



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME ESCRITO

**“EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL FERROCARRIL
INTERURBANO ENTRE ZMVM Y ZMPU”**

PRESENTA:

MIGUEL ALEXANDER ABREU CAMILO

Para obtener el título de Ingeniero Civil

ASESOR:

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Contenido

<i>INTRODUCCIÓN</i>	4
<i>I. ANTECEDENTES</i>	6
Historia del Ferrocarril en México.....	6
Situación Actual y Planteamiento del Problema.....	12
<i>II. FERROCARRIL CIUDAD DE MÉXICO – PUEBLA</i>	16
Identificación de necesidades.....	16
Descripción del Proyecto.....	19
Descripción del Medio.....	27
Especificaciones Técnicas del Ferrocarril de Pasajeros.....	40
<i>III. ANÁLISIS MULTICRITERIO</i>	44
Metodología.....	44
Evaluación de Alternativas.....	48
Criterios Ambientales.....	48
Criterio Financiero.....	53
Criterio de Demanda.....	54
Criterio Constructivo.....	56
Criterio de Explotación.....	57
Criterios de Conservación.....	59
Justificación de Alternativa Seleccionada.....	60
<i>IV. CONCLUSIONES</i>	61
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	63

Agradecimientos:

Ante todo quisiera agradecer a Dios, primordialmente por darme la vida y haber hecho este sueño posible, bendiciendome a lo largo de todo este trayecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme y otorgarme las mejores experiencias que he podido vivir, por darme las bases para las que vienen y por prepararme para el futuro. A la Facultad de Ingeniería, siendo mi segunda casa en estos 5 años, en cuyos pasillos y aulas caminé y viví momentos inolvidables con mis maestros y mis compañeros.

A mi familia, que nunca perdió la fé en mis sueños y mis logros para alcanzar esta meta, por el apoyo incondicional con el que conté para siempre tener a la mano lo que necesité para continuar mis estudios. Por esos días madrugando, por el alimento y por el sustento.

A mis amigos con los cuales pude contar en las buenas y en las malas. Porque todos me han enseñado valiosas lecciones de la vida, experiencias que siempre recordaré. Por ayudarme a conocer lo que es trabajar en equipo, y estar conmigo en las desveledas y el estrés de fin de semestre. Por las convivencias de las cuales siempre sale uno aprendiendo algo valioso.

Finalmente, a IDOM INGENIERIA, por haberme apoyado y permitirme realizar el proyecto que presento. A Alberto Marín, por haberme dado la oportunidad de trabajar en su equipo y por haberme enseñado lo que es el ambiente profesional con calidad, y a Jessiel Mercado, quien me ayudó con esmero y paciencia para la realización de este trabajo.

Introducción

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) le encargó a la empresa IDOM INGENIERÍA S. A. de C. V. los trabajos de “Estudios de Preinversión para la realización del proyecto Tren Inter-urbano de Pasajeros México-Puebla”, el presente documento es un reporte de una parte del estudio, en el cual se realizó un análisis multicriterio para la determinación de un corredor entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana de Puebla. En este reporte se hace un resumen de los trabajos realizados para la determinación del corredor que conectará estos puntos económicos importantes.

La primera parte de este trabajo data de la historia del ferrocarril en México, de cómo fueron sus inicios, evolución, decadencia y resurgimiento a través de la historia mexicana hasta la actualidad. Menciona desde la clausura del organismo de Trenes Nacionales Mexicanos para la recuperación de las vías e impulsar nuevamente el tren, a través de concesiones, a empresas privadas, tanto en su operación como en mantenimiento de las vías nacionales.

La segunda parte, trata de las necesidades del país con respecto al medio en tema, la importancia en impulsar la comunicación entre las ciudades es cada vez más urgente, debido al gran desarrollo que se está llevando a cabo. El transporte actual en México está tan monopolizado que se debe plantear la creación de una alternativa eficiente y competitiva como lo es el ferrocarril. Se pasa a realizar una descripción del proyecto otorgado por la SCT a la empresa IDOM INGENIERÍA S. A. de C. V., en el que se incluían las rutas a estudiar para la evaluación de factibilidad de cada una de estas. Se prosiguió a realizar una descripción del medio por el cual pasará el proyecto, el cual tuvo una valoración de puntos importantes que podrían repercutir en la evaluación, tales como la geología, orografía, factores ambientales, etc. Otro aspecto muy importante que se planteó para el estudio fueron las especificaciones técnicas con las que se plantea diseñar el ferrocarril de pasajeros que existiría entre la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana de Puebla.

La tercera parte del documento es acerca del análisis multicriterio, donde se describe brevemente la metodología por la cual fueron evaluadas las tres alternativas en estudio, los criterios que se tomaron en cuenta para su evaluación, dando resultados por cada opción y al final realizando una recopilación de resultados para la decisión de la alternativa más factible para el proyecto.

Finalmente, la última parte es una conclusión del proyecto sobre el cual se engloba el trabajo realizado y dar una opinión sobre el mismo, comentarios de los resultados adquiridos y recomendaciones.

I. Antecedentes

Historia del Ferrocarril en México

La historia del ferrocarril en México se remonta a sus primeros años independientes, constituyendo un hecho muy importante para el desarrollo de la estructura social y económica del país, éste surgió con la necesidad de conectar el puerto de Veracruz, siendo el más importante de la época, con la Ciudad de México. El proyecto inició en 1837, estuvo en manos de ingenieros ingleses, belgas, norteamericanos, franceses y mexicanos.

El proyecto era de gran importancia para el transporte de mercancía, como de pasajeros, pero éste tardó en realizarse más de lo esperado debido a que las concesiones que se otorgaban, no se realizaban en la totalidad de los acuerdos, esto debido a múltiples factores, tales como incumplimiento de tramos, falta de capital, la invasión norteamericana, etc.; no fue sino hasta 1873 que se completó lo que un principio se estuvo buscando, la conexión del puerto de Veracruz con la Ciudad de México, este proyecto de igual manera contemplaba un ramal de Apizaco a Puebla, logrando así la línea México-Veracruz con un total de 679 km y con un total de 30 estaciones, contando el ramal con la ciudad de Puebla.

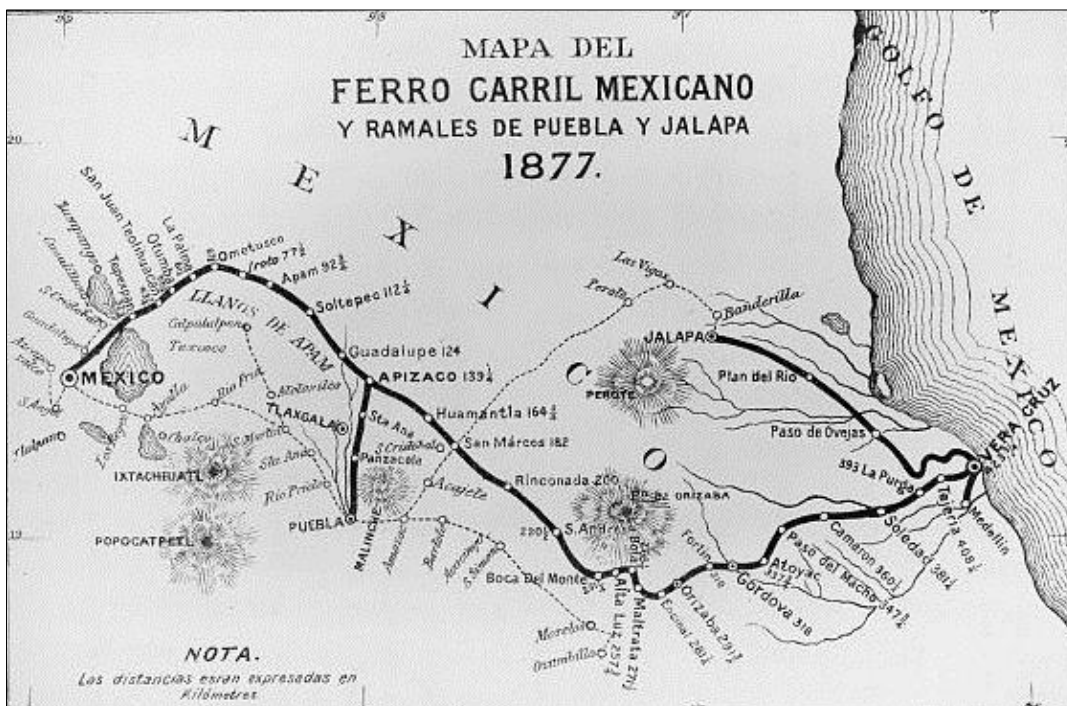


Ilustración I-1 Mapa de las primeras líneas de ferrocarril en México

Durante el primer mandato del General Porfirio Díaz (1876-1880) se le dio un fuerte impulso al ferrocarril por medio de concesiones a los gobiernos de los estados y a particulares mexicanos. Bajo concesión a los gobiernos de los estados se construyeron las líneas de Celaya – León, Ometusco – Tulancingo, Zacatecas – Guadalupe, Alvarado – Veracruz, Puebla – Izúcar de Matamoros y Mérida – Peto.

En 1880 se entregan tres importantes concesiones ferroviarias a inversionistas norteamericanos, otorgándoles libre transporte de mercancía tanto importación como exportación, construcción y equipo rodante, dando origen al Ferrocarril Central, al Ferrocarril Nacional y Ferrocarril Internacional. Para finales del primer periodo de Porfirio Díaz, la red ferroviaria contaba con 1074 km de vía.

El presidente Manuel González (1880 -1884) continuó las obras de Porfirio Díaz agregando 4,658 km. Ferrocarril Central concluyó tramos hasta Nuevo Laredo en 1884 y Ferrocarril Nacional avanzó tramos del norte al centro, para finales de 1884 la red ferroviaria de México contaba con 5,731 km de vías.

Para la segunda reelección y dictadura de Porfirio Díaz (1884-1910) se realizó la mayor expansión de vías férreas en todo el país con ayuda de inversión extranjera. En 1890 el sistema ferroviario contaba con 9,544 km de vía; 13,615 km en 1900 y 19,280 km en 1910; se construían alrededor de 350 km de vía anualmente. Esto demostró el gran potencial de desarrollo que tenía México en la época y la necesidad del transporte a lo largo de la República y el extranjero, fue así como el territorio mexicano tuvo gran comunicación entre sus estados y país vecino en cuanto a mercancía y pasajeros.

La red ferroviaria que actualmente se ocupa, es la que se construyó en casi su totalidad en la época del Porfiriato.



Ilustración I-2 Mapa de la evolución del ferrocarril en México

En tiempo de la Revolución Mexicana, el ferrocarril fue de suma importancia, debido a que fue utilizado por los militares, esto hizo que se redujera el uso de pasajeros y de carga por el peligro que existía en ellas. A causa de que los insurrectos utilizaban las vías de ferrocarril para transportar tropas y agilizar su movimiento, el gobierno mexicano empezó a dismantelar y destruir tramos para bloquear el avance de los revolucionarios, pero a la vez esta destrucción afectó a las compañías extranjeras que eran dueñas de estas vialidades que transportaban su mercancía, marcando así la etapa de mayor destrucción de infraestructura ferrocarrilera en su historia.



Ilustración I-3 Estación de ferrocarril en el siglo XIX.

En la Ilustración II-4 se muestran los problemas que existieron por el constante uso militar y la destrucción de las vías, desde el inicio de la revolución hasta mediados de esta:

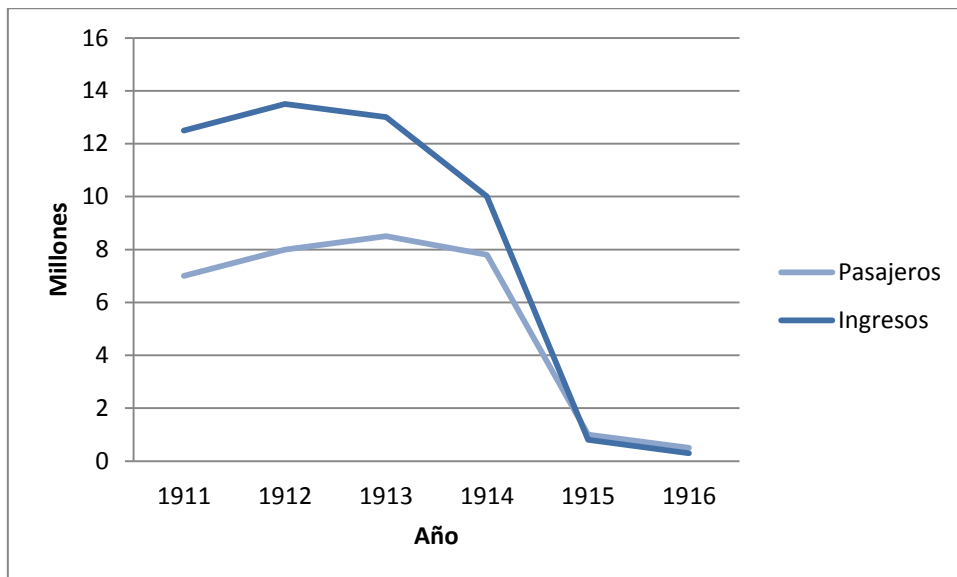


Ilustración I-4 Ingresos y tráfico de personas en Ferrocarriles Nacionales de México, 1911-1916

Las compañías ferrocarrileras fueron en gran medida afectadas, pero la más afectada en cuanto a nivel de ingresos fue Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), que desde 1914 sufrió considerablemente pérdidas, el transporte de carga era lo que más le brindaba ingresos y lo primero que se vio afectado, en

cuanto al transporte de pasajeros, siguieron los servicios pero estos no brindaban grandes ingresos como lo era el transporte de mercancía.

Después de la Revolución Mexicana se empezaron a realizar proyectos para la rehabilitación de los ferrocarriles tales como la maquinaria, construcción y reparación de trazos, para esta época el ferrocarril jugaba un papel importante ya que era el único medio de transporte que podía cubrir largas distancias para la distribución de carga y transporte de pasajeros.

El tráfico del ferrocarril crecía mediante los años siguientes debido a la creciente comercialización y desarrollo de México, pero los años de servicios y el atraso de las máquinas que se tenían, hizo que el progreso fuera limitado. Para los años 30 se iniciaron nuevamente obras tales como la línea férrea Sonora – Baja California, la continuación de la vía Uruapan – Apatzingan y el Ferrocarril del sureste.

