



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE TRAZO DEL PROYECTO DEL
TREN INTERURBANO MÉXICO – TOLUCA.”**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. DAVID ROBERTO DÍAZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESINA: **ING. ALEJANDRO ÁLVAREZ REYES RETANA**

MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez.

Vocal: Ing. Alejandro Álvarez Reyes Retana.

Secretario: M en I. José Antonio Kuri Abdala.

Suplente: Ing. Manuel Zárate Aquino.

Suplente: Ing. Pedro Corona Ballesteros.

Agradezco a dios:

Por darme a mi familia, por darme a mis amigos, y por darme todas las cosas bellas que forman parte de mi vida.

Dedicado a mi madre María del Carmen y a mi padre Felipe:

Por todo su amor, por haber trabajado muy duro durante toda su vida, para darnos a mis hermanos y a mí la oportunidad de estudiar, de salir adelante, de convertirme en un profesionista, por darme la educación y las herramientas necesarias para defenderme de la vida, por su paciencia, apoyo, y preocupación para hacerme una persona mejor cada día de mi vida, por enseñarme a valorar las cosas y valorar todo lo que tenemos, por ser un ejemplo a seguir, ¡Todas mis virtudes se las debo a ustedes! ¡Los amo!

Dedicado a mis hermanos Felipe y Mario Ángel:

Por su ejemplo, por estar siempre presentes cuando los necesito, por compartir conmigo tantas cosas, por su orientación y consejos que me han ayudado a superarme como ser humano.

Dedicado a mis grandes amigos de toda la vida, Alma Guisel, Isabel, Elizabeth, Braulio, Sergio y Rodrigo:

Por su gran amistad, por todo su apoyo, por estar presentes siempre que los necesito, gracias por formar parte de mi vida, gracias a todos por creer en mí, ¡Este trabajo también es de ustedes!

De igual manera mi mas sincero agradecimiento al Ing. Alejandro Álvarez Reyes Retana, por la dirección de este trabajo, por todo su apoyo en la realización del mismo, y por inculcarme el gusto por los ferrocarriles, y darme la oportunidad de incorporarme al campo laboral ¡gracias ingeniero!, igualmente mi agradecimiento a los ingenieros, Philip Tetley, Ernesto René Mendoza Sánchez, José Antonio Kuri Abdala, Manuel Zárate Aquino y Pedro Corona Ballesteros, por compartir sus conocimientos y por sus recomendaciones que me han servido de fundamentación para enriquecer este trabajo.

Finalmente agradezco a mi querida Universidad Nacional Autónoma de México, y en especial a mi amada Facultad de Ingeniería, por hacer mi sueño realidad al permitirme estudiar en sus aulas, a mis amigos de la facultad Efrén, Carlos, Joel y a todos mis profesores por trasmitirme sus conocimientos que me han ayudado a forjarme como un profesionista con la capacidad necesaria para poder servir a mi país.

Finalmente este trabajo está dedicado a todo aquel que nunca ha dejado de soñar.....

.....El fracaso comienza cuando cesa el esfuerzo.....

David

ÍNDICE

OBJETIVO..... 1
JUSTIFICACIÓN..... 1
RESUMEN..... 2

**CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO DEL TREN INTERURBANO
MÉXICO – TOLUCA..... 4**

1.1. El transporte entre las Ciudades de México y Toluca..... 4
 1.1.1. Infraestructura carretera..... 4
 1.1.2. Demanda de pasajeros entre las Ciudades de México y Toluca..... 5
 1.1.3. Problemáticas de transporte y desarrollo urbano entre las Ciudades de México y Toluca.
 6
1.2. Proyecto de Tren Interurbano México – Toluca..... 7
 1.2.1. Beneficios del proyecto..... 8
1.3. Necesidades de trazo del proyecto..... 8
 1.3.1. Necesidades de operación del proyecto..... 9
 1.3.2. Limitaciones geométricas del proyecto..... 9
1.4. Normatividad europea..... 10
 1.4.1. Pendientes máximas permisibles del trazo..... 11
 1.4.2. Radios de curvatura..... 12
 1.4.3. Peralte..... 13
 1.4.4. Insuficiencia de peralte..... 13
 1.4.5. Aceleración transversal sin compensar..... 13
 1.4.6. Obtención del radio de curvatura mínimo para el proyecto..... 14

**CAPÍTULO II ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – NAUCALPAN
UTILIZANDO LA LÍNEA “N”..... 15**

2.1. Trazo del Tren Interurbano México – Toluca utilizando la Línea N..... 15
 2.1.1. Descripción general de la Línea N..... 15
 2.1.1.1. Los servicios existentes de la Línea N..... 17
 2.1.1.2. Antiguo servicio de pasajeros en la Línea N..... 17
 2.1.2. Propuesta de reutilización de la Línea N..... 18

2.1.2.1. Aprovechamiento de los tramos urbanos de la Línea N.....	18
2.1.2.2. Accesos a la Ciudad de México.	19
2.1.2.2.1. Zona Naucalpan – Cuatro Caminos y su relación con la Línea N.....	19
2.1.2.2.2. El tramo urbano de la Línea N en Naucalpan.....	19
2.1.2.2.3. Zona de Interlomas y su relación con la Línea N.....	21
2.1.2.3. El eje de la Línea N.....	22
2.1.2.4. Accesos a la Ciudad de Toluca.....	22
2.1.2.5. El eje de la Carretera Federal 134.	22
2.1.3. La Sierra de las Cruces.....	23
2.1.3.1. Trazo del proyecto a través de la Sierra de las Cruces.	25
2.1.3.2. Trazo a través de la Sierra de las Cruces con túnel de altura.	25
2.1.3.3. Penetración en la montaña del lado de la Ciudad de México.....	26
2.1.3.3.1. Corredor M1 (Río Hondo).....	26
2.1.3.3.2. Corredor M2 (Río Hondo y Arroyo Borracho).	27
2.1.3.3.3. Corredor M3 (Río Tlalnepantla).....	27
2.1.3.4. Penetración en la montaña del lado de Toluca.	29
2.1.3.4.1. Corredor T1 (Río Agua Apestosa).	29
2.1.3.4.2. Corredor T2 (cañada del Río Salazar).	29
2.1.3.4.3. Corredor T3 (Río El Jilguero).	30
2.1.3.4.4. Corredor T4 (Río San Lorenzo).	31
2.1.3.4.5. Corredor T5 (Río Zolotepec).....	32
2.1.3.5. Opciones de túnel de altura con los deferentes corredores propuestos.	32
2.1.3.5.1. Aspectos económicos del túnel de altura.....	33
2.1.3.6. Trazo a través de la Sierra de las Cruces con túnel de base.	35
2.1.3.6.1. Aspectos técnicos del túnel de base.	36
2.1.3.6.2. Aspectos económicos del túnel de base.....	36
2.2. Elección del trazo con la Línea N en la zona de la Sierra de las Cruces.....	37
2.3. Análisis del trazo del Tren Interurbano Toluca – Naucalpan utilizando la Línea N.....	37
2.3.1. Ventajas del uso de la Línea N como ruta del proyecto.....	37
2.3.2. Desventajas del uso de la Línea N como ruta del proyecto.....	37

CAPÍTULO III ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – OBSERVATORIO.	38
3.1. Trazo Toluca – Observatorio.....	38
3.1.1. Pendiente del trazo Toluca - Observatorio.....	39
3.1.2. Elevaciones del trazo Toluca - Observatorio.....	40
3.1.3. Demanda de usuarios y tiempos de recorrido actuales de la ruta Toluca - Observatorio.	41
3.1.4. Características operativas propuestas del trazo Toluca - Observatorio.....	42
3.1.5. Aspectos económicos del trazo Toluca - Observatorio.....	42
3.1.6. Recorrido propuesto del trazo Toluca – Observatorio.	43
3.1.6.1. Cruce de Lerma y Paseo Tollocán.....	44
3.1.6.2. Inicio de túnel en la Autopista México - Toluca.....	44
3.1.6.3. Estación Santa Fe.....	45
3.1.6.4. Estación Observatorio.....	46
3.1.7. Infraestructura del trazo Toluca – Observatorio.....	47
3.2 Análisis del trazo Toluca – Observatorio.....	48
3.2.1 Ventajas de la elección del trazo Toluca – Observatorio.	48
3.2.2 Desventajas de la elección del trazo Toluca – Observatorio.....	48
 CAPÍTULO IV ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – CUATRO CAMINOS.	 50
4.1. Trazo Toluca – Cuatro Caminos.	50
4.1.1. Pendiente del trazo Toluca - Cuatro Caminos.....	51
4.1.2. Demanda de usuarios del trazo Toluca – Cuatro Caminos.....	52
4.1.3. Características operativas del trazo Toluca - Cuatro Caminos.....	52
4.1.4. Tarifas propuestas para el trazo Toluca - Cuatro Caminos.....	53
4.1.5. Aspectos económicos del trazo Toluca - Cuatro Caminos.....	53
4.1.6. Recorrido propuesto del trazo Toluca – Cuatro Caminos.	54
4.1.6.1. Estación terminal de Toluca.....	54
4.1.6.2. Trazo del tren en la Avenida López portillo.....	56
4.1.6.3. Trazo del tren en el cruce con la Avenida Alfredo del Mazo.....	56
4.1.6.4. Ubicación de la estación Sauces.....	58
4.1.6.5. Estación Aeropuerto de Toluca.	58
4.1.6.6. Trazo del proyecto por la Autopista Toluca – Naucalpan.....	60
4.1.6.6.1. Propuesta de sección en la Autopista Toluca - Naucalpan.....	61

4.1.6.7. Trazo Toluca – Cuatro Caminos tramo en túnel de doble vía.	62
4.1.6.8. Trazo rumbo a la estación Naucalpan por el derecho de via de la Línea N.	63
4.1.6.8.1. Trazo de la Línea N por la cañada en la zona de Huixquilucan.	64
4.1.6.8.2. Tramo urbano de la Línea N en Naucalpan con dirección a Río hondo.	66
4.1.6.9. Propuesta de los cruces de las Avenidas Río San Joaquín e Ingenieros Militares con Periférico.	68
4.1.6.10. Estación Cuatro Caminos.	69
4.1.6.11. Propuesta de ampliación a la estación Buenavista.	70
4.1.6.12. Propuesta de ampliación a la estación Tacuba.	71
4.1.7. Infraestructura necesaria para el trazo Toluca - Cuatro Caminos.	72
4.2. Análisis del trazo Toluca – Cuatro Caminos.	72
4.2.1. Ventajas del trazo Toluca – Cuatro Caminos.	72
4.2.2. Desventajas del trazo Toluca – Cuatro Caminos.	73
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.	74
5.1. Aspectos necesarios para la elección del trazo definitivo.	74
5.2. Comparación de los trazos propuestos del proyecto.	74
5.2.1. La Línea N en comparación con los trazos Toluca – Observatorio y Toluca – Cuatro Caminos.	75
5.2.2. Comparación de los trazos Toluca – Observatorio y Toluca – Cuatro Caminos.	75
5.3. Factibilidad de construcción de un túnel en la Sierra de las Cruces.	76
5.4 Recomendaciones.	77
BIBLIOGRAFÍA.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura # 1.1. Autobús de la empresa Caminante..... 4
 Figura # 1.2. Infraestructura carretera entre las Ciudades de México y Toluca..... 5
 Figura # 1.3. Autopista México – Toluca, en el tramo La Marquesa – Constituyentes. 5
 Figura # 1.4. Localización geográfica del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca. 7

CAPÍTULO II

Figura # 2.1. Esquema de Ferrocarriles Nacionales de México sobre las vías en el Valle de México.
 15
 Figura # 2.2. Perfil longitudinal de la Línea N del Horario 11 de
 Ferrocarriles Nacionales de México..... 16
 Figura # 2.3. Tramo de la Línea N en Naucalpan. 19
 Figura # 2.4. Invasión al derecho de vía de la Línea N en diferentes zonas de Naucalpan..... 20
 Figura # 2.5. Río Hondo en Interlomas, se observa la Línea N y el puente de la Autopista 134..... 21
 Figura # 2.6. Interlomas y el Valle del Río Hondo. 21
 Figura # 2.7. Acceso a Toluca por la Línea N..... 22
 Figura # 2.8. La carretera 134 cerca de Xonacatlán..... 23
 Figura # 2.9. Perfil geológico longitudinal sobre las ocho estructuras volcánicas de
 la Sierra de las Cruces. 23
 Figura # 2.10. Los ejes de penetración en la Sierra de las Cruces. 25
 Figura # 2.11. El desfiladero de Dos Ríos y el Llano de los Boquetes, se observa además la Línea N
 y la zona para ubicar el portal del túnel..... 26
 Figura # 2. 12. Corredores M1 y M2, se observa además la zona para ubicar el portal del
 túnel del corredor M2..... 27
 Figura # 2.13. Corredor del Río Tlalnepantla y la zona para ubicar el portal del túnel. 28
 Figura # 2.14. Corredores T1, T2 y T3, se observan además las ubicaciones propuestas de los
 portales de salida de las opciones de túneles respectivas. 30
 Figura # 2.15. El Corredor del Río San Lorenzo y la zona para ubicar el portal del túnel. 31
 Figura # 2.16. Corredor del Río Zolotepec y la zona para ubicar el portal del túnel. 32

CAPÍTULO III

Figura # 3.1. Opción de trazo Toluca - Observatorio y localización preliminar de estaciones..... 38
 Figura # 3.2. Planimetría de INEGI del trazo Toluca – Observatorio..... 39
 Figura # 3.3. Perfil del terreno y pendientes propuestas del trazo Toluca – Observatorio..... 39
 Figura # 3.4. Trazo y elevaciones de la ruta Toluca – Observatorio..... 40
 Figura # 3.5. Ubicación del complejo Lerma (estación, talleres y desarrollo comercial). 43
 Figura # 3.6. Propuesta del cruce en Lerma y Paseo Tollocan..... 44
 Figura # 3.7. Boca de entrada del túnel sobre la Autopista México – Toluca..... 45
 Figura # 3.8. Opciones de ubicación de la estación Santa Fe..... 45

Figura # 3.9. Esquema de vías entre las estaciones Observatorio y Santa Fe. 46
 Figura # 3.10. Esquema de la estación terminal Observatorio. 47
 Figura # 3.11. Zona de reserva ecológica de Santa Fe. 49

CAPÍTULO IV

Figura # 4.1. Trazo propuesto Toluca – Cuatro Caminos y ubicación de sus estaciones..... 50
 Figura # 4.2. Trazo Toluca - Cuatro Caminos en planimetría del INEGI. 51
 Figura # 4.3. Perfil del trazo Toluca – Cuatro Caminos..... 51
 Figura # 4.4. Estación de Toluca..... 55
 Figura # 4.5. Propuesta de ubicación de la terminal de Toluca con llegada por la
 Avenida López portillo..... 55
 Figura # 4.6. Sección actual de la Avenida López Portillo. 56
 Figura # 4.7. Sección propuesta en la Avenida López Portillo. 56
 Figura # 4.8. Propuesta de trazo del proyecto en el cruce de la Avenida López Portillo con la
 Avenida Alfredo del Mazo en Toluca. 57
 Figura # 4.9. Propuesta de sección transversal del proyecto y propuesta de adquisición de derecho
 de vía necesario para el tren en el puente de Alfredo del Mazo..... 57
 Figura # 4.10. Estructura vial propuesta de la estación Sauces..... 58
 Figura # 4.11. Ubicación propuesta de la estación Aeropuerto de Toluca..... 59
 Figura # 4.12. Propuesta de trazo y zonas necesarias para liberación del derecho de vía en el
 Boulevard Aeropuerto..... 59
 Figura # 4.13. Estado actual de la zona para liberación de derecho de vía cercana al
 Boulevard Aeropuerto..... 60
 Figura # 4.14. Sección propuesta del proyecto en el Boulevard Aeropuerto..... 60
 Figura # 4.15. Trazo propuesto del proyecto por la Autopista Toluca – Naucalpan..... 61
 Figura # 4.16. Sección transversal actual de la Autopista Toluca - Naucalpan. 61
 Figura # 4.17. Propuesta de sección transversal de la Autopista Toluca - Naucalpan..... 62
 Figura # 4.18. Trazo propuesto del túnel de doble vía..... 62
 Figura # 4.19. Sección propuesta del túnel de doble vía..... 63
 Figura # 4.20. Tramo de la estación Río Hondo hacia la estación Cuatro Caminos..... 63
 Figura # 4.21. Perfil del tramo de Río Hondo rumbo a la estación Cuatro Caminos..... 64
 Figura # 4.22. Trazo por la cañada de la Línea N en Huixquilucan..... 64
 Figura # 4.23. Perfil del trazo por la cañada del Ferrocarril Central a Acámbaro (Línea N). 65
 Figura # 4.24. Propuesta de sección transversal en la cañada..... 65
 Figura # 4.25. Vista del tramo de la Línea N a la altura de la carretera Chamapa - Lechería a
 Bosque de La Herradura..... 66
 Figura # 4.26. Estado actual de la Línea N en Naucalpan..... 66
 Figura # 4.27. Sección actual de la Línea N en Naucalpan..... 67
 Figura # 4.28. Sección propuesta de trazo sobre el derecho de vía de la Línea N..... 67
 Figura # 4.29. Propuesta de túnel de doble vía en la intersección vial
 de Río San Joaquín y Periférico..... 68
 Figura # 4.30. Propuesta de túnel de doble vía en la intersección vial de Periférico e
 Ingenieros Militares..... 68

Figura # 4.31. Propuesta de ubicación de la estación Cuatro Caminos.....	69
Figura # 4.32. Vista global del área de Cuatro Caminos.....	69
Figura # 4.33. Trazo Toluca - Cuatro Caminos y su conexión con la Línea 2 del Metro.	70
Figura # 4.34. Propuesta de ampliación del trazo a Buenavista y Tacuba.	71

CAPÍTULO V

Figura # 5.1 Trazos propuestos Toluca –Observatorio, Toluca – Cuatro Caminos y la vía del Ferrocarril a Acámbaro (Línea N).....	74
Figura # 5.2. Tren de suspensión pendular.....	77

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro # 2.1. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M1 (Río Hondo).	26
Cuadro # 2.2. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M2 Río Hondo y Arroyo Borracho.....	27
Cuadro # 2.3. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M3 (Río Tlalnepantla). .	28
Cuadro # 2.4. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T1 (Río Agua Apestosa).	29
Cuadro # 2.5. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T2 (cañada del Río Salazar).....	29
Cuadro # 2.6. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T3 (Río El Jilguero).	30
Cuadro # 2.7. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T4 (Río San Lorenzo). ..	31
Cuadro # 2.8. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T5 (Río Zolotepec).	32
Cuadro # 2.9. Posibles longitudes de túnel de altura de los diferentes corredores para el trazo del proyecto en la Sierra de las Cruces.	33
Cuadro # 2.10. Ventajas de los corredores T3 y T4.	33
Cuadro # 2.11. Ejemplificación de túneles construidos en el extranjero de gran longitud.	34
Cuadro # 2.12. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos con túnel de altura. (Nota: Estos presupuestos no incluyen el material rodante y son correspondientes al año 2006.) ...	34
Cuadro # 2.13. Parámetros técnicos del proyecto con túnel de altura.....	35
Cuadro # 2.14. Costos anuales preliminares de operación del proyecto con túnel de altura.....	35
Cuadro # 2.15. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos con túnel de base.	36

CAPÍTULO III

Cuadro # 3.1. Elevaciones del trazo Toluca – Observatorio.	40
Cuadro # 3.2. Demanda diaria esperada en los corredores de la ruta Observatorio – Toluca.	41
Cuadro # 3.3. Características de operación propuestas del tren Toluca - Observatorio.....	42
Cuadro # 3.4. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos para la construcción del tren con el trazo Toluca - Observatorio.....	43

CAPÍTULO IV

Cuadro # 4.1. Demanda aproximada de usuarios en el trayecto Toluca – Cuatro Caminos.	52
Cuadro # 4.2. Características de operación del tren Toluca – Cuatro Caminos.	52
Cuadro # 4.3. Inversión preliminar del tren Toluca – Cuatro Caminos.	54
Cuadro # 4.4. Longitudes y tipos de tramo del trazo Toluca – Cuatro Caminos.	72

CAPÍTULO V

Cuadro # 5.1. Comparativo de los trazos Toluca – Cuatro Caminos y Toluca - Observatorio.	75
Cuadro # 5. 2.Comparativo de costos de construcción aproximados de los trazos Toluca – Cuatro Caminos y Toluca - Observatorio.	76

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla # 1.1. Valores usuales de pendientes máximas, según normativa RENFE: NRV 0200 Y 0201.	12
Tabla # 1.2. Radios de curvatura mínimos en función de la velocidad, establecidos en la Normativa RENFE: NRV 0200, NVR 0201.	12
Tabla # 1.3. Valores límite de peralte adoptados en líneas convencionales y de alta velocidad.	13
Tabla # 1.4. Valores límite de insuficiencia de peralte adoptados en líneas convencionales y de alta velocidad, en vías y aparatos.	13

CAPÍTULO II

Tabla # 2.1. Horario 11 Toluca - Naucalpan, de Ferrocarriles Nacionales de México.	17
Tabla # 2.2. Distancias y tiempos mínimos de recorrido de la ruta Naucalpan - Toluca.	18

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO III

Gráfica # 3.1. Tiempo aproximado de recorrido del transporte público de la ruta Observatorio – Toluca en diferentes horarios.	41
---	----

CAPÍTULO IV

Gráfica # 4.1. Análisis de sensibilidad Tarifa - Demanda de Pasajeros.	53
---	----

OBJETIVO.

Llevar a cabo un análisis sobre las alternativas de trazo más importantes para el desarrollo del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca, con el propósito de definir cuál será el trazo más adecuado para la realización del mismo, tomando en cuenta aspectos técnicos, económicos y ecológicos, además de las ventajas y desventajas que ofrece cada alternativa.

JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad debido a la importancia y complejidad de aspectos que involucra la realización de un proyecto ferroviario para pasajeros en nuestro país, es necesario llevar a cabo un análisis adecuado acerca de las distintas alternativas de trazo presentadas, con el propósito de obtener los fundamentos para seleccionar la opción más factible y garantizar el éxito y la funcionalidad del proyecto durante sus etapas de planeación, construcción, operación y conservación.

RESUMEN.

El desarrollo de obras de infraestructura como es el caso de las vías terrestres siempre se considera un signo de progreso y crecimiento para un país, en particular cuando se refiere a la consideración de un proyecto de transporte masivo de pasajeros como lo es un ferrocarril, el cual en países desarrollados principalmente en Europa es la columna vertebral de los sistemas de transporte debido a las grandes ventajas que representa, por esta razón uno de los principales propósitos de la nueva administración del Gobierno Federal es proporcionar un fuerte impulso al desarrollo y consumación de proyectos ferroviarios de pasajeros, ya que en México este medio de transporte salvo en el caso del Sistema 1 del Tren Suburbano y las rutas de carácter turístico se encuentra desaparecido como medio de transporte interurbano, sin embargo en la actualidad se tienen buenas expectativas para el resurgimiento del ferrocarril de pasajeros, ya que se cuenta con condiciones y un potencial importante para desarrollarlo, por lo que uno de los más importantes proyectos para lograr este objetivo es el del Tren Interurbano México – Toluca.

La propuesta de construcción de un tren de pasajeros entre las Ciudades de México y Toluca es un proyecto muy importante y a su vez ambicioso, debido a que ambas ciudades están muy cerca de conurbarse debido al intenso desarrollo urbano de esta zona del país, formando un importante lazo económico, social y cultural debido a su cercanía, sin embargo, los servicios de transporte necesarios para satisfacer la demanda no se han logrado desarrollar de la misma manera, por lo que es necesario ofrecer un transporte masivo con un horizonte de planeación a mediano y largo plazo que permita la rápida movilidad entre estas ciudades, es por estas razones que se considera la construcción del Tren Interurbano México – Toluca.

En el caso particular de este proyecto, existen diversas e importantes opciones para la elección de la ruta definitiva del mismo, por esta razón el presente trabajo está destinado a analizar las mejores opciones de trazo, tomando en cuenta cuales son las principales características con las que cuenta cada alternativa presentada, considerando aspectos importantes como son la afluencia de usuarios, el tiempo, el costo y la factibilidad técnica de construcción del proyecto.

Como parte de este análisis el primer capítulo está destinado a ofrecer información general sobre el proyecto como lo es el contexto que se vive en la actualidad para transportarse entre las Ciudades de México y Toluca, así como las problemáticas existentes, se presentan los principales fundamentos para justificar la realización del proyecto mediante la importancia y beneficios que puede generar a la sociedad la puesta en marcha del mismo, además se presentan las exigencias y las principales características que deben tener los trazos considerados como posibles rutas del proyecto.

El segundo capítulo presenta la primer alternativa de trazo que es el corredor Toluca – Naucalpan, el cual considera el aprovechamiento de la infraestructura ferroviaria existente con la propuesta de reutilización de la Línea N, la cual conecta las Ciudades de México y Toluca no utilizada en la actualidad, por lo que en este capítulo se presentan las generalidades de la misma, sus características principales, los tramos reutilizables y las problemáticas que presenta este trazo al presente, así como las principales rutas de penetración en la Sierra de las Cruces, también se realiza un análisis del trazo señalando las principales ventajas y desventajas que tendría para ser seleccionado como trazo del proyecto.

Continuando con el análisis de las rutas propuestas el tercer capítulo está destinado a la ruta Toluca – Observatorio haciendo conexión con la Línea 1 del Metro, la cual propone la utilización de un nuevo derecho de vía, por lo que se analizará el recorrido propuesto del trazo, así como las obras de infraestructura necesarias para la generación del proyecto, también se incluye un análisis del mismo señalando las principales características, ventajas y desventajas de la elección de este trazo.

El capítulo cuarto se destina al estudio del trazo Toluca- Cuatro Caminos haciendo conexión con la Línea 2 del Metro, con una posible ampliación hacia Buenavista y/o Tacuba, analizando sus principales propiedades como son su recorrido propuesto y las obras de infraestructura necesarias para su realización, concluyendo el capítulo con un análisis del trazo señalando las principales características, ventajas y desventajas de seleccionar esta ruta.

Finalmente en el capítulo quinto destinado a las conclusiones, se presenta una evaluación de los trazos estudiados, llevando a cabo una comparación entre ellos, donde se seleccionará cuál de las tres alternativas es la que proporciona las mayores ventajas y beneficios, para ser considerada la ruta definitiva para el trazo del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca, así como también se presentan algunos aspectos a considerar para la construcción de un túnel en la Sierra de las Cruces y recomendaciones personales. Cabe mencionar que las opciones presentadas en el presente trabajo no son las únicas alternativas existentes, sin embargo debido a sus características técnicas se considera que son las más importantes.

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO DEL TREN INTERURBANO MÉXICO – TOLUCA.

En este capítulo se presenta información general sobre el proyecto del Tren Interurbano México – Toluca, así como también algunos aspectos a considerar para justificar su realización, considerando los beneficios que podría generar, así mismo también se presentaran cuáles son los principales aspectos y parámetros a considerar para la elección de la mejor opción de trazo para el proyecto, basándose en las normativas correspondientes.

1.1. El transporte entre las Ciudades de México y Toluca.

El medio de transporte entre ambas ciudades en la actualidad consiste únicamente en el uso del autotransporte, ya sea en automóvil particular o en autobús, el transporte público terrestre interurbano de pasajeros está bajo la tutela federal por tratarse del transporte entre dos entidades federativas, las concesiones están distribuidas entre grandes compañías que ofrecen generalmente el servicio entre la Central de Observatorio y la Central de Toluca, con la posibilidad de bajar del autobús en la ciudad de destino y en determinados puntos antes de llegar a la estación. La mayoría de la población que viaja por autobús lo hace a través de esta Central Camionera, para conectarse con el Sistema de Transporte Colectivo Metro, con un tiempo de recorrido sencillo de una hora. Además se ofrecen algunos servicios a la Terminal Norte de la Ciudad de México, a la Estación Cuatro Caminos de Naucalpan y directos a los aeropuertos; en el itinerario principal compañías como Caminante o Flecha Roja ofrecen salidas cada 5 minutos durante la mayor parte del día.



Figura # 1.1. Autobús de la empresa Caminante.

Fuente disponible en: <http://transportamex.com/autobuses/caminante/>. Consultado el día 30 de agosto de 2013.

Los servicios rurales que corren entre Cuatro Caminos y la Central de Toluca tienen una frecuencia elevada, el tiempo de recorrido en el itinerario principal es nominalmente de 60 minutos, el tránsito en la Ciudad de México es tan intenso que este tiempo se extiende con regularidad a una hora y media, inclusive el tiempo se incrementa en función del clima y del día de la semana, la tarifa para los usuarios es de aproximadamente \$51.00 Pesos por viaje sencillo.

1.1.1. Infraestructura carretera.

La red carretera tendida entre ambas zonas metropolitanas es compleja, en razón de la proximidad entre estas ciudades y de la gran extensión en superficie de la Ciudad de México. El tráfico sin embargo se concentra principalmente en el eje empleado tanto por la autopista de cuota 15, como por la carretera federal 15 comunicando a La Venta, Puerto de las Cruces, Cañada del Salazar, Lerma, también aunque en mucho menor grado, por la carretera federal 134, la cual tiene una vocación de servicio rural, siendo sobre-utilizada por el autotransporte de carga que lleva al norte de

la ciudad, así mismo existe también la carretera federal y la autopista Toluca – Naucalpan, la cual se encuentra en fase de construcción.

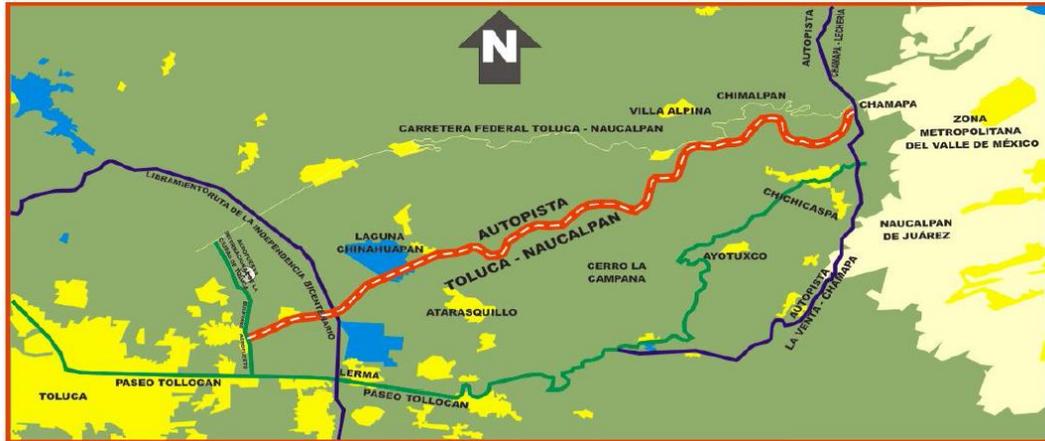


Figura # 1.2. Infraestructura carretera entre las Ciudades de México y Toluca.

