ANEXO Nº 2.

ESTUDIO TÉCNICO

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO 1
2 METODOLOGÍA 2
3 CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE DISEÑO 4
3.1 Histórico de las líneas ferroviarias existentes en el corredor México-Querétaro 4
3.2 Características principales de las líneas férreas Juárez y Morelos 15
3.3 Accesos ferroviarios a la ciudad de México D.F. 16
3.4 Operación actual de transporte ferroviario de carga en el corredor de entrada y salida a México D.F. 19
3.5 Conclusiones del análisis del acceso desde Huehuetoca a Buenavista 21
3.6 Planteamiento de la línea de altas prestaciones entre México D.F. y Querétaro 22
3.7 Condicionantes ambientales 23
3.7.1 Áreas de Conservación y Regiones de Importancia Ecológica 23
3.7.2 Vinculación con Zonas Protegidas Ambientalmente 23
3.8 Condicionantes hidrológicos 24
3.9 Condicionantes geológicos 25
3.10 Criterios funcionales de diseño 26
3.11 Criterios y parámetros para la definición de alternativas 27
4 DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO 29
4.1 Descripción general 29
4.1.1 Tramo urbano: entrada/salida en México 30
4.1.2 Tramo interurbano 31
4.1.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro 32
4.2 Cartografía 33
4.3 Inventario de la vía actual 34
4.4 Geología y geotecnia 36
4.4.1 Introducción 36
4.4.2 Geología 36
4.4.2.1 Geología general 36
4.4.2.2 Tectónica 37
4.4.2.3 Geomorgología 37
4.4.2.4 Unidades geológicas diferenciadas 38
4.4.2.5 Características hidrogeológicas 43
4.4.2.6 Riesgos geológicos 45
4.4.3 Estudio de Materiales 46
4.4.3.1 Introducción 46
4.4.3.2 Necesidades de materiales 46
4.4.3.3 Prescripciones exigidas a los materiales 46
4.4.3.4 Aprovechamiento de los materiales procedentes de la traza 47
4.4.3.5 Canteras 47
4.4.4 Geotecnia 48
4.4.4.1 Introducción 48
4.4.4.2 Campaña de investigación geotécnica 48

4.4.4.3 Unidades geológico-geotécnicas diferenciadas 49
4.4.4.4 Análisis de los resultados obtenidos.....50
4.4.4.5 Geotecnia de las obras de tierra 51
4.4.4.6 Geotecnia para la cimentación de estructuras 54
4.5 Trazado 54
4.5.1 Criterios generales 54
4.5.2 Configuración de la solución 55
4.5.3 Normativa seguida 56
4.5.4 Implantación territorial 57
4.5.4.1 Tramo urbano: entrada en México (P.K. 0+000 a P.K. 47+000).....58
4.5.4.2 Tramo interurbano (P.K. 47+000 a P.K. 193+000) 61
4.5.4.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro (P.K. 93+000 a P.K. 209+759).....62
4.6 Movimiento de tierras 64
4.7 Hidrología y drenaje 65
4.7.1 Hidrología..... 65
4.7.1.1 Introducción.....65
4.7.1.2 Normativa de Referencia.....66
4.7.1.3 Periodos de retorno 67
4.7.1.4 Metodología de cálculo – Cuencas muy pequeñas – Método Horton 67
4.7.1.5 Metodología de cálculo – Cuencas pequeñas – Método Racional 69
4.7.1.6 Metodología de cálculo – Cuencas grandes – Método Chow.....69
4.7.1.7 Metodología de cálculo – Cuencas muy grandes – Estudio foronómico 70
4.7.2 Drenaje 70
4.7.2.1 Introducción.....70
4.7.2.2 Drenaje Transversal 71
4.7.2.3 Drenaje Longitudinal.....80
4.7.3 Predimensionamiento 83
4.8 Estructuras 85
4.8.1 Criterios generales de diseño 85
4.8.2 Viaductos y pérgolas..... 86
4.8.2.1 Condicionantes.....86
4.8.2.2 Estudio de alternativas 87
4.8.2.3 Descripción de la solución adoptada 88
4.8.3 Pasos superiores 92
4.8.3.1 Condicionantes.....92
4.8.3.2 Estudio de alternativas 92
4.8.3.3 Descripción de la solución adoptada 92
4.8.4 Pasos inferiores 93
4.8.5 Muros 93
4.8.6 Falsos túneles..... 94
4.8.6.1 Condicionantes.....94
4.8.6.2 Estudio de alternativas 94
4.8.6.3 Descripción de la solución adoptada 94
4.8.7 Resumen de estructuras 95
4.8.7.1 Viaductos y pérgolas 95