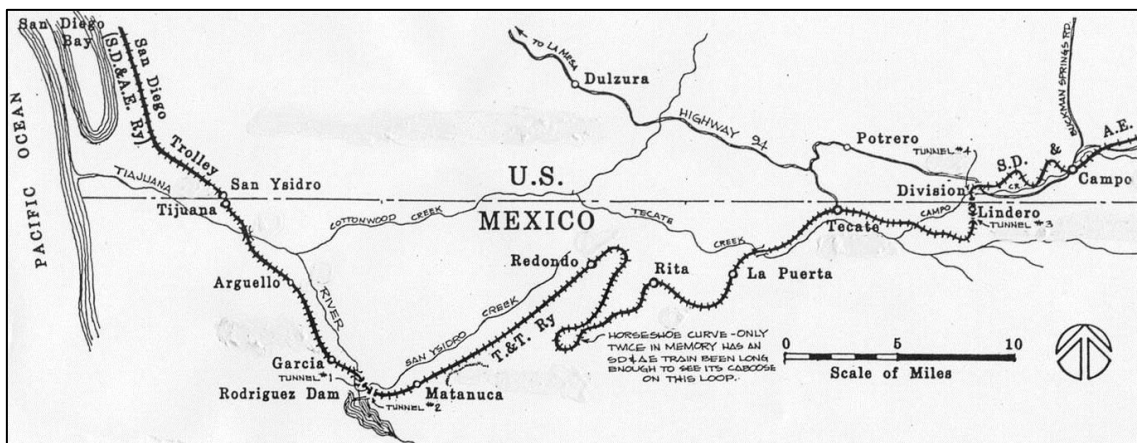


Ilustración I-5 Ferrocarril en la frontera con Estados Unidos.

En 1937, el Presidente Lázaro Cárdenas decretó la expropiación de los bienes de FNM. Ya siendo el ferrocarril un sistema nacional se empezaron los planes para una mejor administración y desarrollo. Para la década de 1950 se empezó el desarrollo tecnológico en México al cambiar las máquinas de vapor por diésel, se aumentó el trabajo potencial de las vías, se construyeron nuevas terminales de carga y pasajeros, se aumentó la eficacia en el mantenimiento y se adquirió equipo rodante suficiente para satisfacer la demanda que la época exigía. En esta misma década se terminaron los tramos al sureste, conectando

la región central de México con la península de Yucatán, terminando así la conexión de norte a sur del país.



Ilustración I-6 Ferrocarril impulsado con carbón



Ilustración I-7 Ferrocarril impulsado con motor Diesel

En la década de 1960 se terminó la construcción del tramo San Pedro – Creel, en el estado de Chihuahua, y la reconstrucción de los tramos de Topolobampo, en Sinaloa, a San Pedro, en Chihuahua, y de Creel a la Ciudad de Chihuahua.

En 1977, Ferrocarriles Nacionales Mexicanos distribuye en cinco empresas ferroviarias la responsabilidad de la prestación de servicios públicos como el transporte de pasajeros y de carga e insumos necesarios para la marcha de las actividades productivas y de servicios. De igual manera tenían la responsabilidad de conservación y rehabilitación de la infraestructura, el mantenimiento y la administración.

A pesar del gran desarrollo que se realizó por medio de nuevas tecnologías, construcción y reconstrucción de las vías férreas, México no pudo competir con los nuevos sistemas de transportes carreteros que eran más rápidos que este, como consecuencia, la gente dejó de viajar en ellos y optó por los servicios de autobuses, lo que originó que el servicio del ferrocarril fuera en decadencia. Entre los años 1980-1990 el gobierno tuvo problemas con el sindicato ferrocarrilero ya que este no cumplía el objetivo por el cual se había desarrollado dicho organismo, el sistema era ineficiente, no hubo buena comunicación entre los diferentes polos de administración, un mal manejo multimodal, entre otros, dando paso a la desaparición de Ferrocarriles Nacionales de México en 1995 con la modificación de la Constitución para

permitir al gobierno la concesión del servicio de transporte de carga y en 1997 desaparece el servicio de transporte de pasajeros en ferrocarril.

Situación Actual y Planteamiento del Problema

En la actualidad, los ferrocarriles son útiles para transportar carga en grandes volúmenes a bajo costo. La red ferroviaria comunica entre sí las poblaciones más importantes y a éstas con los principales puertos y fronteras del país.

En 1995, el gobierno anunció que Ferrocarriles Nacionales de México sería privatizada e inició la concesión de uso y explotación de la red ferroviaria nacional a particulares (es decir, que el gobierno federal conserva el dominio sobre la infraestructura). Al término de la concesión, ésta debe ser devuelta al gobierno federal en condiciones adecuadas para su operación.

En la Ilustración II-8 se muestran las vías a lo largo de la República Mexicana desde su concesión a la fecha, también marca los que operan estas líneas, esta está dividida en tramos; entre ellas tienen acuerdos para circular por ciertos trechos para su intercambio de operarios:

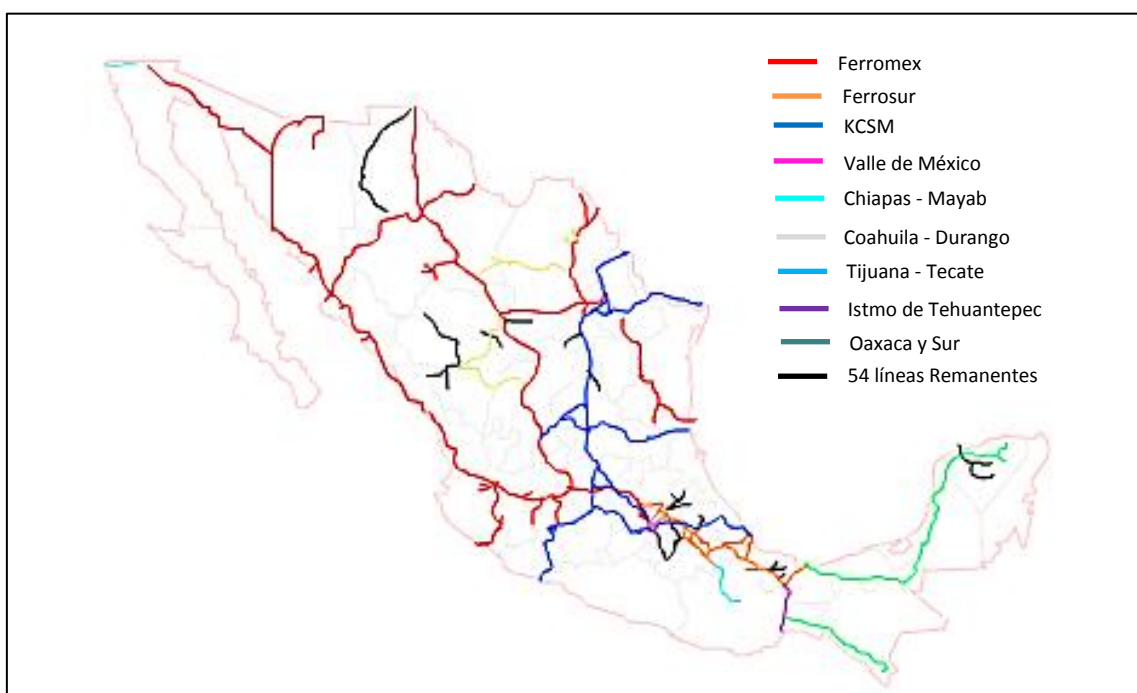


Ilustración I-8 Mapa actual de las líneas de ferrocarril y sus concesionarios.

Algunos tramos pequeños (que no están incluidos en las concesiones anteriores) son las líneas cortas, asignadas a los gobiernos estatales donde se ubican, para ofrecer el servicio de transporte a pasajeros meramente turísticos.

Debido a la creciente población y las necesidades de infraestructura de comunicación para un transporte más rápido y eficiente entre las importantes zonas de asentamientos urbanos, se han puesto en marcha proyectos de trenes de pasajeros.

Asimismo, en el 2008 el grupo español Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles S. A. obtuvo la concesión para operar el tramo **Buenavista-Cuautitlán**, en la Ciudad de México y el Estado de México respectivamente, para el servicio de transporte a pasajeros, siendo la primera recuperación de este servicio tras la suspensión después de 10 años, pero este no tuvo mucho éxito debido al poco apoyo político por la movilidad y comunicación con los autobuses en las diferentes estaciones a lo largo de esta vía.

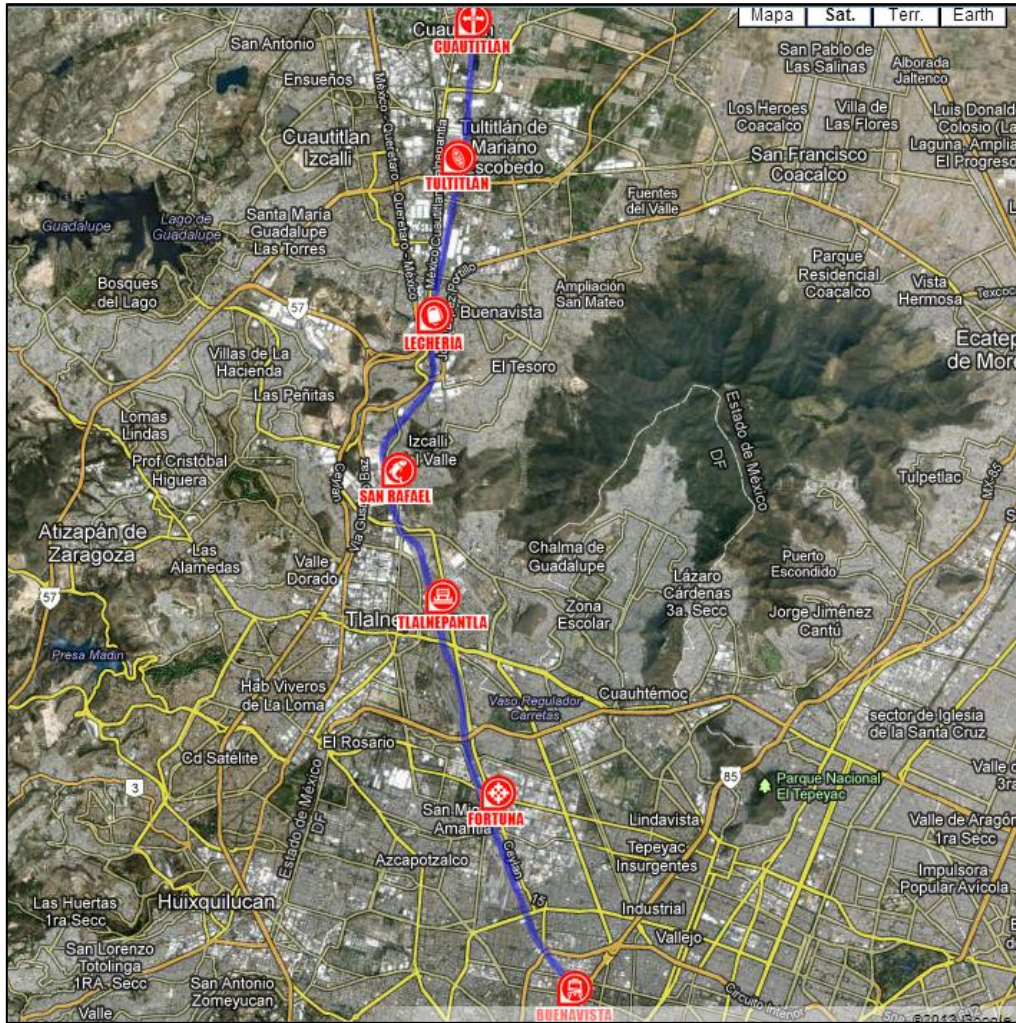


Ilustración I-9 Mapa de la línea del suburbano Buenavista - Cuautitlán

En el 2012 la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) lanzó convocatorias para la realización de estudios de pre-inversión para la factibilidad de trenes de pasajeros para la Ciudad de México y las ciudades vecinas, tales como, México – Toluca, México – Querétaro, México – Puebla, entre otros. Con esta inversión se da apertura para una mayor ambición del ferrocarril para pasajeros; estos estudios dan paso para el diseño de una red ferroviaria que satisfaga las necesidades de comunicación del centro del país con el resto de la población y es el tronco para una red a lo largo de la República Mexicana.

A finales del 2012 tras la toma de protesta del Presidente Enrique Peña Nieto (EPN), aspira hacer lo mismo que Porfirio Díaz hace 100 años: convertir el tren de pasajeros en un símbolo de su sexenio, retomar el significado que tenía el tren, “progreso y modernidad”. EPN ha ordenado a la SCT que en su sexenio

se realicen los proyectos México – Querétaro, México – Toluca y el tren Transpeninsular Yucatán – Quintana Roo.

Estos no se lograran con facilidad, se realizarán Reformas a la ley con las actuales concesiones debido a la poca colaboración y protesta de estas, debido a los nuevos proyectos en desarrollo, habrá sanciones mayores para las concesionarias por no cumplir con el propósito por el cual en un inicio fueron creadas, la ampliación y aprovechamiento de las vías existentes, por lo cual, sólo han realizado el segundo punto. Las concesiones han dado argumentos, para ampararse de la creación de nuevas vías, tales como, “....no es rentable la construcción de nuevas rutas...” ó “...el transporte de pasajeros no es una idea factible en estos momentos...”, otro problema ha sido que las concesionarias han argumentado que “...la utilización de nuestras vías requerirán permisos para el tránsito de los ferrocarriles de pasajeros, siempre y cuando no interrumpan nuestras operaciones normales...”. Se están presentando estas Reformas en la actualidad ante la Cámara de Diputados y Senadores, para que la realización de estos proyectos se lleve a cabo satisfactoriamente.

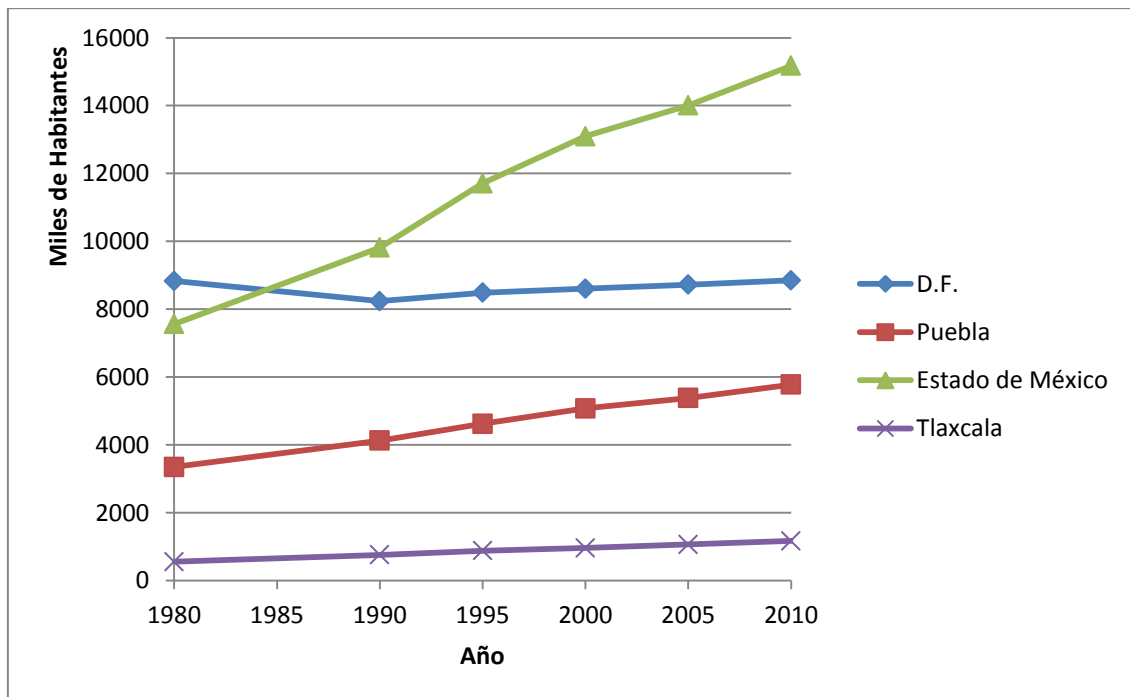
Habiendo dado una revisión a los antecedentes del papel del ferrocarril en México y sus necesidades para el desarrollo de la población, se pasa a la identificación de las necesidades, planteamiento del proyecto dado por la SCT, una breve explicación del medio y especificaciones técnicas para el diseño de el tren de pasajeros.