Fuente: Gobierno del Estado de México, Autopista Toluca – Naucalpan.

El acceso a la Ciudad de México se encuentra distribuido entre las carreteras de cuota y libre, número 15 ya que ambas llegan a Santa Fe - Lomas Altas y la autopista La Venta - Lechería, la cual proporciona un camino rápido para todas las localidades del noroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México, ya que es un importante alimentador de la carretera y autopista mencionadas, existe una sola vía entre la Marquesa y Toluca. Es precisamente en este tramo donde se observan ocasionalmente los primeros signos de saturación de la infraestructura, a pesar de que cuenta con dos cuerpos de 3 carriles cada uno, como se muestra en la Figura # 1.3.



Figura # 1.3. Autopista México – Toluca, en el tramo La Marquesa – Constituyentes.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

1.1.2. Demanda de pasajeros entre las Ciudades de México y Toluca.

Diariamente se trasladan del Distrito Federal a Toluca aproximadamente 130 mil personas/día, las cuales se transportan a través de autobuses, taxis y automóvil particular; la mayor parte de los pasajeros que cruzan la Sierra tienen su origen o destino en México o Toluca, o más allá de estas ciudades, sin embargo, el tráfico con origen o destino dentro de la Sierra es considerable, e ilustra dramáticamente la presión urbanizadora en el contexto de la zona montañosa.

Los autobuses que dan servicio en esta zona generalmente realizan viajes que inician y terminan en las ciudades, aproximadamente unas 59,000 personas viajan diariamente en las líneas de transporte público entre México y Toluca, de ellos 36,700 van de ciudad a ciudad, y 22,300 se desplazan de o a una localidad del campo.

- Nota: no están incluidos en esta contabilidad los pasajeros del transporte público que viajan más allá de alguna de las ciudades (por ejemplo: de México a Morelia).

Además de que un gran número de personas viaja en automóvil particular, en el año 2005 un promedio diario de 37,000 automóviles circulaban en algún sentido en la carretera federal 15, correspondiendo aproximadamente de 50 a 55,000 personas.

Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, “*Manual Estadístico del Sector Transporte*”, 2005.

1.1.3. Problemáticas de transporte y desarrollo urbano entre las Ciudades de México y Toluca.

El Valle de Toluca se ha convertido en la quinta zona metropolitana del país y está muy cerca de conurbarse con el Distrito Federal, el crecimiento de la mancha urbana de estas ciudades ha producido un desarrollo urbano acelerado y poco ordenado, además de que ambas ciudades están urbanizando las zonas montañosas, invadiendo rápidamente áreas naturales, además de generar una necesidad de apoyarse en la infraestructura carretera.

La intensa actividad propia de cada ciudad fomenta relaciones cada vez más intensas, sin embargo, la infraestructura para la movilidad entre estas dos ciudades se limita a la infraestructura carretera mencionada con anterioridad, no obstante en la actualidad ambas capitales presentan una sobreoferta en el parque vehicular y de transporte de pasajeros, que generan diversas problemáticas tanto en materia de operación como en materia ambiental, que se describen a continuación:

- Los tiempos de recorrido son altos para entrar o salir en ambas ciudades, las personas se trasladan diariamente en transportes colectivos de la estación Observatorio del Metro a la zona de Santa Fe, con un tiempo de traslado de 30 a 45 minutos aproximadamente.
- Existen dificultades para atender la alta concentración de la demanda en horas pico.
- Existe un alto número de accidentes y un ambiente de inseguridad en la red carretera existente entre estas ciudades, debido a la alta afluencia de vehículos particulares y de transporte público.
- Existen externalidades significativas en materia de emisiones contaminantes por el alto parque vehicular, la situación de la Sierra de las Cruces presenta un tráfico tan intenso que como consecuencia genera una gran cantidad de químicos como el CO₂ (*Dióxido de carbono*), que atacan los ecosistemas existentes, contribuyendo a la destrucción del medio natural.

Por estas razones, se tiene la necesidad de contar con un transporte colectivo que conecte a las dos ciudades de una manera más rápida, y que permita reducir el uso de una gran cantidad de vehículos que ocasionan embotellamientos, contaminación, y gastos a la población, considerando la posibilidad de realizar un proyecto ferroviario de pasajeros, sin embargo la experiencia en México corresponde a proporcionar una mayor importancia al desarrollo de proyectos carreteros, así como

también existe un fuerte hábito de la población para utilizar el autotransporte, no obstante la atención de este problema requiere un análisis especializado para proponer alternativas de transporte masivo que tengan factibilidad y sustentabilidad física, técnica, financiera, económica, ambiental y social, con miras a un horizonte de planeación a mediano y largo plazo. Estas son las razones por lo que se analiza la puesta en marcha del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca.

1.2. Proyecto de Tren Interurbano México – Toluca.

En la actualidad existen perspectivas interesantes para un servicio ferroviario entre las Ciudades de México y Toluca, debido al contexto de elevada población y de fuerte actividad económica; los posibles puntos de enlace del proyecto independientemente del trazo, se localizan en un contexto urbano donde puede prosperar una modalidad local del transporte, así mismo el servicio interurbano puede interesar tanto para el transporte de carga como el de pasajeros. A continuación se presentaran algunas generalidades del proyecto, tomando en cuenta que existen varias alternativas de trazo que se mencionaran en los capítulos posteriores. El Tren Interurbano México – Toluca tiene su localización en la región centro de la República Mexicana (Figura # 1.4).

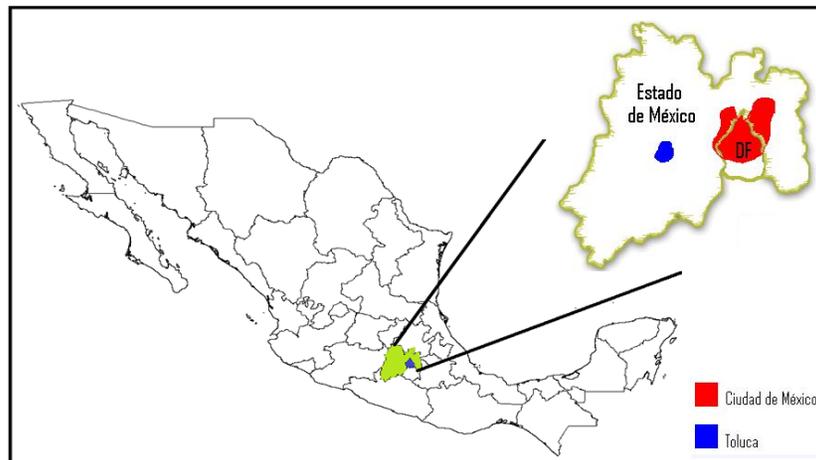


Figura # 1.4. Localización geográfica del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca.

Fuente disponible en: <http://www.skyscrapercity.com>. Consultado el día 5 de Octubre de 2013.

El proyecto propuesto se desarrollaría en el trayecto que comunica la Ciudad de Toluca en el Estado de México con el Distrito Federal, la longitud del proyecto se estimaría cercana a los 60 Kilómetros (la longitud variaría dependiendo de la opción de trazo seleccionada), y atendería la demanda entre Toluca en el Estado de México y el Distrito Federal, así como en trayectos intermedios.

Se estima que los trenes de la ruta México - Toluca podrían viajar a un promedio de 110 Kilómetros por hora, moviendo diariamente a más de 100 mil personas, con tarifas por pasajero similares a las que actualmente se pagan usando el autobús, el tiempo de recorrido aproximado sería de 30 a 35 minutos; su construcción implicaría la ejecución de obras durante 25 meses consecutivos dependiendo del trazo seleccionado, que estarían precedidas de la etapa de estudios ejecutivos, que tardarían aproximadamente 12 meses más, el esquema de financiamiento podría ser a través de una APP o el esquema tradicional, se estima que el inicio de construcción podría realizarse a finales del año 2015 y que la obra se encuentre lista a finales del año 2016 o principios del año 2017.

1.2.1. Beneficios del proyecto.

Los beneficios de este proyecto permitirían mejorar la calidad de vida y el bienestar social al ofrecer a la población mayor comodidad y seguridad en los traslados mediante un servicio de transporte masivo seguro, competitivo y eficiente, ya que reduciría considerablemente el tiempo para trasladarse de Toluca a la Ciudad de México, sin tener que utilizar la única alternativa que tiene ahora que es la carretera, en el autobús, o bien en vehículo privado como medio de transporte, sería un proyecto que en definitiva acercaría a Toluca con el Distrito Federal.

El proyecto permitiría reducir la cantidad de vehículos que diariamente viajan de la capital mexicana a la del país, y contribuir como una opción que permita mejorar o solucionar el congestionamiento vial, ya que agilizaría la circulación en las carreteras permitiendo sacar de la misma hasta 45 mil vehículos que es el aforo diario aproximado en la Autopista México-Toluca, además de 10 mil vehículos del transporte público, entre autobuses y taxis con una mayor rapidez y a un costo menor, tomando en cuenta que el peaje de la Autopista México – Toluca es muy costoso, abaratando lo que miles de personas invierten todos los días en ir y venir a sus actividades laborales, también provocaría la disminución de las actividades de apoyo al transporte en la zona de montaña.

Ayudaría a la disminución significativa en los altos niveles de emisiones contaminantes del parque vehicular público y privado y el excesivo consumo de energéticos, ya que evitaría que miles de toneladas de contaminantes lleguen a la atmósfera, provocando la disminución del ataque químico directo al medio ambiente, además de contribuir en la planeación ordenada del desarrollo urbano en las zonas aledañas. Así mismo ayudaría a estructurar un eficiente sistema integral de transporte público formado por la operación de un sistema troncal, operado con unidades de mayor capacidad, que sería alimentado por una red de rutas constituidas adecuadamente en una convivencia operativa y eficiente, también disminuiría el grado de riesgo de accidentes del transporte público y privado, además de otorgar mayor eficiencia y menores costos de operación. El Tren Interurbano México – Toluca serviría como un instrumento de orientación del desarrollo en la zona, así mismo tendría un efecto considerable y de impacto nacional en cuanto a la descentralización y promoción de la Ciudad de Toluca.

Finalmente el proyecto cumple con los objetivos y programas contemplados en el Plan de Desarrollo del Estado de México 2011- 2017 y su Programa de Transporte, asimismo, el Proyecto del Tren Interurbano México - Toluca está incluido en la “Novena Decisión Inmediata” anunciada por el Sr. Presidente de la Republica, la cual forma parte de los “Cinco Grandes Ejes de Gobierno”.

1.3. Necesidades de trazo del proyecto.

El trazo propuesto para el proyecto debe de satisfacer las necesidades de alta eficiencia y calidad del servicio, como son la confiabilidad, ahorro en tiempo, confort y seguridad para los usuarios, así como también contar con factibilidad técnica y menor dificultad para la conservación de la vía, los posibles trazos deben de cumplir con los parámetros establecidos en la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario y en las Normas Técnicas aplicables. Tratándose del franqueamiento de una cordillera montañosa, en el paso por la cumbre las pendientes son mayores y las faldas de los cerros son menos lisas, lo cual dificulta considerablemente el diseño de un trazo apto para altas velocidades, atravesar la Sierra resulta una problemática a considerar para la elección del trazo, por esta razón las opciones estudiadas consideran la construcción de un túnel que atravesase la Sierra de las Cruces para abatir las pendientes y proponer un sistema que cumpla con las normativas de seguridad correspondientes.

Las principales cuestiones a considerar al analizar un trazo ferroviario deben ser las siguientes:

- La seguridad.
- La eficiencia de operación del sistema.
- La factibilidad técnica y medioambiental.
- Los costos de la solución.
- Los costos del mantenimiento.
- La comodidad del usuario.

1.3.1. Necesidades de operación del proyecto.

La definición de un trazo entre México y Toluca procede del nivel de beneficios que se pretende obtener, ya que el tiempo de recorrido primer criterio a considerar debe ser muy inferior a 1 hora, el cual es el tiempo aproximado del autobús, y preferentemente mejor que 45 minutos que es el tiempo aproximado de los automóviles particulares, como se mencionó anteriormente la longitud de la línea será muy probablemente del orden de 60 Kilómetros, en consecuencia la velocidad comercial debe ser superior a los 80 Kilómetros por hora, lo cual conduce a velocidades en operación en el intervalo de 100 a 120 Kilómetros por hora y por lo tanto a una velocidad de diseño del orden de 130-140 Kilómetros por hora, velocidad que debe de superar ampliamente a la de los servicios actuales de autobús.

1.3.2. Limitaciones geométricas del proyecto.

La infraestructura ferroviaria tiene un largo período de vida útil, por lo tanto debe ser proyectada con los parámetros geométricos más amplios posibles, para evitar que mejoras futuras en el material rodante no puedan desarrollarse por limitaciones en la infraestructura. En estos términos, la implantación de una nueva línea ferroviaria requiere fundamentalmente de una serie de condicionantes de diseño, que garanticen los objetivos esperados de operación, fundamentalmente como se mencionó con anterioridad que los tiempos de recorrido sean competitivos en relación a otros modos de transporte interurbano, en este caso el autotransporte. Conseguir estos tiempos requiere que la línea tenga una serie de características funcionales y geométricas, que aseguren el cumplimiento de los altos beneficios que conlleva una línea de estas características.

El hecho de que un tren pueda alcanzar altas velocidades requiere de la construcción de trazos con radios amplios, que permitan circular en curva de forma segura y confortable para los viajeros, además de la necesidad de reducir al máximo las pendientes, estas condiciones conllevan a trazos más tendidos, lo que a su vez influye en el tipo de infraestructura que conforma la vía, ya sean viaductos, túneles u otro tipo de obras de arte, para la velocidad de diseño del proyecto (de 130 a 140 Kilómetros por hora), la curvatura en plena vía correspondería entonces a un radio aproximado de 800 metros (casi 2 grados), salvo en la cercanía de las estaciones terminales.

La orografía del terreno también impone restricciones geométricas, por lo que mantener unos parámetros de trazo constantes en todo el recorrido llevaría con toda seguridad a una infraestructura con costos inasumibles y difícil de materializar. Por su parte las pendientes a su vez deben de ser aptas para permitir la eficiencia del material rodante, así como también que el mismo pueda alcanzar la velocidad de diseño que se espera obtener, considerando trenes automotores modernos, pueden rebasar ocasionalmente el 4%, pero preferentemente deben de permanecer inferiores a 3.5%, en el caso del proyecto México – Toluca se tiene un túnel que enlaza a dos valles de sentidos opuestos.

El valor de la pendiente máxima, junto con el valor del radio mínimo de curvatura, son los dos parámetros más importantes en el diseño del trazado de una línea férrea; en el caso en que el valor de la pendiente máxima admisible fuera bajo se generarían sobrecostos, debidos a la necesaria construcción de obras de arte como puentes y túneles de mayores longitudes; en el caso contrario, en que dicho valor fuera elevado, sería necesario dotar a los trenes de mayor fuerza motriz así como sistemas de frenado más potentes para lograr una mayor fuerza de tracción. Por lo tanto, la elección del valor máximo de la pendiente es un compromiso entre las posibilidades ofrecidas por la orografía existente, para reducir los costos y las restricciones que impone la explotación de la ruta, a causa de los beneficios que ofrece el material rodante que vaya a circular por la línea. Para el trazado de una vía férrea se deberán tomar en cuenta los parámetros siguientes:

Parámetros que afectan a la seguridad:

- El radio de curvatura.
- El peralte.
- La insuficiencia de peralte.
- La variación del peralte en función de la longitud.
- La velocidad.
- Las condiciones climáticas.

Parámetros que afectan la comodidad:

- La variación del peralte en función del tiempo.
- La longitud de curvas con radio constante.
- Los radios de las curvas verticales.

1.4. Normatividad europea.

Actualmente en México existe un cuerpo normativo muy limitado para el sector ferroviario, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha desarrollado algunas normas propias de uso general para la construcción de vías férreas como las que se mencionan a continuación:

- **Para la construcción en general:** las Normas para Construcción e Instalaciones editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (libro 3, parte 01, título 01, 02 y 03).
- **Para los materiales empleados:** las Normas de Calidad de los Materiales editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (libro 4).
- **Para el muestreo y las pruebas de los materiales que se utilicen en la ejecución de las obras:** las Normas para Muestreo y Pruebas de los Materiales, Equipos y Sistemas editadas en el año de 1991 por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (libro 6, tomo 1).

Sin embargo falta la creación de un cuerpo normativo importante en materia ferroviaria, especialmente en el diseño de trenes de pasajeros de alta velocidad, por esta razón la práctica consiste en hacer referencia a las normas técnicas internacionales, principalmente las de AREMA “*American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association*”(Asociación de Mantenimiento de Caminos e Ingeniería de Ferrocarril Americana) para al diseño de infraestructura en general, a las normas de la AAR “*Association of American Railroads*” (Asociación de Ferrocarriles Americanos) para trenes y operación, e inclusive a la FRA “*Federal Railroad Administration*” (Administración Federal de Ferrocarriles).

Sin embargo para el presente proyecto, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha optado por aplicar particularmente la normativa europea, debido a la larga experiencia en infraestructuras de alta velocidad para trenes de pasajeros con la que cuenta, principalmente las de la UIC “*Union Internationale des Chemins de Fer*” (Unión Internacional de Ferrocarriles), y las ETI “*Technical Specifications for Interoperability*” (*Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad*). Las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad de infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad, establecen como líneas de alta velocidad aquellas que estén especialmente construidas o acondicionadas para ser recorridas a alta velocidad, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Líneas especialmente construidas para la alta velocidad, equipadas para velocidades iguales o superiores a 250 Kilómetros por hora.
- Líneas especialmente acondicionadas para la alta velocidad, equipadas para velocidades del orden de 200 Kilómetros por hora.

A continuación se describirán algunos valores paramétricos establecidos para el diseño geométrico de trenes de pasajeros que establece la normatividad europea.

1.4.1. Pendientes máximas permisibles del trazo.

Tomando como referencia la Directiva 96/48 relativa a la Interoperabilidad del Sistema Ferroviario Transeuropeo de Alta Velocidad, de la normatividad europea ETI (Especificación Técnica de Interoperabilidad), la cual establece las pendientes máximas para trenes de pasajeros.

Pendientes máximas en líneas de la categoría I.

- I. En la fase de proyecto se permiten pendientes de hasta 35 mm/m o 3.5% para las vías principales, siempre que se respeten las condiciones de espacio siguientes:
 - La pendiente del perfil medio móvil en 10 Kilómetros, deberá ser inferior o igual a 25 mm/m, es decir 2.5 %.
 - La longitud máxima para pendiente continua de 35 mm/m o 3.5%, no deberá superar una longitud de 6 Kilómetros.
- II. La pendiente de las vías principales, que pasen a través de andenes de estaciones de viajeros, no superarán los 25 mm/m o 2.5%.
- III. En la fase de diseño, se permiten pendientes máximas de hasta 12.5 mm/m o 1.25%, para las vías generales.
- IV. Se permiten pendientes máximas de hasta 20 mm/m o 2.0%, en secciones de hasta 3 Kilómetros.
- V. Para secciones de hasta 0.5 Kilómetros, se permite una pendiente máxima de 35 mm/m o 3.5%, en aquellos emplazamientos donde no esté previsto que paren y arranquen los trenes en su funcionamiento normal.

Según las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad y la normativa RENFE, los valores límites recomendados para las líneas de Alta Velocidad y líneas convencionales, son los siguientes:

Pendientes máximas recomendables (%) Según normativa correspondiente.		
Línea convencional	≤ 140 Kilómetros por hora	2.0
	~ 160 Kilómetros por hora	1.5
	~ 200 Kilómetros por hora	1.25
Línea de alta velocidad	Trafico viajeros	2.5
	Tráfico mixto	1.5

Tabla # 1.1. Valores usuales de pendientes máximas, según normativa RENFE: NRV 0200 Y 0201.

Fuente: Normativa RENFE: NRV 0200 y 0201 (Parámetros geométricos).

1.4.2. Radios de curvatura.

La velocidad de proyecto de una vía férrea determina el valor de los radios mínimos de curvatura, es necesario limitar el radio mínimo debido a ciertos condicionantes, como son las razones de seguridad, debido a las fuerzas transversales que ejerce el vehículo sobre la vía y que tienden a desplazarla, y debido a la posibilidad de descarrilamiento o vuelco del vehículo ferroviario, así como también las razones de comodidad del viajero ya que es sensible a las fuerzas variables en sentido transversal, el radio de curvatura mínimo de las vías se elige de tal forma que para el peralte de la curva considerada, la insuficiencia de peralte no supere ciertos límites, en la Tabla # 1.2. Se presentan los radios mínimos de curvatura definidos por la velocidad de diseño del proyecto.

Velocidad (Kilómetros / Hora)	Ancho de vía (Milímetros)	Radio mínimo (Metros)
140	1,668	1,000
160	1,668	1,300
200	1,668	2,000
200	1,435	2,100
250	1,435	3,300
300	1,435	4,700

Tabla # 1.2. Radios de curvatura mínimos en función de la velocidad, establecidos en la Normativa RENFE: NRV 0200, NVR 0201.

Fuente: Normativa RENFE: NRV 0200 y 0201 (Parámetros geométricos).

Los radios amplios favorecen el desarrollo de velocidades altas sin tener que recurrir a peraltes tan elevados, lo cual favorece considerablemente a la buena conservación de la vía y el material rodante, con la consiguiente reducción de los costos de explotación.

1.4.3. Peralte.

Las principales funciones del peralte son compensar el efecto de la fuerza centrífuga en curva, así como proporcionar comodidad al viajero, mejorar la distribución de las cargas en ambos rieles y contribuir a la disminución del desgaste de los rieles y ruedas, en la siguiente Tabla # 1.3. Se muestran los valores límites de peralte para las líneas convencionales y de alta velocidad:

Valores límite de peralte (Milímetros).		
Línea convencional		160
Línea de alta velocidad	Nueva construcción	180
	Explotación	190
	Vía exclusiva para el tráfico de viajeros	200

Tabla # 1.3. Valores límite de peralte adoptados en líneas convencionales y de alta velocidad.

Fuente: Normativa RENFE: NRV 0200 y 0201 (Parámetros geométricos).

1.4.4. Insuficiencia de peralte.

La insuficiencia de peralte es la situación que se produce cuando el tren circula a mayor velocidad que la velocidad de equilibrio del peralte. En este caso la aceleración centrífuga causada por la velocidad del tren en curva es mayor que la que el peralte es capaz de compensar, es decir, el peralte es insuficiente para compensar la aceleración transversal al circular en curva, en la Tabla # 1.4. Se muestran los valores límites de insuficiencia de peralte para líneas convencionales y de alta velocidad.

Valores límite de la insuficiencia de peralte (Milímetros).		
Línea convencional		115
Línea de alta velocidad	250 < V ≤ 300 Kilómetros por hora	100
	V > 300 Kilómetros por hora	60 - 80

- Nota: En caso de trenes de alta velocidad con sistemas de basculación podrán adoptarse valores de insuficiencia mayores.

Tabla # 1.4. Valores límite de insuficiencia de peralte adoptados en líneas convencionales y de alta velocidad, en vías y aparatos.

Fuente: Normativa RENFE: NRV 0200 y 0201 (Parámetros geométricos).

1.4.5. Aceleración transversal sin compensar.

La aceleración sin compensar es la aceleración transversal hacia el exterior de la curva que queda al peraltar una vía cuando se circula por ella a una velocidad determinada. Se suele limitar esta aceleración sin compensar, tanto en líneas convencionales como de alta velocidad, en un valor de 0.65 m/s^2 , con lo que la insuficiencia de peralte resultante ronda los 100 milímetros.

1.4.6. Obtención del radio de curvatura mínimo para el proyecto.

Para conocer el radio de curvatura mínimo para el diseño geométrico del proyecto, se utiliza la fórmula contenida en la normativa europea EN 13803-1 de la UIC “*Union Internationale des Chemins de Fer*” (Unión Internacional de Ferrocarriles), la cual es la siguiente:

$$R_{\min} = \frac{C}{D + l_{\lim}} \cdot V_{\max}^2$$

Formula # 1.1 Expresión para obtener el radio de curvatura mínimo para el proyecto.

Dónde:

$$C = 11.8 \text{ mm.m.h}^2 / \text{Km}^2$$

D = Valor límite del peralte en milímetros.

l_{\lim} = Valor límite de la insuficiencia del peralte en milímetros.

V_{\max} = Velocidad de diseño del proyecto.

Utilizando un valor límite de peralte de 160 Milímetros como se establece en la Tabla # 1.3. Y un valor límite de la insuficiencia de peralte de 115 Milímetros como se establece en la Tabla # 1.4. Además, estableciendo una velocidad de diseño para el proyecto de 140 Kilómetros por hora, sustituyendo estos valores en la fórmula anterior se tiene lo siguiente:

$$R_{\min} = \frac{11.8 \left[\text{mm.m.h}^2 / \text{Km}^2 \right]}{160 \left[\text{mm} \right] + 115 \left[\text{mm} \right]} \cdot (140 \left[\text{Km} / \text{hr} \right])^2 = 841.018 \left[\text{m} \right]$$

$$R_{\min} = 841 \left[\text{m} \right]$$

Por lo que el radio mínimo de curvatura para la velocidad de proyecto establecida sería del orden de los 800 metros como se había comentado con anterioridad. Los parámetros establecidos en la normativa europea deben de ser tomados en cuenta al momento de seleccionar el trazo definitivo para el proyecto, de entre las opciones de trazo que se presentaran en los siguientes capítulos.

**CAPÍTULO II ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – NAUCALPAN
UTILIZANDO LA LÍNEA “N”**

En este capítulo se analizara la alternativa de ruta Toluca – Naucalpan utilizando la Línea “N”, con el propósito de conocer sus características, ventajas y desventajas de ser considerada la elección definitiva de trazo para el proyecto del Tren Interurbano México – Toluca.

2.1. Trazo del Tren Interurbano México – Toluca utilizando la Línea N.

El primer trazo propuesto a analizar para el proyecto del Tren Interurbano México - Toluca tendría como uno de sus principales objetivos aprovechar la infraestructura ferroviaria existente, en la actualidad la Línea N perteneciente a la compañía KCSM (Kansas City Southern de México, antes TFM) conecta las Ciudades de México y Toluca, sin embargo en la actualidad no se encuentra utilizada en su totalidad, por lo que presenta una interesante opción para ser elegida como ruta del proyecto.

2.1.1. Descripción general de la Línea N.

El tramo de México a Toluca fue construido entre los años 1880 y 1882 por la Compañía Constructora Nacional Mexicana (que posteriormente cambiaría su nombre a Ferrocarril Nacional), el primer tren llegó a Toluca el 5 de Mayo de 1882 con un tiempo de recorrido de 4 horas, el diseño general de la vía se realizó conforme a los requerimientos generales vigentes en aquella época. El proyecto incorporó esencialmente obras de tierra y por lo tanto escala el monte por un trayecto pegado a las faldas de los cerros, solicitando fuertemente la adherencia y ubicando la curvatura como un criterio secundario. La Línea N se separa de la Línea C a 3.2 Kilómetros de la Terminal Buenavista, el cadenamamiento parte del Kilómetro N-0+000 en la primera estación de Buenavista.

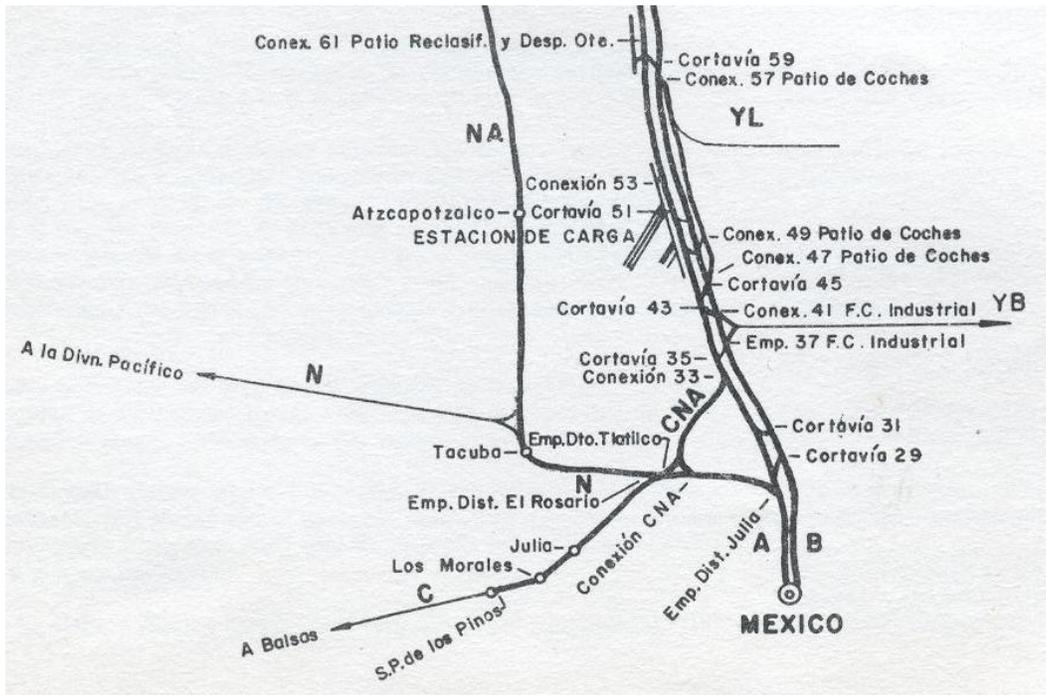


Figura # 2.1. Esquema de Ferrocarriles Nacionales de México sobre las vías en el Valle de México.