4.8.7.2 Pasos superiores 95
4.8.7.3 Pasos inferiores 97
4.8.7.4 Muros 98
4.8.7.5 Falsos túneles 99
4.8.8 Valoración económica 100
4.8.8.1 Viaductos 100
4.8.8.2 Pasos superiores 101
4.8.8.3 Pasos inferiores 102
4.8.8.4 Muros 103
4.8.8.5 Falsos túneles 104
4.9 Túneles y obras subterráneas 105
4.9.1 Introducción 105
4.9.2 Características de los túneles 105
4.9.3 Geotecnia de túneles 106
4.9.3.1 Geología del trazado de los túneles 106
4.9.3.2 Caracterización geotécnica de las unidades diferenciadas 107
4.9.3.3 Reutilización de los materiales excavados 107
4.9.4 Definición de la sección libre 108
4.9.5 Método constructivo 109
4.9.6 Sostenimiento 109
4.9.7 Cuadro resumen de sostenimientos por túnel proyectado 113
4.9.8 Revestimiento 114
4.9.9 Impermeabilización y drenaje 114
4.9.10 Seguimiento y auscultación de los túneles en mina 115
4.10 Plataforma y superestructura 115
4.10.1 Plataforma 115
4.10.2 Capas de asiento 116
4.10.3 Superestructura 116
4.10.3.1 Balasto 116
4.10.3.2 Durmientes 116
4.10.3.3 Carril 117
4.10.3.4 Aparatos de vía 117
4.10.4 Secciones tipo 118
4.11 Estaciones 118
4.11.1 Distribución de usos y funciones 119
4.11.1.1 El edificio de Estación 120
4.11.1.2 Urbanización y accesos 121
4.12 Instalaciones de seguridad y comunicaciones 124
4.12.1 Enclavamientos electrónicos 126
4.12.2 Bloqueos 126
4.12.3 Sistemas de protección del tren 126
4.12.4 Sistemas de control de tráfico centralizado (CTC) 127
4.12.5 Centro de regulación y control (CRC) 128
4.12.6 Sistemas auxiliares de detección. 128
4.12.7 Instalaciones de Comunicaciones Fijas 129

4.12.7.1 Nivel Físico. 130
4.12.7.2 Nivel de Transmisión. 130
4.12.7.3 Nivel de Conmutación. 130
4.12.7.4 Nivel de Gestión de Red. 131
4.12.8 Instalaciones de Comunicaciones Móviles 131
4.13 Electrificación 133
4.13.1 Sistema de Electrificación y ubicación de las instalaciones 133
4.13.2 Líneas de Suministro Eléctrico a las Subestaciones de Tracción. 135
4.13.3 Línea Aérea de Contacto 136
4.14 Reposición de servidumbres 137
4.14.1 Reposición de viales y caminos 137
4.14.2 Reposición de otras servidumbres. 140
4.15 Reposición de servicios afectados 141
4.16 Reposiciones ferroviarias y situaciones provisionales 144
4.16.1 Introducción 144
4.16.2 Condicionantes 145
4.16.3 Soluciones adoptadas 146
4.16.3.1 Tramo urbano: entrada en México 146
4.16.3.2 Tramo interurbano 148
4.16.3.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro 148
4.16.4 Situaciones provisionales 149
4.16.4.1 Tramo urbano: entrada en México 149
4.16.4.2 Tramo interurbano 150
4.16.4.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro 150
4.17 Usos de suelo y derechos de vía 150
4.17.1 Usos de suelo 150
4.17.2 Definición de la superficie de ocupación del proyecto 151
4.17.3 Trabajos de campo realizados 153
4.17.4 Resultados obtenidos del censo 154
4.17.4.1 Identificación de predios y superficies requeridas para el derecho de vía ...154
4.17.4.2 Valoración 156
4.18 Obras complementarias 158
4.19 Plan de Obra. Tramificación de los proyectos de construcción 160
4.19.1 Plan de Obra 160
4.19.2 Tramificación de los proyectos de construcción 161
4.20 Talleres y patios 164
4.20.1 Condicionantes generales 164
4.20.1.1 Datos de partida 165
4.20.1.2 Condicionantes territoriales. 165
4.20.1.3 Condicionantes funcionales. 166
4.20.1.4 Condicionantes hidrológicos y de drenaje 168
4.20.1.5 Condicionantes ambientales 168
4.20.1.6 Condicionantes geológicos. 168
4.20.1.7 Condicionantes de las servidumbres 168
4.20.2 Criterios Generales 169