II. Ferrocarril Ciudad De México - Puebla

Identificación de necesidades

En la última década México ha revolucionado y ha tenido un gran desarrollo en infraestructura que el país ha necesitado, tal como carreteras, puentes, hidroeléctricas, entre otros. Debido a estos grandes desarrollos, las ciudades han crecido, provocando el desplazamiento de habitantes hacia donde se encuentran los centros urbanos, impulsando así el crecimiento de las ciudades.

Como se muestra en la Gráfica III-1, donde se aprecia cómo ha sido el crecimiento de la población a partir de los años 80, el crecimiento del Estado de México se debe a la emigración de la población del Distrito Federal (D. F.) debido en parte al terremoto de 1985, logrando así la expansión del área metropolitana. Por otro lado, Puebla ha tenido un crecimiento sostenido, considerando el desarrollo urbano que se ha logrado en la última década. Junto con Puebla, el estado de Tlaxcala ha tenido un desarrollo semejante, promovido por la gran influencia que existe dada la cercanía entre las dos entidades.



Gráfica II-1 Crecimiento poblacional en los estados influidos.

A continuación se muestra el Producto Interno Bruto (PIB) de los estados de Puebla, Tlaxcala, México y el Distrito Federal, comparando y mostrando el desarrollo en estos estados:

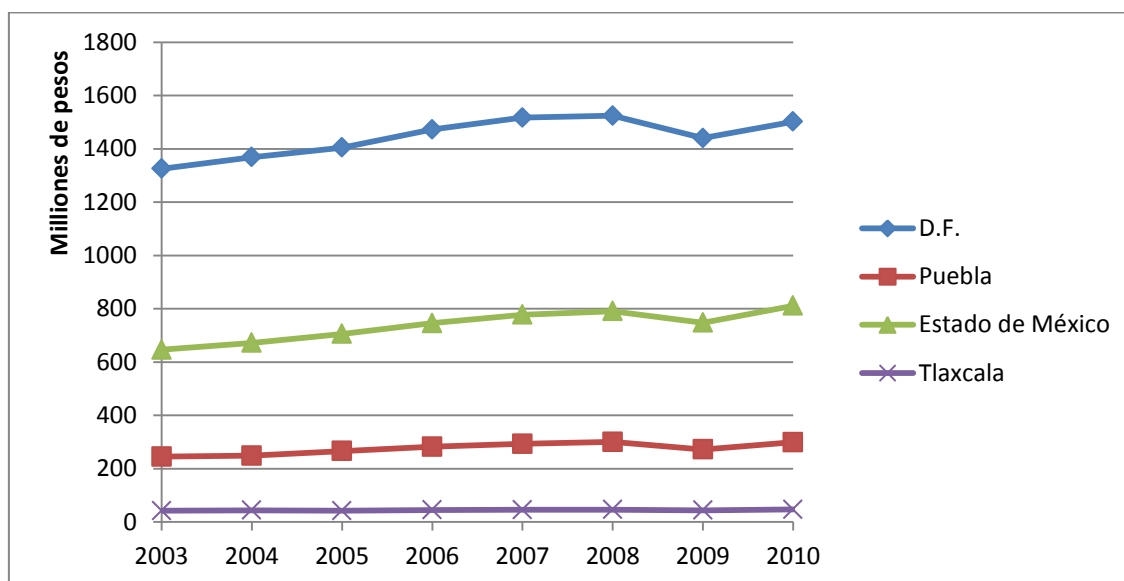


Tabla II-2 Producto Interno Bruto de los estados influidos.

Como se puede observar, hubo una caída en el 2009 debido a la crisis que hubo a finales del 2008, pero a pesar de ello, la zona centro del país ha tenido un constante crecimiento en el aspecto económico y de desarrollo.

En la actualidad se cuenta con una infraestructura carretera con una extensión de 355,796 km, conectando los puntos económicos más importantes del país, por otro lado, en el aspecto aéreo cuenta también con un desarrollo en infraestructura muy importante, siendo que existen 85 aeropuertos en todo el país; pero estos son los únicos medios de transporte de pasajeros con los que se cuenta para el traslado a lo largo de la República, como se menciona anteriormente, se ha abandonado el tren de pasajeros debido al nulo desarrollo de este rubro.

El transporte que utiliza la población para el traslado entre estas dos zonas de desarrollo es por vehículos terrestres (automóviles, taxis, camiones, autobuses). Dando una idea de la cantidad de movimiento que existe entre estos dos polos, a continuación se muestra el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en distintas carreteras:

ID	Estación	Ubicación	Automóvil TDPA
1	Caseta San Marcos	Carretera México – Puebla (Cuota) MEX-150D	30,000
2	Puebla Libre	Carretera México – Puebla (Libre) MEX-190	1,000
3	Caseta San Martín, Puebla	Carretera México – Puebla (Cuota) MEX-150D	30,000
4	Libre Tlaxcala	Carretera San Martín Texmelucan – Tlaxcala MEX-117	13,000
5	Apizaco, Tlaxcala	Carretera los Reyes – Zacatepec MEX-136	13,000
6	Puebla Belem	Carretera Puebla – Belem MEX-121	40,000

Tabla II-3 TDPA en casetas entre D. F. y Puebla. Fuente: Elaboración propia con Aforos publicados en Datos Viales.

Del cual el tiempo recorrido por la carretera libre y de cuota son alrededor de 1h con 45 min.

De igual manera otro medio de transporte son los autobuses, es por ello que se tomaron en cuenta las terminales de autobuses que se usan entre estos dos puntos, que son:

- Terminal de Autobuses de Pasajeros de Oriente (TAPO)
- Terminal del Norte
- Terminal del Sur
- Terminal Central de Autobuses de Pasajeros de la Ciudad de Puebla (CAPU)

De la cual la demanda diaria es:

Origen	Destino	Demanda diaria
Puebla	México	9,989
San Martín Texmelucan, Puebla	México	3,054
Apizaco, Tlaxcala	México	376
Cholula, Puebla	México	843
Total (pasajeros/día)		14,262

Tabla II-4 Demanda diaria de pasajeros

El transporte de autobuses de las distintas terminales tiene un tiempo de recorrido promedio de 2 horas, dependiendo de la saturación con la que la

carretera se encuentre, e inclusive, puede prolongarse hasta llegar a ser de 3 horas.

Al construir un tren de altas velocidades se podrá disminuir el tiempo de recorrido entre estas zonas metropolitanas para la población que lo use. Así mismo, se tendría una disminución en el número de automóviles en las carreteras y la gran competencia con las líneas de autobuses que se encuentran en estas centrales.

Tras la identificación de las necesidades que existen en la actualidad para el desarrollo de este proyecto, se pasa a la descripción del estudio en desarrollo.

Descripción del Proyecto

El proyecto consta del análisis de tres corredores propuestos por la SCT, para valorar la factibilidad de cada uno de ellos, y determinar cuál es el más viable. Se tratan de un enlace directo con la Ciudad de México y Puebla, y la posibilidad de conectar el estado de Tlaxcala por igual.

Alternativa sur: Trazo paralelo a la Autopista México - Puebla

- Este corredor plantea la dificultad técnica de salvar el complicado relieve orográfico (entre el Monte Tiáloc y el Volcán Iztaccíhuatl). Las pendientes y radios de curva del ferrocarril no permitirían el desarrollo de grandes velocidades, por lo que se valoraría la construcción de un túnel ferroviario.
 - En caso de que se opte por construir un túnel, la longitud aproximada será de 118 km;
 - En caso de que no se plantee la construcción del túnel, la longitud aproximada será de 126 km.
- Dada su longitud, se deben considerar estaciones intermedias en las poblaciones más importantes por las que cruza:
 - Zona Oriente del Distrito Federal;
 - Oriente del Estado de México:

- Chalco;
- Los Reyes Acaquilpan;
- Rio Frío de Juárez;
- Puebla:
 - San Martín Texmelucan;
 - San Rafael Tlanalpan;
 - San Miguel Xoxtla;



Ilustración II-1 Trazo paralelo a la Autopista México - Puebla

- Este corredor plantea dos opciones de acuerdo a la importancia de los diferentes puntos del trayecto.
 - Dado que se opte por tomar el norte de la Ciudad de México y el noreste del Estado de México, la longitud sería de 136 km.
 - Dada su gran longitud se deben considerar estaciones intermedias en las poblaciones más importantes.
 - Norte del Estado de México:
 - Ecatepec de Morelos;
 - Tepexpan;
 - Otumba de Gómez Farías;
 - Sur del estado de Hidalgo (Altiplanicie Pulquera):
 - Apan



Ilustración II-2 Trazo por el norte de la Ciudad de México y noreste del Estado de México

- Dado que se opte por tomar el oriente de la Ciudad de México y el nororiente del Estado de México la longitud sería de 142.8 km
 - Debido a su gran longitud, se recomienda considerar estaciones intermedias en las poblaciones más importantes:
 - El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México
 - Estado de México:
 - San Salvador Atenco;
 - Otumba de Gómez Farías
 - Sur del estado de Hidalgo:
 - Apán

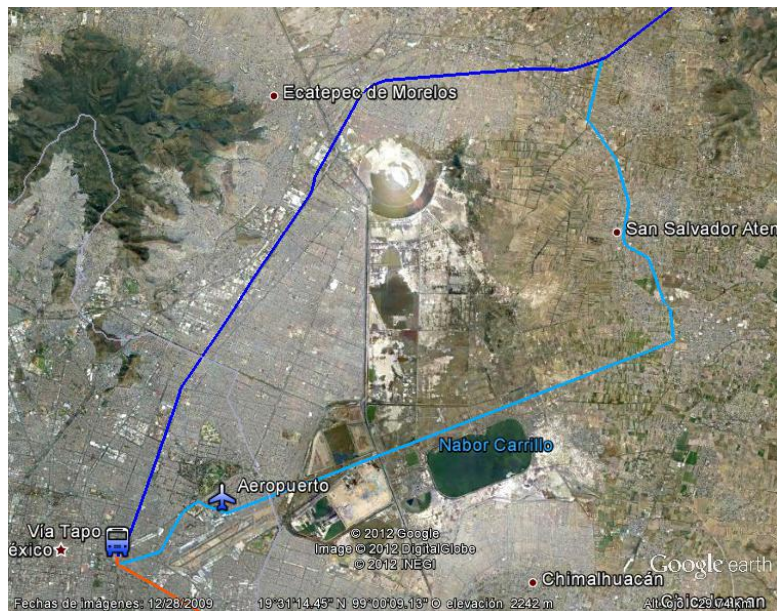


Ilustración II-3 Trazo oriente de la Ciudad de México y el nororiente del Estado de México

Ramal Apizaco

- Este corredor es el término del trazo Norte México-Apizaco-Puebla (Ruta Nte Mex-Apizaco), logrando la conexión entre la Ciudad de México y Puebla.
 - Su longitud aproximada es de 56.7 km
 - Si se toma en cuenta la alternativa 2 tendría una longitud total de 192.7 km (Ruta Nte Mex-Apizaco)
 - Si se toma en cuenta la alternativa 3 tendría una longitud total de 199.5 km.

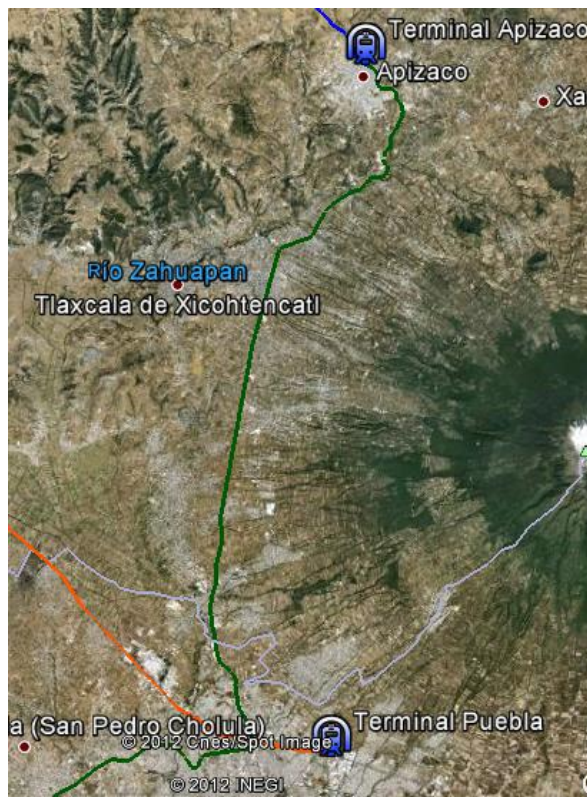


Ilustración II-4 Ramal Apizaco - Puebla

Ubicación de las Estaciones

Se analizarán los mejores emplazamientos posibles para las estaciones en los dos núcleos urbanos. Tomando como referencia los trazos propuestos a *priori* por la Convocante, se propone y se considera en el análisis de las estaciones:

- **Tapo en Ciudad de México;**
- **Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México;**
- **Espacio disponible en Apizaco, y;**
- **Espacio disponible en el entorno del estadio de fútbol de Puebla.**

Terminal Tapo

- Tapo es uno de los emplazamientos que se analizará para la construcción de la estación ferroviaria en D. F. Como puntos a favor cuenta con los siguientes:
 - a. Terminal dentro de la mancha urbana con una gran densidad de población;
 - b. Disponibilidad de espacios libres para la construcción;
 - c. Conexión con el Sistema de Transporte Colectivo Metro, en la zona existen dos líneas (Línea 1 y Línea B);
 - d. Proximidad al aeropuerto



Ilustración II-5 Terminal Tapo

Terminal Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

- Es un punto importante para la construcción de una estación ferroviaria, servirá como:
 - a. Enlace de pasajeros con destino a Tlaxcala y Puebla o viceversa;



Ilustración II-6 Terminal Aeropuerto

Terminal Apizaco

- Se analizará la restauración de la antigua terminal ferroviaria de Apizaco, en el municipio de Apizaco, Tlaxcala, para la conexión del trazo Nte Mex-Apizaco y Ramal Apizaco;
- Como atractivo del municipio para la construcción de una terminal resulta que:
 - a. Es uno de los municipios más visitados por las comunidades cercanas;
 - b. Consta con atractivos turísticos;
 - c. Conexiones con transportes para el centro de Tlaxcala;



Ilustración II-7 Terminal Apizaco

Terminal Puebla

- Para la terminal de Puebla se toma en cuenta un terreno, que se encuentra:
 - En el cruce de la Autopista Puebla Orizaba y la Carretera Federal a Tehuacán;
 - Al lado de la distribuidora Herdez;
 - Contra esquina con el Estadio Cuauhtémoc;
- Como puntos de interés de la terminal en Puebla serían:
 - Alternativa de transporte con la Ciudad de México;
 - Es el centro económico más importante del estado;
 - Es una ciudad industrialmente activa;
 - Alternativa para desahogo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México con el de Puebla (se encuentra a 25 km de distancia).
 - Se encuentra 3 km del centro histórico de Puebla.