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, *Cartas de Vía, Línea N.*

La orilla del lecho del antiguo lago en Tacuba, cruza la frontera entre el Distrito Federal y el Estado de México (cadenamiento N-8) y se dirige a la cañada del Río Hondo, misma que desemboca hacia la parada El Molinito (cadenamiento N-12). La pendiente se acentúa a partir de la parada San Bartolito (cadenamiento N-23), promediando una pendiente de alrededor de 3.5%, para llegar a la Llanura de los Boquetes, conformada por el Río San Francisco, mismo que se une al Río Hondo en Dos Ríos (cadenamiento N-28). La vía continua subiendo por la cañada del Río San Juan, tributario del Río San Francisco, para alcanzar el Llano de Salazar pasando por el Puerto de La Cima, en este tramo se llega a pendientes de casi el 4%.

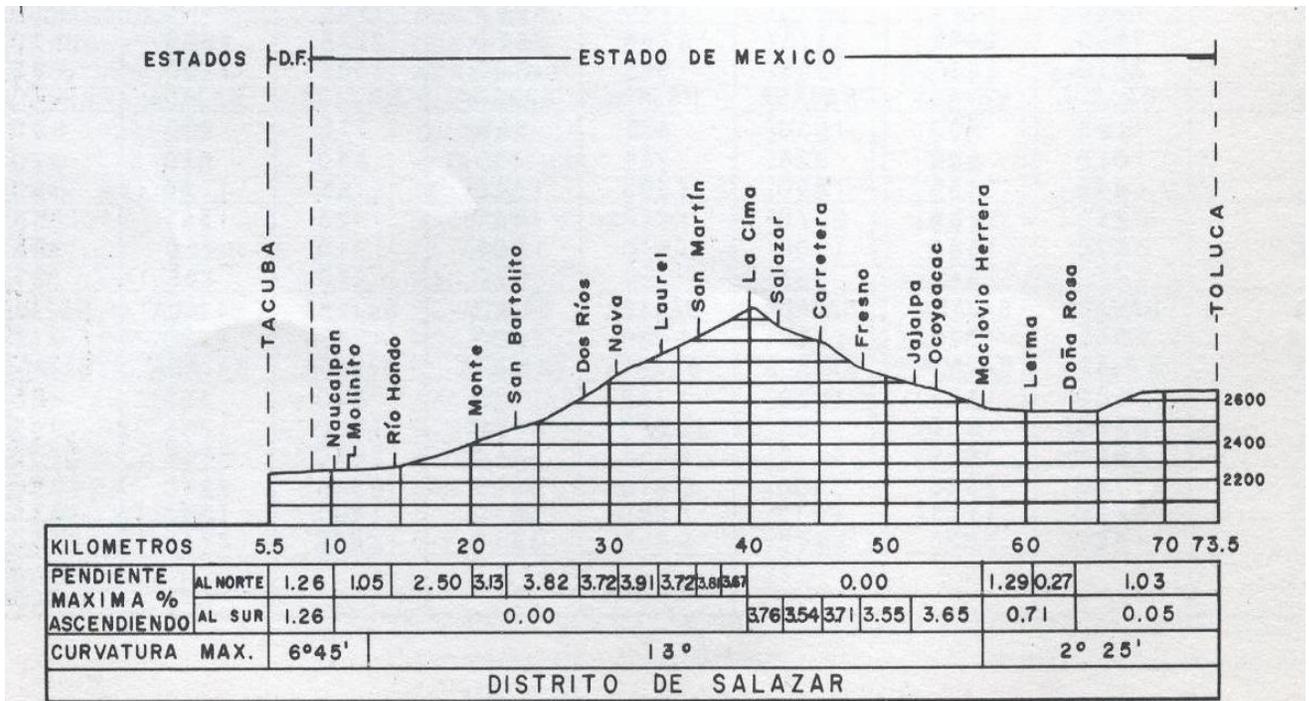


Figura # 2.2. Perfil longitudinal de la Línea N del Horario 11 de Ferrocarriles Nacionales de México.

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes, *Cartas de Vía, Línea N.*

Posteriormente la vía utiliza la Cañada Honda, aprovechada por el Río Salazar en su bajada hacía el lecho de la antigua laguna que ocupaba el Valle de Toluca, cerca de Ocoyoacac, la carretera federal 15 utiliza el mismo corredor, la división de la pendiente es muy difícil en este tramo por lo abrupto de la cañada, la Línea aprovecha en consecuencia las oportunidades de desvío para alargar el trayecto, en particular dando la vuelta al Cerro El Fresno y termina la bajada por el borde del gran talud que domina Ocoyoacac, la pendiente en este tramo ronda los 3.5%.

La zona de montaña termina pasando Ocoyoacac, al nivel de la Estación Maclovio Herrera (cadenamiento N-57); tanto el trazo como el perfil se vuelven muy regulares para llegar a la Estación de Toluca (cadenamiento N-74). El tramo de montaña comprendido entre los cadenamientos N-15 y N-56 es dominado más que por las pendientes, por las extremas curvaturas, tal como se aprecia en la Figura # 2.2.

2.1.1.1. Los servicios existentes de la Línea N.

Como se comentó con anterioridad, actualmente a raíz de sus características geométricas desfavorables, la Línea N no es utilizada entre las Ciudades de México y Toluca para prestar el servicio de carga, salvo en los siguientes casos:

- Entre Toluca y la Estación Maclovio Herrera, tramo correspondiente a la zona industrial Toluca-Lerma, donde se mueven de 50 a 100 carros diarios para beneficio de las múltiples industrias de la zona en particular automotriz, el operador concesionario de este tramo KCSM (Kansas City Southern de México) maneja una activa estación multimodal precisamente en Maclovio Herrera.
- Entre el patio Valle de México y Naucalpan (Parques Industriales de Tlatilco), donde el operador Ferrovalle tiene varios clientes.

2.1.1.2. Antiguo servicio de pasajeros en la Línea N.

El servicio de pasajeros fue suspendido desde la disolución de Ferrocarriles Nacionales de México en los años '90, había un tren de pasajeros en la mañana y otro en la tarde en ambos sentidos, con tiempos de recorrido del orden de 2 ¼ horas entre Buenavista y Toluca, el servicio de pasajeros de Ferrocarriles Nacionales de México ocupaba aproximadamente 2 horas para el recorrido entre Naucalpan (San Bartolo) y Toluca, incluyendo paradas durante el recorrido, el último horario oficial fue el siguiente:

Tren	27	29
Naucalpan (paso)	21:54	7:15
Toluca	23:46	9:35

Tren	28	30
Toluca	5:37	18:25
Naucalpan (paso)	7:27	20:23

Tabla # 2.1. Horario 11 Toluca - Naucalpan, de Ferrocarriles Nacionales de México.

Fuente: Ferrocarriles Nacionales de México, *Horarios para empleados*.

El tiempo total mínimo marcado por el Horario 11 de Ferrocarriles Nacionales de México de Toluca a Naucalpan era de 100 minutos, y de Naucalpan a Toluca de 77 minutos (Véase la Tabla # 2.2.). Considerando solamente la velocidad autorizada para trenes de pasajeros y sin tomar en cuenta aceleraciones y desaceleraciones, el tiempo de recorrido entre ambas ciudades sería de aproximadamente 90 minutos; cabe señalar que no se trata de un tiempo comercial, accesible a los pasajeros. Tales tiempos claramente no permiten prestar un servicio competitivo con los autobuses, que realizan regularmente el recorrido comparable de Cuatro Caminos a Toluca en poco más de 45 minutos, como se comentó en el capítulo I, la Tabla # 2.2. Detalla los tiempos mínimos entre estaciones, según el sentido.

Estaciones	km, línea N	Hacia Toluca	Hacia México
Naucalpan	10.4		
Molinito	11.3	1	2
Riío Hondo	14.4	3	4
Monte	20.7	8	10
Dos Ríos	28.0	10	13
Nava	30.4	4	5
Laurel	33.5	5	6
San Martín	37.1	5	7
La Cima	39.6	3	4
Salazar	41.7	3	4
Carretera	45.0	4	6
Fresno	48.1	5	6
Jajalpa	51.6	5	6
Maclovio Herrera	56.7	6	8
Lerma	60.2	3	4
Dona Rosa	62.8	3	3
Toluca	73.5	9	12

Tabla # 2.2. Distancias y tiempos mínimos de recorrido de la ruta Naucalpan - Toluca.

Fuente: Ferrocarriles Nacionales de México, *Horarios para empleados*.

2.1.2. Propuesta de reutilización de la Línea N.

La Línea N a pesar de tener varios años que no se utiliza, en la actualidad, existen tramos que aún pueden ser reutilizados para la realización del proyecto, sin embargo algunos de ellos necesitan adaptarse a los requerimientos actuales, mediante su rectificación o con la construcción de diversas obras civiles, así mismo existen diversas zonas donde el derecho de vía se ha perdido completamente debido al crecimiento de la mancha urbana y ya no puede ser utilizado, principalmente en la zona de Naucalpan donde el derecho de vía se ha utilizado para uso habitacional, y en Toluca donde ha sido utilizado para la extensión de vialidades e implantaciones industriales no precarias dentro del derecho de vía ferroviario.

2.1.2.1. Aprovechamiento de los tramos urbanos de la Línea N.

El aprovechamiento del derecho de vía de la Línea N entre México y Toluca es complicado debido a su geometría, sin embargo existen dos tramos donde las condiciones geométricas son más favorables, y donde tanto la densidad de los asentamientos humanos como la situación actual del transporte público apuntan al probable éxito de una operación local de servicio de pasajeros, estas zonas son las siguientes:

- El Corredor Toluca – Lerma – Ocoyoacac, prácticamente hasta el pie de la montaña.
- El tramo suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México, que se extiende hasta el límite de urbanización en la cañada del Río Hondo (Kilómetro N-16), como se observa en la Figura # 2.3.

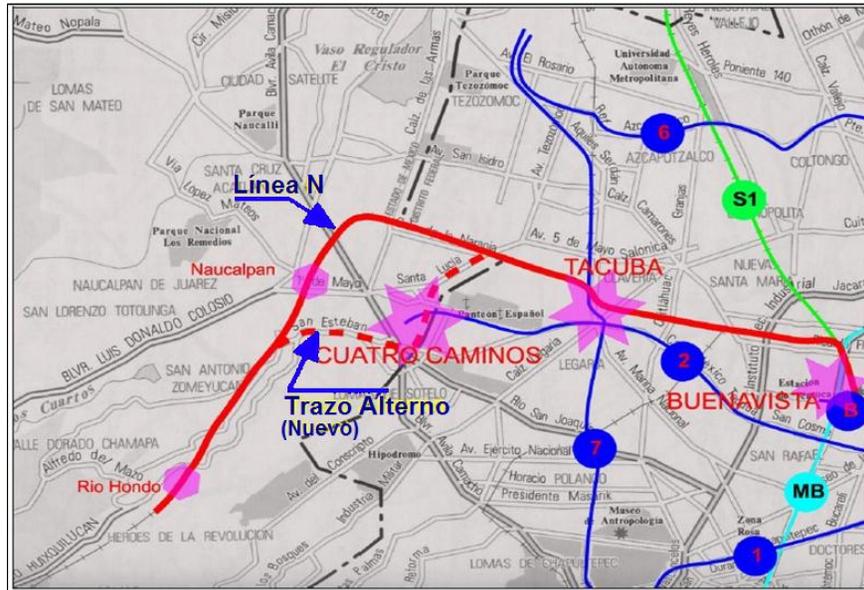


Figura # 2.3. Tramo de la Línea N en Naucalpan.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Este trazo puede ser utilizado para comunicar al Municipio de Naucalpan, además es posible llevarlo por las vías existentes hasta Tacuba y Buenavista aprovechando la infraestructura disponible, como también se tiene contemplado para la ampliación de la opción de trazo Toluca – Cuatro Caminos que se analizará en el capítulo IV.

2.1.2.2. Accesos a la Ciudad de México.

A continuación se analizarán los accesos a la Ciudad de México y su relación con la Línea N, así como su posible aprovechamiento para la realización del proyecto.

2.1.2.2.1. Zona Naucalpan – Cuatro Caminos y su relación con la Línea N.

El municipio de Naucalpan es un importante centro industrial y de población, es uno de los grandes generadores de viajes en la Zona Metropolitana del Valle de México, después de Ecatepec, Netzahualcóyotl e Iztapalapa, su principal enlace con la Ciudad de México es la estación Cuatro Caminos del Metro, terminal de la Línea 2 notoriamente saturada. Esta estación se encuentra a unos 2.5 Kilómetros de la Línea N, el tramo que termina en la Estación Río Hondo pertenece al proyecto del Sistema 2 del Ferrocarril Suburbano, cabe agregar que la puesta en servicio de este tramo y su prolongación hasta la estación de Río Hondo darían mucho mejores perspectivas de acceso a la Ciudad de México para la población de Naucalpan, y probablemente conducirían a un mejor aprovechamiento de la capacidad de transporte del Sistema 2.

2.1.2.2.2. El tramo urbano de la Línea N en Naucalpan.

Como se comentó anteriormente en este tramo de la Línea N el derecho de vía se ha visto invadido debido al crecimiento de la mancha urbana, siendo difícil de recuperar y creando un entorno desfavorable para ser reutilizado, como se observa en la Figura # 2.4. Por otro lado, es necesario

que la velocidad del tren no tenga que ser reducida más que en la cercanía de la estación terminal o de la primera parada, por lo que con respecto a las características geométricas de este tramo existen varias curvas de aproximadamente $4^{\circ}30''$, es decir con radio de curvatura de 350 metros, las cuales limitan la velocidad a unos 80 Kilómetros por hora, este valor para la operación del tren es aceptable, sin embargo existen limitaciones generadas de la fuerte conexión entre la vía férrea y las vialidades de la zona, ya que se tienen numerosas interferencias de diversas naturalezas con calles, tan solo entre el límite urbano y la Calzada del Molinito se observan las siguientes interferencias:

- Oficialmente se tienen 7 cruces transversales.
- Se tienen aproximadamente 1.5 Kilómetros de ocupación del derecho de vía ferroviario por vialidades paralelas.
- Se utilizan 750 metros del derecho de vía como brecha, incluyendo accesos privados.



Figura # 2.4. Invasión al derecho de vía de la Línea N en diferentes zonas de Naucalpan.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Por esta razón para hacer llegar el servicio a Cuatro Caminos, sería necesario que el trazo de la vía nueva se separe de la Línea N y siga la Calzada San Esteban. Para tomar en cuenta, el perfil longitudinal de la avenida, el trazo en este tramo sería a través de un túnel, con una transición a viaducto en la vertiente oriental del cerro y para franquear la autopista México-Querétaro por arriba del complejo distribuidor vial, también contemplado para la opción Toluca – Cuatro Caminos como se analizará en el capítulo IV.

2.1.2.2.3. Zona de Interlomas y su relación con la Línea N.

Interlomas, en el Municipio de Huixquilucan, tiene proximidad a la autopista Lechería-La Venta, pero sufre de un difícil acceso al Paseo de la Reforma, su cercanía a la Línea N podría compensar esta desventaja, si fuera el soporte de un enlace rápido México-Toluca. Sin embargo haría falta la construcción de obras importantes para aprovechar esta situación, el acceso al fondo de la cañada cerca del probable trazo de una futura vía férrea es complicado, además existe el riesgo de que la incomodidad y la duración del trayecto desanimen a los posibles usuarios, particularmente considerando la cercanía de la autopista, en las Figuras # 2.5. Y 2.6. Se muestra su estado actual.

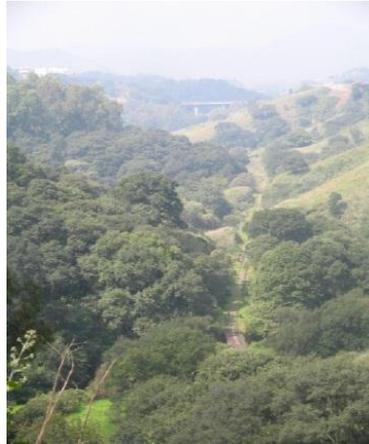


Figura # 2.5. Río Hondo en Interlomas, se observa la Línea N y el puente de la Autopista 134.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA. –.NAUCALPAN Septiembre de 2006.



Figura # 2.6. Interlomas y el Valle del Río Hondo.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA. –.NAUCALPAN Septiembre de 2006.

2.1.2.3. El eje de la Línea N.

La plataforma de la Línea N, en principio bastante ancha y con características geométricas satisfactorias es adecuada para contener al nuevo sistema ferroviario a implementar, sin embargo la situación sobre sedimentos lacustres recientes y no consolidados requiere estudios serios para la posible instalación de estructuras, particularmente en la cercanía del Río Lerma.

2.1.2.4. Accesos a la Ciudad de Toluca.

Al igual que en el caso de la Ciudad de México los accesos a la Ciudad de Toluca para el proyecto se vuelven complicados debido a la invasión del derecho de vía de la Línea N, en la Figura # 2.7. Se muestra el acceso a Toluca por la vía mencionada.



Figura # 2.7. Acceso a Toluca por la Línea N.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

El número de cruceros a nivel con calles es un punto a considerar por ser una zona urbana, varios de ellos corresponden a comunicaciones entre las vías centrales y laterales del Paseo Tollocán, cuya sustitución por estructuras elevadas es difícil. La operación vial en la zona deberá probablemente ser rediseñada, en el sentido de asociar estrechamente el tráfico local con la calle lateral, y el tráfico foráneo con la vía central, para permitir la eliminación de la mayor parte de estas comunicaciones, los accesos al aeropuerto y a la avenida de las torres requerirían probablemente obras especiales.

2.1.2.5. El eje de la Carretera Federal 134.

En la actualidad la Carretera Federal 134 tiene un amplio derecho de vía con capacidad para construir una plataforma ferroviaria, tanto en trazo como en perfil este eje es conveniente. Sin embargo, la mecánica de suelos puede resultar complicada, los materiales del fondo lacustre, aún en proceso de drenaje, son muy compresibles por lo que se deberá dar gran atención a este problema, la conexión con la Línea N se efectuaría hacia el punto Kilométrico N-75, un poco al norte de la Estación de Toluca. Esta conexión mide entre la Línea N y Xonacatlán unos 17 Kilómetros, cruza el sector Noreste de Toluca, que está en gran expansión y sobre todo pasa a 3 Kilómetros de la Terminal Aérea. La densidad urbana es todavía moderada en este sector, lo que permite limitar la cantidad de obras de franqueamiento.



Figura # 2.8. La carretera 134 cerca de Xonacatlán.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3. La Sierra de las Cruces.

La Sierra de las Cruces se localiza en la parte Este del Cinturón Volcánico Transmexicano, esta Sierra constituye un límite morfológico entre las cuencas de México (2,220 msnm) y Toluca (2,400 msnm), sus cumbres alcanzan alturas superiores a los 3,500 metros y no se encuentran puertos de montaña (ruta o paso para cruzar un sistema montañoso) a menos de 3,000 Metros, tiene una longitud de 110 Kilómetros y un ancho de 47 Kilómetros en su parte norte y 27 Kilómetros en su parte sur. La Sierra de las Cruces está definida por ocho estratovolcanes, morfológicamente está conformada por tres grandes bloques denominados bloque norte, centro y sur, con diferentes características de drenaje, vulcanismo, edad y deformación, así como con la presencia de fallas. Las tres principales direcciones de fallas son N-S, NE-SW y E-W, las cuales han provocado levantamientos, hundimientos, escalonamiento y basculamiento de bloques. En la parte sur de la Sierra, la morfoestructura está fuertemente controlada por las fallas E-W, mientras que, en el centro y norte se tiene una amplia zona de falla en las direcciones N-S y NE-SW.

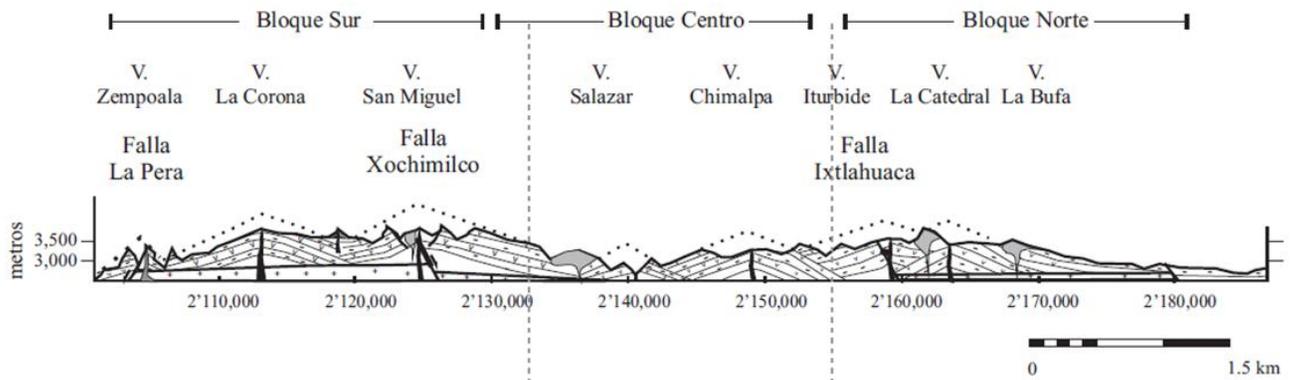


Figura # 2.9. Perfil geológico longitudinal sobre las ocho estructuras volcánicas de la Sierra de las Cruces.

Fuente: Armando García-Palomo, *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, núm. 1, 2008, pág. 158-178.

El basamento de la Sierra está conformado por una variedad de rocas, ubicadas al Sur de la Sierra y en las inmediaciones de la cuenca de México, sus productos descansan sobre calizas del periodo Cretácico o bien sobre rocas volcánicas de la secuencia máfica basal, hacia la parte norte la Sierra descansa sobre una serie de estructuras volcánicas.

Las precipitaciones son muy abundantes en temporada de lluvias, permitiendo el abastecimiento de las capas freáticas en ambos valles y dando lugar a numerosos arroyos, estos son de régimen altamente variable, las cañadas presentan en consecuencia una pendiente poco variable en su extensión, tendiendo a la horizontalidad solamente en la parte extrema de su curso inferior, el resultado del ataque de la erosión es más notorio en la zona de Huixquilucan, donde la línea de separación de aguas se encuentra en su nivel más bajo y donde la serranía es más estrecha, facilitando el paso de las vías de comunicación como son carreteras, autopistas y ferrocarriles.

Del lado del Valle de México, los principales corredores penetrantes en la Sierra son los siguientes:

- El Río Hondo, utilizado actualmente por el ferrocarril (corredor M1).
- El Arroyo Borracho (tributario del Río Hondo), por cuyo curso superior corren la carretera federal y la autopista (corredor M2).
- El Río Tlalnepantla, que alimenta la Presa Madín (corredor M3).

Por otra parte del lado del Valle de Toluca, los valles principales penetran poco en la montaña y corresponden a lo siguiente:

- El curso del riachuelo “*Agua Apestosa*”, entrando en el flanco sur del Cerro El Ojo de Buey (corredor T1).
- La cañada del Río Salazar, misma por donde corre la autopista (corredor T2).
- El Río El Jilguero, que penetra la montaña entre los pueblos de San Mateo Atarasquillo y Santiago Analco (corredor T3).
- El curso del Río San Lorenzo, por el paraje de Tlalmimilolpan (corredor T4).
- El Río Zolotepec, al Este de Xonacatlán (corredor T5).

En la Figura # 2.10. Se muestra la localización de los corredores penetrantes en la Sierra de las Cruces.

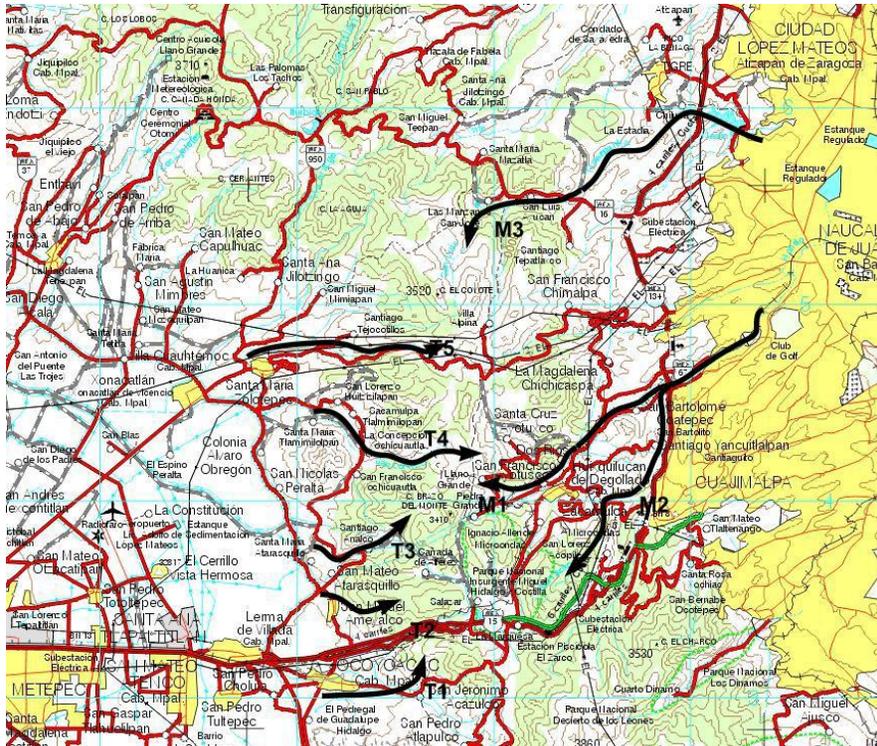


Figura # 2.10. Los ejes de penetración en la Sierra de las Cruces.

Fuente: Mapa Topográfico INEGI.

2.1.3.1. Trazo del proyecto a través de la Sierra de las Cruces.

El paso por la Sierra de las Cruces resulta sumamente difícil debido a sus características geológicas, morfológicas y topografías, la Línea N en este tramo presenta una curvatura muy cerrada y pendientes bastante elevadas, por lo que su utilización en su estado actual no es factible, debido a la inseguridad e ineficiencia del material rodante para operar con esas características geométricas, por lo que en esta zona será necesario un nuevo trazo que deberá disminuir las curvaturas, sin aumentar notablemente las pendientes, esto implica la construcción de obras de arte como túneles, puentes, etcétera; significa también que, aun cuando se aprovechen los mismos corredores naturales, el nuevo trazo generalmente no coincidirá con el derecho de vía existente. Tal como se comentó en el capítulo I se necesitaría la construcción de un túnel ferroviario de longitud considerable que pudiera hacer viable el trazo del proyecto, por lo tanto se tienen dos opciones para la construcción del túnel, la primera consiste en un sistema exclusivo para el transporte de pasajeros, con un túnel de altura de poco menos de 10 Kilómetros o un sistema mixto de pasajeros – carga, con un túnel de base de unos 20 Kilómetros de longitud.

2.1.3.2. Trazo a través de la Sierra de las Cruces con túnel de altura.

Un túnel alto en la montaña tiene dos características principales, por un lado una menor longitud de perforación además de un cierto grado de dificultad en los accesos debido al terreno empinado, en el caso de la Sierra de las Cruces las pendientes son una dificultad ineludible, y como se comentó anteriormente exige una proporción de motorización elevada en el material rodante, y orienta la vocación de la línea exclusivamente al transporte de pasajeros, debido a que el ferrocarril de carga requeriría mayor fuerza motriz haciéndolo ineficiente.

2.1.3.3. Penetración en la montaña del lado de la Ciudad de México.

A continuación se describen los ejes de penetración de la Sierra de las Cruces del lado del Valle de México.

2.1.3.3.1. Corredor M1 (Río Hondo).

El corredor utilizado por el ferrocarril, es decir por la Línea N, permite llegar a la cabecera municipal de Huixquilucan con una pendiente relativamente moderada, y proporciona un acceso desde ahí al Puerto de la Cima, la Cuenca de Huixquilucan, o Llano de los Boquetes, es el origen del Río Hondo (Figura # 2.11.). Partiendo del límite urbano poco más arriba de la Estación Río Hondo, cerca de los límites municipales de Naucalpan y Huixquilucan, la Línea sube con una pendiente poco superior al 2%. La Línea N en este mismo tramo presenta pendientes comparables, pero también una fuerte cantidad de curvas cerradas (de 5 a 11 grados aproximadamente).

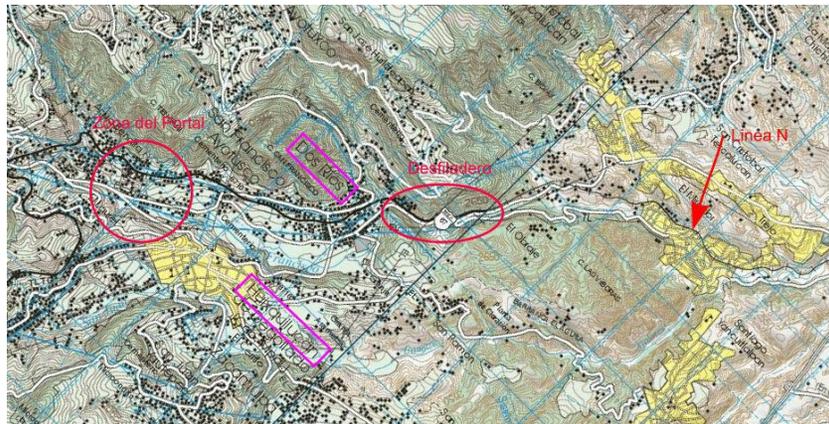


Figura # 2.11. El desfiladero de Dos Ríos y el Llano de los Boquetes, se observa además la Línea N y la zona para ubicar el portal del túnel.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

Las pendientes en la zona del llano son razonables, la Línea N sube por las faldas de los cerros que bordean el llano, para dividir pendientes en vista al ascenso del Puerto de la Cima. Lograr este ascenso en condiciones de curvatura aceptables puede ser difícil, incluso con la posibilidad de construcción de puentes y túneles, en el cuadro # 2.1. Se muestran las necesidades de construcción.

Cuadro resumen	
Longitud total al límite de la mancha urbana.	16 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva.	16 Kilómetros.
Obras mayores.	Túnel “Dos Ríos” 3 Kilómetros.

Cuadro # 2.1. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M1 (Río Hondo).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.3.2. Corredor M2 (Río Hondo y Arroyo Borracho).

