO		TIPO		Emisiones en función del tipo de recorrido (g CO_2/km)		
				URBANO	RURAL	INTERURBANO
Camión diésel		Rígido	<= 14t	539,70	394,98	490,73
			>14t	1103,49	717,04	663,01
		Articulado	<= 34 t	1011,06	646,96	579,96
			>34 t	1506,13	947,43	791,44
Ligero	Gasolina	Cualquiera		365,27	207,32	220,36
	Diésel	Cualquiera		287,14	194,74	282,47

Fuente : Guía práctica para el cálculo de emisiones de efecto invernadero GEI

Para considerar de esta forma los vehículos que se retirarán de circulación se utilizó un facto de 2.2 vehículos ligeros por autobús, esto con base en el Highway Capacity Manual (HCM2010). El precio de la tonelada considerado para valorar las emisiones es de 6.40 euros por tonelada, dicho precio corresponde al promedio de 30 días y fue consultado en el Sistema Electrónico de negociación de derechos de emisión de dióxido de carbono (SENDECO2)[12]. Se utilizó un tipo de cambio de 18.32 pesos por euro, resultando en 117,25 pesos por tonelada de CO_2 emitida.

Como resultado se ha estimado un beneficio de 31.46 millones de pesos para el primer año de entrada en operación del proyecto.

[12] http://www.sendeco2.com/ consultado 26 de Marzo 2014.

5.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Con base en los costos y beneficios explicados anteriormente, se estructuraron los flujos de efectivo del proyecto, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 83. Flujos de efectivo