Tras haber tomado en cuenta las rutas, haber hecho varios análisis y considerar con la SCT, se propusieron las rutas, y varias estaciones intermedias para lograr mayor eficiencia al proyecto. La siguiente imagen es como se desarrolló el estudio de las rutas aprobado por la SCT:

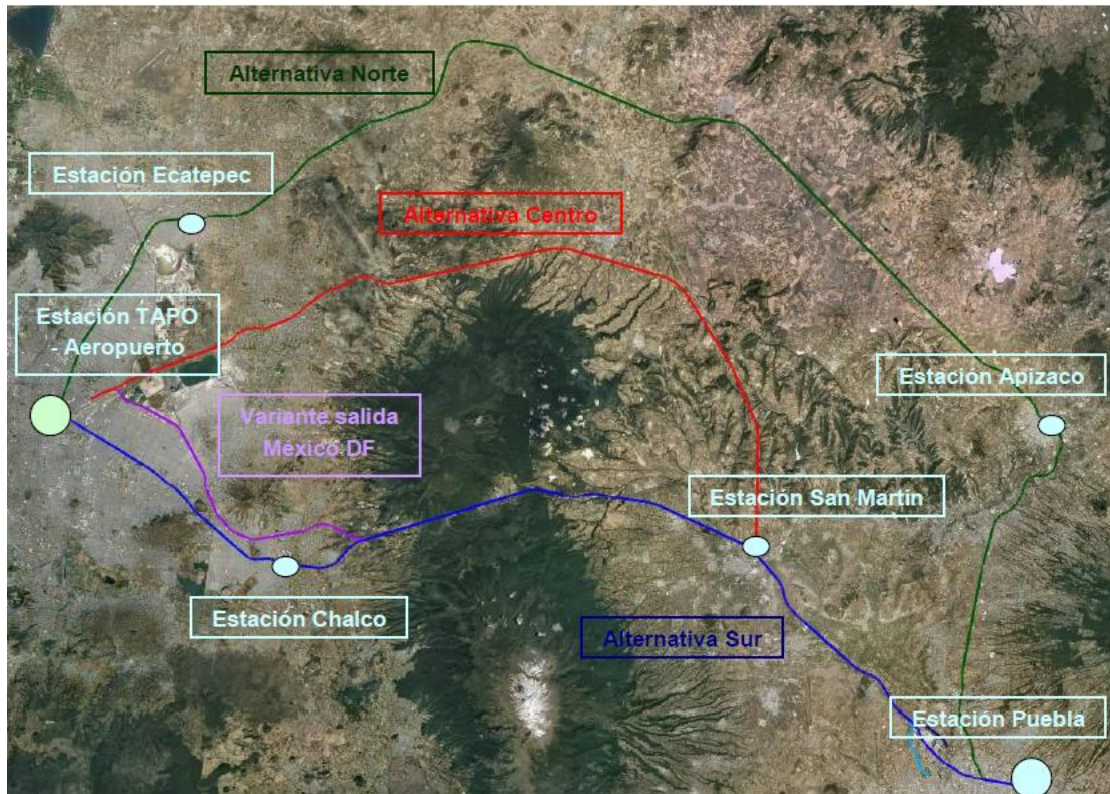


Ilustración II-8 Trazo final de alternativas

Las tres alternativas estudiadas quedaron:

- Alternativa norte: 182 km de longitud, con cuatro estaciones: dos terminales, TAPO en el D.F. y Puebla; y dos intermedias en Ecatepec de Morelos y Apizaco.
- Alternativa centro: 131 km de longitud, con tres estaciones: dos terminales, TAPO en el D. F. y Puebla; y una intermedia en San Martín Texmelucan.
- Alternativa sur: 119 km de longitud, con cuatro estaciones: dos terminales, en TAPO en el D. F. y Puebla, y dos intermedias en Chalco y San Martín Texmelucan. Dentro de esta alternativa, se presentó una propuesta diferente de la salida del D. F. y dos propuestas de llegada a Puebla.

Descripción del Medio

Geología:

Los trazos marcados por la SCT, se sitúan en la denominada *Faja Volcánica Transmexicana (FVTM)*, la cual constituye un arco magmático continental que engloba más de 8000 estructuras volcánicas, así como numerosos cuerpos intrusivos. Hay gran abundancia en esta zona de materiales ígneos asociados con el vulcanismo continental y materiales cenozoicos.

Litología y estratigrafía

La zona en la que se encuentra el área en estudio, presenta formaciones rocosas y montañosas de las cuales los materiales abundantes que se encuentran son cenozoicos y cuaternarios de origen volcánico (principalmente lavas y materiales piroclásticos) y sedimentario.

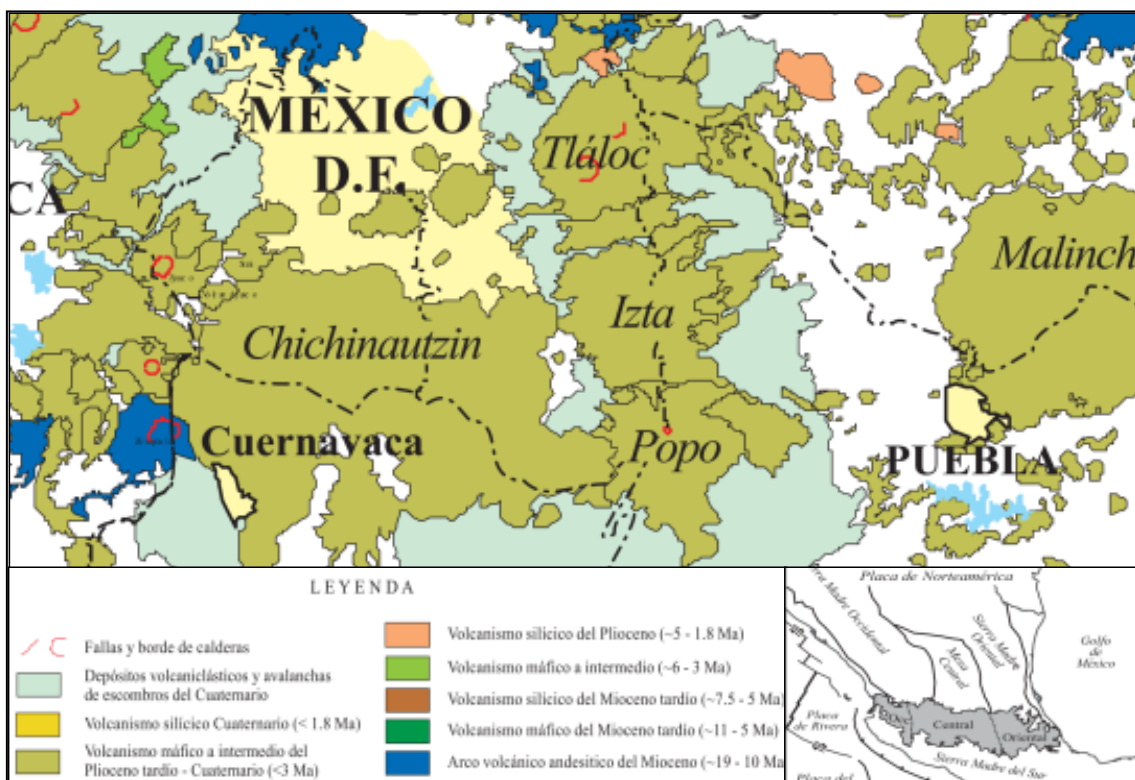
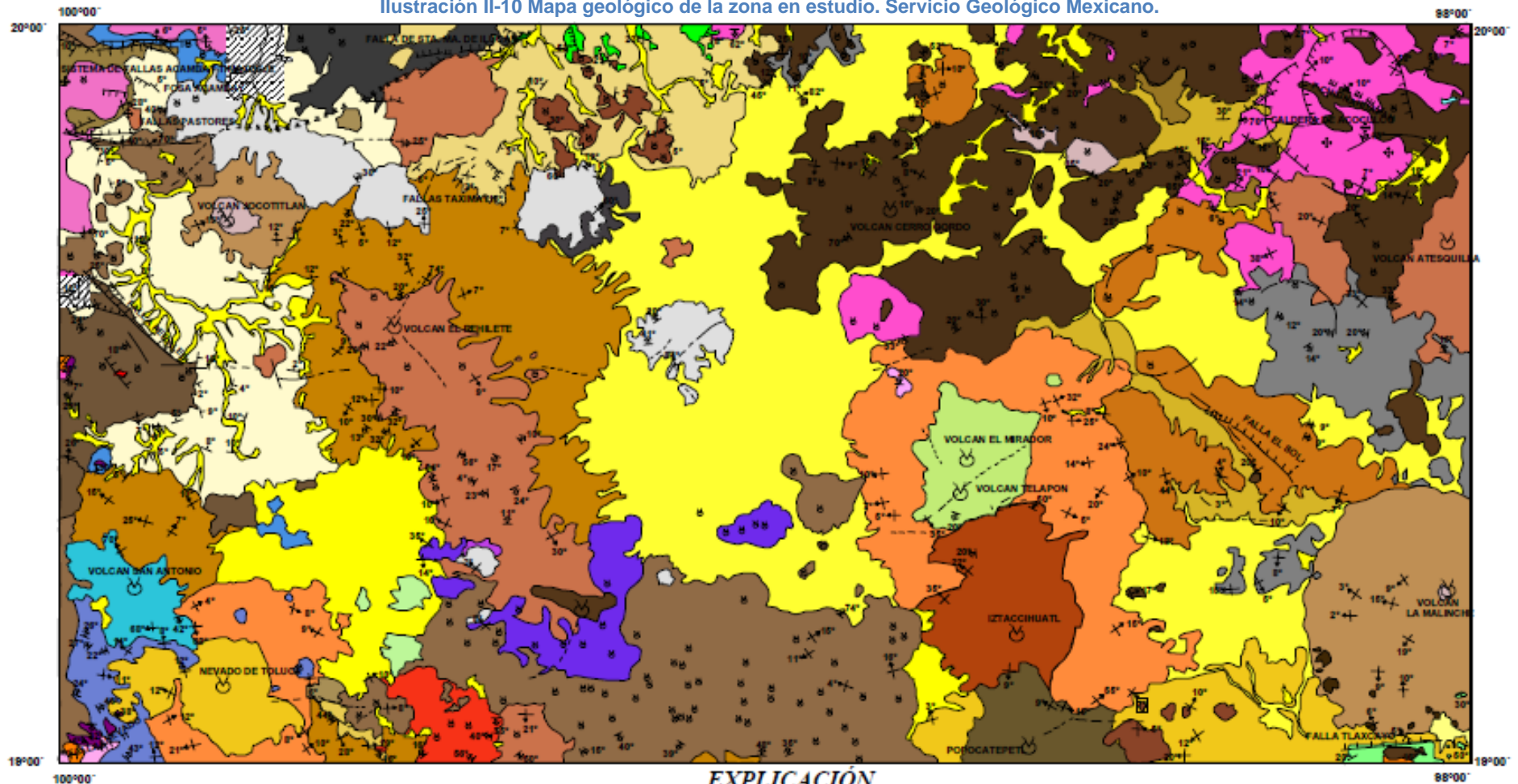


Ilustración II-9 Mapa geológico simplificado de la FVTM. Modificado de Gómez- Tuena et al. (2005). En la esquina inferior izquierda ubicación de la FVTM y de las placas tectónicas.

Como se presenta en la ilustración II-10, las zonas montañosas y volcánicas, tales como, Tlálloc, Iztaccihuatl, Popocatépetl y Chichinautzin, son por donde cruzan los trazos planteados. Los materiales que abundan mostrados en la imagen datan del Plioceno tardío-Cuaternario.

Ilustración II-10 Mapa geológico de la zona en estudio. Servicio Geológico Mexicano.



EXPLICACIÓN

CUATERNARIO		TERCIARIO-CUATERNARIO		ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	
Qho al ALUVION	Qho TA TOSA ANDESITICA	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO	Tpl A-Oa ANDESITA-DACITA	Tm (T) Rd RIODACITA	Qho PA PORFIDO ANDESITICO
Qho Im-ar LIMO-ARENA	Qho Lh-TA LAHAR-TOBA ANDESITICA	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO	Tpl TA-A TOBA ANDESITICA-ANDESITA	To R-TR RIOLITA-TOBA RIOLITICA	Tn Gr GRANTO
Qho la LACUSTRE	Qpt ho Da-A DACITA-ANDESITA	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO	Tpl TA-A TOBA ANDESITICA-ANDESITA	Tpa Cyp-Ar CONGLOMERADO POLIMICTICO-ARENISCA	
Qho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt ho A-Oa ANDESITA-DACITA	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO	Tpl A ANDESITA	CRETACICO	
Qho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt ho TDa TOBA DACITICA	Qpt TA-A TOSA ANDESITICA ANDESITA	Tpl Lh-TA LAHAR-TOBA ANDESITICA	Rm M-Lu MARGA-LUTITA	
Qho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt ho B-A BASALTO-ANDESITA	Qpt la LACUSTRE	Tpl Lh-TA LAHAR-TOBA ANDESITICA	Kac Cz CALIZA	
Qho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt ho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt Lh-TA LAHAR-TOBA ANDESITICA	Tpl TD+R TOBA DACITICA - RIOLITA	Kac Co-Mg CALIZA-MARGA	
Qho A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO	Qpt Lh-TA LAHAR-TOBA ANDESITICA	Tpl R-TDa RIOLITA-TOBA DACITICA	MCo M Sed METAVOLCANICO-SEDIMENTARIA	
Qho Da-A ANDESITA-DACITA	Qpt A-B ANDESITA-BASALTO		Tpl A-Oa ANDESITA-DACITA	JURASICO	
				J C-Lu CALIZA-LUTITA	

CONTACTO GEOLOGICO	DIRECCION DE FLUJO DE LAVAS	APARATO VOLCANICO	CUERPO DE AGUA
RUMBO Y ECHADO DE ESTRATIFICACION	RUMBO Y ECHADO DE FOLIACION	CALDERA DE COLAPSO	
PSEUDOESTRATIFICACION	DOMO	FALLA NORMAL	



Tectónica

Como se mencionó anteriormente, la zona en estudio se localiza en el Eje Neovolcánico, donde cuenta con características vulcanológicas y estructuras muy particulares. La particularidad de las rocas de esta zona son las andesitas y dacitas que se presentan con gran abundancia, éstas son típicas de una provincia calcoalcalina.