El Arroyo Borracho se une al Río Hondo aguas arriba de la zona de Interlomas (Figura #2.12.), la ruta propuesta continua entonces por la cañada del Río Hondo desde Naucalpan y sigue luego hacia el sur a un lado y por debajo de la autopista La Venta-Lechería. La pendiente media aumenta conforme se adentra a la montaña y resulta excesiva hacia la altura de 2600 Metros, cerca del pueblo de Zacamulpa, a unos 7 Kilómetros de la confluencia. El último tramo en el valle es particularmente estrecho y sinuoso, lo cual tiene un impacto importante en términos de obras especiales, en el Cuadro # 2.2. Se muestran las necesidades de construcción para el corredor M2.

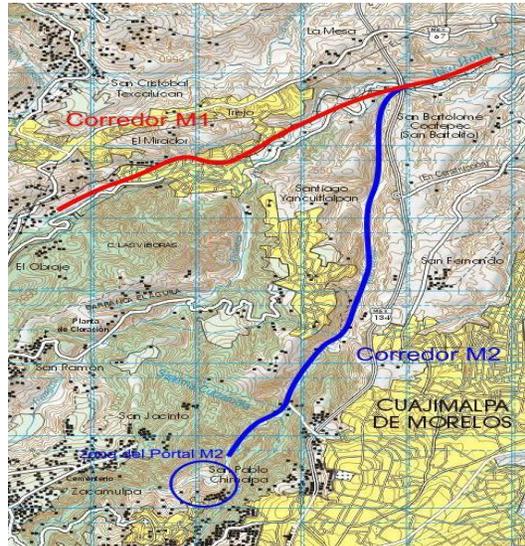


Figura # 2. 12. Corredores M1 y M2, se observa además la zona para ubicar el portal del túnel del corredor M2.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

Cuadro resumen	
Longitud total al límite de la mancha urbana.	15-16 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva.	15-16 Kilómetros.
Obras mayores.	No.

Cuadro # 2.2. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M2 Río Hondo y Arroyo Borracho.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.3.3. Corredor M3 (Río Tlalnepantla).

El Río Tlalnepantla es el principal alimentador de la Presa Madín, un enorme desfiladero permite llegar a esta última zona, la pendiente del fondo del valle se vuelve crítica a unos 9 Kilómetros de la Presa, cerca de los 2,600 metros de altura poco antes de llegar al San Luís Acuyan (Figura # 2.13.).

Los múltiples meandros del Río Tlalnepantla auguran una considerable obra civil, sin embargo el aspecto más complicado de la elección de este itinerario es su conexión con la Ciudad de México, La autopista México-Querétaro está separada de la cortina de la Presa Madín por 3 kilómetros, sin embargo esta zona (Satélite y anexas) se encuentra densamente urbanizada, su aprovechamiento para el ferrocarril debe enfrentar dificultades del relieve y probablemente una fuerte oposición de los vecinos de la zona para esta alternativa.

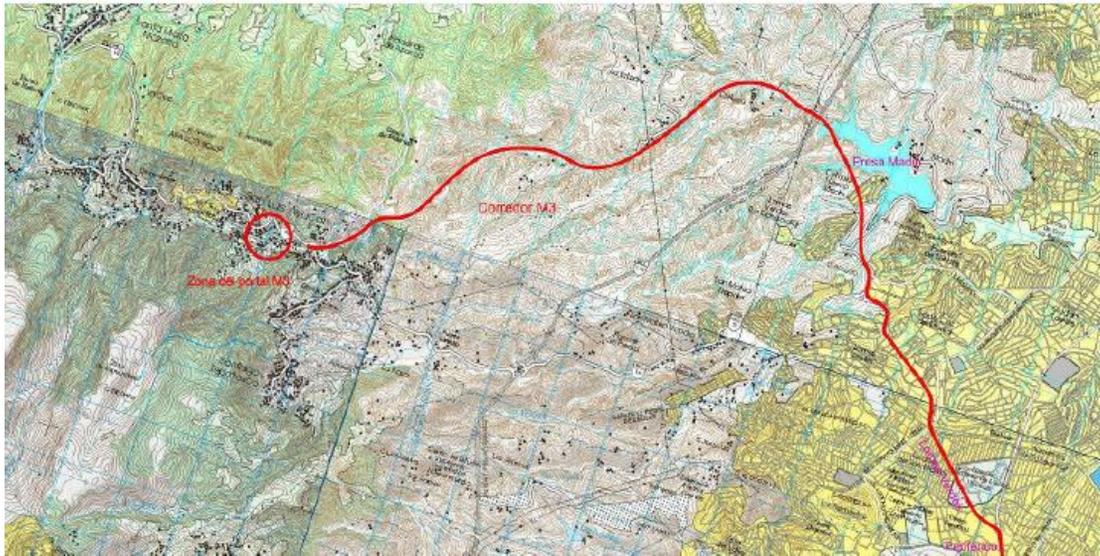


Figura # 2.13. Corredor del Río Tlalnepantla y la zona para ubicar el portal del túnel.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

La “*Súper Avenida Lomas Verdes*” puede ser alcanzada mediante más de 3 kilómetros de obras considerables (particularmente túneles) para librar tanto el lago como los principales cerros, a la altura de la Universidad del Valle de México, la vía podría seguirla y posteriormente el Periférico con rumbo a Cuatro Caminos u otros puntos céntricos, en el Cuadro # 2.3. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor M3.

Cuadro resumen	
Longitud total a Cuatro Caminos.	21-23 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en campo.	11-12 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en ciudad.	10-11 Kilómetros.
Obras mayores en zona urbana.	Túnel: 2-3 Kilómetros. Viaducto: 7-8 Kilómetros.
Obras mayores en ribera de presa Madín.	Túnel: 1-2 Kilómetros. Viaducto: 1-2 Kilómetros.

Cuadro # 2.3. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor M3 (Río Tlalnepantla).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.4. Penetración en la montaña del lado de Toluca.

En comparación con la vertiente oriental, las posibilidades de penetración en la Sierra de las Cruces de este lado son mediocres, de poca longitud y por lo tanto con poca ganancia de altura.

2.1.3.4.1. Corredor T1 (Río Agua Apestosa).

No se trata propiamente de una penetración, sino de un lugar en la orilla de la cuenca lacustre, el portal del túnel puede ubicarse al norte de San Jerónimo Acazulco, al pie del espolón sur del Cerro Ojo de Buey. La principal ventaja de esta ubicación es su cercanía con la Línea N, la cual puede ser alcanzada rodeando Ocoyoacac por el sur, a unos 7 Kilómetros sin ninguna dificultad notable, en el Cuadro # 2.4. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor T1.

Cuadro resumen	
Longitud total a la estación de Toluca.	24-25 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva.	8-9 Kilómetros.
Obras mayores.	No.

Cuadro # 2.4. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T1 (Río Agua Apestosa).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.4.2. Corredor T2 (cañada del Río Salazar).

El tronco principal de la Cañada es una vía de desagüe de enorme capacidad y se presenta como el camino de preferencia para entrar a la zona serrana. El talud de deyección en su parte inferior presenta un escalón notable, el mejor acceso es el curso inferior del Río Hondito, permite alcanzar la altura de 2,700 metros sin dificultades mayores, en la cercanía del pueblo de Río Hondito, abajo del Cerro Pie de Moctezuma. Sin embargo, el camino de acceso debe dar la vuelta por el norte del cono, pasando en la proximidad de San Miguel Ameyalco, proporciona un acceso a la Línea N a unos 8 Kilómetros, con la importante complicación de atravesar Lerma, en el Cuadro # 2.5. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor T2.

Cuadro resumen	
Longitud total a la estación de Toluca.	23-24 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva.	8-9 Kilómetros.
Obras mayores.	No.

Cuadro # 2.5. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T2 (cañada del Río Salazar).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

En la Figura # 2.14. Se muestran los Corredores T1, T2 y T3 con sus portales de salida de túnel.

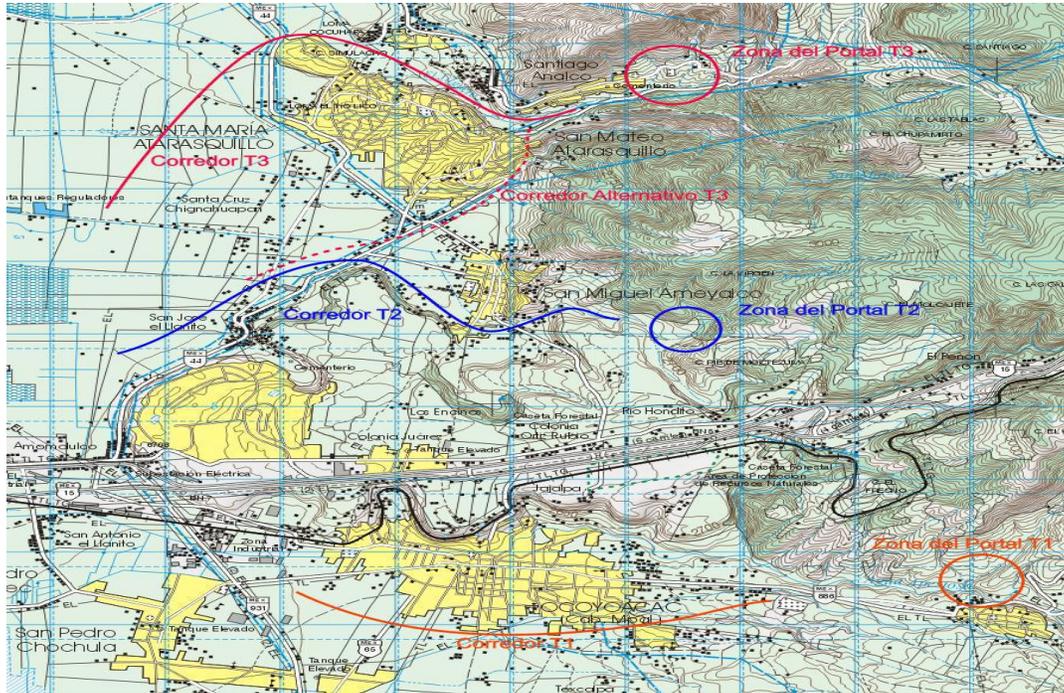


Figura # 2.14. Corredores T1, T2 y T3, se observan además las ubicaciones propuestas de los portales de salida de las opciones de túneles respectivas.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

2.1.3.4.3. Corredor T3 (Río El Jilguero).

La pendiente del Thalweg (línea que marca la parte más honda de un valle, y es el camino por el que discurren las aguas de las corrientes naturales), aumenta con la altura y se vuelve impráctica arriba de los 2,700 metros, mismo nivel que se encuentra aguas arriba del pueblo de Santiago Analco. La relativa proximidad de la Línea N la indica como preferencia para el acceso a Toluca, el itinerario de conexión puede sencillamente rodear al norte Santa María Atarasquillo, para alcanzar Lerma a unos 11 Kilómetros. Una opción del itinerario parte de Lerma, deja al sureste el talud del Salazar, entra por la ladera izquierda del Río San Mateo frente al espolón de Atarasquillo, mismo que atraviesa por un túnel de medio Kilómetro para alcanzar la cañada del Jilguero, se acorta en un par de Kilómetros la conexión, en el Cuadro # 2.6. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor T3.

Cuadro resumen	
Longitud total a la estación de Toluca.	24-25 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva.	9-10 Kilómetros (en campo).
Obras mayores.	Túnel “Atarasquillo.” 1 Kilómetro.

Cuadro # 2.6. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T3 (Río El Jilguero).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.4.4. Corredor T4 (Río San Lorenzo).

El Río San Lorenzo es un importante afluente del alto Río Lerma, colecta las aguas de un gran sector del occidente de la Sierra de las Cruces. La pendiente media del fondo del valle permanece relativamente constante y moderada a lo largo del curso medio, su valor es relativamente elevado pero se mantiene inferior a 4% hasta los 2,800 metros de altura, es decir en la parte baja del desfiladero que enlaza con la cuenca superior, el recorrido entre este punto y Santa Catarina es de 5 Kilómetros aproximadamente (Figura # 2.15.).

El acceso de este itinerario a la Línea N no es bueno, debiendo cubrir unos 12 o 13 Kilómetros a través de áreas pantanosas o alternativamente bajo una fuerte presión urbanizadora. La orientación de este corredor es más bien hacia otro eje de comunicaciones, la carretera federal 134 Vía José López Portillo en la zona urbana. Para la perspectiva de entrar a Toluca siguiendo la Línea N, existe la posibilidad de acceder a la cañada del San Lorenzo por San Francisco Xochicuautla, al sureste del cerro que domina San Nicolás Peralta y la Colonia Álvaro Obregón. Ello requiere probablemente la perforación de un túnel de 1,000 a 1,500 metros para librar el puerto bajo que existe entre dicho cerro y el cuerpo de la serranía, en el Cuadro # 2.7. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor T4.

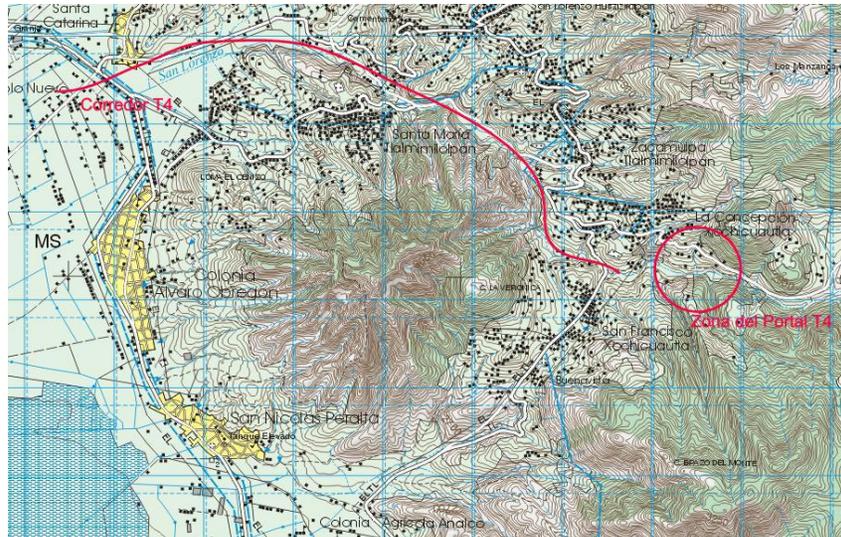


Figura # 2.15. El Corredor del Río San Lorenzo y la zona para ubicar el portal del túnel.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

Cuadro resumen	
Longitud total a la estación de Toluca.	28-30 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en campo.	15-17 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en ciudad.	12 Kilómetros.
Obras mayores.	No.

Cuadro # 2.7. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T4 (Río San Lorenzo).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA. –NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.4.5. Corredor T5 (Río Zolotepec).

El Río Zolotepec, gracias en particular a su tributario el Río Salto del Agua, ha excavado un valle de buena regularidad. La pendiente del thalweg es aceptable para fines del ferrocarril hasta cerca de los 2,700 metros, o sea unos 5 Kilómetros montaña adentro contados desde el pueblo de Santa María. El desfiladero que marca la entrada a la cañada es particularmente estrecho y sinuoso por lo que requerirá varias obras de arte para su franqueamiento; este corredor, aún más claramente que el anterior, se conecta a la Ciudad de Toluca por el eje de la carretera federal 134 (Figura # 2.16.).

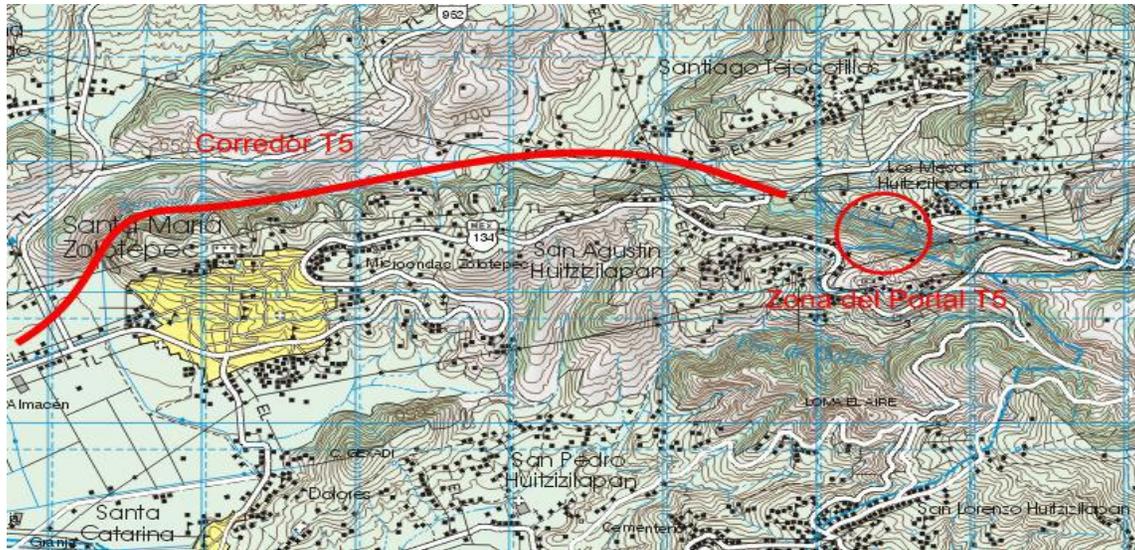


Figura # 2.16. Corredor del Río Zolotepec y la zona para ubicar el portal del túnel.

Fuente: Mapa topográfico INEGI.

Asimismo en el Cuadro # 2.7. Se muestran las necesidades de construcción para la alternativa con el corredor T5.

Cuadro resumen	
Longitud total a la estación de Toluca.	25-27 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en campo.	13-15 Kilómetros.
Longitud de plataforma nueva en ciudad.	12 Kilómetros.
Obras mayores.	No.

Cuadro # 2.8. Resumen de necesidades de construcción para el Corredor T5 (Río Zolotepec).

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.5. Opciones de túnel de altura con los deferentes corredores propuestos.

Al realizar un análisis de las características de los corredores existentes para penetrar la montaña tanto del lado de la Ciudad de México como del lado de Toluca, se pueden llevar a cabo las siguientes afirmaciones:

- Los corredores de acceso M3 y T5 no se combinan con los corredores ubicados más al sur, sin que estén enlazados por un túnel de unos 13 Kilómetros de longitud, lo cual puede ser técnica y económicamente inviable, asimismo la combinación del corredor norte (M3 – T5) acumula las siguientes desventajas: mayor longitud global, mayor longitud de túnel y grandes dificultades constructivas en Naucalpan y Tlalnepantla, por las problemáticas presentadas entre esta combinación de corredores puede ser descartado.
- El corredor M2 no se adentra a la montaña, por este motivo puede ser descartado en comparación al corredor M1, mismo donde está tendida la Línea N. El portal oriental del túnel se localizaría entonces en el Llano de Boquetes.

Por otra parte según el corredor de acceso del lado occidental, la longitud del túnel de altura de los diferentes corredores que conectarían con el corredor M1 serían las siguientes:

Acceso occidental	T1	T2	T3	T4
Longitud del Túnel en Kilómetros	11-12	10-11	8-9	7-8

Cuadro # 2.9. Posibles longitudes de túnel de altura de los diferentes corredores para el trazo del proyecto en la Sierra de las Cruces.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Analizando el Cuadro # 2.9. Se observa que la longitud del túnel sería demasiado grande cuando se accede por los corredores T1 y T2, por lo tanto estos corredores deben a su vez ser descartados. Con respecto a los dos corredores restantes del lado de Toluca cada uno presenta diferentes características y ventajas las cuales son las siguientes:

Criterio	T3	T4
Menor longitud del túnel.		X
Mayor aprovechamiento del derecho de vía existente.	X	
Mayor promoción de Lerma.	X	
Mayor promoción del Aeropuerto.		X

Cuadro # 2.10. Ventajas de los corredores T3 y T4.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.1.3.5.1. Aspectos económicos del túnel de altura.

Una dificultad para seleccionar el trazo del proyecto consiste en obtener un aproximado del costo de construcción con el túnel de altura seleccionado, la experiencia reciente en México en cuanto a la construcción de túneles largos y profundos es limitada. Por esta razón se tienen que tomar como referencia los túneles construidos en el extranjero, esencialmente en los Alpes donde se localizan una nueva generación de enlaces Norte – Sur, con el propósito de ejemplificar el costo aproximado de la construcción del túnel mencionado, en el Cuadro # 2.11. Se presentan algunas características de túneles construidos en el extranjero con características similares a las del túnel propuesto.

Obra	País	Longitud (Kilómetros)	Costo (Millones de dólares)	Costo por Kilómetro (Millones de dólares)
Gotthard	Suiza	57	\$ 8,000	\$ 140.35
Brennero	Austria - Suiza	56	\$ 5,625	\$ 100.45
Ceneri	Suiza	15.4	\$1,600	\$ 103.90
Zimmerberg	Suiza	10.7	\$ 656	\$ 61.31
Vereina	Suiza	19	\$ 454	\$ 47.75
Loetschberg	Suiza	37	\$ 2,650	\$ 69.19

Cuadro # 2.11. Ejemplificación de túneles construidos en el extranjero de gran longitud.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Interpretando las cifras de la tabla anterior y con base en una regresión lineal, para calcular el costo del túnel de altura propuesto para el proyecto, se obtienen los precios de obra civil siguientes:

- **Costo del túnel de 8 Kilómetros:** 482 millones de dólares aproximadamente.
- **Costo del túnel de 9 Kilómetros:** 552 millones de dólares aproximadamente.

El presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos para el proyecto con las opciones de construcción con túnel de altura de 8 o 9 Kilómetros de longitud sería el siguiente:

Concepto	Túnel de 8 Kilómetros	Túnel de 9 Kilómetros
Liberación de áreas	130	230
Túnel	5,300	6,071
Otra obra civil	9,370	8,850
Obra electromecánica	5,643	5,535
PIV/ PSV (puente inferior / superior vehicular)	1,250	1,035
Total	21,693	21,721

Cuadro # 2.12. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos con túnel de altura.
(Nota: Estos presupuestos no incluyen el material rodante y son correspondientes al año 2006.)

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Es importante mencionar que los costos propuestos son preliminares, y cuyo propósito en el presente trabajo, consiste en ofrecer al lector una referencia en el aspecto económico de la construcción del proyecto, para la opción de trazo analizada, por lo que el costo real de construcción actualizado debe ser definido a través de un estudio económico detallado, que se encuentra fuera de los alcances del presente trabajo. Continuando con el propósito de analizar el aspecto económico para esta opción, en el Cuadro # 2.13. Se presentan algunos parámetros técnicos del proyecto, asimismo en el Cuadro # 2.14. Se presentan los costos preliminares de operación anuales para la presente alternativa.

Parámetros técnicos	
Tarifa de equilibrio en pesos	\$ 39.00
Número de pasajeros por día	29,000
Duración del viaje sencillo	40 minutos
Intervalo en hora pico	10 minutos
Carros por tren	5
Número de trenes (EMU)	10
Inversión en material rodante	1,000 millones de pesos aproximadamente

Cuadro # 2.13. Parámetros técnicos del proyecto con túnel de altura.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Costos de operación anual (millones de pesos)	
Mantenimiento	150
Operación del servicio	80
Indirectos	70
Arrendamiento de los trenes	114
Costo total de operación	414

Cuadro # 2.14. Costos anuales preliminares de operación del proyecto con túnel de altura.

(Nota: costos correspondientes al año 2006.)

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

Como se aprecia en el Cuadro # 2.13. La tarifa que permite equilibrar el costo de operación, es equivalente a la tarifa actual ofrecida por los autobuses, como se comentó en el capítulo I, sin embargo, tomando en consideración que la oferta ferroviaria es mejor que la oferta por carretera, es probable que el tren domine el mercado. En el caso de un fuerte crecimiento de la demanda, es claro que las condiciones económicas y financieras de la operación tendrían una importante mejoría.

2.1.3.6. Trazo a través de la Sierra de las Cruces con túnel de base.

Un inconveniente del trazo con túnel de altura es el nivel de pendientes alcanzado ya que en el curso superior del Río Hondo, se llega a una pendiente cercana al 4%. Por una parte, esto implica un alto nivel de motorización del material rodante de pasajeros, con tal de mantener una disponibilidad compatible con un servicio intenso. Por otra parte como se mencionó con anterioridad esto impide prácticamente la circulación de trenes de carga, especialmente a las velocidades que exigiría un tráfico mixto.

Para mitigar estos inconvenientes, los portales del túnel deben ubicarse en puntos más bajos de la montaña, donde las pendientes todavía son razonables, la opción de un túnel de base maximiza los beneficios en lo esencial del tramo, tanto la pendiente como la curvatura permiten velocidades elevadas y un acceso cómodo para los trenes de carga.

2.1.3.6.1. Aspectos técnicos del túnel de base.

La pendiente de 2% es generalmente aceptada como el mayor valor compatible con una fluida y rápida operación de los trenes de carga, es decir sin necesidad de locomotoras auxiliares. En el lado occidental de la Sierra de las Cruces como se comentó con anterioridad, los valles penetran poco en la montaña y las pendientes de los thalwegs pasan del 2% al 4% en distancias cortas. Los posibles sitios para un portal occidental del túnel están a poca distancia de los sitios para portales del túnel de altura.

En el lado del Valle de México, como se mencionó con anterioridad la cañada del Río Hondo es la mejor penetrante. La pendiente crítica es alcanzada hacia el confluente del Arroyo Borracho, a poca distancia de Interlomas. Desde este punto los itinerarios T3 y T4 permiten obtener la menor longitud de túnel, o sea aproximadamente 20 Kilómetros, sin embargo analizando las ventajas que pueden ofrecer los diferentes trazos propuestos, el corredor T3 es el que requiere menor infraestructura en general, ya que como se indica en el Cuadro # 2.10. Con esta alternativa se tendría un mejor aprovechamiento de su derecho de vía.

Para túneles de estas dimensiones, es importante considerar medidas particulares a nivel de seguridad (casos de incendio y de evacuación de los pasajeros) y a nivel de la ventilación y del control de temperatura, otra problemática ineludible es la determinación del destino final del producto de la perforación, evidentemente el aumento en la longitud se reflejara en el costo de construcción.

2.1.3.6.2 Aspectos económicos del túnel de base.

Tomando en cuenta el análisis realizado para obtener un costo aproximado para la construcción del trazo del proyecto con túnel de altura como se mencionó anteriormente, se puede evaluar el costo de construcción del túnel de base, tomando como fundamentación nuevamente los antecedentes de construcción de túneles en el extranjero. En este caso para la longitud de 20 Kilómetros, se obtiene un costo de obra civil poco superior a 16,000 Millones de Pesos, en el Cuadro # 2.15. Se presenta el costo preliminar de construcción con túnel de base.

Túnel de base (Millones de Pesos)	
Liberación de áreas	170
Túnel	16,127
Otra obra civil	6,240
Obra electromecánica	5,999
PIV/ PSV (puente inferior / superior vehicular)	1,035
Total	29,571

Cuadro # 2.15. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos con túnel de base.

(Nota: costos correspondientes al año 2006.)

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

2.2. Elección del trazo con la Línea N en la zona de la Sierra de las Cruces.

Como se mencionó con anterioridad del lado del Valle de México, la cañada del Río Hondo, es decir el corredor M1 es la mejor opción ya que sus pendientes y orografía son aceptables. Así mismo analizando las ventajas que pueden ofrecer los diferentes corredores propuestos del lado de Toluca, el corredor T3 es el que requiere menor infraestructura en general, ya que se puede aprovechar mejor su derecho de vía como se comentó con anterioridad, lo cual reduce el costo de construcción, por lo que la combinación (M1 – T3) sería la más adecuada para la construcción del túnel de base que atraviese la Sierra de las Cruces y se conecte con la Línea N.

2.3. Análisis del trazo del Tren Interurbano Toluca – Naucalpan utilizando la Línea N.

La Línea N presenta importantes características para ser considerada ruta definitiva del proyecto, sin embargo también es necesario considerar sus problemáticas y analizar cómo influyen en su elección, a continuación se describen las ventajas y desventajas que ofrece esta ruta.

2.3.1. Ventajas del uso de la Línea N como ruta del proyecto.

El aprovechamiento de la infraestructura ferroviaria existente es un objetivo fundamental para la consumación de cualquier proyecto ferroviario de pasajeros en nuestro país, por esta razón la principal ventaja que ofrece la reutilización de la Línea N es que existen tramos reutilizables así como se puede aprovechar de una mejor manera su derecho de vía que es bastante valioso, además de ofrecer servicio a las importantes zonas de Interlomas en Huixquilucan, Naucalpan y Lerma.

Por sus características el corredor uniría funcionalmente dos zonas fuertemente pobladas y con un gran desarrollo industrial, por lo que habría que enfocarlo como un proyecto de desarrollo regional, que incrementaría el potencial productivo de la zona ya de por sí alto, eliminando el “cuello de botella” que actualmente impide una integración productiva natural, entre la Zona Metropolitana del Valle de México y la Zona Metropolitana de Toluca, que es la Sierra de las Cruces.

2.3.2. Desventajas del uso de la Línea N como ruta del proyecto.

Para que la Línea N sea una solución efectiva para el trazo del proyecto se requieren hacer cuantiosas inversiones, debido a que es necesario considerar que la vía tiene elevadas pendientes, y curvatura muy cerrada, que requerirían su rectificación para poder adecuar el trazo a un servicio de calidad. Una inversión tan elevada no sería rentable si solo se consideraran los pasajeros que actualmente se pudieran ganar a los autobuses por lo que se necesitaría analizar también la circulación de trenes de carga como se mencionó anteriormente, por otra parte las invasiones al derecho de vía mencionadas en las zonas urbanas de Naucalpan y Toluca presentan un problema en la operación de esta ruta, las interferencias a nivel son siempre puntos de consideración en cuanto a la seguridad, por lo tanto se generan en su alrededor limitaciones de velocidad incompatibles con los fines del proyecto. En la perspectiva del proyecto no es posible conservar esta convivencia, por lo que el cierre de todos los cruces a nivel en las zonas urbanas debe ser considerado y estar integrado al proyecto, así como el confinamiento de cuando menos una franja con ancho adecuado para el servicio previsible.

La conexión de las vialidades en sentido transversal al eje del proyecto deberán ser repuestas mediante pasos a desnivel que podría hacer inviable económicamente a este trazo, por estas razones es que podrían proponerse nuevas alternativas a la utilización de esta opción, como podría ser la modernización de las carreteras existentes para hacerlas más eficientes o con la elección de un nuevo derecho de vía.