Flujos de efectivo																	
Año	Costos					Beneficios por movilidad ferroviaria			Beneficios por movilidad carretera				Ahorro por inversiones Huehuetoca	Liberación de recursos (autobuses)	Ahorro en emisiones	Valor de rescate	SUMA DE BENEFICIOS
	Inversión	Costos de Operaciones ferroviarias	Costos de Mantenimiento de trenes	Costos de Mantenimiento de infraestructura	SUMA COSTOS	TV pas tren	COV Pas tren	Movilidad tren	TV autos y buses	COV autos y buses	Beneficio a la carga	Movilidad carretera					
2014	3,038.60				3,038.60							0.00	238.66				238.66
2015	4,824.84				4,824.84							0.00	381.86				381.86
2016	10,989.36				10,989.36							0.00	811.44				811.44
2017	18,715.98				18,715.98							0.00	954.64				954.64
2018		**1,044.32**	**382.67**	**304.60**	**1,731.59**	**581.2**	**3,204.17**	**3,785.36**	**432.9**	**1,023.24**	**808.05**	**2,264.21**		**74.60**	**31.46**		**6,155.63**
2019		1,000.80	381.50	304.60	1,686.91	600.26	3,270.55	3,870.81	458.67	1,064.36	841.49	2,364.52		74.60	31.97		6,341.90
2020		957.29	382.67	304.60	1,644.56	618.83	3,334.75	3,953.59	480.47	1,101.33	875.95	2,457.75		74.60	32.48		6,518.41
2021		870.26	381.50	304.60	1,556.37	638.01	3,399.68	4,037.69	503.19	1,139.50	910.82	2,553.52		74.60	32.99		6,698.80
2022		870.26	380.34	304.60	1,555.20	657.69	3,465.01	4,122.70	526.47	1,177.74	946.12	2,650.33		74.60	33.49		6,881.12
2023		870.26	381.50	304.60	1,556.37	677.93	3,530.99	4,208.93	550.50	1,216.96	981.79	2,749.25		74.60	34.00		7,066.78
2024		870.26	381.50	304.60	1,556.37	694.65	3,572.62	4,267.27	573.65	1,254.33	1,017.90	2,845.88		74.60	34.26		7,222.01
2025		870.26	381.50	304.60	1,556.37	711.90	3,614.71	4,326.60	597.66	1,292.62	1,086.76	2,977.04		74.60	34.52		7,412.76
2026		870.26	382.67	304.60	1,557.54	729.53	3,656.91	4,386.44	622.01	1,330.71	1,156.26	3,108.99		74.60	34.78		7,604.80
2027		870.26	381.50	304.60	1,556.37	747.88	3,699.77	4,447.65	647.67	1,370.31	1,226.68	3,244.66		74.60	35.03		7,801.94
2028		870.26	381.50	304.60	1,556.37	766.66	3,742.78	4,509.44	673.72	1,409.79	1,297.86	3,381.37		74.60	35.29		8,000.70
2029		870.26	382.67	304.60	1,557.54	797.44	3,868.45	4,665.89	703.51	1,455.42	1,370.00	3,528.94		74.60	36.48		8,305.91
2030		870.26	381.50	304.60	1,556.37	826.70	3,991.53	4,818.23	727.09	1,491.16	1,396.05	3,614.29		74.60	37.66		8,544.79
2031		870.26	381.50	304.60	1,556.37	856.88	4,115.46	4,972.35	751.48	1,527.33	1,422.35	3,701.16		74.60	38.85		8,786.95
2032		870.26	382.67	304.60	1,557.54	888.16	4,240.33	5,128.49	777.06	1,564.09	1,449.03	3,790.17		74.60	40.03		9,033.29
2033		870.26	380.34	304.60	1,555.20	914.34	4,365.13	5,279.47	795.66	1,600.07	1,475.97	3,871.70		74.60	41.21		9,266.98
2034		870.26	381.50	304.60	1,556.37	931.14	4,418.93	5,350.07	814.73	1,635.21	1,503.17	3,953.11		74.60	41.60		9,419.38
2035		870.26	381.50	304.60	1,556.37	948.59	4,473.11	5,421.70	836.39	1,670.93	1,531.51	4,038.82		74.60	41.98		9,577.11
2036		870.26	381.50	304.60	1,556.37	966.26	4,527.56	5,493.82	858.12	1,706.67	1,560.11	4,124.90		74.60	42.37		9,735.68
2037		870.26	382.67	304.60	1,557.54	977.78	4,574.79	5,552.57	862.71	1,722.24	1,584.76	4,169.71		74.60	42.75		9,839.63
2038		870.26	381.50	304.60	1,556.37	989.22	4,621.87	5,611.09	866.45	1,736.45	1,609.34	4,212.25		74.60	43.14		9,941.08
2039		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,000.67	4,669.35	5,670.02	869.81	1,750.72	1,634.04	4,254.57		74.60	43.53		10,042.72
2040		870.26	382.67	304.60	1,557.54	1,011.13	4,715.15	5,726.28	869.59	1,759.16	1,660.00	4,288.74		74.60	43.92		10,133.54
2041		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,021.59	4,761.06	5,782.65	868.67	1,767.01	1,686.07	4,321.75		74.60	44.31		10,223.30
2042		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,031.96	4,806.86	5,838.83	866.76	1,773.54	1,712.26	4,352.56		74.60	44.70		10,310.68
2043		870.26	382.67	304.60	1,557.54	1,042.33	4,852.70	5,895.03	864.02	1,779.19	1,738.56	4,381.77		74.60	45.08		10,396.49
2044		870.26	380.34	304.60	1,555.20	1,052.52	4,898.67	5,951.19	860.21	1,783.73	1,764.96	4,408.90		74.60	45.48		10,480.17
2045		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,062.68	4,944.71	6,007.39	855.45	1,787.45	1,793.82	4,436.72		74.60	45.87		10,564.58
2046		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,072.82	4,990.84	6,063.66	849.76	1,790.36	1,822.78	4,462.89		74.60	46.27		10,647.42
2047		870.26	381.50	304.60	1,556.37	1,082.81	5,036.79	6,119.59	842.64	1,791.55	1,851.82	4,486.02		74.60	46.66		10,726.87
2048		870.26	382.67	304.60	1,557.54	1,092.68	5,082.63	6,175.31	834.21	1,791.21	1,880.95	4,506.37		74.60	47.05	37,568.78	48,372.11

Fuente: Elaboración propia

Los flujos presentados anteriormente, se actualizaron utilizando una Tasa Social de Descuento del 10%.