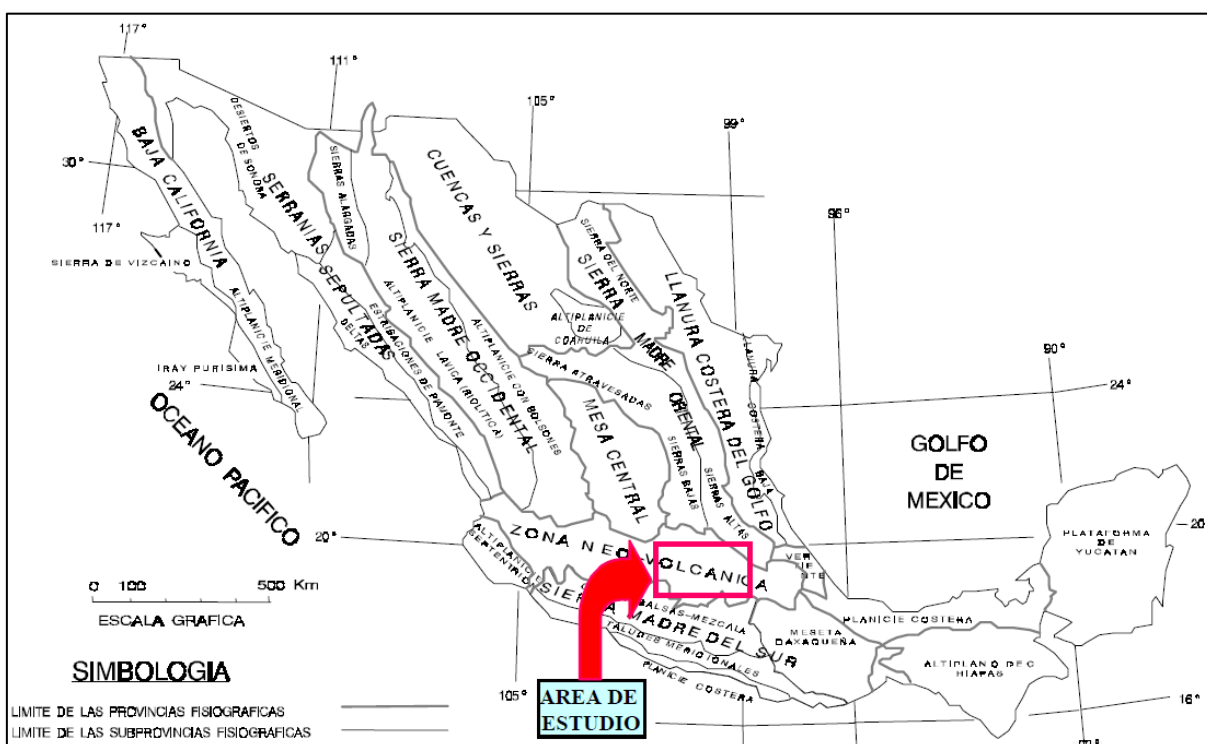


Ilustración II-11 Mapa Tectónico

Geomorfología

Tanto la Zona Metropolitana (ZM) de Puebla como la del Distrito Federal presentan un paisaje geomorfológico típicamente volcánico, esto es debido a los eventos volcánicos que se presentaron hace millones de años. Las erupciones más recientes han dado origen a la edificación de grandes estratovolcanes, tales como son la Malinche, el Popocatepetl, el Chichinautzin, la Sierra Las Cruces entre otras.

El área en estudio se puede diferenciar en tres áreas geomorfológicas diferenciables:

- La Cuenca de México
- Sierra Nevada
- Cuenca de Puebla

Hidrogeología

Un aspecto importante para el estudio es la hidrogeología, en esta área de la investigación se localizaron a lo largo del trazado de las alternativas cinco acuíferos principales, cuyas características son las siguientes:

Acuífero	Nombre	Superficie (m ²)	Localización	Litología	Prof. Nivel Freático (m)
625	Zona Metropolitana	2103,65	Valle de México (D.F.)	Depósitos lacustres	Superficial < 5m
266	Chalco-Amecameca	946,49	Valle de México (Estado de México)	Basaltos Depósitos lacustres	Profundo (>100 m) Superficial < 5m
265	Texcoco	933,57	Valle de México (Estado de México)	Depósitos lacustres	Superficial < 5m
595	Valle de Puebla	2025,09	Balsas (Puebla)	Andesitas Depósitos aluviales	Profundo (>100m) Superficial (< 5m)
54	Alto Atoyac	2032,20	Balsas (Tlaxcala)	Basaltos Depósitos aluviales	Profundo (>100m) Superficial (< 5m)

Tabla II-5 Acuíferos de la zona en estudio.

Sismicidad

La Cuenca de México se encuentra en unas regiones de mayor actividad sísmica, esto es debido al choque de tres grandes placas tectónicas que se encuentran cercanas y que dieron origen a las sierras que se encuentran en nuestro paisaje geomorfológico:

- Placa del Pacífico
- Placa de América del Norte
- Placa de Cocos
- Placa del Caribe
- Placa de Rivera



Ilustración II-12 Tectónica de Placas

Orografía:

Para la topografía que se tiene a lo largo de los corredores de las alternativas propuestas se obtuvo mediante la siguiente tabla el relieve natural:

Tipo de relieve	Máxima inclinación (i) [%]
Llano	$i < 6 \%$
Lomero	$6 \leq i < 13$
Montañoso poco escarpado	$13 \leq i < 25$
Montañoso muy escarpado	$25 \leq i$

Tabla II-6 Tramificación según relieve

En la tabla II-6, se puede observar que el terreno es muy irregular debido a las formaciones montañosas de la zona, pero en el inicio y final del trayecto existe una zona plana en estos trayectos, principalmente la opción norte.

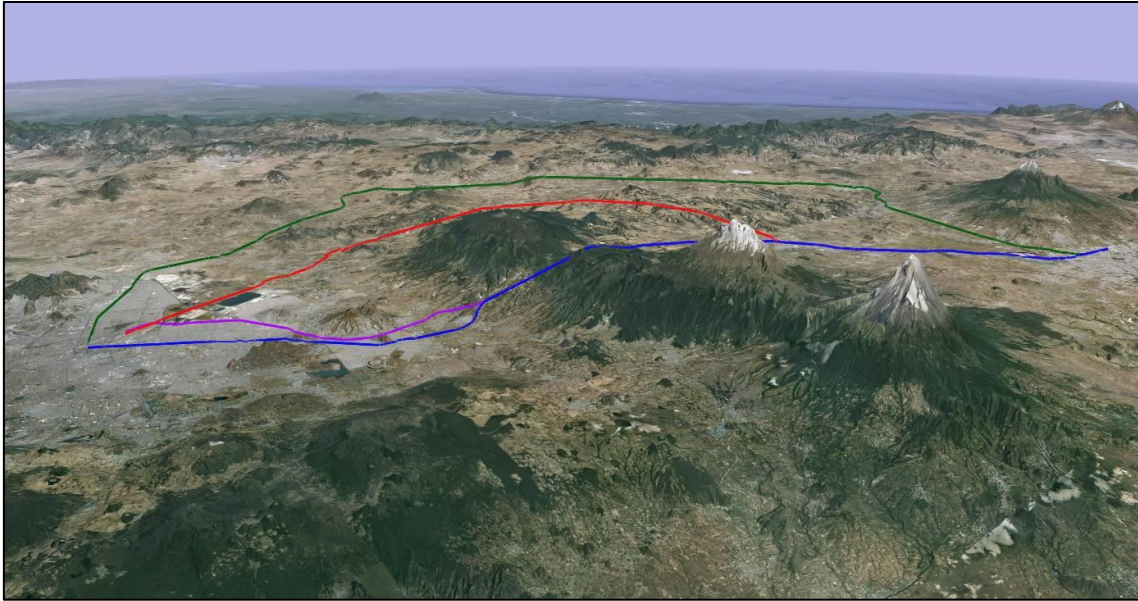


Ilustración II-13 Orografía.

Para la determinación de cómo se encontraban a lo largo de las rutas señaladas el relieve se empleó el programa Istram ISPOL, que mediante las curvas de nivel de la cartografía, obtiene las líneas máximas de pendientes de la región de cada alternativa, dando los siguientes resultados:

Alternativa	Longitud (m)	Llano		Lomerío		Montañoso			
		Longitud (m)	Porcentaje (%)	Longitud (m)	Porcentaje (%)	Poco escarpado		Muy escarpado	
						Longitud (m)	Porcentaje (%)	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Norte	181+159	167,779	92.61 %	11,580	6.39 %	1,700	0.94 %	100	0.06 %
Centro	132+264	80,504	60.40 %	35,540	26.67 %	11,340	8.51 %	5,900	4.42 %
Sur	119+172	80,872	67.86 %	15,760	13.22 %	14,340	12.03 %	8,200	6.89 %

Tabla II-7 Longitudes y porcentajes en cada tipo de terreno y por alternativa

En la tabla III-7 se puede determinar que la alternativa norte es la que más llano se encuentra el terreno, mientras que la alternativa centro y sur, tienen una ligera similitud de los terrenos que presentan a lo largo de los corredores:

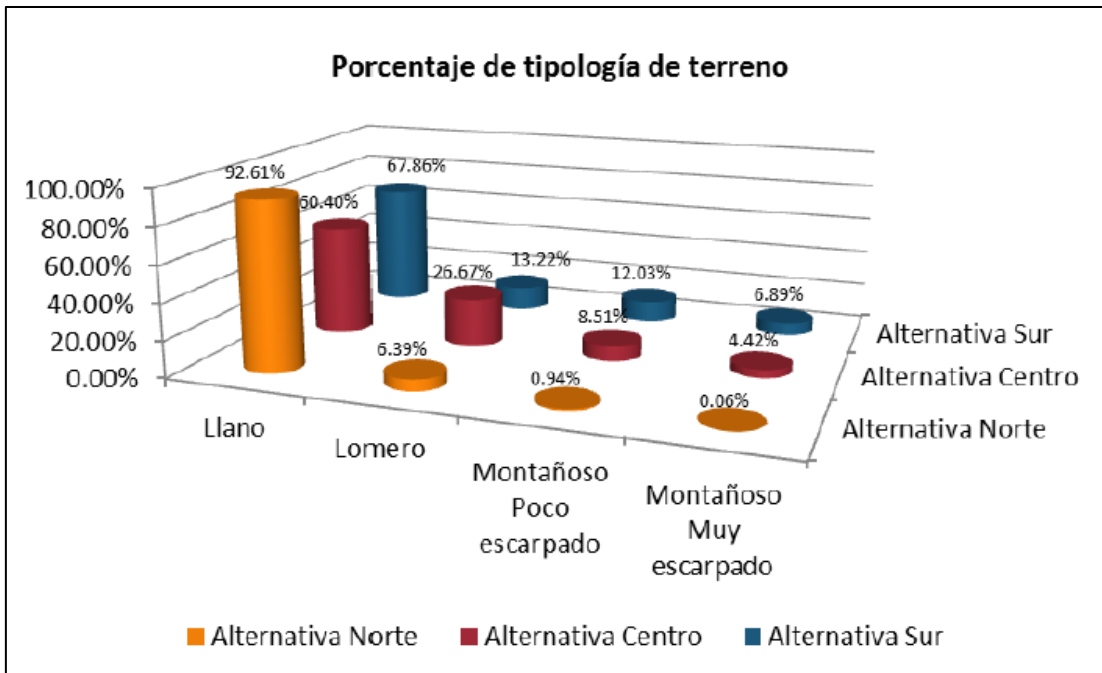


Ilustración II-14 Gráficas de porcentajes en cada tipo de terreno por alternativas

Hidrología:

Otro aspecto importante que se tiene que tomar en cuenta al momento de la evaluación de las alternativas es la hidrología, esto es, debido al manejo y desalojo de las aguas pluviales que se lleguen a encontrar en los corredores, ya que se debe considerar un mantenimiento por parte de ello al momento de su diseño y construcción.

En la siguiente imagen se presentan las 174 cuencas de aportación que se encuentran a lo largo de las tres alternativas en estudio:

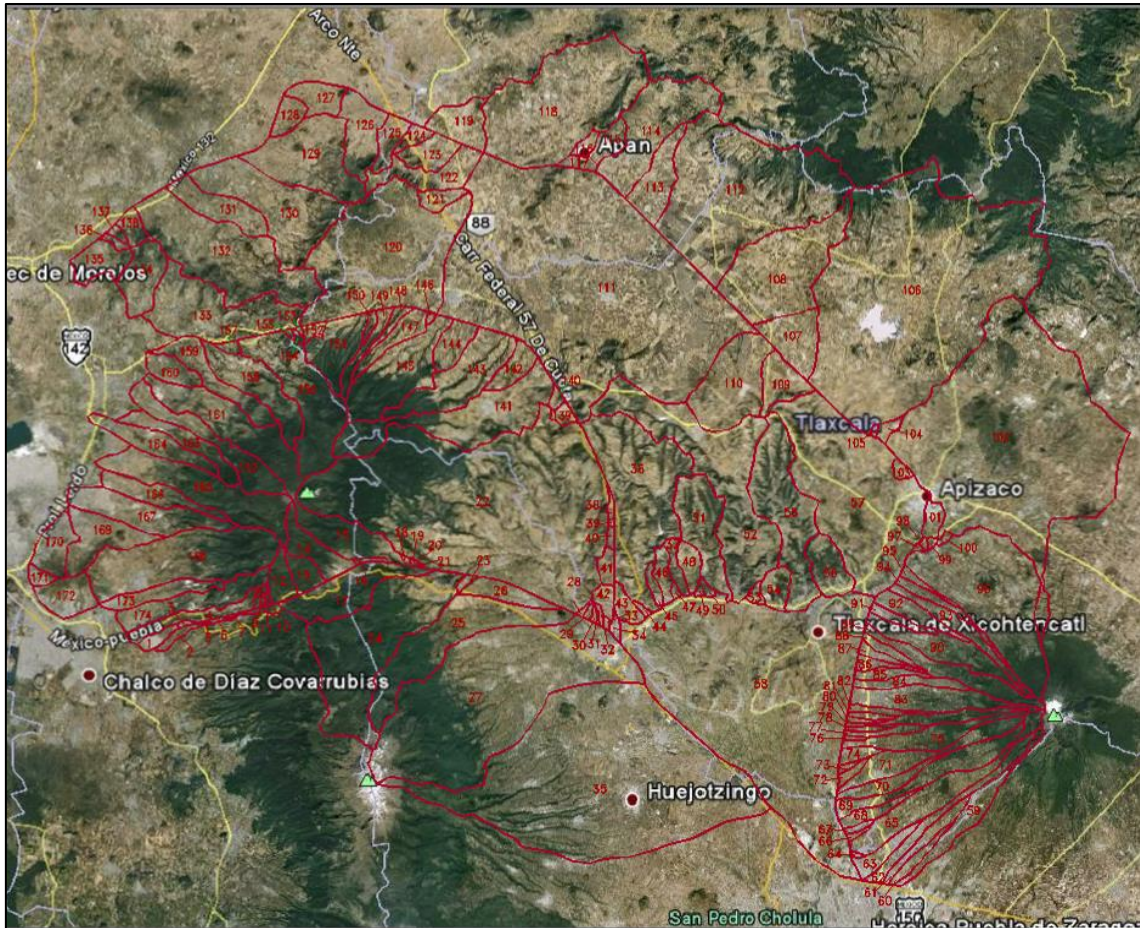


Ilustración II-15 Cuencas de aportación

Otro aspecto importante dentro de la hidrología es el punto de la climatología, este estudio, se determinó a partir de información otorgada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de datos meteorológicos de las precipitaciones máximas diarias dadas a partir de los años 60. Con esta información se utilizó el programa AX para determinar un ajuste con seis funciones de distribución de probabilidad: Normal, Lognormal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel, por Momentos y Máxima Verosimilitud. Estas funciones se analizaron para diez periodos de retorno: 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. Se utilizaron periodos de retorno muy altos debido a la importancia del medio de comunicación que implica en la sociedad si llega a ser afectado por un desastre de esta índole.