CAPÍTULO III ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – OBSERVATORIO.

En este capítulo se analizara la alternativa Toluca – Observatorio, con el propósito de conocer sus características, así como las ventajas y desventajas de ser considerada la elección definitiva de trazo para el proyecto del Tren Interurbano México – Toluca.

3.1. Trazo Toluca – Observatorio.

Este trazo tiene contemplado la construcción de una nueva vía férrea, teniendo como origen la estación del Metro Observatorio en el Distrito Federal y como destino la estación de ferrocarril en la Ciudad de Toluca, el trazo propuesto tiene una longitud total de 60.30 Kilómetros, y la elección de esta ruta comprendería la construcción de 4 estaciones a lo largo de su recorrido en el Aeropuerto de Toluca, Sauces, Lerma y Santa Fe, además de 2 estaciones terminales, sería necesaria la construcción de un túnel subterráneo de 33.16 kilómetros de longitud y se tendrían aproximadamente 20 kilómetros de vía superficial.

En la Figura # 3.1. Se presenta el trazo completo propuesto para la opción del trazo Toluca – Observatorio, así como también la localización preliminar de sus estaciones, asimismo en la Figura # 3.2. Se presenta el trazo propuesto del tren mostrado en una planimetría del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

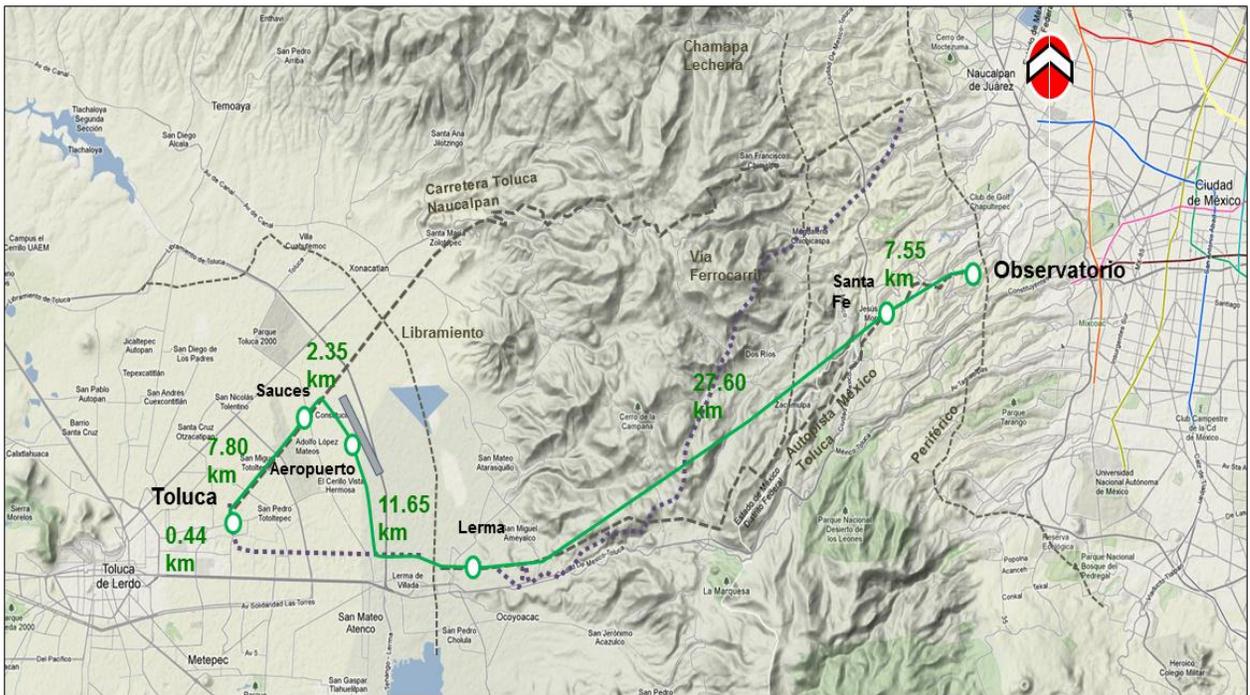


Figura # 3.1. Opción de trazo Toluca - Observatorio y localización preliminar de estaciones.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

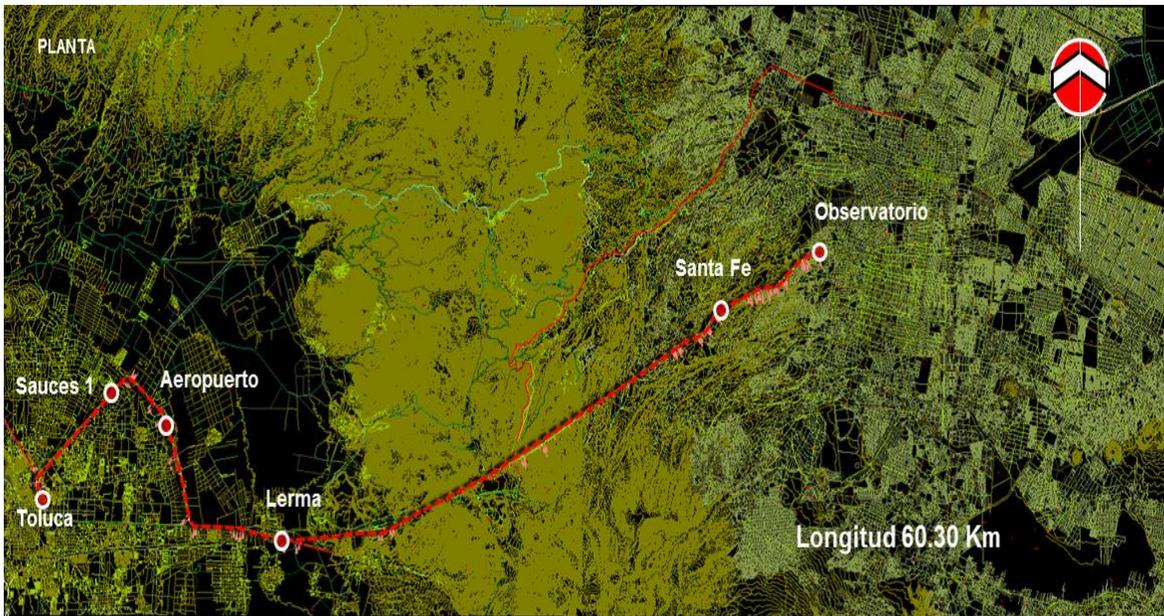


Figura # 3.2. Planimetría de INEGI del trazo Toluca – Observatorio.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

3.1.1. Pendiente del trazo Toluca - Observatorio.

El trazo en túnel teniendo como punto de partida la estación Observatorio y a su paso por la Sierra de las Cruces, tiene como propósito el reducir la curvatura, así como abatir las pendientes de la mayor manera posible, en el paso por la Sierra la pendiente propuesta sería de solo el 0.32 %, lo cual generaría ventajas para la operación del material rodante, mientras que en el tramo Observatorio a Santa Fe se tiene la pendiente máxima del trazo que es del 3.5%, asimismo en la zona cercana a la estación de Toluca la pendiente considerada sería del 0.70% aproximadamente. En la Figura # 3.3. Se muestra el perfil del terreno y las pendientes propuestas para el trazo.

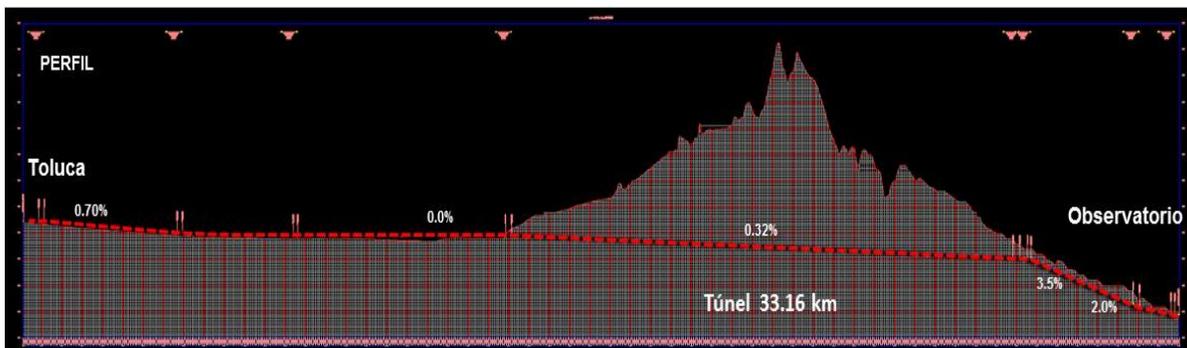


Figura # 3.3. Perfil del terreno y pendientes propuestas del trazo Toluca – Observatorio.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.2. Elevaciones del trazo Toluca - Observatorio.

La elevación del trazo aumenta al internarse a través de la Sierra, iniciando a una altitud de 2309 metros sobre el nivel del mar en la estación Observatorio, hasta los 2650 metros en la Ciudad de Toluca, como se observa en el Cuadro # 3.1.

Origen	Destino	Tipo de vía	Elevación (msnm)
Estación de Toluca	Aeropuerto de Toluca	Elevado	2650
Aeropuerto de Toluca	Lerma	Elevado	2589
Lerma	Inicio del túnel en la Autopista	Superficial	2593
Inicio de túnel en la Autopista	Santa Fe	Subterráneo	2608
Santa Fe	Estación de Observatorio	Subterráneo	2588
Estación de Observatorio	-----	Subterráneo	2309
Longitud total 60.30 kilómetros			

Cuadro # 3.1. Elevaciones del trazo Toluca – Observatorio.

Fuente: Proyecto Tren Subterráneo, Distrito Federal – Toluca, Grupo Acerero del Norte, Peñoles, Ferrocarril Coahuila – Durango.

Debido a esta diferencia de elevaciones, es justificado el abatimiento de pendiente sobre todo en el tramo que atraviesa la Sierra de las Cruces, en la Figura # 3.4. Se presenta la elevación y pendientes propuestas del perfil comentadas con anterioridad.

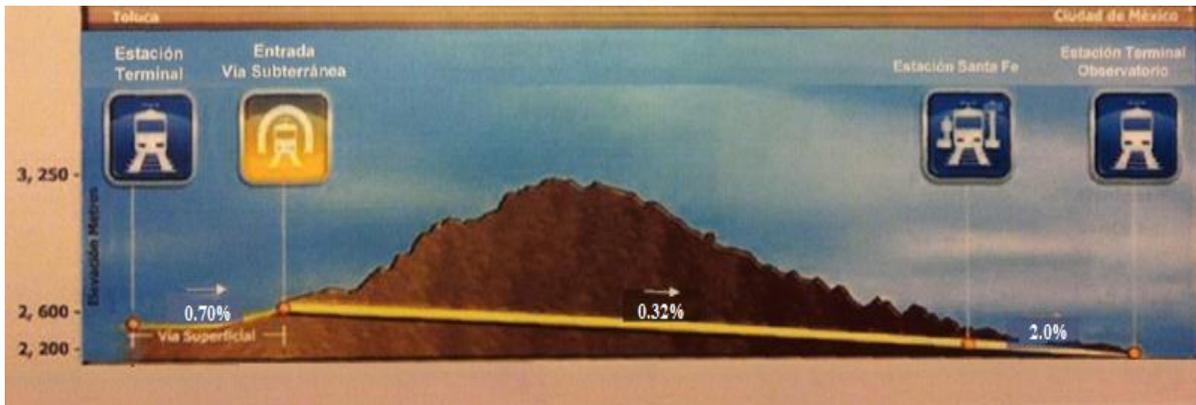


Figura # 3.4. Trazo y elevaciones de la ruta Toluca – Observatorio.

Fuente: Proyecto Tren Subterráneo, Distrito Federal – Toluca, Grupo Acerero del Norte, Peñoles, Ferrocarril Coahuila – Durango.

3.1.3. Demanda de usuarios y tiempos de recorrido actuales de la ruta Toluca - Observatorio.

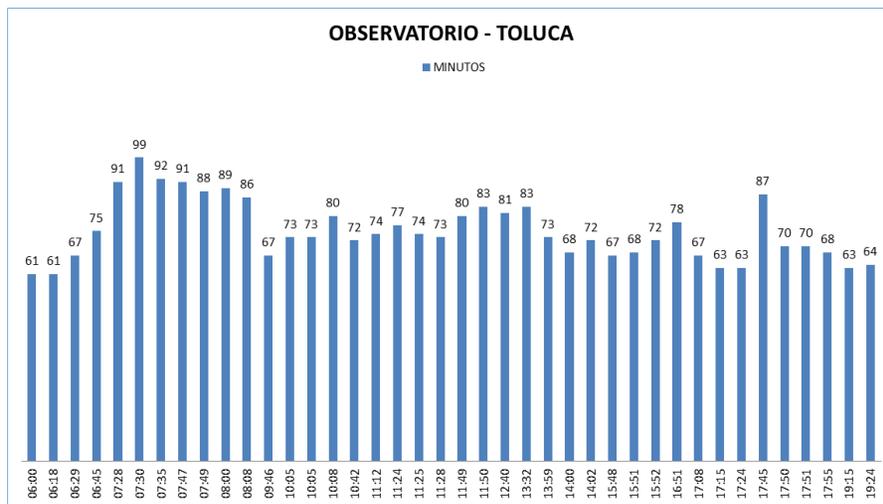
Actualmente la ruta Toluca - Observatorio cuenta con una gran demanda potencial, principalmente en el tramo Observatorio a Santa Fe donde se tiene una intensa actividad económica. El tren puede generar un alto número de usuarios, principalmente en los corredores Toluca – Santa Fe y Santa Fe – Observatorio, además del corredor Toluca –Lerma, en el Cuadro # 3.2. Se muestra la demanda esperada diaria de usuarios del proyecto para este trazo en los corredores mencionados.

Vocación	Recorrido	Demanda diaria (pax/día)
Largo recorrido	Toluca – Observatorio	41,255
Largo recorrido	Observatorio – Toluca	52,063
Mediano recorrido (Toluca)	Toluca – Lerma	2,665
Mediano recorrido (Toluca)	Lerma – Toluca	2,346
Mediano recorrido (D.F.)	Santa Fe – Observatorio	11,729
Mediano recorrido (D.F.)	Observatorio – Santa Fe	11,968
Total de demanda esperada de pasajeros		122,026

Cuadro # 3.2. Demanda diaria esperada en los corredores de la ruta Observatorio – Toluca.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Así mismo en la actualidad el tiempo de traslado entre Observatorio y Toluca registra una variación importante durante las horas del día, teniendo horas pico donde existe una alta afluencia de usuarios y el tiempo de recorrido se incrementa, y horas valle donde la cantidad de usuarios así como el tiempo de recorrido disminuye, esta variación del tiempo de traslado con respecto a las horas del día se observa en la Gráfica # 3.1.



Gráfica # 3.1. Tiempo aproximado de recorrido del transporte público de la ruta Observatorio – Toluca en diferentes horarios.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.4. Características operativas propuestas del trazo Toluca – Observatorio.

En el capítulo I se presentaron algunas generalidades del proyecto, donde se comentó que las tarifas por pasajero serían similares a las que actualmente se pagan utilizando el autobús, por lo que la tarifa aproximada para el caso del tren de la ruta Toluca - Observatorio sería de \$40.00 pesos por viaje, asimismo el tren podría transportar cuando menos a 800 pasajeros por corrida, con un total de 122,026 pasajeros por día, con una velocidad de operación cercana a los 110 Kilómetros por hora, en el Cuadro # 3.3. Se muestran algunas características de operación propuestas para el trazo seleccionado.

Tarifa propuesta	\$ 40 pesos
Capacidad máxima por EMU	284 pasajeros
EMU'S por tren	3 EMU'S
Coches por EMU'S	3 coches
Coches por tren	9 coches
Capacidad máxima por tren	852 pasajeros
Intervalo de frecuencia en horas pico	10.9 minutos
Intervalo de frecuencia en horas valle	15 minutos
Intervalo de frecuencia en domingos y días festivos	15 minutos
Trenes a despachar en horas pico	5.5 trenes /hora
Trenes a despachar en horas valle	4.0 trenes /hora
Trenes a despachar en domingos y días festivos	4.0 trenes /hora
Tiempo de vuelta redonda	55 minutos
Trenes necesarios para el servicio	6 trenes
Trenes en reserva operativa	1 tren
Trenes en mantenimiento 1	1 tren
Total de trenes requeridos	8 trenes
Total de EMU'S requeridos	24 EMU'S
Total de coches requeridos	72 coches

Cuadro # 3.3. Características de operación propuestas del tren Toluca - Observatorio.

Fuente: Proyecto Tren Subterráneo, Distrito Federal – Toluca, Grupo Acerero del Norte, Peñoles, Ferrocarril Coahuila – Durango.

3.1.5. Aspectos económicos del trazo Toluca – Observatorio.

Como se comentó en el capítulo anterior, el aspecto económico es muy importante para tomar una decisión, con respecto a la elección de la opción más adecuada de entre las alternativas de trazo existentes, en el Cuadro # 3.4. Se presenta un desglose de costos aproximados propuestos para la elección de la ruta Toluca – Observatorio, sin embargo, como se mencionó anteriormente, es importante tomar en cuenta que el costo total de construcción debe calcularse a través de un estudio económico detallado, el cual tiene que estar integrado en el proyecto ejecutivo definitivo, sin embargo para fines del presente trabajo nos da una referencia de costos para comparar esta alternativa.

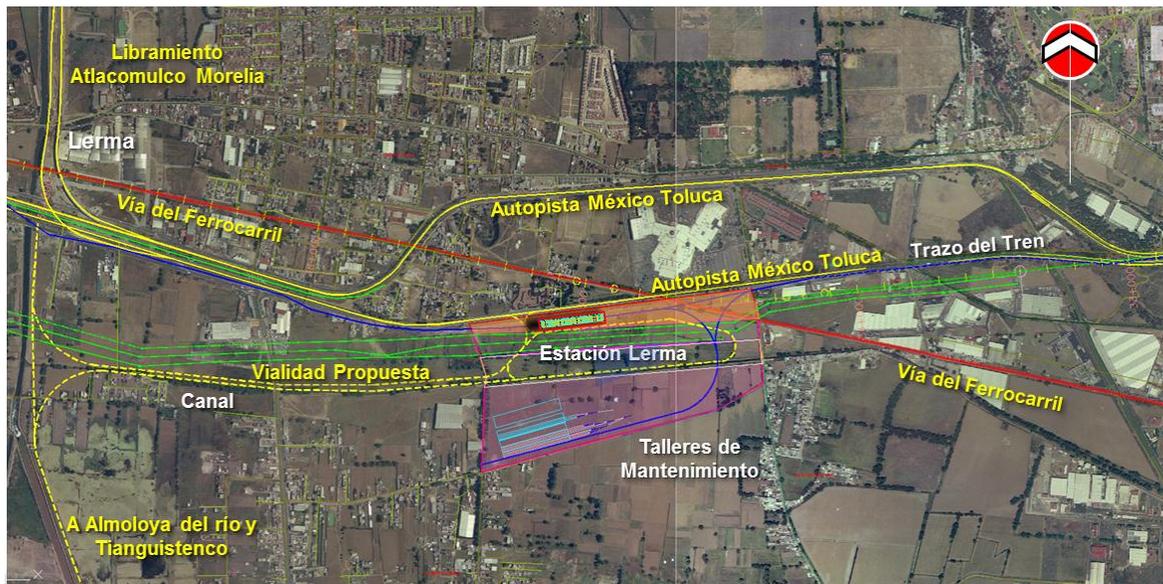
Concepto	Precio unitario aproximado (Millones de pesos)
Costo del Bi-túnel	19,834
Costo del Mono-túnel de doble vía	N/A
Costo de obras, vías y estaciones	9,071
Equipos y sistemas ferroviarios	5,281
Costo Total	34,186

Cuadro # 3.4. Presupuesto preliminar de inversión en Millones de Pesos para la construcción del tren con el trazo Toluca - Observatorio.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.6. Recorrido propuesto del trazo Toluca – Observatorio.

El recorrido del trazo se inicia en los patios de carga del Ferrocarril en la terminal de la Ciudad de Toluca, sigue por la Avenida Isidro Favela para incorporarse a la Avenida López Portillo, en trayecto elevado hasta la Avenida Alfredo del Mazo, para llegar finalmente a la estación Sauces, continuando por la Avenida López Mateos donde se localizaría la estación elevada Aeropuerto, sigue hasta el Paseo Tollocán con dirección al oriente, cruzaría el Río Lerma donde más adelante se localizaría la estación Lerma, y la propuesta de adaptación de los terrenos disponibles para talleres de revisión y mantenimiento de los trenes, además de desarrollos comerciales, en la Figura # 3.5. Se muestra la propuesta de ubicación del complejo Lerma.



Trazo del tren		Ubicación	Áreas en m2
—	Trazo del tren	Estación y CETRAM	76,200
++++	Via del ferrocarril actual	Deposito de talleres y mantenimiento	211,000
—	Líneas de alta tensión	Desarrollo comercial	99,000
—	Vialidad propuesta		

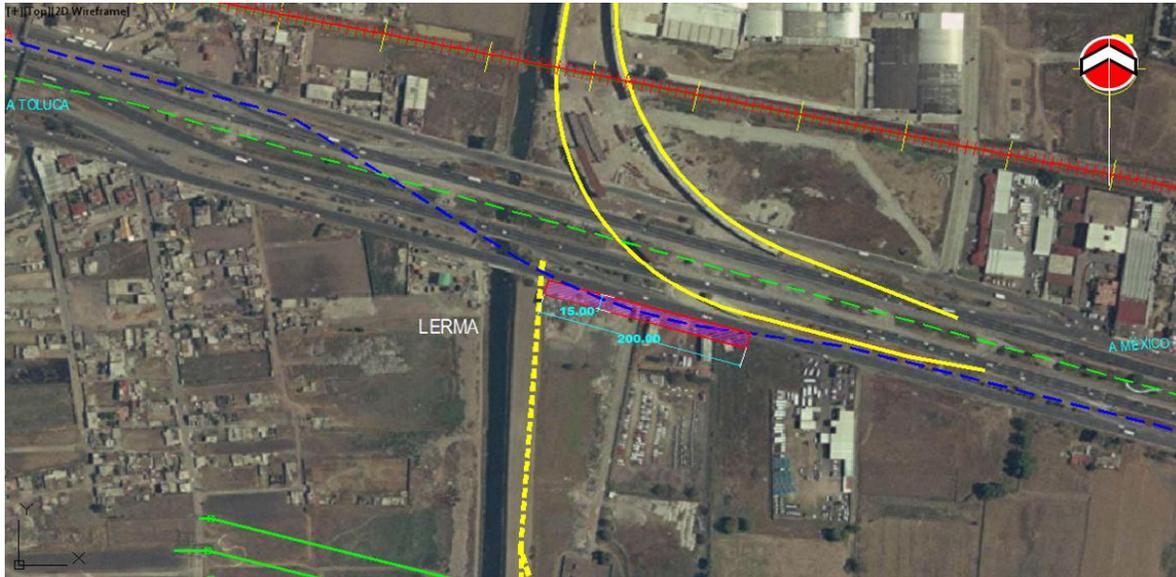
Nota: Cotas y áreas aproximadas

Figura # 3.5. Ubicación del complejo Lerma (estación, talleres y desarrollo comercial).

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.6.1 Cruce de Lerma y Paseo Tollocán.

Para el cruce de Lerma y Paseo Tollocán, se propone la construcción de una nueva vialidad que se conecte con la autopista, además sería necesario que el trazo del proyecto atravesase la misma en el sentido de Norte a Sur, en la Figura # 3.6. Se ejemplifica la propuesta del cruce en Lerma y Paseo Tollocan.



Simbología

- Trazo del tren
- Líneas de alta tensión
- Vialidad propuesta
- Via del ferrocarril actual

Ubicación	Área en m2
Lerma	3,000

Nota: Cotas y áreas aproximadas

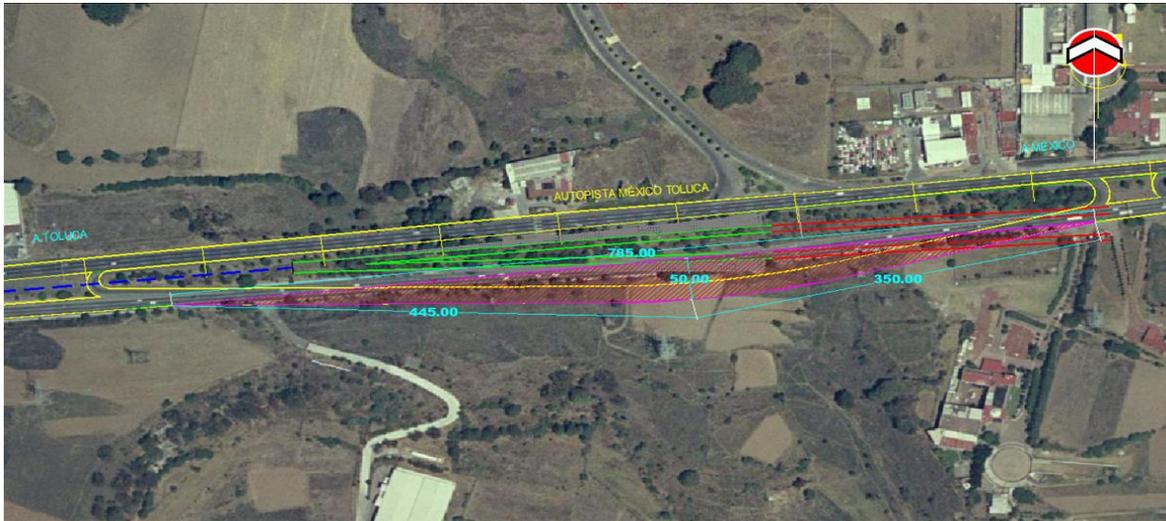
Figura # 3.6. Propuesta del cruce en Lerma y Paseo Tollocan.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.6.2 Inicio de túnel en la Autopista México – Toluca.

El trazo continuaría por la Autopista México – Toluca, donde se propone la ubicación del portal de entrada del túnel en la zona cercana a Lerma a la altura de los Encinos, para este tramo sería necesario la rectificación del cuerpo sur de la misma.

En la Figura # 3.7. Se muestra la ubicación propuesta para la Boca de entrada del túnel sobre la Autopista México – Toluca, a la altura de los Encinos.



Simbología	Ubicación	Área m2
— Trazo del tren	Boca de entrada y/o salida de la autopista Mex - Tol (rectificación de vialidad)	18,000
— Vialidad		

Nota: Cotas y áreas aproximadas

Figura # 3.7. Boca de entrada del túnel sobre la Autopista México – Toluca.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.6.3 Estación Santa Fe.

Después de atravesar el portal de entrada en la autopista México – Toluca, el tren continuaría su recorrido a través de un túnel profundo hasta llegar a la zona de Santa Fe, donde se tienen dos opciones para ubicar la estación dentro del área de reserva ecológica, en la Figura # 3.8. Se ejemplifica la ubicación de las opciones para construir la estación Santa Fe.

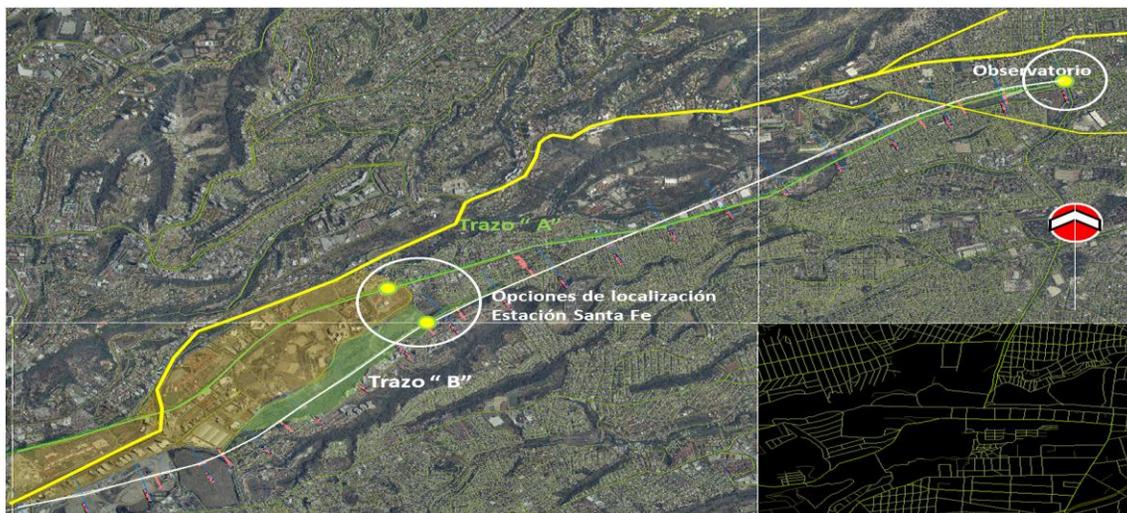


Figura # 3.8. Opciones de ubicación de la estación Santa Fe.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.6.4 Estación Observatorio.

El tren continuaría su recorrido en túnel por debajo del antiguo Camino Real a Toluca, para finalmente llegar a la estación Observatorio, donde se conectaría con la Línea 1 del Metro, la estación terminal Observatorio para el proyecto tendría una configuración subterránea, además sería necesaria la construcción de una doble vía para comunicarla con la estación Santa Fe.

En la Figura # 3.9. Se presenta el esquema de vías propuesto entre las estaciones mencionadas, así como también se presenta la propuesta de la configuración de la estación terminal Observatorio.