4.20.3 Condicionantes Especiales 170
4.20.4 Solución propuesta y dimensionamiento de las instalaciones 172
4.20.4.1 Aspectos constructivos y arquitectónicos 176
4.20.4.2 Equipamiento.....177
4.20.5 Funcionalidad Ferroviaria..... 177
5 VALORACIÓN DE LAS OBRAS..... 178

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO

En los últimos años, en México y en otros países se ha incrementado el interés por el servicio ferroviario de pasajeros en virtud de las ventajas que ofrece frente a otros modos de transporte, en términos de: menores costos de transporte por pasajero; sus mayores niveles de seguridad, confiabilidad y comodidad para el usuario; presentar una elevada rentabilidad socioeconómica; ser más amigable con el medio ambiente; y su contribución al reordenamiento de los centros urbanos.

Así, la disponibilidad de derechos de vía, particularmente los ferroviarios en algunas regiones del país, representa una oportunidad única de establecer servicios ferroviarios de pasajeros modernos para el México del siglo XXI.

Las condiciones actuales de desarrollo brindan la oportunidad de establecer un ferrocarril que utilice parte de la infraestructura existente y conecte los principales centros urbanos. De esa forma, integrará un eje promotor y estructurador del crecimiento económico.

En este contexto, el Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Enrique Peña Nieto al inicio de su gobierno, en su discurso de Toma de Posesión, el 1 de diciembre de 2012, dio a conocer trece decisiones presidenciales, incluyendo directivas de políticas públicas en materia de infraestructura. Al respecto, cabe destacar la decisión, donde estableció que, para cerrar la brecha entre las distintas regiones del país e impulsar el crecimiento económico y la competitividad, se va a dar un impulso decisivo a la infraestructura, incrementando la red ferroviaria del país, que contemplará obras para conectar las principales ciudades de México entre sí.

A su vez, dentro de la decisión presidencial, el Presidente de la República instruyó al Secretario de Comunicaciones y Transportes, impulsar el desarrollo de ferrocarriles de pasajeros, entre los que destaca el Proyecto del Tren de Altas Prestaciones México DF - Querétaro.

El objeto del presente trabajo es, por tanto, la realización del Anteproyecto del tren de pasajeros MÉXICO DF – QUERÉTARO. El desarrollo de esta línea ferroviaria de altas prestaciones se inscribe en las prioridades de infraestructura de la presente Administración Federal que al constituir un Compromiso Presidencial, plantea bases de congruencia para

contribuir al logro de diversos objetivos fundamentales del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018; el cual en su Sección VI.4 México Próspero, en el objetivo 4.9 establece: “Contar con una infraestructura que se refleje en menores costos de transporte”; de ahí en la estrategia 4.9.1 señala: “modernizar, ampliar y conservar la infraestructura de los diferentes modos de transporte, así como mejorar su conectividad bajo criterios estratégicos y de eficiencia”.

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

1. Desarrollar un servicio ferroviario de pasajeros competitivo, seguro, cómodo y confiable en la zona Central de México que contribuya a la creación de una plataforma para el desarrollo económico sustentable.

2. Crear un eje estructurador del transporte de pasajeros que dé servicio a las principales zonas industriales del país, disminuya los costos de transporte, aumente la productividad, para incrementar la competitividad de las actividades de la región.

3. Impulsar el servicio ferroviario de pasajeros, ante la creciente necesidad de buscar soluciones que contribuyan a contrarrestar el calentamiento global y la contaminación ambiental, toda vez que es un modo de transporte sustentable y amigable con el medio ambiente.

4. Utilizar y modernizar la Infraestructura existente y construir nuevas vías que permitan crear un potente Sistema Ferroviario Mexicano de pasajeros.

2 METODOLOGÍA

Cabe mencionar que la alternativa de trazado descrita en este documento ha venido seleccionada tras un exhaustivo *“Estudio de factibilidad técnica y redacción del anteproyecto del tren México-Querétaro. Análisis de alternativas utilizando las líneas Juárez y Morelos”*, efectuado en una primera fase de los trabajos.

Para llegar a la solución desarrolla en el Anteproyecto, la metodología aplicada ha partido de la premisa de maximizar el aprovechamiento del derecho de vía de la línea ferroviaria existente Juárez-Morelos, evitando de este modo las afecciones a terceros que conllevaría la nueva infraestructura.