Se obtuvo el gasto máximo instantáneo por varios métodos hidrológicos y empíricos tales como:

- Método de hidrograma unitario triangular.
- Método de Vente - Chow
- Método de Mac - Math

Esto con cada periodo de retorno, y realizar una comparación para mejores resultados.

Factores de riesgos ambientales:

En el siguiente apartado se describen los riesgos ambientales que podrían llegar a presentarse en el corredor. Estos eventos no tienen una forma de predecirlos, pero se pueden prevenir considerándolos en un estudio previo.

Para fines prácticos del estudio, se consideraron dos tipos de riesgos:

1. **Riesgos Geológicos:** Considerados como aquellos fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta, los cuales de acuerdo con el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) pueden clasificarse en: sismicidad, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas y suelos. Para el presente estudio no se consideran tsunamis, debido a la ubicación del Proyecto.
2. **Riesgos Hidrometeorológicos:** Estos riesgos son ocasionados por lluvias, granizadas, nevadas, heladas y sequías.

Riesgos geológicos

Los riesgos geológicos que se analizaron en estos estudios son los siguientes:

- **Sismicidad:** Como se explicó anteriormente la zona en estudio se encuentra en una zona de alta sismicidad esto es debido al choque de placas en las que se encuentra el territorio en evaluación.

- **Fallas y fracturas:** Las fallas son discontinuidad que se producen en la superficie terrestre que llegan a tener una profundidad de hasta más de 200 km. Estas fallas llegan a desplazarse a velocidades de 10 cm por año hasta 10 cm por siglo.

De manera particular, se realizó un análisis por corredor para identificar las fallas presentes de acuerdo con la información cartográfica disponible y se obtuvo que:

- Dentro del Corredor Norte se localiza una fractura, la cual es tangente al trazo en el kilómetro 38+500 y presenta una longitud dentro el corredor de 4.52 km.
 - En el Corredor Centro se localiza una falla la cual se encuentra en su totalidad dentro del corredor, es tangente al trazo en el kilómetro 78+250, sin embargo su recorrido va desde el kilómetro 77+500 hasta el kilómetro 86+500, presenta una longitud de 8.9 km.
 - Dentro del Corredor Sur se localizan dos fallas, la primera de ellas es tangente al trazo localizada en la Porción noroeste del corredor, sin embargo no cruza al trazo, se localiza aproximadamente en el área comprendida por el kilometraje 44+000 al kilómetro 46+750, y presente una longitud dentro del corredor de 3.6 km. La segunda falla cruza al trazo en el kilómetro 46+500 y presenta una longitud dentro del trazo de 5.4 km.
- **Hundimientos:** Es el movimiento vertical descendente del suelo que entre muchos factores, puede deberse a: 1) la sobrecarga que se le implanta al suelo, el cual hace que se comprima, o 2) la extracción de agua de los mantos acuíferos, reemplazando la presión del agua, logrando la compresión y por consiguiente, los hundimientos.
 - **Corrimiento de tierras:** Los corrimientos de tierra se presentan cuando la masa de tierra no puede sostenerse por la misma cohesión de sus elementos y ésta se desplaza creando derrumbamientos de laderas o remoción de masas, provocando accidentes, destrucción de

infraestructura, etc. Por lo general esto se debe a factores externos tales como la lluvia, terremotos, erosión, actividades volcánicas, entre otros.

- **Vulcanismo:** Este fenómeno se relaciona con volcanes activos los cuales pueden detonar en cualquier momento, lanzando desde sustancias nocivas para la población hasta la destrucción de la infraestructura. En el área de estudio se encuentran volcanes activos, es por ello que se toma como riesgo potencial.

Riesgos Hidrometeorológicos

Los riesgos hidrometeorológicos que se analizaron en estos estudios son los siguientes:

- **Inundaciones:** Este se entiende por evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla en alguna estructura hidráulica es causa de un incremento excesivo del nivel del agua de los ríos, lagos, lagunas, incluso del mar, logrando desbordamientos o subidas de mareas, ocupando zonas que habitualmente están libres de estas, provocando daños en infraestructuras, inmobiliarios, patrimonios, etc.

En este apartado se recurrió el apoyo del CENAPRED con la información necesaria para los municipios y delegaciones por los cuales pasarían los corredores. Al recurrir a estos datos, estaban “vacíos” es por ello que se recurrió a un análisis con las siguientes características:

Peligro y Efectos Alta:

- Decesos
- Daños extraordinarios
- Asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o aguas abajo de presas o bordos

Media:

- Sin decesos
- Daños moderados

Baja:

- No hay asentamientos irregulares
- Sistema de drenaje eficiente
- Daños mínimos

• Intemperismos:

- **Granizadas:** Es un tipo de precipitación con forma de piedras de hielo, provocando daños en infraestructuras según la intensidad que tenga. Dado la aportación de información dada por el CENAPRED se determinó que los corredores se localizan en una zona que van de riesgo **Medio a Muy Alto**.
- **Huracanes o ciclones tropicales:** Estos eventos se presentan en cambios de temperatura en alta mar o cercana a las costas, provocando grandes ráfagas de viento y grandes precipitaciones en el área. El área donde se encuentran los corredores, se localiza en una zona que van de riesgo **Muy Bajo y Medio**.

Factores ambientales:

En este apartado se da a conocer los factores ambientales que se tomaron en cuenta en el estudio, qué tanto podría afectar el proyecto, qué estudios fueron requeridos para la evaluación de cada alternativa y qué repercusión habría tanto en el costo como en el ambiente, tales como la realización de túneles para evitar áreas protegidas y el menor impacto en el ambiente posible.

Se tomaron en cuenta factores como:

- **Viabilidad Ambiental:** En México, para la realización de un proyecto y determinar qué tanto impactará en el ambiente la construcción de una nueva infraestructura, es por ello que se realizan los siguientes estudios:

- **Manifestación Impacto Ambiental (MIA):** Mediante este estudio se da a conocer el impacto significativo y potencial, que generará la obra en el ambiente, se utilizó la última modificación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEPA) publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el día 08-01-2011. Para este proyecto se necesitó una Manifestación de Impacto Ambiental en su Modalidad Regional, sin estudio de Riesgo, ya que la actividad está considerada dentro del Artículo 5 inciso B y en el artículo 11, del Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (REIA) de la LGEEPA.
- **Estudio Técnico Justificativo (ETJ):** Este estudio se requiere para el Uso de cambio de Suelo, en terrenos forestales, dado que realizará la tala y limpieza total del terreno en la cual se elaborará la vialidad.
- **Restauración Forestal:** Este apartado es para ayudar a la mitigación del impacto sobre los terrenos a deforestar, para recuperar la vegetación a su estado natural, y congenie con la infraestructura.
- **Áreas Naturales Protegidas (ANP):** Existen en México áreas naturales a nivel Federal, Estatal y Municipal, las alternativas atraviesan varias áreas, debido a esto, se tienen que tener identificadas para su evaluación y resolución del problema. Estas son:

RUTA	ANP FEDERAL	ANP ESTATAL	ANP MUNICIPAL	COMENTARIOS
Norte	El Tepeyac	1. Sierra de Guadalupe 2. Sierra Patlachique 3. La Ciénega 4. Parque Ecológico Público Diego Muñoz Camargo	Ninguna	Las ANP Federales y Estatales, caen sobre el área de corredor
Centro	Molino de Flores Netzahualcóyotl	1. Sistema Tetzcotzingo 2. Ing. Gerardo Cruickshank García	Ninguna	Las ANP Federales y Estatales, caen sobre el área de corredor
Sur	Iztaccíhuatl-Popocatepétl	1. Sierra Santa Catarina I y II 2. Santuario del Agua Lagunas de	Ninguna	El trazo atraviesa la ANP federal y dentro del corredor caen las ANP

RUTA	ANP FEDERAL	ANP ESTATAL	ANP MUNICIPAL	COMENTARIOS
		Xico 3. San José Chalco 4. Ing. Gerardo Cruickshank García		estatales
Variante Salida D.F.	Iztaccíhuatl-Popocatepétl	1. Sierra Santa Catarina I y II 2. Santuario del Agua Lagunas de Xico 3. San José Chalco 4. Ing. Gerardo Cruickshank García	Ninguna	El trazo atraviesa la ANP federal y dentro del corredor caen las ANP estatales

Tabla II-8 Áreas Naturales Protegidas en las Rutas del Proyecto

Especificaciones Técnicas del Ferrocarril de Pasajeros

Para la planificación se necesita conocer los criterios con los que se trabajarán para cumplir con las especificaciones deseadas, en las cuales se manejará el servicio que se brindará. Estos criterios están dados por los siguientes puntos:

Velocidad de diseño:

La velocidad es un parámetro a considerar muy importante, dado que será evaluado el tiempo de traslado que existirá entre D. F. y Puebla, y a su vez las estaciones intermedias. No existe una propuesta dada por la SCT de una velocidad, por ello se consideró, debido a las distancias, que cada propuesta debe estar entre los 120 – 200 km, se plantearon:

- Tren interurbano de Media Distancia de Altas Prestaciones.
 $V = 160\text{--}200 \text{ km/h.}$
- Tren interurbano de Media Distancia de Alta Velocidad.
 $V = 250 \text{ km/h.}$

Dados estos parámetros se consideró por las distancias, las paradas entre estaciones, y posibles demoras, la velocidad más óptima que es de **200 km/h.**

Carga máxima por eje:

Debido a que este transporte será exclusivo de pasajeros, las cargas máximas permitidas por ejes para este tipo de material rodante es de 18 ton/eje.

Ancho de vía:

Se utilizará el ancho de vía internacional o UIC, por ser el más utilizado a nivel internacional que será de 1.435 m (distancia medida entre las caras internas de los rieles).

Ancho de plataforma:

Se adoptará una anchura de 13.6 m para las zonas interurbanas y 13.3 m para las zonas urbanas. Dentro de estas plataformas se albergarán todas las instalaciones de señalización y comunicaciones, así como las instalaciones necesarias para la electrificación de la línea.

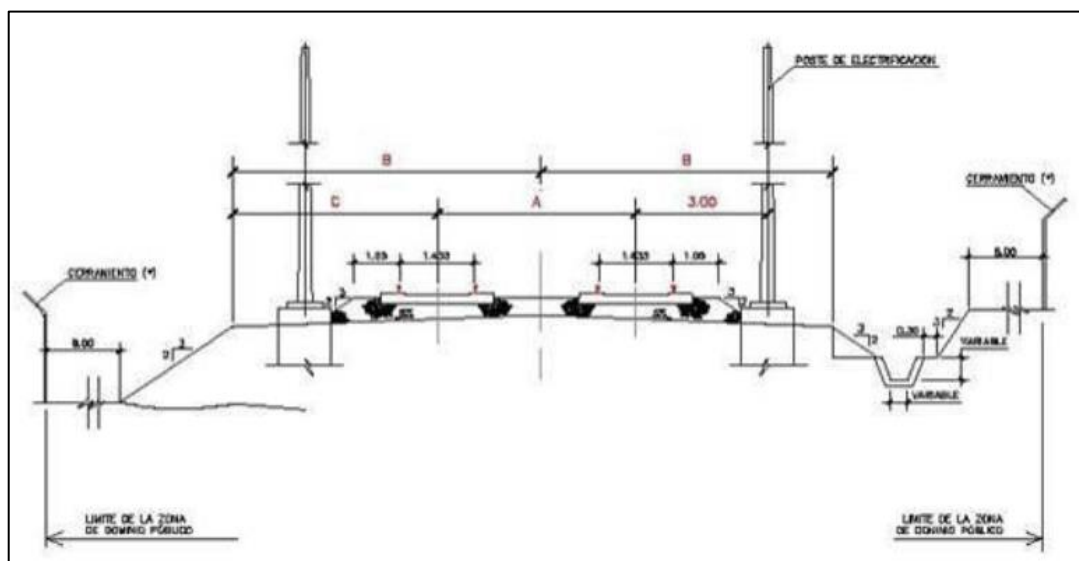


Ilustración II-16 Sección tipo de plataforma.

Distancias entre ejes de vías:

Las distancias por trenes de alta velocidad se determinan por factores aerodinámicos que dependen de la velocidad a la que circulará el material rodante. El entre eje recomendado es de 4.3 m en zonas interurbanas y 4 m en zonas urbanas, donde se limitará la velocidad a 160 km/h.

Gálibo:

Se usaron las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI) aplicadas a nivel europeo. Esto para el gálibo mínimo de la infraestructura será a partir del gálibo cinemático y de las partes inferiores

Parámetros geométricos de la línea:

Para éste proyecto se tomaron dos parámetros importantes: el radio mínimo de la curva horizontal y la pendiente máxima.