Tabla 84.. Flujos descontados

FLUJOS DESCONTADOS (TSD 10%)																	
	Costos					Beneficios por movilidad ferroviaria			Beneficios por movilidad carretera				Beneficios adicionales				
Año	Inversión	Costos de Operaciones ferroviarias	Costos de Mantenimiento de trenes	Costos de Mantenimiento de infraestructura	SUMA COSTOS	TV pas tren	COV Pas tren	Movilidad tren	TV autos y buses	COV autos y buses	Beneficio a la carga	Movilidad carretera	Ahorro por inversiones Huehuetoca	Liberación de recursos (autobuses)	Ahorro en emisiones	Valor de rescate	SUMA BENEFICIOS
2014	3,038.60	0.00	0.00	0.00	3,038.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	238.66	0.00	0.00	0.00	238.66
2015	4,386.22	0.00	0.00	0.00	4,386.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	347.14	0.00	0.00	0.00	347.14
2016	9,082.12	0.00	0.00	0.00	9,082.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	670.61	0.00	0.00	0.00	670.61
2017	14,061.59	0.00	0.00	0.00	14,061.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	717.23	0.00	0.00	0.00	717.23
2018	0.00	713.28	261.37	208.05	1,182.70	396.96	2,188.49	2,585.45	295.69	698.88	551.91	1,546.49	0.00	50.95	21.49	0.00	4,204.38
2019	0.00	621.42	236.88	189.13	1,047.44	372.71	2,030.76	2,403.47	284.80	660.88	522.50	1,468.18	0.00	46.32	19.85	0.00	3,937.82
2020	0.00	540.37	216.01	171.94	928.31	349.32	1,882.38	2,231.70	271.21	621.67	494.45	1,387.34	0.00	42.11	18.33	0.00	3,679.47
2021	0.00	446.58	195.77	156.31	798.66	327.40	1,744.57	2,071.97	258.22	584.74	467.40	1,310.36	0.00	38.28	16.93	0.00	3,437.54
2022	0.00	405.98	177.43	142.10	725.51	306.82	1,616.45	1,923.27	245.60	549.43	441.37	1,236.40	0.00	34.80	15.63	0.00	3,210.09
2023	0.00	369.08	161.79	129.18	660.05	287.51	1,497.49	1,785.00	233.47	516.11	416.38	1,165.95	0.00	31.64	14.42	0.00	2,997.01
2024	0.00	335.52	147.09	117.44	600.05	267.82	1,377.40	1,645.22	221.17	483.60	392.44	1,097.21	0.00	28.76	13.21	0.00	2,784.40
2025	0.00	305.02	133.71	106.76	545.50	249.52	1,266.93	1,516.45	209.48	453.05	380.90	1,043.43	0.00	26.15	12.10	0.00	2,598.13
2026	0.00	277.29	121.93	97.06	496.28	232.45	1,165.20	1,397.65	198.19	424.01	368.42	990.62	0.00	23.77	11.08	0.00	2,423.12
2027	0.00	252.08	110.51	88.23	450.82	216.63	1,071.69	1,288.33	187.61	396.93	355.32	939.86	0.00	21.61	10.15	0.00	2,259.94