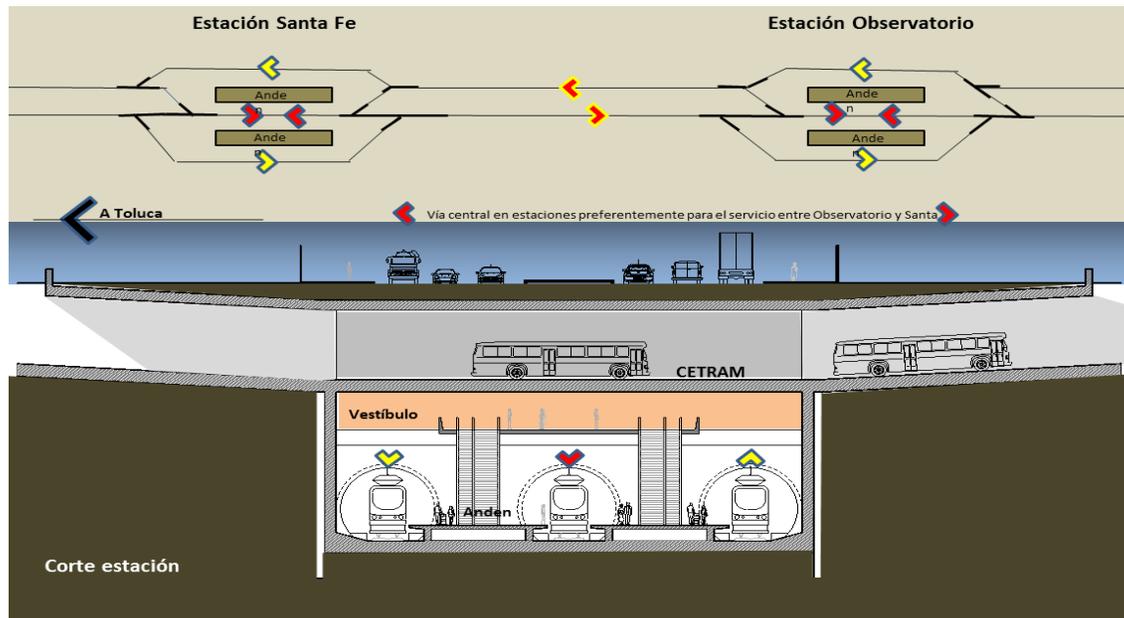


Figura # 3.9. Esquema de vías entre las estaciones Observatorio y Santa Fe.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Debido al confinamiento de la zona aledaña a la estación Observatorio, sería necesario reacondicionarla liberando el derecho de vía, además de disponer de los terrenos necesarios para la construcción de la estación ferroviaria, la cercanía a la Central Camionera y el incremento de usuarios podrían sobrecargar las vialidades de la zona, principalmente en avenidas cercanas como Sostenes Rocha, Río Tacuba o Minas de Arena.

En la Figura # 3.10. Se muestra la ubicación propuesta de la estación Observatorio, así como también la zona necesaria para liberar el derecho de vía, y el valor de área disponible para la construcción de dicha estación.



	A	B	C
1	Ubicación	Área m^2	Área de Construcción en m^2
2	Estación terminal Observatorio y transición a subterráneo	26,800	9,560

Nota: Cotas y áreas aproximadas

Figura # 3.10. Esquema de la estación terminal Observatorio.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

3.1.7. Infraestructura del trazo Toluca – Observatorio.

La infraestructura ferroviaria necesaria para la elección de este trazo es extensa y correspondería a lo siguiente:

- **Dos terminales:** Observatorio y Estación del Ferrocarril de Toluca.
- **Cuatro estaciones intermedias:** Sauces, Aeropuerto, Lerma y Santa Fe.
- **Tramo Terminal Toluca - portal de entrada del túnel en autopista:** Necesitaría la construcción de una doble vía elevada, vía superficial y una zona de transición.
- **Tramo recorrido en túnel- Santa Fe:** Se necesitaría la construcción de un túnel de gran longitud.
- **Tramo Santa Fe- Observatorio:** Sería necesaria la construcción de un doble túnel.

3.2 Análisis del trazo Toluca – Observatorio.

El trazo Toluca - Observatorio es una importante opción a considerar para ser elegida ruta del proyecto, debido a las importantes características que presenta con respecto a otras alternativas, ya que se trata de un trazo totalmente nuevo, sin embargo su elección también podría generar problemáticas durante su construcción y/o operación que podrían cuestionar su elección, por lo que las desventajas que tiene esta opción deben de ser tomadas en cuenta si se elige como ruta definitiva.

3.2.1 Ventajas de la elección del trazo Toluca – Observatorio.

Este trazo presenta grandes ventajas que podrían hacer viable su elección, debido a la gran cantidad de usuarios potenciales que podría captar el tren en su trayecto, tal como se comentó con anterioridad; además de que propone una solución importante de movilidad ofreciendo servicio al gran centro económico, de servicios, y en desarrollo de Santa Fe, mejorando su conexión con el Distrito Federal de una manera más rápida, con su correspondencia en Observatorio con la Línea 1 del Metro, además de conservar el hábito general de origen y destino del Distrito Federal a Toluca.

La elección de este trazo como ruta del proyecto serviría como un detonador para el desarrollo regional en Lerma, ya que la ubicación de la estación en esta zona serviría al corredor del Paseo Tollocan – Lerma y a Ocoyoacac, ofrecería servicio a la zona de San Mateo Atenco, Aeropuerto y los Sauces. Con respecto a su procedimiento constructivo, la construcción de la boca de entrada del túnel se aprovecharía para construir la estación Observatorio.

3.2.2 Desventajas de la elección del trazo Toluca – Observatorio.

Necesitaría la construcción de un túnel de 33.16 Kilómetros de longitud, excedido en dimensiones, lo que podría resultar impráctico, además cuyo costo aproximado sería de 19,834 Millones de Pesos pudiendo ser económicamente inviable; debido a la longitud y volúmenes de obra por ejecutar por ser un trazo nuevo, necesitaría de un mayor tiempo de construcción y tendría un mayor costo en general, así mismo se tendrían que liberar áreas para la construcción de las estaciones Observatorio y Santa Fe.

Debido a que el trazo del proyecto será subterráneo en la zona de Observatorio las obras de construcción afectarían la vialidad de avenidas importantes, asimismo es necesario tomar en cuenta la posible saturación vial en la zona como se comentó con anterioridad, para la construcción del CETRAM (Centro de Transferencia Multimodal); además es necesario considerar la propuesta de ampliación de la Línea 12 del Metro a Observatorio, que pudiera convertirse en un factor a considerar para el desarrollo y factibilidad del trazo.

Para la construcción de la estación Observatorio y la boca de entrada del túnel, se requerirían aproximadamente de un área de 26,800 metros cuadrados de terreno, así como 9,560 metros cuadrados de construcción; además de que se tienen menos opciones para la ubicación de los talleres de mantenimiento de los trenes.

Por otra parte, con respecto a sus características geométricas, existen pendientes del 3 a 3.5 % en el tramo de Observatorio - Santa Fe, que podrían afectar la eficiencia de operación de los trenes, además de que el trazo tiene una curva de menos de 350 metros de radio, la cual incumple con los parámetros mínimos establecidos en la normativa europea tal como se comentó en el capítulo I, con respecto a la velocidad de diseño del proyecto, y obligaría a la reducción de la velocidad a menos de 80 Kilómetros por hora, lo que supondría un riesgo en lo que se refiere a la seguridad y operación del material rodante.

En el aspecto ambiental sería necesario reubicar con una longitud aproximada de 7.5 Kilómetros los ductos de PEMEX en la Avenida López Portillo, y en esa misma distancia se afectaría el camellón arbolado para la construcción de la vía elevada, lo cual genera un impacto ambiental desfavorable, asimismo si la estación de Santa Fe se construyera en la zona de barranca, se afectarían las áreas de reserva ecológica que se observan en la Figura # 3.11.



Figura # 3.11. Zona de reserva ecológica de Santa Fe.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Finalmente la construcción de un trazo totalmente nuevo genera afectaciones importantes a la población durante la construcción de la obra, principalmente en lo que se refiere a los accesos de las ciudades.

Por las características mencionadas el trazo presenta grandes ventajas, sin embargo, como se mencionó anteriormente, al encontrarse las estaciones dentro de la zona urbana la liberación de espacios puede ser complicada, así mismo la cantidad de obras a ejecutar, el costo y el tiempo necesario de construcción pueden complicar la elección de este trazo.

CAPÍTULO IV ALTERNATIVA DE TRAZO TOLUCA – CUATRO CAMINOS.

En este capítulo se analiza la propuesta de trazo Toluca – Cuatro Caminos, para el proyecto del Tren Interurbano México – Toluca, con el propósito de conocer sus principales características, las ventajas que presenta esta ruta y las desventajas de ser considerado trazo definitivo del proyecto.

4.1. Trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Este trazo considera la posibilidad de enlazar la Ciudad de Toluca con la estación terminal de la Línea 2 del Metro Cuatro Caminos, el trazo propuesto tendría una longitud total de 58.00 Kilómetros, con 5 estaciones intermedias en Saucés, el Aeropuerto de Toluca, Lerma, Interlomas (Rio Hondo) y Naucalpan, para esta alternativa sería necesaria la construcción de un túnel de doble vía de 19.50 Kilómetros de longitud.

En la Figura # 4.1. Se presenta el trazo completo propuesto para la opción del trazo Toluca – Cuatro Caminos, así como también la localización preliminar de sus estaciones, asimismo en la Figura # 4.2. Se presenta el trazo propuesto del tren mostrado en una planimetría del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).



Figura # 4.1. Trazo propuesto Toluca – Cuatro Caminos y ubicación de sus estaciones.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

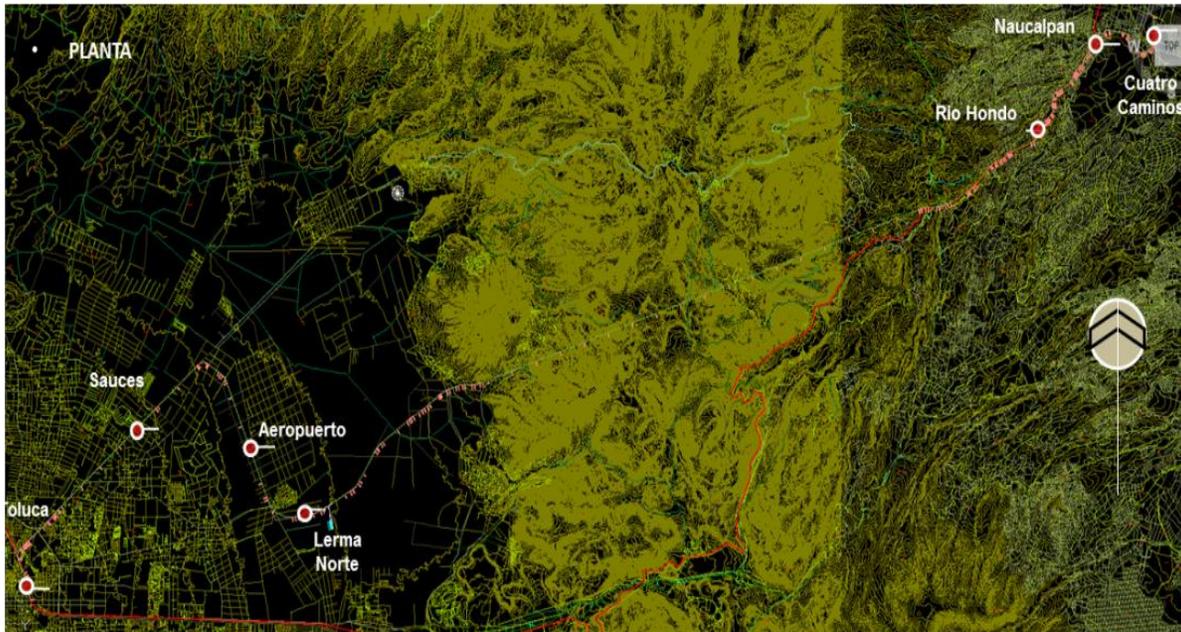


Figura # 4.2. Trazo Toluca - Cuatro Caminos en planimetría del INEGI.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

4.1.1. Pendiente del trazo Toluca - Cuatro Caminos.

Como se mencionó anteriormente, y al igual que en el trazo Toluca – Observatorio y en el corredor ferroviario Toluca - Naucalpan con la reutilización de la Línea N, para esta opción también se propuso una solución con túnel para atravesar la Sierra, debido a la fuerte necesidad de reducir el desnivel y las pendientes existentes, a fin de garantizar el cumplimiento de las normas correspondientes al diseño geométrico de la vía como se mencionó en el capítulo I, de la misma forma que la eficiencia de operación del material rodante y la seguridad de los pasajeros, para este trazo se tiene una pendiente máxima propuesta del 0.05% a través de la Sierra de las Cruces, en la Figura # 4.3. Se presenta el perfil del trazo con la pendiente mencionada.



Figura # 4.3. Perfil del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.2. Demanda de usuarios del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Tomando en cuenta las zonas atractoras para el trazo propuesto, se tendría una demanda de usuarios aproximada de 104,575 pasajeros por día, los corredores Sauces – Huixquilucan, Huixquilucan – Tacuba y Tacuba – Naucalpan, en el caso de que se considere una ampliación a la zona de Tacuba, muestran una importante demanda potencial que puede ser determinante en la elección del trazo, en el Cuadro # 4.1. Se presenta la demanda aproximada de usuarios en los corredores mencionados.

Vocación	Recorrido	Demanda diaria [pax/día]
Largo Recorrido	Toluca - Cuatro Caminos	23,809
Largo Recorrido	Cuatro Caminos - Toluca	26,519
Mediano recorrido (Toluca)	Sauces - Huixquilucan	4,680
Mediano recorrido (Toluca)	Huixquilucan - Sauces	7,800
Mediano recorrido (D.F.)	Huixquilucan - Tacuba	7,471
Mediano recorrido (D.F.)	Tacuba - Huixquilucan	7,330
Corto recorrido (D.F.)	Naucalpan – Tacuba	6,331
Corto recorrido (D.F.)	Tacuba - Naucalpan	6,314

Cuadro # 4.1. Demanda aproximada de usuarios en el trayecto Toluca – Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.3. Características operativas del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Con el propósito de conocer las características de operación que se tendrían para el trazo propuesto, en el siguiente Cuadro # 4.2. Se presentan algunos aspectos operativos del sistema, tal como se comentó con anterioridad los datos son preliminares, sin embargo proporcionan un parámetro de referencia para comparar la opción de construcción del proyecto con el presente trazo, en comparación con las distintas opciones, e inclusive con los medios de transporte existentes, tomando en cuenta que los autobuses tienen salidas aproximadamente cada 5 minutos como se mencionó en el capítulo I.

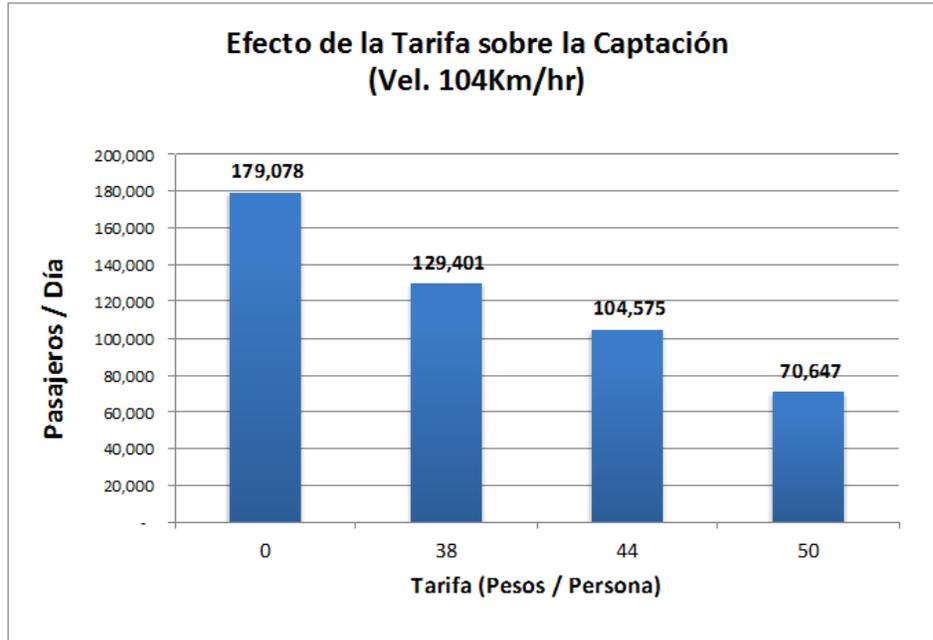
Transporte de pasajeros diarios	104,575
Horario de servicio	5 a.m. a 00.30 a.m.
Número de trenes (EMU's con capacidad de 300 pasajeros)	26 (52 carros)
Intervalos:	
Hora pico	5 minutos
Intermedia	8 minutos
Valle	15 minutos

Cuadro # 4.2. Características de operación del tren Toluca – Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.4. Tarifas propuestas para el trazo Toluca – Cuatro Caminos.

La respuesta de la demanda a la tarifa es importante, especialmente si esta se encuentra en un monto similar o mejor que el servicio económico de autobuses, el cual es aproximado a \$51.00 pesos, tal como se mencionó en el capítulo I; por tal motivo en la Grafica # 4.1. Se muestra un breve análisis de sensibilidad, presentando diferentes valores de demanda de captación de usuarios del transporte público, en función de la tarifa del boleto del tren y de la velocidad de operación del mismo.



Gráfica # 4.1. Análisis de sensibilidad Tarifa - Demanda de Pasajeros.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Al observar la gráfica anterior, se concluye que la tarifa que equilibraría el sistema tomando en cuenta las pérdidas y los ingresos generados necesarios para poder mantener la operación de los trenes, sería de \$44.00 pesos, con la cual se podrían transportar diariamente 104,575 pasajeros.

4.1.5. Aspectos económicos del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Como se comentó en los capítulos anteriores referente a las opciones de trazo analizadas, el aspecto económico será fundamental para la elección de la mejor opción, por esta razón en el Cuadro # 4.3. Se presenta un desglose de costos aproximados propuestos para la elección de la ruta Toluca – Cuatro Caminos.

Asimismo como se mencionó anteriormente, el costo total de construcción deberá calcularse a través de un estudio económico detallado, el cual se tiene que presentar en la integración del proyecto ejecutivo definitivo; sin embargo para fines del presente trabajo nos da una referencia de costos para analizar la alternativa en cuestión.

Inversión Inicial	Millones de pesos	% Porcentaje de inversión
Terrenos y afectaciones	755.09	2.9%
Obra civil ferroviaria	6,535.10	24.9%
Bitúnel	11,135.00	42.4%
Túnel doble vía	2,107.00	8.0%
Imprevistos	395.06	1.5%
Subtotal Obra Civil	21,607.25	79.7%
Material rodante	1,944.80	7.4%
Resto equipamiento	2,709.20	10.3%
Subtotal Equipamiento	4,654.00	17.7%
Obras Viales y Urbanas	680.00	2.6%
Total Inversión Inicial	26,261.25	100.0%

Cuadro # 4.3. Inversión preliminar del tren Toluca – Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Nota: Los Costos son paramétricos, preliminares y no incluyen: Ingeniería de detalle, gerencia de proyecto, gastos preoperativos, seguros y otros, además se encuentran actualizados al mes de Diciembre del año 2012.

4.1.6. Recorrido propuesto del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

El recorrido del trazo en la Ciudad de Toluca y en sus accesos es similar al del trazo Toluca – Observatorio, es decir, se inicia en los patios de carga del ferrocarril en la terminal de Toluca, continua por la Avenida Isidro Favela para incorporarse a la Avenida López Portillo en viaducto elevado, hasta la Avenida Alfredo del Mazo, para continuar en trazo superficial y llegar a la estación Sauces, realizaría una conexión con la segunda pista del Aeropuerto de Toluca, y para este trazo se aprovecharía el derecho de vía de la nueva Autopista Toluca – Naucalpan, saliendo de la zona del Aeropuerto de Toluca, así como una parte del derecho de vía de la antigua Línea N en el tramo de Huixquilucan a Cuatro Caminos, como también se presentó en el capítulo II.

4.1.6.1. Estación terminal de Toluca.

Como se comentó anteriormente, para las tres opciones de trazo analizadas, se considera que la terminal del proyecto en Toluca coincidirá con la actual estación del ferrocarril de la ciudad, esta ubicación acumula las siguientes características:

- Tiene cercanía al centro de Toluca y a la zona industrial.
- Existe una buena comunicación vial con el resto de la Zona Metropolitana de Toluca principalmente con el Paseo Tollocán, la Carretera a Atlacomulco y la Vía López Portillo.
- Cuenta con un amplio patio de ferrocarriles, el cual (previo acuerdo con el concesionario KCSM) podría ser aprovechado en parte o en su totalidad para las instalaciones auxiliares de la estación.

- Mantiene una colindancia con barrios poco valorizados, donde la adquisición de terrenos para las instalaciones auxiliares de la estación, o para desarrollos comerciales no resultaría tan problemática. En la Figuras # 4.4. y 4.5. Se presenta la ubicación de la Estación terminal en la Ciudad de Toluca.



Figura # 4.4. Estación de Toluca.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA – NAUCALPAN, Septiembre de 2006.



Figura # 4.5. Propuesta de ubicación de la terminal de Toluca con llegada por la Avenida López portillo.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.2. Trazo del tren en la Avenida López portillo.

Para atravesar la Avenida López Portillo, se tiene considerado una sección a nivel superficial de 5.2 Kilómetros de longitud, y una sección en viaducto elevado de 2.4 kilómetros, en la Figura # 4.6. Se muestra la sección actual de la Avenida López Portillo.



Figura # 4.6. Sección actual de la Avenida López Portillo.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

En la siguiente Figura # 4.7. Se muestran las propuestas de sección transversal necesarias para cruzar la Avenida López Portillo en Toluca.

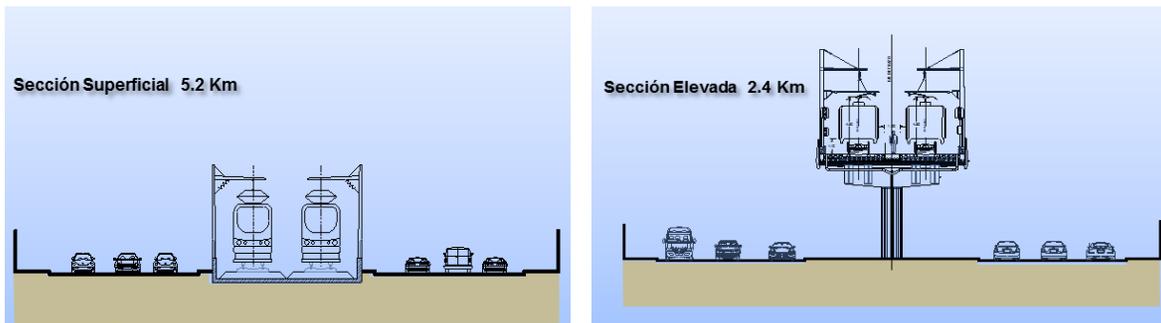


Figura # 4.7. Sección propuesta en la Avenida López Portillo.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.3. Trazo del tren en el cruce con la Avenida Alfredo del Mazo.

Como solución al cruce con la Avenida Alfredo del Mazo se propone la construcción de un viaducto elevado, sin embargo debido a la fuerte presión urbanizadora en la zona, sería necesaria la adquisición de terrenos particulares para la liberación del derecho de vía, y poder obtener la sección del proyecto, en la Figura # 4.8. Se muestra la propuesta de trazo del proyecto en el cruce de la Avenida López Portillo con la Avenida Alfredo del Mazo en Toluca, asimismo en la Figura # 4.9. Se ejemplifica la sección transversal propuesta en el puente de Alfredo del Mazo.

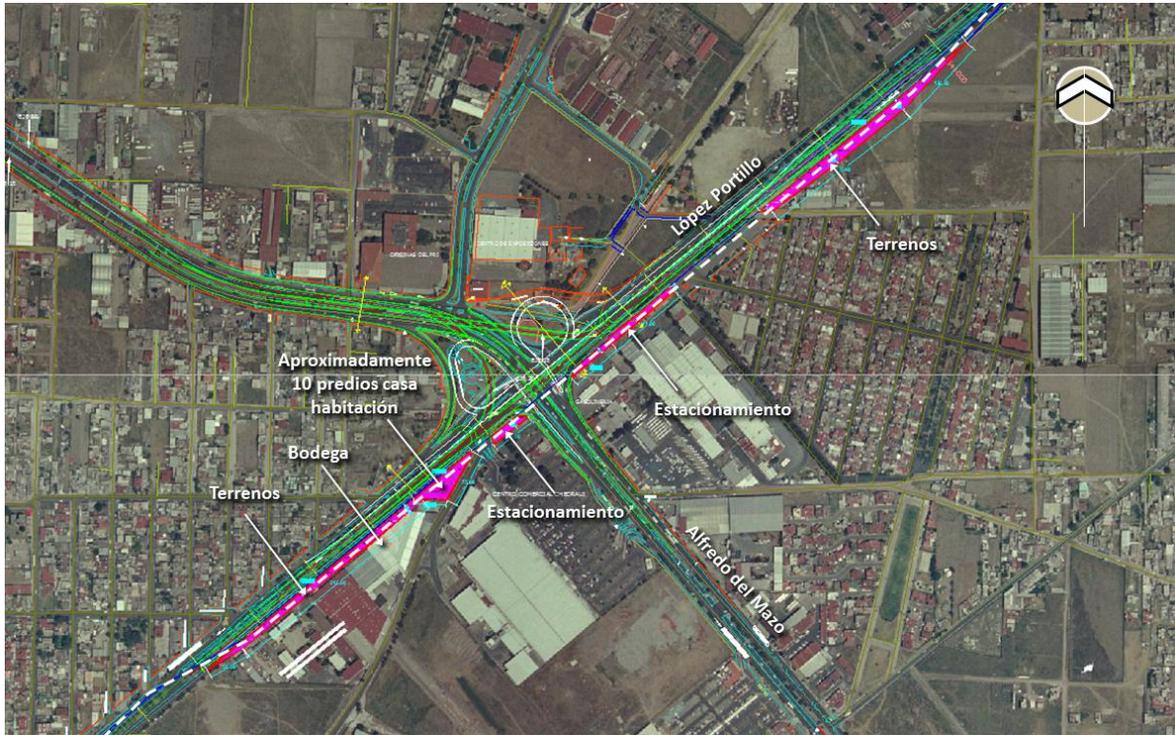


Figura # 4.8. Propuesta de trazo del proyecto en el cruce de la Avenida López Portillo con la Avenida Alfredo del Mazo en Toluca.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

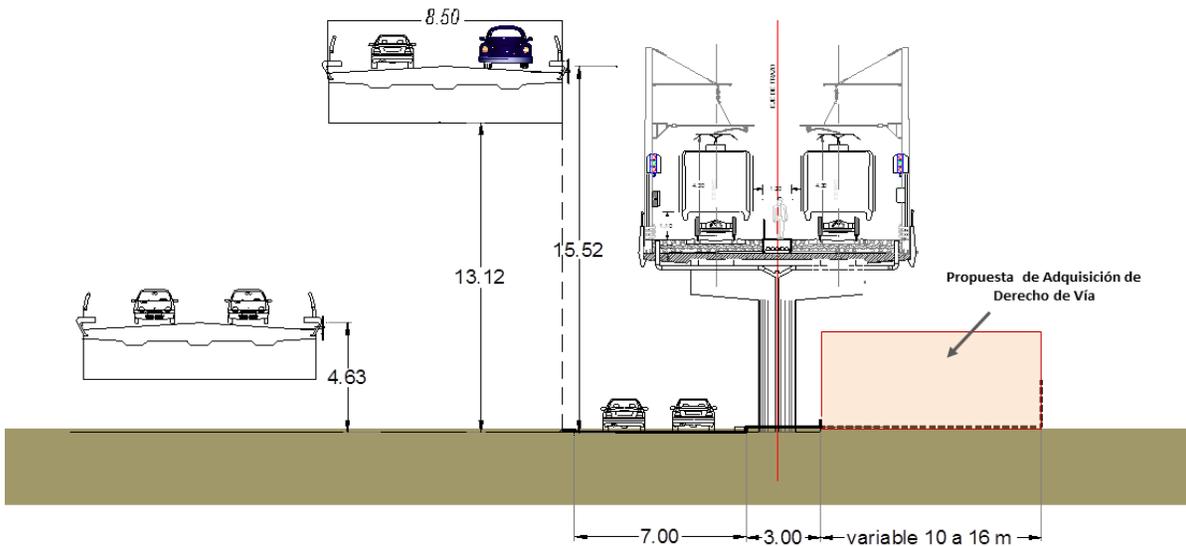


Figura # 4.9. Propuesta de sección transversal del proyecto y propuesta de adquisición de derecho de vía necesario para el tren en el puente de Alfredo del Mazo.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.4. Ubicación de la estación Sauces.

Se propone ubicar la estación Sauces frente a la Central de Abasto en solución elevada, para no afectar el funcionamiento vial de la zona, así mismo se pretende optimizar la alimentación a la estación, utilizando la Avenida López Portillo y la Avenida Miguel Alemán como alimentadores principales.

En la Figura # 4.10. Se muestra la ubicación de la estación Sauces así como también la estructura vial propuesta.

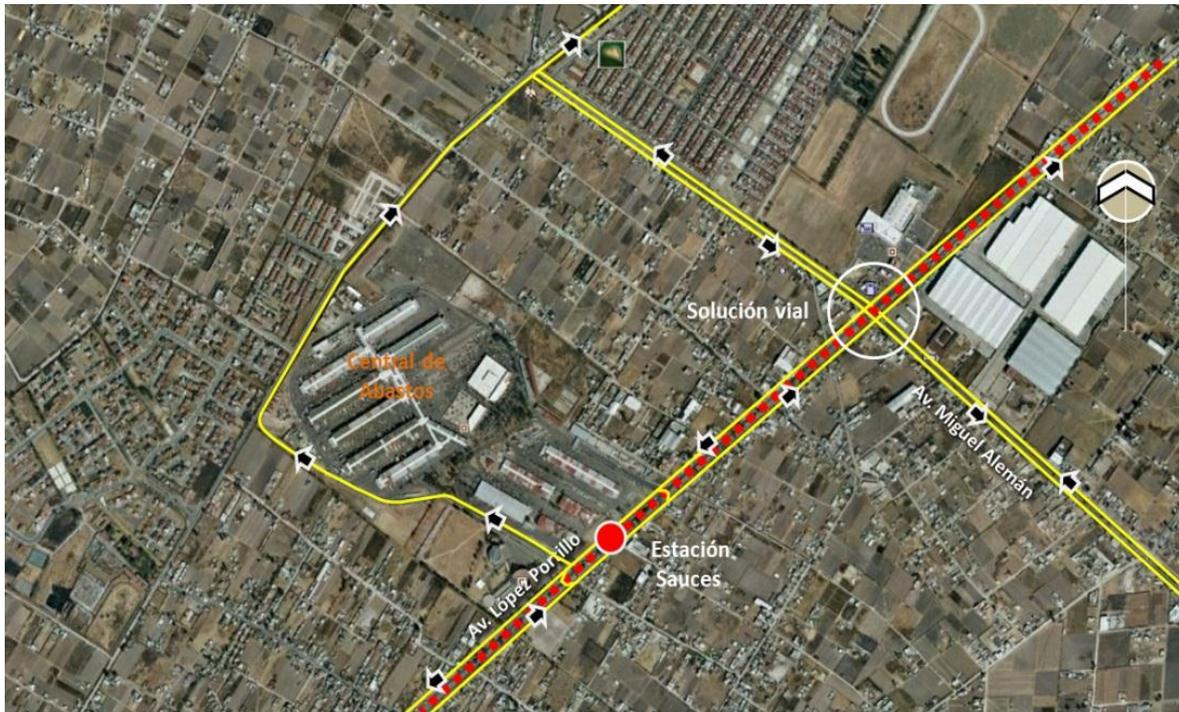


Figura # 4.10. Estructura vial propuesta de la estación Sauces.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.5. Estación Aeropuerto de Toluca.