- Radio mínimo: Esto determina el trazo geométrico de un trazo ferroviario.
- Pendiente máxima: La pendiente repercute directamente a los costos de la obra y explotación

Electrificación de vía:

Para que el tren alcance una velocidad de 200 km/hr que ha sido la tomada como velocidad de diseño, se debe tomar en cuenta electrificar la línea o explotar la línea con locomotoras diésel de alto rendimiento.

Las locomotoras diésel tienen como ventaja el ahorro de energía eléctrica, sin embargo, se necesitará sistemas de ventilación en los túneles por los cuales recorrerá el tren, así como en las estaciones; y logra tener un mayor impacto ambiental.

Por parte del sistema de electrificación se cuenta con dos tipos de posibilidades de instalación:

- Electrificación a 3 kV corriente continua: Este tipo de electrificación está implantado en líneas con velocidades máximas de 160 – 200 km/h. Las subestaciones de tracción se instalan aproximadamente cada 10 km de línea.
- Electrificación a 25 kV corriente alterna: Este tipo de electrificación es el que se está implantando en las nuevas líneas de alta velocidad, con

velocidades máximas superiores a 200 km/h. Las subestaciones de tracción se instalan aproximadamente cada 50 km de línea.

Para este estudio se ha tomado en cuenta y valorado la línea a 25 kV de corriente alterna.

Sistema de señalización, seguridad y comunicaciones:

Estos sistemas sirven para dar los medios necesarios a la explotación de la línea, para obtener frecuencias necesarias para cubrir la demanda estimada. Dentro del rubro de señalización se ha tomado en cuenta la implementación de características similares, a nivel europeo e internacionales, tratándose del sistema ERTMS (European Rail Traffic Management System).

III. Análisis Multicriterio

Metodología

Para la comparación entre las alternativas y tener una ponderación equitativa entre ellas, es necesario un valor objetivo sobre los criterios que se considerarán en la evaluación, es por ello que es necesario que los valores coincidan entre ellos. Para ello el análisis multicriterio se utiliza para dar juicios comparativos, en este caso, valores heterogéneos a homogeneizarlos y poder analizar a un mismo nivel la información.

Definición de los criterios de Evaluación

Para la valoración de los criterios de evaluación, es necesario definir un conjunto de variables, que permitirán valorar los elementos definidos y así poder tener un criterio objetivo para la selección de la alternativa que más se adecue a las necesidades presentadas por el escenario. Un análisis multicriterio incluye elementos de análisis heterogéneo, pero para poder homogenizar para su comparación es necesario un sistema para lograrlo.

Para la evaluación homogénea de los criterios que se seleccionarán, deben cumplir un conjunto de propiedades para su validez, así:

1. Cada uno de los criterios de evaluación debe cumplir de forma individual dos propiedades:
 - Compresibilidad: El valor del atributo es un buen indicador del grado en que el correspondiente objetivo se realiza, es decir, una variable significativa.
 - Medibilidad: La variable se mide con alguna escala de trabajo conocida.

2. El conjunto de criterios de evaluación debe cumplir las siguientes propiedades para que sea aceptado como tal:

- Completitud: Todos los aspectos pertinentes a la situación de decisión están presentes.
- Operatividad: Deben ser aplicables, es decir, deben servir de forma significativa al análisis
- Descomponibilidad: Que permita la simplificación del proceso de evaluación mediante la desagregación del problema en partes.
- Minimalidad: No debe existir un conjunto completo de criterios que determine el mismo problema con un número menor de variables.

El análisis multicriterio incluirá un estudio de cada alternativa, de acuerdo con los siguientes parámetros representativos:

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
AMBIENTALES	Riesgo ambiental	
	Impacto ambiental	
FINANCIEROS	Análisis de demanda y tarifa	Tasa Interna de Retorno(TIR)
	Inversión	
	Costos de operación y mantenimiento	
DEMANDA	Número de viajeros	
	Ahorro de tiempo	
	Población servida	
	Empleo	
CONSTRUCTIVOS	Índices geotécnicos	
	Estructuras y túneles	
	Plazo de ejecución	
EXPLOTACIÓN	Tiempo de recorrido	
	Margen de puntualidad	
	Consumo de energía	
CONSERVACIÓN	Trazado en planta	
	Trazado en alzado	
	Hidrología y drenaje	

Tabla III-1 Criterios de Evaluación

Valoración de los criterios de Evaluación

Una de las características que deben cumplir de forma individual cada uno de los criterios de evaluación es la medibilidad, que se definía en el apartado anterior. Es decir, que exista una escala métrica que permita expresarlos numéricamente.

El siguiente paso, una vez identificadas las variables a estudiar, es establecer una graduación numérica para medir el comportamiento de cada alternativa frente a las variables. Este traslado requiere dos etapas:

- La definición de una nueva variable denominada Indicador, que no es más que una función que asocia a cada alternativa un valor numérico indicativo de su comportamiento con respecto a una parte o a todo el criterio de valoración. Cada factor de evaluación, por tanto, puede venir definido por uno o varios indicadores.
- La escala numérica obtenida tras la aplicación de cada indicador no es la misma en todos los casos, por lo que se hace necesaria una segunda etapa que transforme los valores ya obtenidos a una escala métrica común en este caso entre 0 y 1.

Método de Pattern

Ya obtenidos todos los valores requeridos para la estimación y efectuar la toma de decisiones, se debe utilizar un método, el cual nos facilitará para la selección de una alternativa de las que se están valorando.

Para este estudio se optó por el método de Pattern, ya que se adecua acorde a los múltiples valores heterogéneos obtenidos reuniéndolos y convirtiéndolos homogéneamente, logrando así una debida comparación entre ellos y una correcta medición.

Habiendo homogeneizado los valores se les determina un peso, según se considere la importancia dentro del proyecto para su evaluación.

Se ha decidido este método, ya que se utiliza con gran frecuencia debido a su fiabilidad y claridad.

Para su utilización se exigen dos características principales:

- Los pesos de la ponderación deben establecerse como porcentaje o proporción de un peso global, bien sea 1, 10, 100, etc.
- La valoración de cada solución en función de cada criterio exige una escala cardinal homogénea.

Con todas las valoraciones y los criterios normalizados se realiza la multiplicación de las puntuaciones asignadas a cada alternativa para cada criterio por el peso de los criterios, sumando después y dividiendo por la suma total de los pesos (100). La alternativa más válida será la que obtenga mayor puntuación.

Determinación de la escala numérica

Para la transformación de los indicadores seleccionados para cada variable se optó por una función lineal creciente (cuando el máximo valor del indicador es el más favorable) y por una función lineal decreciente (cuando el mínimo valor del indicador es el más favorable).

Función lineal creciente:

$$V_j(a) = \frac{I_j(a) - m_j}{M_j - m_j}$$

Función lineal decreciente:

$$V_j(a) = \frac{M_j - I_j(a)}{M_j - m_j}$$

Donde:

$V_j(a)$ = valor numérico de la variante (a) respecto del indicador j

$I_j(a)$ = valor del indicador j respecto de la variante (a)

M_j = Máximo valor considerado para el indicador j

m_j = Mínimo valor considerado para el indicador j

Determinación de los pesos

En el método de Pattern es importante fijar los pesos para cada criterio en consideración. En esta parte podría mencionarse que se toma un criterio subjetivo en el análisis de la evaluación, ya que se le da un peso determinado a cada criterio, según la importancia que éste conlleve al proyecto.

Se propuso dar mayor peso a los objetivos económicos y de demanda, debido a que se busca que el proyecto sea rentable, y que se justifique por la cantidad de usuarios que necesiten este medio de transporte en el corredor que se implementará, de igual manera se le dio un peso importante al aspecto medio ambiental debido al favorecimiento de un transporte ecológico, con la mínima afectación al ambiente.

La distribución de los pesos realizada es la que se muestra a continuación:

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PESOS	TOTAL
AMBIENTALES	15	100
FINANCIEROS	25	
DEMANDA	25	
CONSTRUCTIVOS	15	
EXPLOTACIÓN	10	
CONSERVACIÓN	10	

Tabla III-2 Porcentaje de Evaluación de las Alternativas por cada rubro

Evaluación de Alternativas

En este apartado se prosigue a realizar una evaluación multicriterio a través de información necesaria otorgada por las distintas áreas en estudio, así tomando un criterio objetivo para la elección de la alternativa más eficiente, factible y que cumple con los objetivos deseados.

Criterios Ambientales

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron los riesgos ambientales y el impacto ambiental.

A su vez el apartado de riesgos ambientales tiene subdivisiones las cuales fueron:

1. Riesgos Hidrometeorológicos:
 - Inundaciones
 - Intemperismos severos
2. Riesgos Geológicos:
 - Sismo
 - Vulcanismo

Por otro lado el apartado de impactos ambientales se compuso por:

1. Viabilidad ambiental
 - Manifestación de Impacto ambiental
 - Estudio técnico justificativo para el cambio de uso en terrenos forestales
 - Restauración forestal
2. Vegetación
 - Vegetación afectada
 - Restitución de vegetación requerida
3. Áreas naturales protegidas
 - Federales
 - Estatales
 - Municipales
4. Impactos regionales
 - Ecosistemas prioritarios
 - Regiones hidrológicas prioritarias
 - Áreas de importancia para la conservación de aves
 - Ruido ambiental
5. Huella de carbono
 - Distancia del recorrido
 - Altura a remontar
 - Velocidad del tren

Se tomó una escala numérica del 1 al 10 para la obtención de los indicadores. Se optó por una función lineal creciente indicando el valor mayor, el más favorable y el menor, el menos favorable. Tras las consideraciones se obtuvieron los resultados en las diferentes matrices siguientes:

Riesgos Ambientales:

Riesgo Hidrometeorológico	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Inundaciones	80%	8	6	6
Intemperismos Severos	20%	8	5	8
Total	100%			

Tabla III-3 Riesgo Hidrometeorológico

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
6.40	4.80	4.80
1.60	1.00	1.60
8.00	5.80	6.40

Riesgo Geológico	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Sismo	75%	8	8	8
Vulcanismo	25%	8	6.5	6.5
Total	100%			

Tabla III-4 Riesgo Geológico

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
6.00	6.00	6.00
2.00	1.63	1.63
8.00	7.63	7.63

Riesgo Ambiental	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Riesgo Hidrometeorológico	75%	8.00	5.80	6.40
Riesgo Geológico	25%	8.00	7.63	7.63
Total	100%			

Tabla III-5 Riesgo Ambiental

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
6.00	4.35	4.80
2.00	1.91	1.91
8.00	6.26	6.71

Impacto Ambiental:

Viabilidad Ambiental	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Manifestación de Impacto Ambiental	55%	10	9	9
Estudio Técnico Justificativo	35%	10	9	9
Restauración	10%	9	9	9
Total	100%			

Tabla III-6 Viabilidad Ambiental

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
5.5	4.95	4.95
3.5	3.15	3.15
0.9	0.9	0.9
9.90	9.00	9.00

Vegetación	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Vegetación Impactada	65%	8	4	7
Restitución de Vegetación Impactada	35%	8	4	7
Total	100%			

Tabla III-7 Vegetación

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
5.2	2.6	4.5
2.8	1.4	2.45
8.00	4.00	6.95

Áreas Naturales Protegidas (ANP)	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Federal	50%	9	10	10
Estatal	30%	10	10	10
Municipal	20%	10	10	10
Total	100%			

Tabla III-8 Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
4.5	5	5
3	3	3
2	2	2
9.50	10.00	10.00

Impacto Regional	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Ecosistemas Prioritarios	40%	6	4	8
Regiones Hidrológicas Prioritarias	35%	6	4	8
Área de Importancia de Conservación de Aves	15%	5	1	8
Ruido Ambiental	10%	7	8	7
Total	100%			

Tabla III-9 Impacto Regional

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
2.4	1.6	3.2
2.1	1.4	2.8
0.75	0.15	1.2
0.7	0.8	0.7
5.95	3.95	7.90

Huella de Carbono	Valor Numérico			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur
Distancia	60.00%	5	8	10
Altitud a Remontar	25.00%	10	8	8
Velocidad	15.00%	8	8	8
Total	100.00%			

Tabla III-10 Huella de Carbono

Valor Ponderado		
Norte	Centro	Sur
3	4.8	6
2.5	2	2
1.2	1.2	1.2
6.70	8.00	9.20

Impacto Ambiental	Valor Numérico			Valor Ponderado			
	Peso Ponderado	Norte	Centro	Sur	Norte	Centro	Sur
Viabilidad	25%	9.90	9.00	9.00	2.48	2.25	2.25
Vegetación	10%	8.00	4.00	6.95	0.80	0.40	0.70
Áreas Naturales Protegidas	35%	9.50	10.00	10.00	3.33	3.50	3.50
Impacto Regional	25%	5.95	3.95	7.90	1.49	0.99	1.98
Huella de Carbono	5%	6.70	8.00	9.20	0.34	0.40	0.46
Total	100%				8.42	7.54	8.88

Tabla III-11 Impacto Ambiental

Variable	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
				Media	Máximo	Mínimo
Riesgo ambiental	4.02	3.75	4.80	4.19	6.29	2.10

Variable	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
				Media	Máximo	Mínimo
Impacto ambiental	3.55	3.02	3.37	3.31	4.97	1.66

Tabla III-12 Tabla de Ponderación Ambiental

INDICADORES	Unidad	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
Riesgo ambiental	-	Lineal Creciente	60.00	38.39	35.81	45.80
Impacto ambiental	-	Lineal Creciente	40.00	28.60	24.28	27.13
TOTAL CRITERIOS AMBIENTALES			100.00	66.99	60.09	72.92

Tabla III-13 Criterio Ambiental

La alternativa centro es la que perjudica más en este rubro debido a que pasa por varias áreas naturales protegidas, logrando un impacto mayor al ambiente.

En cuanto la alternativa norte no cruza por áreas naturales protegidas y es planicie por donde cruza, minimizando la deforestación de la zona.

En cuanto a la alternativa sur, a pesar de que cruce por áreas protegidas, para minimizar el impacto se consideraron la construcción de túneles, cruzando por debajo de éstas áreas, evitando la invasión y destrucción al ambiente y zonas forestales.

Criterio Financiero

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron:

1. TIR en términos reales.
2. Valor Presente Neto (VPN).

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
					Media	Máximo	Mínimo
TIR en términos reales	%	0.10	0.05	0.00	0.05	0.08	0.03

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
					Media	Máximo	Mínimo
Valor Presente	\$	48,504,906	47,888,177	43,628,255	46,673,779.33	70,010,669.00	23,336,889.67

Tabla III-14 Tabla de Ponderación Financiero

VARIABLES FINANCIERAS	INDICADORES	Unidad	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
TIR	TIR en términos reales	%	Lineal Creciente	50.00	65.25	34.75	
VPN	Valor Presente	\$	Lineal Creciente	50.00	34.64	34.20	31.16
TOTAL CRITERIOS FINANCIEROS				100.00	99.89	68.95	31.16

Tabla III-15 Criterio Financiero

Para el criterio financiero se tomaron como hipótesis:

- Hipótesis de partida:
 - 30 años de concesión (3 de construcción).
 - Demanda proyectada a partir del año 4.
 - Tasa de descuento calculada como ponderación de crédito y capital.
 - Infraestructura financiada con recursos públicos.
 - Superestructura + operación y mantenimiento con crédito y capital.
- Demanda + tarifa (ingresos).