Tomando este criterio como punto de partida, el planteamiento metodológico siguió las siguientes pautas: primero, se analizó el trazado de la línea férrea desde un punto de vista meramente geométrico, radios en planta y pendientes en alzado, con este análisis se estableció que tramos de la línea actual disponen de una geometría aceptable para los estándares de calidad que requiere una línea de alta velocidad, posteriormente, y ya sabiendo que tramos son aprovechables y cuáles no, se generaron actuaciones, alternativas al corredor existente, que mejoraron en gran medida las prestaciones ferroviarias actuales dotándolas de carácter de línea de alta velocidad.

Seguidamente, y por tramo independientes se realizó un análisis multicriterio entre las actuaciones generadas que permitió obtener la mejor solución a desarrollar en el Anteproyecto.

Para la elaboración del Anteproyecto se ha seguido la metodología que se resume a continuación y que se pormenoriza en posteriores epígrafes de la presente Memoria y en los Anejos correspondientes:

a) Caracterización de la infraestructura y equipamiento ferroviarios

b) Identificación de condicionantes: medioambientales, urbanísticos, orográficos y otros elementos territoriales potencialmente afectados.

c) Elaboración de cartografía a escala 1:5.000 como soporte general del Anteproyecto, mediante la restitución de un vuelo fotogramétrico realizado “ex – profeso” para este trabajo.

d) Caracterización detallada del corredor definido por el trazado existente en sus múltiples facetas: orográfica, medioambiental, urbanísticas, hidrológica y geológica – geotécnica.

e) Realización de una campaña de reconocimientos geotécnicos (sondeos mecánicos, calicatas y ensayos de laboratorio) para obtener los datos que permiten definir la geometría de las obras de tierra (cortes y terraplenes), las condiciones del terreno para la ejecución de túneles, los sistemas constructivos más apropiados en las diferentes zonas, etc.

f) Profundización en el estudio hidrológico y de drenaje

g) Análisis pormenorizado de ocupaciones y usos del suelo

h) Ajuste del trazado diseñado para compatibilizarlo con el conocimiento más detallado del territorio que se ha obtenido, tanto en planta como en perfil longitudinal, determinando movimiento de tierras y necesidades de préstamos y vertederos.

i) Simulación informática de la marcha de los trenes que previsiblemente circularán por la línea, obteniendo los tiempos de recorrido

j) Definición de la reposición de viales y caminos existentes y de otros servicios que se pueden afectar por la construcción de la línea.

k) Diseño de las estructuras y obras de fábrica necesarias.

l) Caracterización de la superestructura ferroviaria y de los principales elementos que constituyen el equipamiento de la línea (electrificación e instalaciones de seguridad u y comunicaciones)

m) Análisis de las situaciones provisionales planteadas, con una incidencia significativa en las actuaciones propuestas al aprovechar en algunos tramos el derecho de vía existente.

n) Evaluación de las expropiaciones necesarias para la construcción de la línea, en función del área ocupada y del uso de los suelos afectados.

o) Elaboración de una base de precios, medición de dichas unidades y cálculo del correspondiente presupuesto de la solución proyectada.

3 CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE DISEÑO

3.1 Histórico de las líneas ferroviarias existentes en el corredor México-Querétaro

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

Fig. 3.1. Mapa del Sistema Ferroviario Mexicano. Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario 2011 de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DGTFM-SCT).

Dentro de la infraestructura de este corredor ferroviario, se cuenta con cuatro líneas principales denominadas “A”, Juárez, Morelos y “B”, además de las respectivas vías secundarias, auxiliares y particulares. Actualmente, estas líneas son utilizadas por cuatro empresas concesionarias de transporte de carga [Kansas City Southern de México (KCSM), Ferrocarril Mexicano (Ferromex), Ferrocarril del Sureste (Ferrosur) y Terminal Ferroviaria del Valle de México (TFVM, Ferrovalle)] y una empresa concesionaria de transporte de pasajeros (Ferrocarriles Suburbanos).

Dentro de los límites ferroviarios entre Pantaco (D.F.) y Huehuetoca (Edo. de Méx.), la TFVM (Ferrovalle) se encarga de administrar el ingreso, circulación y salida de los trenes de carga de KCSM, Ferromex y Ferrosur, provenientes de y/o con destino al norte y sureste del país. En el tramo de Buenavista (D.F.) a Cuautitlán (Edo. de Méx.), Ferrocarriles Suburbanos se encarga de la operación del tren suburbano de pasajeros (Sistema 1, primera etapa), para lo cual utiliza las vías Morelos y “B” en el tramo de Buenavista (D.F.) a Lechería (Edo. de Méx.), y las vías Juárez y Morelos en el tramo de Lechería a Cuautitlán; para el Sistema 1, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) considera como segunda etapa una

ampliación que irá de Cuautitlán a Huehuetoca.