2028	0.00	229.17	100.46	80.21	409.84	201.89	985.59	1,187.48	177.41	371.24	341.77	890.42	0.00	19.64	9.29	0.00	2,106.83
2029	0.00	208.33	91.61	72.92	372.86	190.90	926.08	1,116.98	168.42	348.42	327.97	844.80	0.00	17.86	8.73	0.00	1,988.37
2030	0.00	189.39	83.03	66.29	338.71	179.91	868.67	1,048.59	158.24	324.52	303.82	786.58	0.00	16.24	8.20	0.00	1,859.59
2031	0.00	172.18	75.48	60.26	307.92	169.53	814.22	983.75	148.68	302.17	281.40	732.26	0.00	14.76	7.69	0.00	1,738.45
2032	0.00	156.52	68.83	54.79	280.14	159.74	762.66	922.40	139.76	281.32	260.62	681.70	0.00	13.42	7.20	0.00	1,624.72
2033	0.00	142.30	62.19	49.80	254.29	149.50	713.73	863.24	130.10	261.62	241.33	633.05	0.00	12.20	6.74	0.00	1,515.23
2034	0.00	129.36	56.71	45.28	231.34	138.41	656.85	795.25	121.11	243.06	223.44	587.60	0.00	11.09	6.18	0.00	1,400.13
2035	0.00	117.60	51.55	41.16	210.31	128.18	604.45	732.64	113.02	225.79	206.95	545.77	0.00	10.08	5.67	0.00	1,294.16
2036	0.00	106.91	46.87	37.42	191.19	118.70	556.19	674.89	105.42	209.66	191.65	506.73	0.00	9.16	5.20	0.00	1,195.99
2037	0.00	97.19	42.74	34.02	173.94	109.20	510.90	620.10	96.35	192.34	176.98	465.67	0.00	8.33	4.77	0.00	1,098.87
2038	0.00	88.35	38.73	30.92	158.01	100.43	469.24	569.67	87.97	176.29	163.39	427.65	0.00	7.57	4.38	0.00	1,009.27
2039	0.00	80.32	35.21	28.11	143.65	92.36	430.96	523.32	80.28	161.58	150.82	392.68	0.00	6.89	4.02	0.00	926.90
2040	0.00	73.02	32.11	25.56	130.69	84.84	395.63	480.47	72.96	147.60	139.28	359.85	0.00	6.26	3.68	0.00	850.26
2041	0.00	66.38	29.10	23.23	118.72	77.92	363.16	441.09	66.26	134.78	128.61	329.65	0.00	5.69	3.38	0.00	779.81
2042	0.00	60.35	26.45	21.12	107.92	71.56	333.32	404.88	60.10	122.98	118.73	301.82	0.00	5.17	3.10	0.00	714.98
2043	0.00	54.86	24.12	19.20	98.19	65.71	305.91	371.62	54.47	112.16	109.60	276.22	0.00	4.70	2.84	0.00	655.39
2044	0.00	49.87	21.80	17.46	89.13	60.32	280.74	341.05	49.30	102.22	101.15	252.67	0.00	4.28	2.61	0.00	600.60
2045	0.00	45.34	19.88	15.87	81.08	55.36	257.61	312.98	44.57	93.12	93.46	231.15	0.00	3.89	2.39	0.00	550.40
2046	0.00	41.22	18.07	14.43	73.71	50.81	236.38	287.19	40.25	84.80	86.33	211.37	0.00	3.53	2.19	0.00	504.29
2047	0.00	37.47	16.43	13.12	67.01	46.62	216.87	263.49	36.28	77.14	79.73	193.15	0.00	3.21	2.01	0.00	461.86
2048	0.00	34.06	14.98	11.92	60.97	42.77	198.95	241.72	32.65	70.11	73.62	176.39	0.00	2.92	1.84	1,470.54	1,893.41