- Monto de Inversión.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Usos y fuentes de financiamiento.

Tomaron estos valores para conocer qué tan factible y rentable sería el proyecto, como se puede percatar, la alternativa sur tiene casi el porcentaje de 100 puntos, esto es debido a que puede lograr una rentabilidad satisfactoria, todo esto debido a la captura de demanda potencial a lo largo de su ruta.

Criterio de Demanda

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron:

1. Número de viajeros
2. Número de viajeros urbanos
3. Ahorro de tiempo
4. Población Servida
5. Empleo Accesible

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	30%	30%
					Media	Máximo	Mínimo
Número de Viajeros	Viaj.	11,535.00	10,131.00	6,767.00	9,477.67	12,320.97	6,634.37

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
					Media	Máximo	Mínimo
Número de Viajeros urbanos	Viaj.	58,831.00	0.00	42,867.00	33,899.33	50,849.00	16,949.67

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	20%	20%
					Media	Máximo	Mínimo
Ahorro de Tiempo	min.	65.00	55.00	35.00	51.67	62.00	41.33

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	20%	20%
		Media	Máximo	Mínimo			
Población Servida	Hab.	16.80	15.70	17.00	16.50	19.80	13.20

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	20%	20%
		Media	Máximo	Mínimo			
Empleo Accesible	Hab.	7.00	6.60	7.10	6.90	8.28	5.52

Tabla III-16 Tabla de Ponderación Demanda

VARIABLES DEMANDA	INDICADORES	Un.	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
Número de Viajeros	Viajeros interurbanos	Viaj.	Lineal Creciente	40.00	37.45	32.89	21.97
Número de Viajeros urbanos	Viajeros suburbanos	Viaj.	Lineal Creciente	20.00	23.14	0.00	16.86
Ahorro de Tiempo	Ahorro de tiempo	min.	Lineal Creciente	25.00	26.21	22.18	14.11
Población Servida	Población servida	Hab.	Lineal Creciente	7.50	6.36	5.95	6.44
Empleo Accesible	Población ocupada potencial atendida	Hab.	Lineal Creciente	7.50	6.34	5.98	6.43
TOTAL CRITERIOS DEMANDA				100.00	99.50	66.99	65.81

Tabla III-17 Criterio de Demanda

En la alternativa centro debido a que no se encuentra cerca de asentamientos urbanos entre las dos zonas metropolitanas, no existe una cuantificación para ello.

En cuanto a la alternativa sur, dada su cercanía con Chalco, logra una mayor captación de demanda debido a la población que requiere el traslado hacia trabajos en las zonas centrales del D. F.

A pesar de que la alternativa norte tenga a Ecatepec, esta zona cuenta con el sistema de transporte colectivo metro, es por ello que la captación de la demanda no sería tan satisfactoria debido a la demanda de los precios.

Criterio Constructivo

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron:

1. Índices geotécnicos
2. Estructuras
3. Plazo de construcción

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	15%	15%
		Media	Máximo	Mínimo			
Valoración geotécnica		1.99	1.94	1.71	1.880	2.16	1.60

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	15%	0%
		Media	Máximo	Mínimo			
Viaductos con longitud superior a 500 m o H pila > 40 m	m	0.00	5,310.00	17,700.00	144,532	21,679.75	0

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	50%	50%
		Media	Máximo	Mínimo			
Relación Viaductos longitud superior a 500 m y long. túneles		39,902.20	33,503.10	17,050.00	30,152	45,227.65	15,076

Tabla III-18 Tabla de Ponderación Constructivo

VARIABLES CONSTRUCTIVAS	INDICADORES	Un.	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
Índices Geotécnicos	Valoración geotécnica		Lineal Decreciente	20.00	6.10	7.87	16.03
Estructuras	Viaductos con longitud superior a 500 m o H pila > 40 m	m	Lineal Decreciente	40.00	40.00	30.20	7.34
Plazo de construcción	Relación Viaductos longitud superior a 500 m y long. túneles		Lineal Decreciente	40.00	7.06	15.55	37.38
TOTAL CRITERIOS CONSTRUCTIVOS				100.00	53.16	53.63	60.75

Tabla III-19 Criterio Constructivo

La tabla IV-19 muestra que la alternativa sur cuenta con una gran cantidad de estructuras, esto se debe a las zonas montañosas por las que se encuentra respetando la pendiente máxima permitida. Otro factor considerado es la gran cantidad de túneles que se deberían construir para mitigar las afectaciones en la gran cantidad de reservas naturales que se encuentran a lo largo del trazo.

Con respecto a la alternativa norte, ésta cuenta con poca cantidad de estructuras gracias a su trazo, que en su mayoría se trata de planicies. Su periodo de construcción se espera que sea menor con respecto a las otras dos alternativas debido a que ya existe infraestructura en la zona de Tlaxcala.

Criterio de Explotación

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron:

1. Tiempo de recorrido
2. Margen de regularidad
3. Consumo de Energía

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	30%	30%
					Media	Máximo	Mínimo
Tiempo Recorrido México D. F.- Puebla SIN paradas	min	0:38:53	0:42:54	1:00:36	0:47:28	1:01:42	0:33:13
Tiempo Recorrido México D. F.- Puebla CON paradas	min	0:42:23	0:44:34	1:03:35	0:50:11	1:05:14	0:35:07

Variable		ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi	10%	10%
					Media	Máximo	Mínimo
Margen promedio (ida/vuelta) SIN parada	seg/km	3.08	3.31	2.86	3.08	3.39	2.78
Margen promedio (ida/vuelta) CON parada	seg/km	2.95	3.35	2.96	3.08	3.39	2.78

Variable	
Consumo promedio (ida/vuelta) SIN parada	kW
Consumo promedio (ida/vuelta) CON parada	kW

ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
1,288.89	1,412.74	1,933.22
1,385.53	1,450.02	2,009.29

Factor Fi	30%	30%
Media	Máximo	Mínimo
1,544.95	2,008.43	1,081.46
1,614.94	2,099.43	1,130.46

VARIABLES FUNCIONALES	INDICADORES	Un.	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
Tiempo Recorrido	Tiempo Recorrido México D. F.- Puebla SIN paradas	min	Lineal Decreciente	22.50	18.02	14.86	0.87
	Tiempo Recorrido México D. F.- Puebla CON paradas	min	Lineal Decreciente	22.50	17.07	15.44	1.24
Margen de Regularidad	Margen promedio (ida/vuelta) SIN parada	seg/km	Lineal Creciente	5.00	4.53	4.88	4.22
	Margen promedio (ida/vuelta) CON parada	seg/km	Lineal Creciente	5.00	4.35	4.93	4.36
Consumo de Energía	Consumo promedio (ida/vuelta) SIN parada	kW	Lineal Decreciente	22.50	17.47	14.46	1.83
	Consumo promedio (ida/vuelta) CON parada	kW	Lineal Decreciente	22.50	16.58	15.08	2.09
TOTAL CRITERIOS EXPLOTACIÓN				100.00	78.01	69.66	14.60

Tabla III-20 Tabla de Ponderación Explotación

Tabla III-21 Criterios de Explotación

La alternativa norte cuenta con el tiempo de recorrido más amplio, debido a la distancia que recorre, es por ello que el consumo de energía es mucho mayor, y no se encuentra en una condición favorable.

Por otro lado la alternativa sur es de menor recorrido, menor tiempo y con un consumo menor de energía, en consecuencia tiene la puntuación más alta.

Criterios de Conservación

Los criterios principales que se tomaron a valoración en este apartado fueron:

1. Trazado en Planta
2. Trazado en Alzado
3. Hidrología y Drenaje

Variable	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE	Factor Fi		
				Media	Máximo	Mínimo
Suma ponderada Radios/Longitud Trazado	1.76	1.77	1.91		6.00	1.00
Suma ponderada Pendiente/Longitud Trazado	12.18	12.83	7.47		25.00	2.50
Caudal a Desaguar + Cauces Interceptados	73.86	139.77	354.41		568	0

Tabla III-22 Tabla de Ponderación Conservación

VARIABLES CONSERVACIÓN	INDICADORES	Un.	Función	Valor Indicador	ALT. SUR	ALT. CENTRO	ALT. NORTE
Trazado en Planta	Suma ponderada Radios/Longitud Trazado		Lineal Decreciente	40.00	33.93	33.85	32.72
Trazado en Alzado	Suma ponderada Pendiente/Longitud Trazado		Lineal Decreciente	40.00	22.79	21.64	31.16
Hidrología y Drenaje	Caudal a Desaguar + Cauces Interceptados		Lineal Decreciente	20.00	17.40	15.08	7.52
TOTAL CRITERIOS CONSERVACIÓN				100.00	74.12	70.58	71.40

Tabla III-23 Criterio de Conservación

Un factor importante al momento de la planeación de un proyecto es la conservación del mismo, la realización de obras de drenaje, conservación de la vía, infraestructura y unidades, son puntos que no se pueden dejar de

considerar al momento de la evaluación porque estos repercuten en el costo de la operación y el mantenimiento de la obra.

La alternativa norte debido a su longitud cuenta con un alto nivel de conservación en el trazado. Las cuencas que se encuentran en la parte del norte del Valle de México, hacen que este tenga bastante estructura de drenaje encareciendo su mantenimiento.

La alternativa sur debido a su corto trazado, no implica un gran mantenimiento de las líneas Férreas.

Justificación de Alternativa Seleccionada

Se mostraron los resultados de cada criterio y se prosigue en esta sección a ponderar según el peso antes determinado para la evaluación de la alternativa.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PESOS	VALORACIÓN FINAL		
		ALT SUR	ALT CENTRO	ALT NORTE
CRITERIO AMBIENTAL	15	10.05	9.01	10.94
CRITERIO FINANCIERO	25	24.97	17.24	7.79
CRITERIO DEMANDA	25	24.88	16.75	16.45
CRITERIO CONSTRUCTIVO	15	7.97	8.04	9.11
CRITERIO DE EXPLOTACIÓN	10	7.80	6.97	1.46
CRITERIO DE CONSERVACIÓN	10	7.41	7.06	7.14
	TOTAL	83.08	65.07	52.89

Tabla III-24 Tabla total de evaluación de alternativas

Como se puede contemplar en la tabla de resultados (Tabla IV-24), la alternativa sur cuenta con un total de 83.08 puntos, siendo la alternativa por la que se opta elegir, según los criterios y valores dados. Hay una gran diferencia entre las demás alternativas logrando que sea una decisión bastante adecuada para lo que se espera del proyecto.

Por otra parte la alternativa llega a ser la opción más directa para comunicar estos puntos económicos importantes, junto con otros factores, logra ser la de mayor interés y viabilidad para proseguir con un estudio más detallado sobre esta alternativa, pasando así a la elaboración del proyecto a detalle.

IV. Conclusiones

Tras el análisis Multicriterio se pudo llegar a una solución objetiva según lo que se está buscando y esperando de la evaluación de un proyecto, llegar a la decisión óptima y eficiente con justificaciones fundamentadas.

El proyecto “Estudios de Preinversión para la realización del proyecto Tren Interurbano de pasajeros México – Puebla”, llegó a la conclusión que el proyecto resultó no ser rentable, debido a la alta inversión que requiere un proyecto de ésta magnitud, es por ello que debe darse un enfoque social y proponer ideas tales como: la tasa del impuesto al valor agregado para el transporte público ferroviario de pasajeros sea tasa cero, logrando así que el ingreso se destine 100% para el repago de la inversión, operación y mantenimiento del proyecto.

Proyectos de tren de pasajeros que se estudiaron, obtuvieron una mayor rentabilidad y fueron considerados de mayor prioridad por los puntos económicos que conectarán (Tren de pasajeros: México – Toluca, México – Querétaro, y el Peninsular de Yucatán) se llevarán a cabo en el sexenio 2012 – 2018.

Un apoyo que se debe obtener es mediante las concesiones que se tienen en la actualidad a las empresas privadas que manejan este transporte, pero que únicamente se están enfocando al transporte de carga, que sólo están aprovechando la infraestructura ya realizada obteniendo solamente ingresos y no un aporte a la red como se acordó mediante los contratos. Crear sanciones por el incumplimiento de los acuerdos e incluso el retiro de la concesión para entregarlas a empresas capaces de impulsar y apoyar este transporte que tanto ha servido de progreso en México.

Otro punto importante para el diseño de una red ferroviaria intermodal a futuro, es la creación de una gran central en la cual se interconecten todos los proyectos de ferrocarril de pasajeros. Es importante realizar un Plan de Desarrollo Ferroviario para tener un mejor manejo y control de este tipo de proyectos para lograr una línea de trabajo la cual sea eficaz y efectiva a la hora de la construcción.

Es admirable que después del abandono de un medio de transporte que realizó tantos logros en nuestro país sea retomado para dar paso al progreso que se está alcanzando en estos últimos años, que se esté optando en abrir nuevamente una opción más al transporte terrestre y la conexión entre ciudades por un medio de transporte veloz y con menor impacto al ambiente que una carretera, que comparta con el estilo de vida que existe en nuestros días y del mismo modo recuperar un paisaje único a través del cual viajará éste crucero, compartiendo así, lo que alguna vez fuepreciado por sus antiguos viajeros.

Bibliografía

- <http://www.estaciontorreon.galeon.com/productos627821.html>
- Planeación estratégica de la infraestructura en México 2010-2030 1ra ed. 2009
- <http://www.mexicodesconocido.com.mx/ferrocarril-ruta-vital.html>
- <http://www.oem.com.mx/elsoldesinaloa/notas/n1350430.htm>
- <http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/222/Tiempo/2010/EL%20FUNCIONAMIENTO%20DELOS%20FERROCARRILES%20EN%20MEXICO.pdf>
- <http://www.industriaferroviariaonline.com/2010/11/historia-del-ferrocarril-en-mexico/>
- http://www.arts-history.mx/sitios/index.php?id_sitio=735655&id_seccion=3028135&id_subeccion=19032&id_documento=2759
- <http://mx.noticias.yahoo.com/blogs/proyecto-sin-fin/regresa-a-m%C3%A9xico-el-tren-de-pasajeros-225758500.html>
- <http://www.vanguardia.com.mx/tras135anosmexicosevuelveasubirasutren-1490031.html>
- <http://www.reporteindigo.com/reporte/mexico/mexico-descarrilado>
- <http://www.fcbc.com.mx/Antecedentes.htm>
- Trabajo entregado a la SCT “Elaboración de Estudios de Preinversión para la realización del proyecto Tren Inter-urbano de Pasajeros México-Puebla”, Evaluación de Alternativas.