El Aeropuerto de Toluca debido a la necesidad de desarrollo de su infraestructura, a mediano y largo plazo, se tiene estimado como un Aeropuerto alternativo al de la Ciudad de México, por esta razón resultaría una ventaja ubicar la estación del tren cerca de la zona del Aeropuerto, específicamente utilizando el derecho de vía del Boulevard Aeropuerto (Aguiles Serdán) como se observa en la Figura # 4.11.

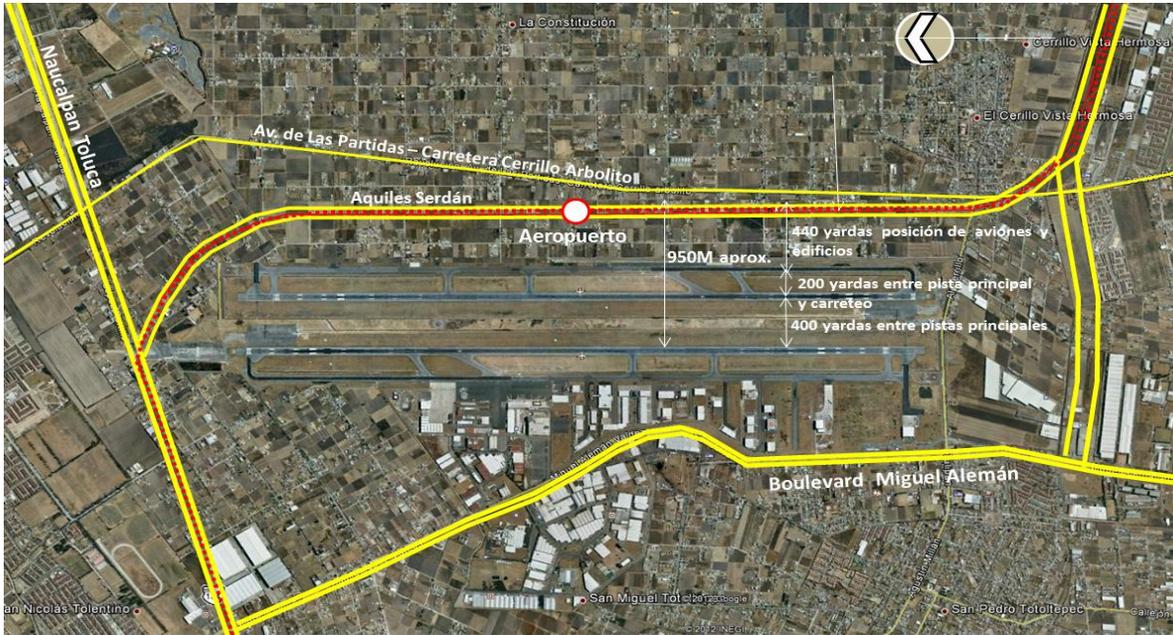


Figura # 4.11. Ubicación propuesta de la estación Aeropuerto de Toluca.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Debido al desarrollo urbano en las zonas aledañas al Aeropuerto, sería necesaria la liberación del derecho de vía en la zona cercana al Boulevard Aeropuerto para alojar la sección del proyecto, en las Figuras # 4.12. Y 4.13. Se presentan las zonas necesarias para la liberación del derecho de vía.



Figura # 4.12. Propuesta de trazo y zonas necesarias para liberación del derecho de vía en el Boulevard Aeropuerto.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.



Figura # 4.13. Estado actual de la zona para liberación de derecho de vía cercana al Boulevard Aeropuerto

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Por su parte la configuración de la sección transversal propuesta en el Boulevard Aeropuerto, sería la mostrada en la Figura # 4.14.

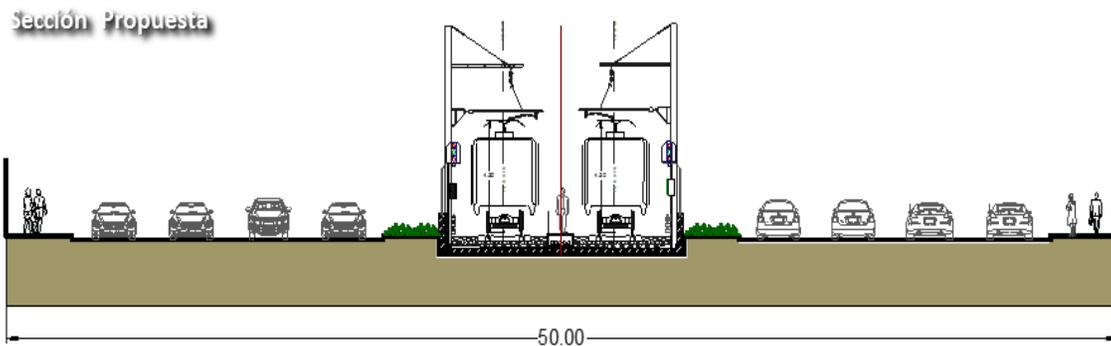


Figura # 4.14. Sección propuesta del proyecto en el Boulevard Aeropuerto.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.6. Trazo del proyecto por la Autopista Toluca – Naucalpan.

Como se comentó anteriormente, el trazo Toluca – Cuatro Caminos propone utilizar el derecho de vía con una longitud aproximada de 6.5 Kilómetros, en la zona de Lerma de la nueva Autopista Toluca – Naucalpan, actualmente en construcción; para lo cual se necesitaría la ampliación del mismo para poder alojar la sección del proyecto, lo cual implicaría numerosas maniobras de cortes y terraplenes a lo largo del trazo.

En la Figura # 4.15. Se muestra el trazo propuesto del proyecto por la nueva Autopista Toluca – Naucalpan.

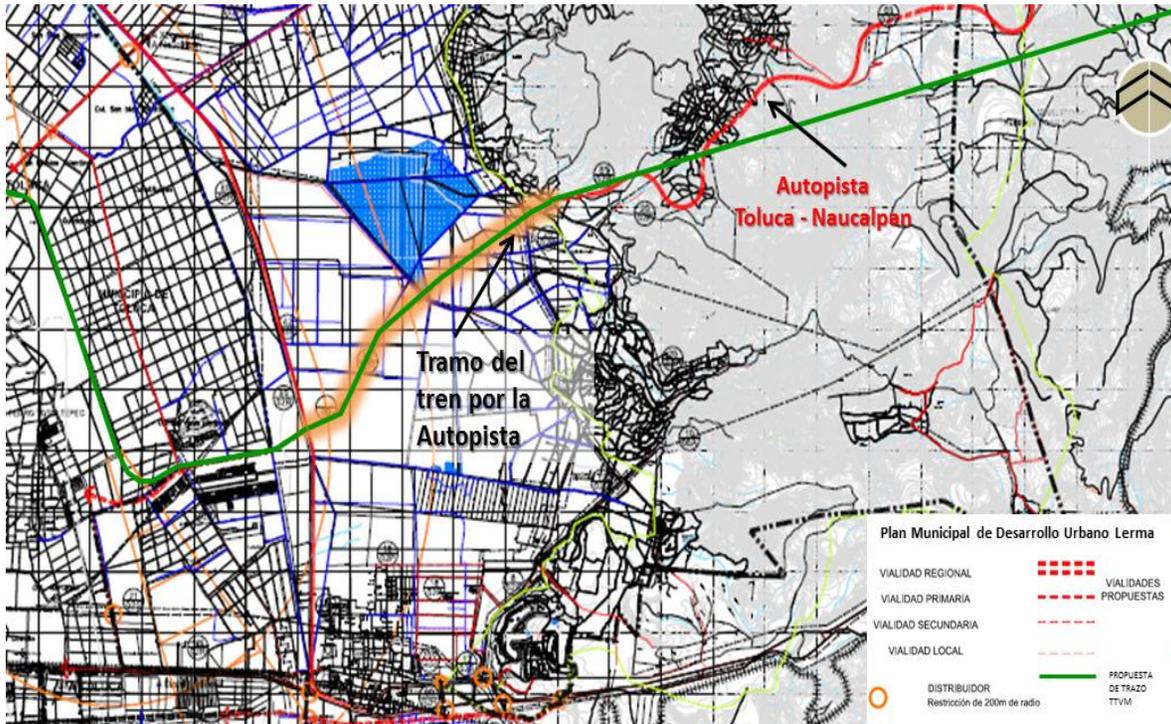


Figura # 4.15. Trazo propuesto del proyecto por la Autopista Toluca – Naucalpan.

Fuente: Plan Municipal de Lerma 2013, disponible en: <http://www.lerma.gob.mx>. Consultado el día 9 de Octubre de 2013.

4.1.6.6.1. Propuesta de sección en la Autopista Toluca – Naucalpan.

El derecho de vía actual es de 40 metros, como se muestra en la Figura # 4.16. Por lo que se necesitaría la adquisición de una franja de terreno paralela de 6,500 metros de largo por 19 metros de ancho, para la ampliación futura de la Autopista a cuatro carriles por sentido, para que el proyecto quedara al centro de la vialidad como se ejemplifica en la Figura # 4.17.

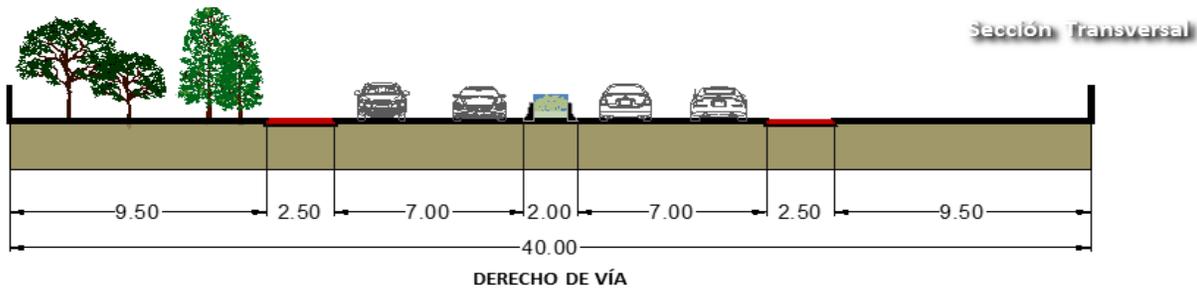


Figura # 4.16. Sección transversal actual de la Autopista Toluca - Naucalpan.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

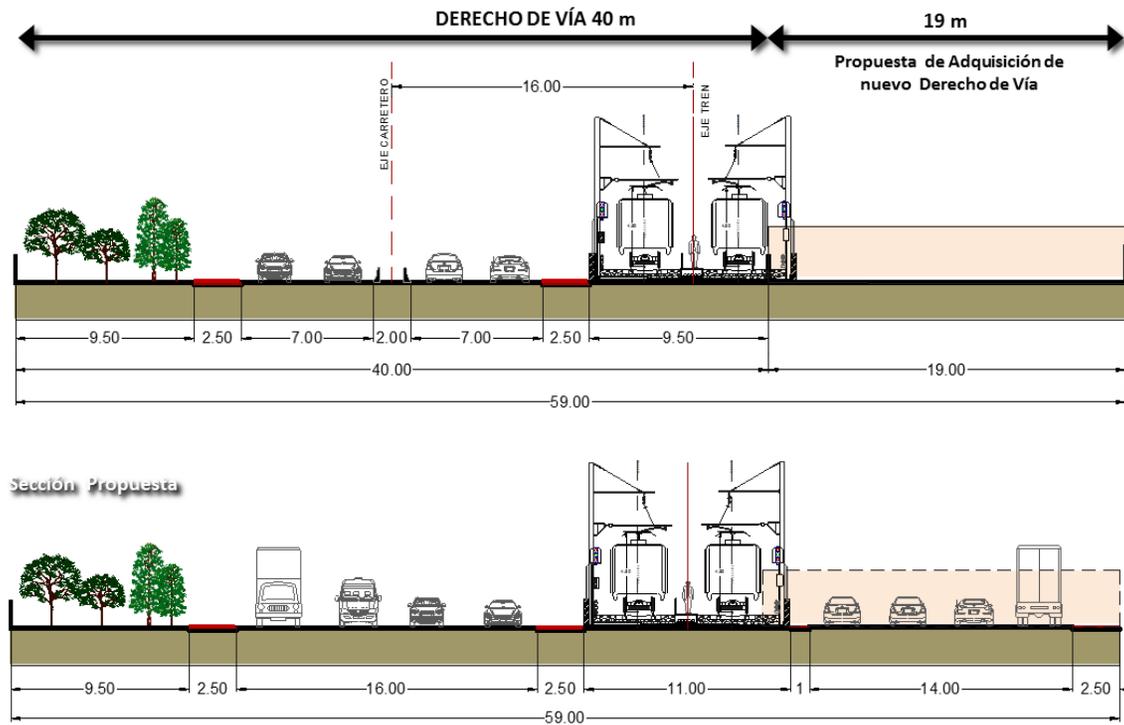


Figura # 4.17. Propuesta de sección transversal de la Autopista Toluca - Naucalpan.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.7. Trazo Toluca – Cuatro Caminos, tramo en túnel de doble vía.

La construcción del túnel de doble vía para atravesar la Sierra iniciaría a la altura del Pueblo de San Nicolás Peralta y terminaría en la Autopista Chamapa – Lechería a la altura de Interlomas, como se comentó anteriormente el túnel tendría una longitud de 19.50 Kilómetros (Figuras # 4.18 y 4.19.).

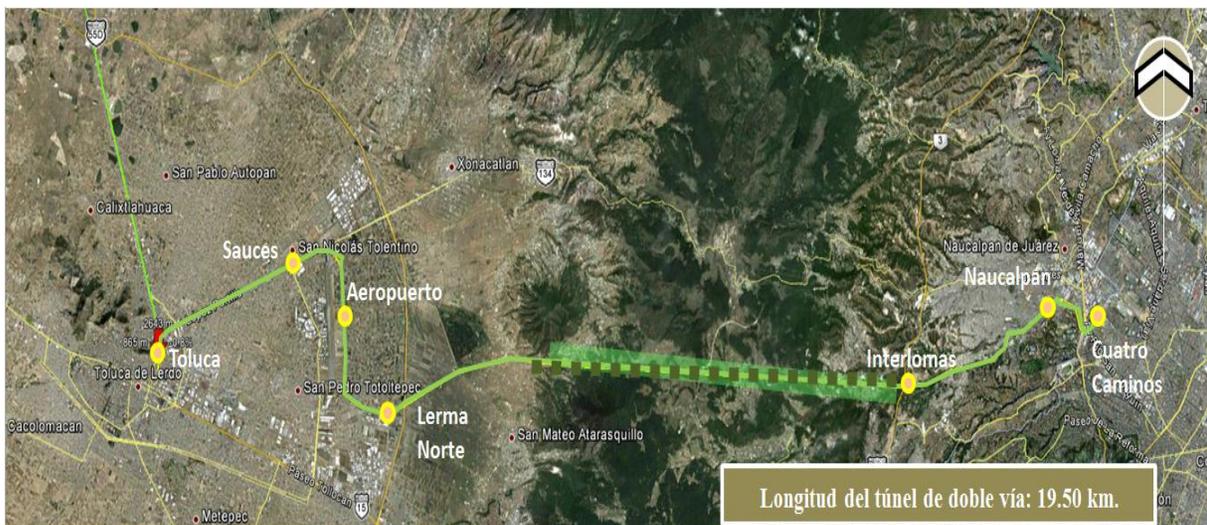


Figura # 4.18. Trazo propuesto del túnel de doble vía.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

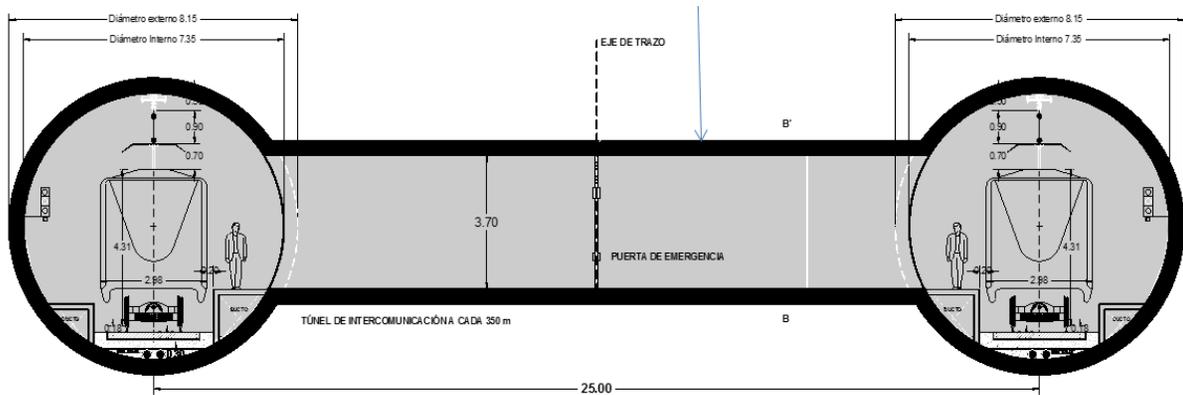


Figura # 4.19. Sección propuesta del túnel de doble vía.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.8. Trazo rumbo a la estación Naucalpan por el derecho de vía de la Línea N.

El trazo propuesto utilizaría el derecho de vía de la antigua línea del Ferrocarril Central a Acámbaro (Línea N), en el tramo de la Autopista Chamapa – Lechería a la estación Naucalpan, sin embargo como se comentó en el capítulo II con respecto a la propuesta de reutilización del corredor ferroviario Toluca – Naucalpan utilizando la Línea N, sería necesaria su modernización y rectificación para ser reacondicionada como ruta del proyecto.



- Túnel profundo
 - Transición
 - Tramo elevado
 - Tramo superficial
- Simbología**

Figura # 4.20. Tramo de la estación Río Hondo hacia la estación Cuatro Caminos.

Fuente: Google Earth.

En la figura anterior se muestra la configuración del trazo desde Rio Hondo hasta Naucalpan, el cual tendría un tramo superficial, un tramo elevado, y una zona de transición a túnel para llegar a la estación Cuatro Caminos, por su parte el perfil del trazo en el tramo Rio Hondo – Cuatro Caminos se muestra en la siguiente Figura # 4.21.

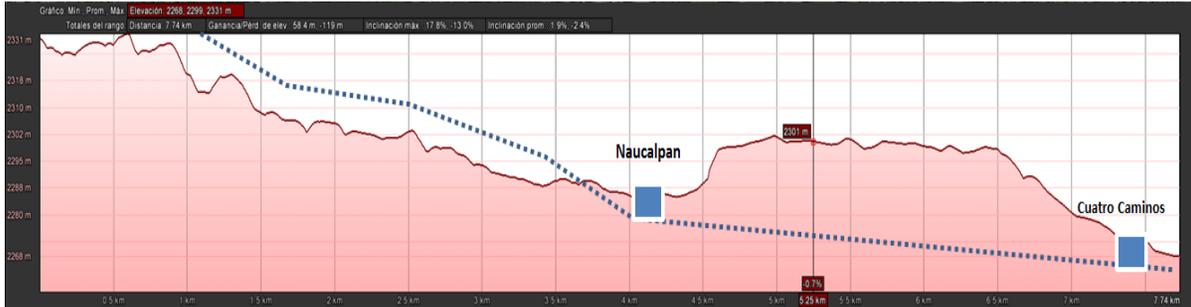


Figura # 4.21. Perfil del tramo de Rio Hondo rumbo a la estación Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.8.1. Trazo de la Línea N por la cañada en la zona de Huixquilucan.

El trazo por la cañada iniciaría en la Autopista Chamapa – Lechería y se requeriría de su rectificación para mejorar las curvas que son muy cerradas, e incumplirían con los parámetros establecidos en la normativa correspondiente al diseño geométrico de la vía, mencionada en el capítulo I, por esta razón se necesitarían realizar diversas obras civiles, principalmente cortes y terraplenes a lo largo de este tramo, con lo que se afectaría aproximadamente 5.25 Kilómetros de áreas verdes, en la Figura # 4.22. Se señala el tramo de la Línea N por la cañada en la zona de Huixquilucan rumbo a la estación Interlomas (Rio Hondo).

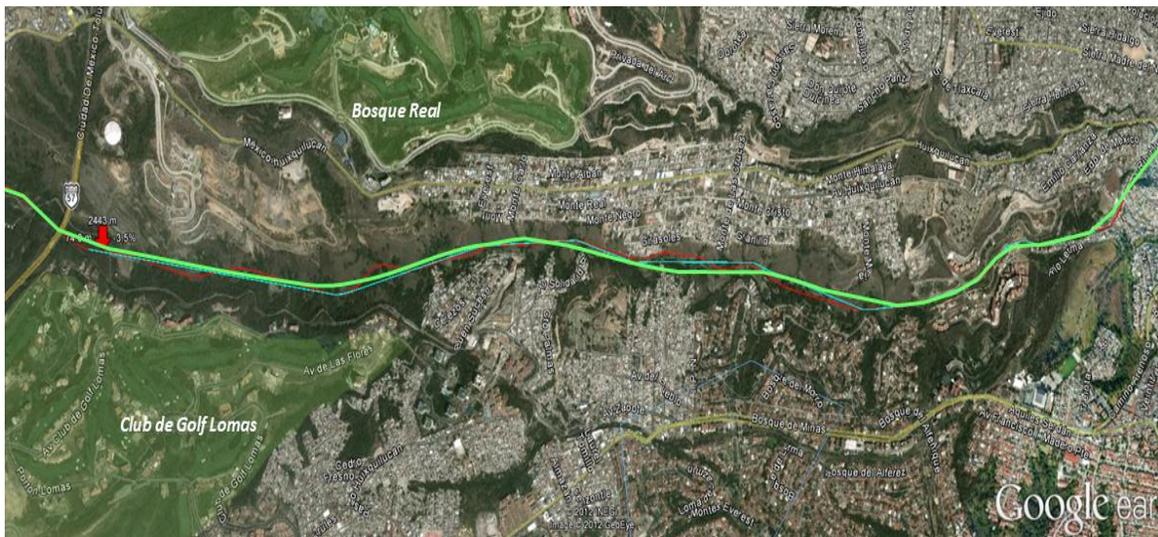


Figura # 4.22. Trazo por la cañada de la Línea N en Huixquilucan.

Fuente: Google Earth.

La pendiente propuesta en este tramo es del 2.4 % como se presenta en la Figura # 4.23. Quedando dentro del límite permisible que establece la normativa europea para trenes de pasajeros, esta pendiente garantiza la eficiencia de operación de los trenes tal como se mencionó en el capítulo I.



Figura # 4.23. Perfil del trazo por la cañada del Ferrocarril Central a Acámbaro (Línea N).

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Sin embargo se tendría la necesidad de remodelar la sección transversal actual como se comentó anteriormente, con la construcción de una doble vía para atravesar la cañada, en la Figura # 4.24. Se observa la sección transversal propuesta.

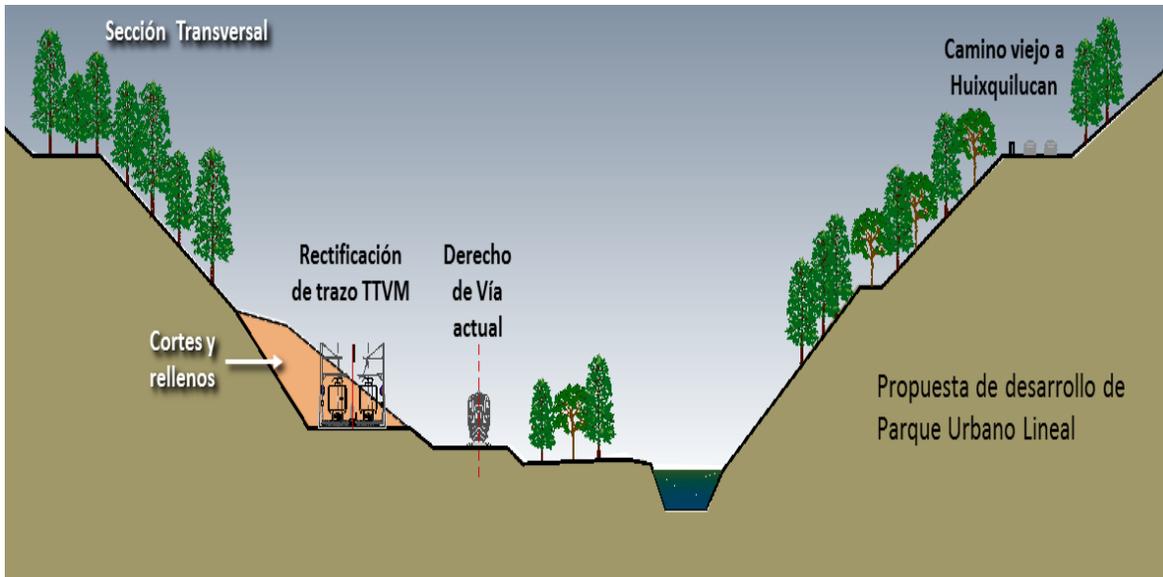


Figura # 4.24. Propuesta de sección transversal en la cañada.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Por su parte el tramo por la cañada cuenta con una vegetación importante de coníferas, eucaliptos y zonas desforestadas, por lo que el proyecto también consideraría el desarrollo de un parque urbano en la zona, en la Figura # 4.25. Se muestra la vegetación existente.



Figura # 4.25. Vista del tramo de la Línea N a la altura de la carretera Chamapa - Lechería a Bosque de La Herradura.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.8.2. Tramo urbano de la Línea N en Naucalpan con dirección a Río hondo.

El derecho de vía del ferrocarril en la zona de Naucalpan, como se comentó en el capítulo II ha sido invadido debido al crecimiento urbano, siendo difícil de recuperar, sin embargo se propone reacondicionar la sección transversal actual, para alojar el proyecto con la construcción de una doble vía elevada, desde la estación en Naucalpan con dirección a la estación de Río Hondo, en la Figura # 4.26. Se presenta el estado actual de la Línea N en Naucalpan.



Figura # 4.26. Estado actual de la Línea N en Naucalpan.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

En la siguiente Figura # 4.27. Se muestra un esquema de la sección actual de la Línea N; como se comentó en el capítulo II, en la zona la curvatura de la vía y el alto índice de urbanización, no permitiría desarrollar las velocidades de operación del proyecto con esta sección.

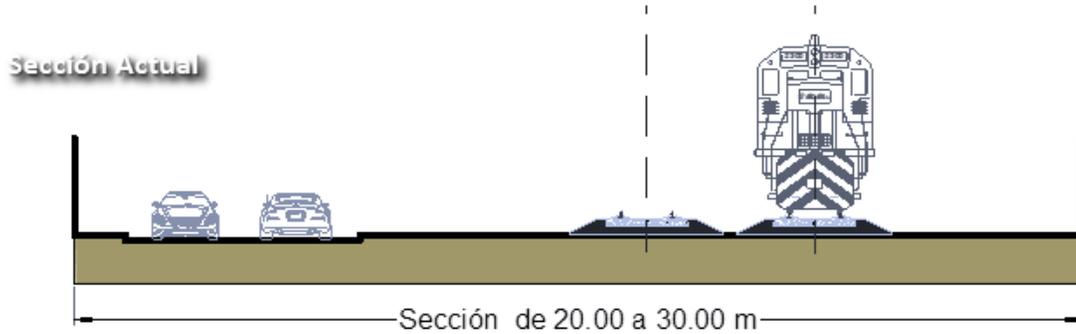


Figura # 4.27. Sección actual de la Línea N en Naucalpan.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Por estas razones y con el propósito de lograr un mejor aprovechamiento del derecho de vía de la Línea N, la solución elevada reduciría en gran medida los problemas generados a causa de la urbanización, principalmente en el caso de los cruces con avenidas que podría generar accidentes, además de obtener una mayor eficiencia en la operación de los trenes.

En la Figura # 4.28. Se muestra la sección transversal propuesta para alojar el proyecto sobre el derecho de vía de la Línea N.

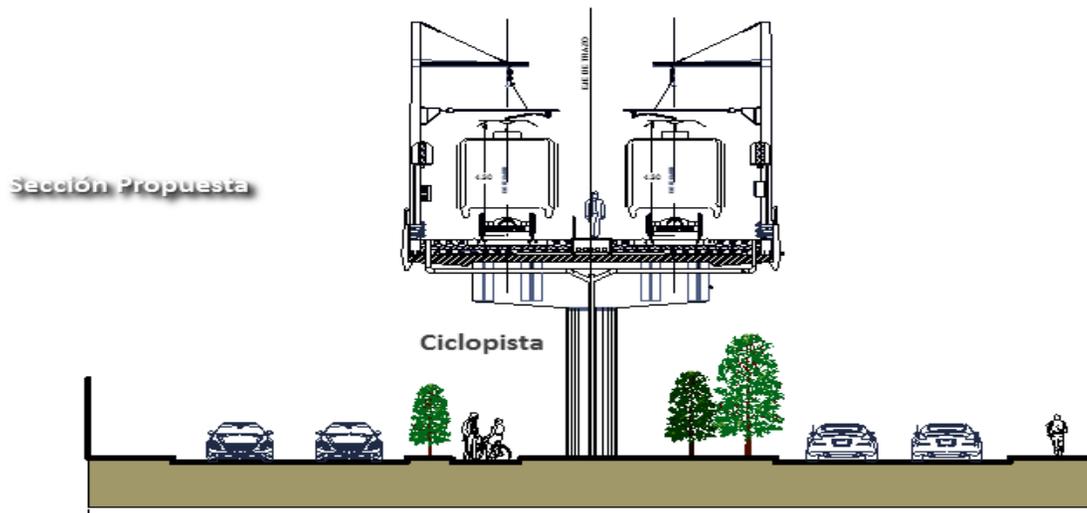


Figura # 4.28. Sección propuesta de trazo sobre el derecho de vía de la Línea N.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.9. Propuesta de los cruces de las Avenidas Río San Joaquín e Ingenieros Militares con Periférico.