Fuente: Elaboración propia

Con base en los costos y beneficios descritos en este capítulo se obtienen los siguientes indicadores de rentabilidad:

Tabla 85.. Indicadores de rentabilidad proyecto TAV México - Querétaro

Indicadores de rentabilidad		
VPN	Valor presente neto	16,371.60
TIR	Tasa interna de retorno	14.56%
TRI	Tasa de rentabilidad inmediata	10.87%

Fuente: Elaboración propia

5.4 Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad, para medir la fortaleza de los indicadores ante variaciones desfavorables en los rubros de costos y beneficios.

En la siguiente tabla se presenta la sensibilidad para los principales rubros del proyecto. Se aprecia que el concepto más sensible es la inversión, ya que con un incremento del 40% se tendría una TIR de 10.88%.

Tabla 86.. Análisis de sensibilidad sobre las principales variables

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD			
CONCEPTO	INVERSIÓN	OPERACIÓN Y MENTENIMIENTO	DEMANDA TREN
Sensibilidad	**TIR**	**TIR**	**TIR**
40%	10.88%	13.29%	17.89%
30%	11.62%	13.61%	17.07%
20%	12.46%	13.93%	16.25%
10%	13.43%	14.24%	15.41%
Base	14.56%	14.56%	14.56%
-10%	15.91%	14.88%	13.70%
-20%	17.56%	15.19%	12.82%
-30%	19.64%	15.51%	11.93%
-40%	22.35%	15.83%	11.03%

Fuente: Elaboración propia

5.5 Análisis de riesgos

Para el proyecto de la naturaleza del Tren de Alta Velocidad México – Querétaro, los principales riesgos que se identifican para el proyecto son los siguientes:

- Retraso en la construcción de las obras, lo cual implicaría un sobrecosto de inversión.
- Incremento en los precios de los insumos, que impacte en un aumento de los costos estimados.
- Disminución en la demanda estimada, lo cual afectaría la rentabilidad del tren.

6. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de la evaluación económica indican que el proyecto TAV México - Querétaro, es social y económicamente rentable, pues genera beneficios que superan a los costos de inversión, mantenimiento y operación necesarios a lo largo de la vida útil del proyecto.

Bajo los costos y beneficios presentados en el presente documento, se concluye lo siguiente:

- Se obtiene un VPN positivo de 16,371.6 millones de pesos.
- Una tasa interna de retorno de 14.56%
- Una Tasa de rentabilidad inmediata de 10.87%

La importancia del transporte ferroviario es reconocido mundialmente, incluso en América Latina. En el estudio Más y mejores trenes: Cambiando la matriz de transporte en América Latina y el Caribe, realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo en 2011, se mencionan los beneficios de los sistemas ferroviarios:

Disminuyen los tiempos de viaje de los usuarios que los emplean, contribuyen a atenuar la congestión en las calles y las avenidas alternativas al trazado ferroviario, y reducen la contaminación ambiental y la emisión de los gases de efecto invernadero. También promueven un mejor uso del espacio público y un menor nivel de accidentes(…). Ese conjunto de externalidades positivas es recibido en buena medida por los usuarios de otros modos de transporte (particularmente, los de automóviles particulares y ómnibus) quienes, precisamente gracias a la presencia del ferrocarril, sufren menos congestiones de vehículos y reducen, también ellos, sus tiempos de viaje.[13]

[13] Más y mejores trenes: Cambiando la matriz de transporte en América Latina y el Caribe. BID, 2011. Pág. 20

7. Anexos

Como anexos del ACB se hará entrega de:

Anexo 01 Estudio de demanda

Anexo 02 Estudio Técnico

Anexo 03 Memora de cálculo

Anexo 04 Estimación de presupuestos

Anexo 05 Presupuestos e inversión

Anexo 06 Funcionalidad y explotación

8. Bibliografía

- Diario Oficial de la Federación (DOF), Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión, diciembre 2013.
- José Antonio Arroyo Osorno, Roberto Aguerrebere Salido, Guillermo Torres Vargas, Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano, 2010, Publicación Técnica No. 337, Sanfandilia, Querétaro.
- Pedro Cásares Hontañón, Pablo Coto Millán, Ingrid Mateo Mantecón, La importancia de la alta velocidad sobre el desarrollo de las regiones análisis costo beneficio del AVE Santander Madrid, Universidad de Cantabria Santander, Congreso de Asociación Española de ciencia regional, Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Estudio de evaluación privada y socioeconómica para la construcción, operación y mantenimiento de la autopista Palmillas – Apaseo El Grande, Julio 2012.