Para continuar el trazo del proyecto en el cruce de Río San Joaquín y Periférico además del cruce de la intersección vial de Periférico e Ingenieros Militares, rumbo a la estación Cuatro Caminos, se propone la construcción de un túnel subterráneo, el cual tiene la ventaja de no afectar predios para el derecho de vía, pudiendo ser un frente de trabajo independiente de los demás, por su longitud y cumpliendo con los parámetros de seguridad del túnel, sería necesario la construcción de lumbreras de ventilación y de emergencia. En las Figuras # 4.29. Y 4.30. Se presenta una animación de la propuesta de túnel para alojar la sección transversal del proyecto, para cruzar las Avenidas mencionadas.

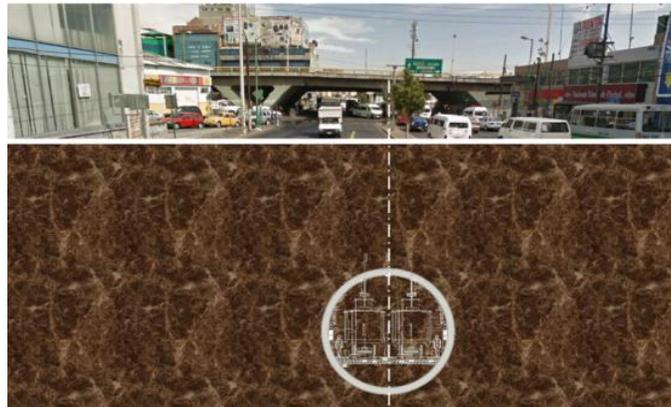


Figura # 4.29. Propuesta de túnel de doble vía en la intersección vial de Río San Joaquín y Periférico.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.



Figura # 4.30. Propuesta de túnel de doble vía en la intersección vial de Periférico e Ingenieros Militares.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.10. Estación Cuatro Caminos.

Se propone que la estación Cuatro Caminos se localice lo más cerca posible de la estación de la Línea 2 del Metro, el diseño de la estación sería subterránea profunda y la llegada a la estación sería en túnel a través de la Calzada San Esteban, en esta zona inicia el túnel de dos vías, continuaría por las avenidas de Ingenieros Militares, Parque de Chapultepec, Calzada de San Esteban, Calle del Molinito, y el derecho de vía del Ferrocarril Central a Acámbaro (Línea N), donde emergería para seguir en forma elevada hasta la cañada de Río Hondo.



Figura # 4.31. Propuesta de ubicación de la estación Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

La ventaja de conectar con la Línea 2 del metro ofrece la posibilidad de una mejor movilidad principalmente hacia las zonas Centro y Sur de la ciudad, existe un predio disponible para la construcción de la estación ferroviaria, sin embargo la zona cercana a la estación del Metro está confinada entre las grandes instalaciones centrales del Ejército Mexicano, los Panteones y la densa zona habitacional de Lomas de Sotelo, lo cual pone límites a su crecimiento (Figura # 4.32.).



Figura # 4.32. Vista global del área de Cuatro Caminos.

Fuente: SECRETARIA DE COMUNICACIONES. Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad. INFORME FINAL CORREDOR FERROVIARIO INTERURBANO TOLUCA. –NAUCALPAN, Septiembre de 2006.

La intensa actividad del patio de autobuses de la zona, no favorece para la liberación de espacios necesarios para establecer una estación ferroviaria, considerando el incremento de la afluencia de usuarios, por lo que se propondría una ampliación del trazo hacia la zona de Tacuba o Buenavista, en la Figura # 4.33. Se muestra el Trazo Toluca - Cuatro Caminos y su conexión con la Línea 2 del Metro.

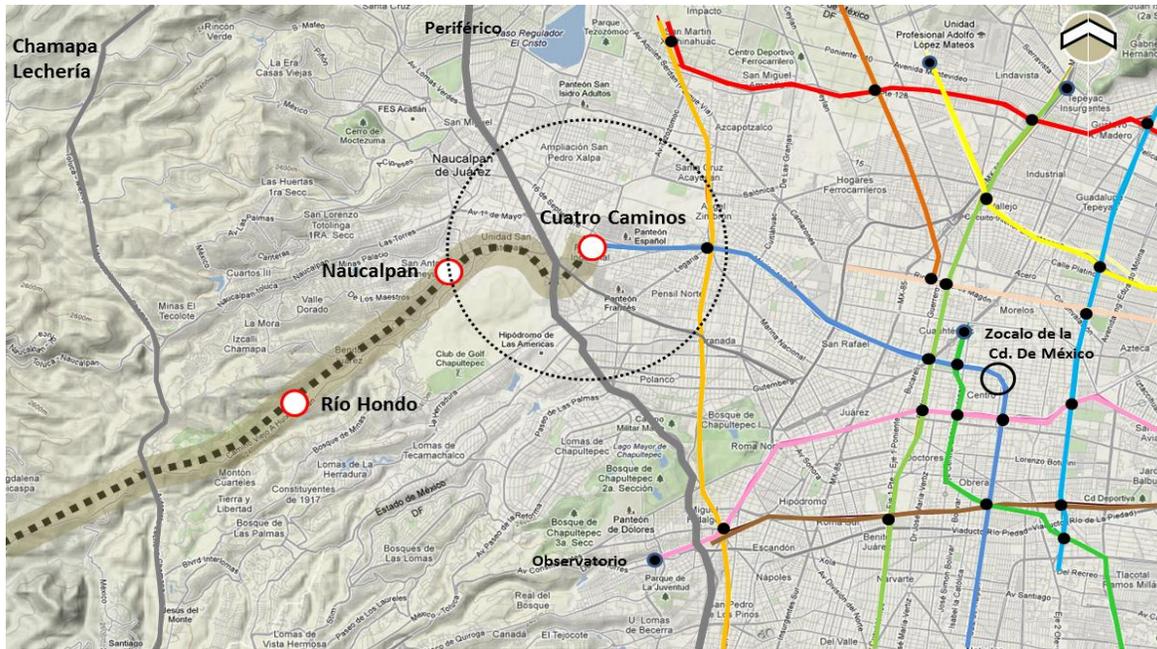


Figura # 4.33. Trazo Toluca - Cuatro Caminos y su conexión con la Línea 2 del Metro.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.1.6.11. Propuesta de ampliación a la estación Buenavista.

La estación Buenavista de los Ferrocarriles tiene una excelente ubicación céntrica y próxima al Paseo de la Reforma, la Línea B del Metro, el Ferrocarril Suburbano y la Línea 1 del Metrobús tienen estaciones en Buenavista, donde convergen las importantes avenidas Insurgentes y Eje 1 Norte, sin embargo, la integración de Buenavista al sistema supone el equipamiento y confinamiento de 8.20 Kilómetros adicionales de vía, el aumento correspondiente al tiempo de recorrido y a ciertos costos de operación, así como sería necesario obtener una interacción de operaciones adecuada con el concesionario del Ferrocarril Suburbano, con la ampliación a Buenavista se obtiene las siguientes ventajas:

- Se tiene conexión con los trenes del Ferrocarril Suburbano 1 y 2 a futuro y se interconecta el Estado de México.
- Se llega en forma directa al centro de la Ciudad de México.

- Reduce el nivel de saturación de la Línea 2 del Metro.
- Se aprovecha el derecho de vía disponible, perteneciente al ferrocarril.
- Se generaría una mayor visión integral del transporte ferroviario.

4.1.6.12. Propuesta de ampliación a la estación Tacuba.

La zona de Tacuba presenta ventajas con relación a la infraestructura local de transporte con las Líneas 2 y 7 del Metro, la Avenida Parque Vía, Eje 1 Norte, Avenida Legaría y una cierta proximidad con la zona de Polanco, por lo que la ampliación a Tacuba también es una importante opción a considerar, en la Figura # 4.34. Se muestra la propuesta de ampliación del trazo a Buenavista y Tacuba.

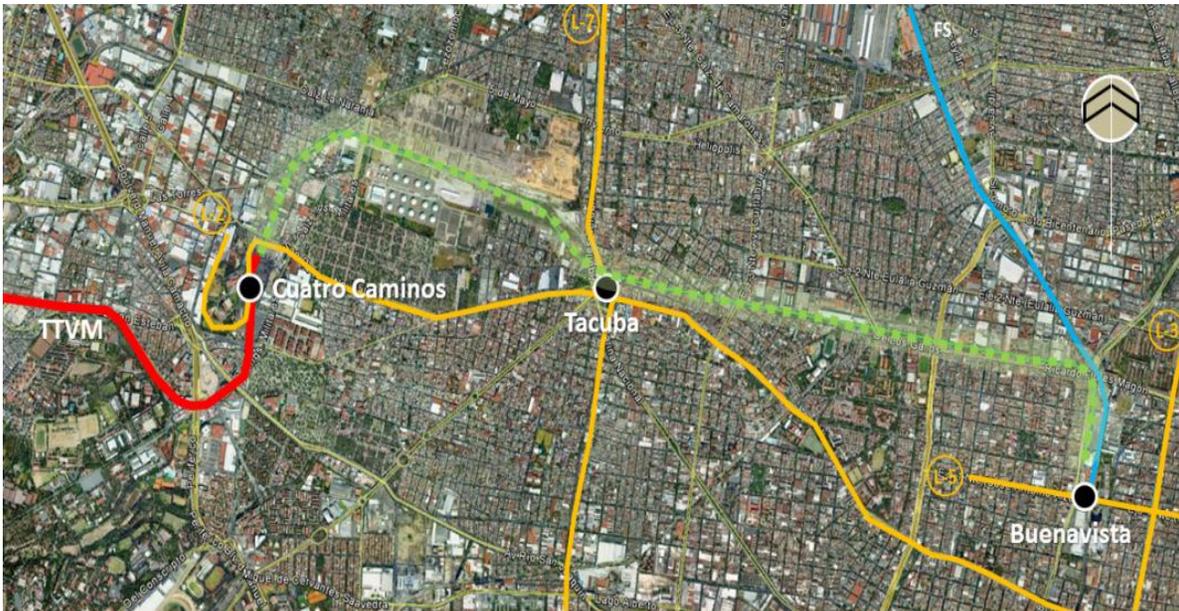


Figura # 4.34. Propuesta de ampliación del trazo a Buenavista y Tacuba.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

La utilización de este tramo permitiría lo siguiente:

- Agregar capacidad paralelamente a la Línea 2 del Metro entre las estaciones Cuatro Caminos y Tacuba.
- Proporcionar a los pasajeros un acceso más profundo a la red del Metro, evitando la saturación generada en Cuatro Caminos y por lo tanto disminuir sus tiempos globales de transporte.

4.1.7. Infraestructura necesaria para el trazo Toluca – Cuatro Caminos.

La infraestructura necesaria para el trazo requeriría la construcción de un túnel para atravesar la sierra, asimismo parte del trazo sería elevado y una parte sería superficial, además sería necesaria la construcción de una zona de transición, en el Cuadro # 4.2. Se presenta en forma resumida la infraestructura propuesta.

Tipo de tramo	Longitud en Kilómetros
Túnel de doble vía	19.50
Túnel doble vía en la estación Cuatro Caminos	3.69
Tramo elevado	5.48
Tramo superficial en tajo	5.25
Tramo superficial	22.58
Tramo de Transición	1.50
Longitud total	58.00

Cuadro # 4.4. Longitudes y tipos de tramo del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

4.2. Análisis del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

El trazo Toluca – Cuatro Caminos es una opción importante para ser considerada como ruta definitiva del proyecto; a pesar de contar con algunas ventajas en comparación con los demás trazos, también cuenta con desventajas que pueden afectar su viabilidad como trazo del proyecto. A continuación se describen sus principales ventajas y desventajas.

4.2.1. Ventajas del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

El trazo en primera instancia cruzaría únicamente por el Estado de México mitigando las afectaciones por obras al Distrito Federal, además de que atiende a diversas zonas urbanas que representan una población de 2.4 millones de habitantes, el proyecto sería promotor y regulador del desarrollo, propiciando la integración regional de Toluca, al norte de Lerma y con los municipios de Huixquilucan, Interlomas y Naucalpan, así como también el Distrito Federal, pudiendo conectar en el futuro con otras regiones del país. Adicionalmente el trazo estaría integrado con la principal infraestructura vial y de transporte de ambas zonas metropolitanas, y mejoraría la movilidad con el Distrito Federal debido a su correspondencia en Cuatro Caminos con la línea 2 del Metro.

Con respecto a sus características geométricas, la solución del túnel de doble vía para atravesar la Sierra de las Cruces, cumple con los parámetros de seguridad y operación establecidos en la normatividad europea, tal como se establece en el capítulo I, requiriendo de una menor longitud de construcción del mismo, igualmente la construcción del túnel sería en la zona de montaña lo que evitaría interferencias en los trabajos; el trazo del proyecto es superficial en aproximadamente 27 Kilómetros y proporciona la alternativa de construir tramos superficiales y/o elevados, utilizando el camellón central de la carretera y de la Avenida López Portillo.

La obra se puede construir con varios frentes simultáneos de trabajo ya que las obras no requieren ser consecutivas, reduciendo los tiempos de ejecución del proyecto, asimismo se tiene una mayor facilidad para localizar el área para talleres y planta de dovelas entre las zonas de Zolotepec y

Libramiento Atlacomulco, la ubicación de la terminal Toluca permitirá rehabilitar la zona de los patios del Ferrocarril y el tejido urbano para integrarlo y modernizarlo.

Con respecto al derecho de vía requerido en su mayor parte, aproximadamente el 95% está disponible, además de que en muchos casos está destinado a infraestructura federal o estatal, con lo cual es mínima la afectación a viviendas, industrias o comercios. Lo anterior tendrá un impacto favorable en los costos de inversión (dependiendo del esquema de financiamiento, considerándose un esquema asociación Público – Privada, (APP) o el esquema tradicional), en los plazos de ejecución y en los aspectos sociales de tipo político, y económico; en el aspecto del impacto ambiental contribuiría al desarrollo de un parque lineal de 5 Kilómetros de longitud en la zona de Huixquilucan, con servicio a las zonas de bajos recursos, lo que promueve el desarrollo social y urbano de esa zona.

4.2.2. Desventajas del trazo Toluca – Cuatro Caminos.

A pesar de las ventajas que ofrecería la elección de este trazo como ruta definitiva del proyecto también genera algunas problemáticas que es necesario tomar en cuenta, como es el hecho de no conectar en forma directa con el Aeropuerto de Toluca y no ofrecer servicio a la zona de Lerma, Ocoyoacac y Santa Fe, además de tener una menor captación de usuarios con respecto al trazo Toluca – Observatorio. En la estación de Toluca habría que rediseñar las instalaciones utilizadas por el ferrocarril de carga o por lo menos las vías del público, en su caso reubicarlas, también existe la posibilidad de abrir espacio en las vialidades urbanas de la zona, lo cual no es técnica ni económicamente viable; además requiere obra vial y urbana paralela a la carretera incrementando su costo.

Con respecto al impacto ambiental tal como se mencionó en el capítulo anterior, con el trazo sobre la Avenida López Portillo en Toluca se afectarían aproximadamente 7.5 Kilómetros de áreas arboladas en los camellones y un ducto de PEMEX, creando un impacto ambiental desfavorable. Por otra parte para la construcción del viaducto elevado del trazo del tren en el cruce con la Avenida Alfredo del Mazo en Toluca, sería necesaria la adquisición de terrenos particulares para la liberación del derecho de vía, este aspecto también puede resultar un factor inhibitor para el desarrollo del trazo.

En el trazo por la Autopista Toluca - Naucalpan serían necesarias numerosas obras de corte y terraplén lo que incrementaría el costo del proyecto, así como también se complicaría el procedimiento constructivo; además de que existiría dificultad para construir la estación Cuatro Caminos debido a la presión urbanizadora de Naucalpan, como se comentó anteriormente se tiene que liberar el derecho de vía en varios predios urbanos y para la boca de entrada en los túneles.

En relación a sus características geométricas, el trazo tiene 3 curvas de menos de 350 metros de radio, las cuales incumplirían en relación a los parámetros mínimos establecidos en la normativa europea, tal como se comentó en el capítulo I, con respecto a la velocidad de diseño del proyecto, y obligaría a la reducción de la velocidad a menos de 80 Kilómetros por hora, lo que supondría un riesgo en lo que se refiere a la seguridad y operación del material rodante.

Finalmente si se considerara la ampliación a la estación Buenavista, se debe de tomar en cuenta que en el anteproyecto ejecutivo del tren de pasajeros México – Querétaro, se tiene contemplado que la estación terminal del sistema será en esta estación, lo que se convertiría en un factor inhibitor para la ampliación del trazo a esta zona. Las desventajas que ofrece el trazo son considerables y es preciso dar una solución adecuada a los problemas que generaría, sin embargo por las características presentadas la elección de este tramo resulta ventajosa para considerarla como ruta del proyecto.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES.

El presente trabajo tuvo la finalidad de llevar a cabo un análisis de las alternativas de trazo más importantes, para la realización del proyecto del Tren Interurbano México – Toluca, tomando en cuenta sus principales características ventajas y desventajas.

5.1. Aspectos necesarios para la elección del trazo definitivo.

La elección del trazo definitivo para el proyecto deberá tomar en cuenta los tres aspectos fundamentales, para la factibilidad de cualquier proyecto de infraestructura, los cuales son los siguientes: la calidad, el costo de construcción, y el tiempo de ejecución, por lo que la elección de un tramo sobre otro dependerá de estos aspectos, así como también de las características geométricas de los trazos propuestos, ya que como se comentó cada trazo presenta características en lo que se refiere a la pendiente y la curvatura, además del procedimiento constructivo, el impacto ambiental, la dificultad para la liberación del derecho de vía, y la cantidad de usuarios potenciales que generaría la ruta, así como también los beneficios que proporcionaría a la sociedad, son los principales factores que influyen en el trazo definitivo.

5.2. Comparación de los trazos propuestos del proyecto.

Como se describieron en los capítulos anteriores cada trazo presenta diferentes tipologías, por esta razón resulta importante llevar a cabo una comparación entre los tres trazos, para obtener la opción más adecuada para el proyecto, en la Figura # 5.1. Se muestran los trazos analizados.



Figura # 5.1 Trazos propuestos Toluca – Observatorio, Toluca – Cuatro Caminos y la vía del Ferrocarril a Acámbaro (Línea N).

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

5.2.1. La Línea N en comparación con los trazos Toluca – Observatorio y Toluca – Cuatro Caminos.

El corredor ferroviario Toluca – Naucalpan reutilizando la Línea N, presenta desventajas en comparación con los otros dos trazos, debido a que su derecho de vía ha sido invadido por la mancha urbana; debido a la antigüedad de la Línea su infraestructura se encuentra en un estado muy deteriorado a causa de la falta de mantenimiento, por lo que también se necesitaría la modernización de los elementos que componen la vía férrea, además de que será necesario adaptarla a las características técnicas y de operación requeridas por el proyecto.

Para que la Línea N pueda ser considerada como trazo definitivo, se necesitaría su remodelación con el propósito de elevar la velocidad máxima de circulación de los trenes, lo cual implica la rectificación de sus curvas más cerradas, lo que conlleva ya sea un considerable alargamiento de la vía, o el incremento de las pendientes, lo que pudiera parecer incosteable y técnicamente inviable, sus características geométricas actuales vuelven ineficiente al materia rodante, principalmente de carga aumentando sus costos de operación, por esta razón el operador Kansas City Southern de México no la utiliza, optando por utilizar otra ruta para llegar a Toluca aunque el trayecto sea más largo, por las problemáticas expuestas es que se puede descartar esta ruta como trazo del proyecto.

5.2.2. Comparación de los trazos Toluca – Observatorio y Toluca – Cuatro Caminos.

Con respecto a los trazos Toluca – Observatorio y Toluca – Cuatro Caminos, será necesario analizar los beneficios y problemáticas que se pueden presentar en sus etapas de planeación, construcción y operación; por otra parte y con el propósito de llevar a cabo una comparación adecuada de estas opciones, en el siguiente cuadro se presentan las principales características de estos dos trazos.

CONCEPTO	TOLUCA - CUATRO CAMINOS	TOLUCA - OBSERVATORIO
Longitud total	58.00 Kilómetros	60.30 Kilómetros
Longitud del túnel de doble vía Mono-túnel doble vía	19.50 Kilómetros 3.69 Kilómetros	33.16 Kilómetros -----
Tiempo aproximado de construcción total Túnel de doble vía	4.5 años 1.9 años	5.5 años 2.5 años
Demanda de Pasajeros/Día aproximado	104,575	122,026
Cuencas atendidas	Toluca, sauces, Aeropuerto, Norte de Lerma, Interlomas, Naucalpan, Cuatro caminos	Toluca, sauces, Aeropuerto, Lerma, Ocoyoacac, Santa Fe, Observatorio
Número de estaciones	7	6
Tiempo de recorrido aproximado	33.5 Minutos	30.25 Minutos
Velocidad comercial en Kilómetros por hora	110	109.07
Impacto ambiental	Menor	Mayor

Cuadro # 5.1. Comparativo de los trazos Toluca – Cuatro Caminos y Toluca - Observatorio.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Asimismo con respecto al aspecto económico mencionado en los capítulos anteriores, a continuación se muestra una comparación de los costos de construcción de estas dos opciones de trazo.

Costo del Bi-túnel	11,135	19,834
Costo Mono-túnel doble vía	2,107	N/A
Costo obras, vías y estaciones	8,365	9,071
Equipos y sistemas ferroviarios	4,654	5,281
Costo total aproximado en Millones de Pesos	26,261	34,186

Cuadro # 5. 2.Comparativo de costos de construcción aproximados de los trazos Toluca – Cuatro Caminos y Toluca - Observatorio.

Fuente: Tren Toluca - Valle de México. Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, Enero, 2013.

Al analizar las características presentadas en el Cuadro # 5.1. de los dos trazos propuestos, se tiene que el número de usuarios esperados sería mayor en el trazo a Observatorio, sin embargo el trazo a Cuatro Caminos reduce la longitud en 2.30 Kilómetros, en comparación a la del trazo a Observatorio, así mismo el túnel de doble vía de Cuatro Caminos de 19.5 Kilómetros de longitud es 13.66 Kilómetros menor, con respecto al tiempo tentativo de construcción del trazo a Cuatro Caminos sería menor que en el trazo a Observatorio, también lo es el impacto ambiental generado; además que el trazo a Cuatro Caminos tiene la ventaja de una posible ampliación a Buenavista y Tacuba, que ayudarían a mitigar el problema de saturación de la Línea 2 del Metro. Por otra parte y tal como se muestra en el Cuadro # 5.2. Se tiene como resultado un menor costo de obra civil para la ruta a Cuatro Caminos de 7,925 millones de pesos, en relación al trazo a Observatorio.

Por las características presentadas de los tres trazos, se puede afirmar que la alternativa Toluca – Cuatro Caminos con ampliación a Buenavista y/o Tacuba, es la opción más viable, debido al mejor aprovechamiento del derecho de vía y la infraestructura ferroviaria disponible, además de generar un menor costo de construcción y un menor tiempo de ejecución, también por los beneficios que generaría a la población. Por estas razones se concluye que esta es la opción más adecuada para ser elegida como trazo definitivo para el proyecto.

5.3. Factibilidad de construcción de un túnel en la Sierra de las Cruces.

La construcción en la zona lacustre próxima a Toluca debe tomar en cuenta las condiciones del suelo de alta deformabilidad y poca capacidad de carga, la Sierra de las Cruces a pesar de su aparente calma en tiempos geológicamente recientes, como se describió en el capítulo II es sitio de muchas fallas geológicas, se tiene el riesgo de que alguna de ellas puede reactivarse provocando un sismo con condiciones propicias, lo anterior causaría evidentemente un ambiente de inseguridad para la construcción de obras profundas, que hay que tomar en cuenta para el diseño del túnel que atravesara la Sierra.

5.4 Recomendaciones.

Debido al enorme futuro que tiene el ferrocarril de pasajeros en nuestro país, es necesario que la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, lleve a cabo la creación de una normativa especializada para el diseño geométrico de ferrocarriles, principalmente para el caso de trenes de alta velocidad, así como también es necesaria la modernización de las normas técnicas referentes al diseño de ferrocarriles.

Finalmente, aunque las opciones de trazo presentadas tal como se comentó con anterioridad, pueden presentar limitaciones en lo que se refiere a su geometría para poder adaptarse a las necesidades de operación de los trenes, sobre todo en el caso de la velocidad y de la seguridad de los pasajeros, una solución propuesta para mitigar esta problemática, aunque el costo del proyecto se incrementaría considerablemente, sería proponer la implementación de trenes de suspensión pendular, este dispositivo muy comprobado sobre todo en Europa permite elevar la velocidad en curva en proporciones apreciables (hasta un 20 o 25% aproximadamente), la suspensión pendular permite a los trenes inclinarse en las curvas hacia el lado interno de las mismas, con lo que se limita la fuerza centrífuga hacia el lado contrario, es decir hacia afuera de la curva, disminuyendo también el riesgo de descarrilamientos, además de disminuir considerablemente los tiempos de recorrido globales, existen trenes aptos para velocidades superiores hasta de 250 Kilómetros por hora y la tracción térmica (diesel) también tiene cabida en estas categorías.

La práctica en numerosos países donde el sistema ha sido utilizado para el caso de líneas sinuosas, (Amtrak de Estados Unidos, SBB-CFF de Suiza, DB de Alemania, FS de Italia, SJ de Suecia, Virgin Rail de Gran Bretaña, etcétera.), tuvo como propósito fundamental el aprovechar los activos existentes en materia de derecho de vía, en determinado caso con mejoras puntuales, y de operar en ellos con trenes de suspensión pendular activa, por lo que podría considerarse su implementación en el caso de la Línea N, donde se tiene una curvatura muy restringida, sin embargo aun proponiendo el presente sistema necesaria su rectificación previa, así como también se puede considerar su implementación en los demás trazos propuestos, como una solución para mitigar en cierta forma sus deficiencias geométricas, sobre todo en las curvas de menos de 350 metros de radio de curvatura.



Figura # 5.2. Tren de suspensión pendular.

Fuente disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/Tilting_train. Consultado el día 14 de octubre de 2013.

Asimismo la multiplicación de los ejes motorizados en los trenes (tracción distribuida), tiene efectos positivos de tolerancia a pendientes mayores (y en particular, superiores a 3.5%), permitiendo reducir en un nuevo trazo la longitud en túneles y viaductos, así como también proporcionar un mejor aprovechamiento de los andenes; estos beneficios deberían ser considerados desde el inicio en un proyecto, en particular en el caso del Tren Interurbano México - Toluca.

BIBLIOGRAFÍA.

- I. ING. TOGNO, FRANCISCO M. 1972, 1era ed. “*Ferrocarriles.*” 749 Pág. Ed. Representaciones y servicios de ingeniería, S. A. México.
- II. ING. CRESPO, VILLALÁZ CARLOS. 1980, 2da ed. “*Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.*” 705 Pág. Ed. Limusa, Grupo Noriega Editores. México.
- III. ING. ALEJANDRO ÁLVAREZ REYES RETANA “*Apuntes del curso de ferrocarriles*”, Especialidad en Vías Terrestres, Posgrado de ingeniería UNAM, Semestre 2013-1.
- IV. ARMANDO GARCÍA-PALOMO, *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, núm. 1, 2008.*
- V. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. “*Programa nacional de infraestructura 2007-2012, sector comunicaciones y transportes*”.
- VI. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, “*Programa sectorial de comunicaciones y transportes 2007 – 2012*”.
- VII. PODER EJECUTIVO FEDERAL. “*Plan nacional de desarrollo, 2007-2012*”.
- VIII. GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO. “*Justificación económica y términos de referencia. Estudios proyecto de transporte masivo tren rápido Toluca – México*”.
- IX. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, “*Manual Estadístico del Sector Transporte*”, 2005.
- X. FERROCARRILES NACIONALES DE MÉXICO, “*Horarios para empleados*”.
- XI. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, “*Cartas de Vía, Línea N*”.
- XII. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Dirección General de Infraestructura para el Transporte de Alta Capacidad “*Informe final corredor ferroviario interurbano Toluca – Naucalpan*”, Septiembre de 2006.
- XIII. DIRECCIÓN GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL, “*Tren Toluca - Valle de México*”, Presentación del Proyecto para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Enero, 2013.
- XIV. GRUPO ACERERO DEL NORTE, PEÑÓLES, FERROCARRIL COAHUILA – DURANGO, “*Proyecto Tren Subterráneo, Distrito Federal – Toluca*”
- XV. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INTEROPERABILIDAD (ETI). “*Directiva 96/48*”.
- XVI. RED NACIONAL DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES (RENFE). “*Normativas NRV 0200 y NRV 0201*”.

- XVII.** UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER (UIC).
“Normativa EN 13803-1”.

PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS.

1. A. RUANO GÓMEZ (2009) “*Las líneas de alta velocidad frente a las líneas convencionales*”
Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/5938/3/02.pdf> consultado el día 27 de Junio de 2013.
2. SONIA ÁLVAREZ “*Trabaja GEM en proyecto del tren México-Toluca*”. Tiempo de México.
Disponible en: <http://tiempoedomex.com.mx/interior.php?id=24189> consultado el día 21 de Mayo de 2013.
3. PORTAL (20 de Febrero, 2012) “*Hasta el 2017 podría haber tren ligero Toluca – México*”.
Disponible en: <http://diarioportal.com/tag/tren-rapido-toluca-mexico/> consultado el día 21 de Mayo de 2013.
4. AGENDA INFORMATIVA (12 de Octubre ,2012) “*Inician los estudios para construir Tren Rápido para conectar México D.F.-Toluca*”.
Disponible en: <http://agendainformativa.com.mx/2012/12/10/inician-los-estudios-para-construir-tren-rapido-para-conectar-mexico-df-toluca/> consultado el día 21 de Mayo de 2013.