La reseña histórica y el estado actual de las cuatro vías principales mencionadas se describen a continuación. En el presente apartado se consideró necesario mencionar las líneas “A” y “B”, ya que discurren junto a las líneas Juárez y Morelos en diferentes tramos del corredor México–Querétaro.

Vía principal “A”. En el año de 1880, al finalizar el primer periodo de gobierno de Porfirio Díaz, se le otorgó a la empresa Ferrocarril Central Mexicano (una constructora constituida en Boston, Massachussets, EUA) la concesión para construir una línea férrea de vía ancha entre la Cd. de México y Cd. Juárez (antes llamada Paso del Norte). La vía fue inaugurada en 1884 y quedaron así comunicadas las ciudades de Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato, Silao, León, Aguascalientes, Zacatecas, Torreón y Chihuahua; posteriormente se construyeron dos ramales, uno a Guanajuato y el otro a Guadalajara.

Entre las ciudades de México y Querétaro, la ruta original de la línea “A” discurría por las localidades de Tlalnepantla, Lechería, Cuautitlán, Teoloyucan, Huehuetoca, El Salto, Cruz Azul, Tula, San Antonio, Héroes Carranza, San Sebastián de Juárez, Maravillas, Cazadero, San Juan del Río, Chintepec, Ahorcado y Jesús María. La línea secundaria “AL” San Juan del Río – San Nicolás, de 11,245 km de longitud en dirección norte, conecta la línea “A” con la línea “B”.

Actualmente, dentro del corredor México–Querétaro, el estado de conservación de la línea “A” es heterogéneo. Entre las ciudades de México (D.F.) y Tula (Edo. de Hidalgo), se pueden observar durmientes de concreto presforzado y rieles en buen estado, como se muestra en la figura siguiente. Sin embargo, hay tramos de la línea que se encuentran fuera de uso y/o en mal estado; por ejemplo, entre las ciudades de Tula (Edo. de Hidalgo) y Cazadero (Edo. de Querétaro), se observan tramos con durmientes de madera agrietada y rieles sin fijación, como se muestra en la figura posterior, incluso existen tramos únicamente con el terraplén original.

Fig. 3.2. Fotografía actual de la Línea "A" (vía izquierda), vista hacia Querétaro, cerca de Huehuetoca. Del lado derecho, se aprecian las vías y los postes del sistema de electrificación de la Línea Juárez y Morelos (P.K. 51+400).

Fig. 3.3. Fotografía actual de la Línea "A" (vía izquierda), vista hacia Querétaro, entre Tula y San Antonio (Edo. de Hidalgo). Del lado derecho, se aprecian los postes del sistema de electrificación de la Línea Juárez y Morelos (P.K. 86+100).

De acuerdo con las cartas de vía de la SCT (1996), los tramos Cazadero – San Juan del Río (Km A-158+620 al Km A-182+998) y San Juan del Río – Chintepec (Km A-183+638 al Km A-203+024), actualmente funcionan como vías secundarias.

Vía principal "B". En 1880, se le otorgó a la Compañía Constructora Nacional (una empresa fundada en Denver, Colorado, EUA) la concesión para construir dos líneas férreas de vía angosta, una de México a Manzanillo y la otra de México a Nuevo Laredo. En 1883, la empresa se consolidó con la Compañía de Fierro Nacional Mexicana. La línea troncal de

México a Nuevo Laredo se puso en servicio en 1888; la ruta original fue: México, Toluca, Acámbaro, Empalme González (hoy Escobedo), San Luis Potosí, Saltillo, Monterrey y Nuevo Laredo. En 1901 inició la conversión de su vía angosta a vía ancha (de 1,435 metros), de manera que fue puesta en servicio en 1903, cambiando su razón social a Ferrocarril Nacional Mexicano; al mismo tiempo se modificó la ruta, llevando la línea por Cuautitlán y Querétaro hasta Empalme González (hoy Escobedo).

Entre las ciudades de México y Querétaro, la ruta actual de la línea “B” discurre por las localidades de Tlalnepantla, Lechería, Cuautitlán, Teoloyucan, Huehuetoca, Tequixquiac, Apaxco, Atotonilco, San Mateo, Sayula, Maravillas, Nopala, San Sebastián Tenochtitlán, Huichapan, Tequisquiapan, San Nicolás, La Ponderosa y Jesús María, como se muestra en la siguiente figura.

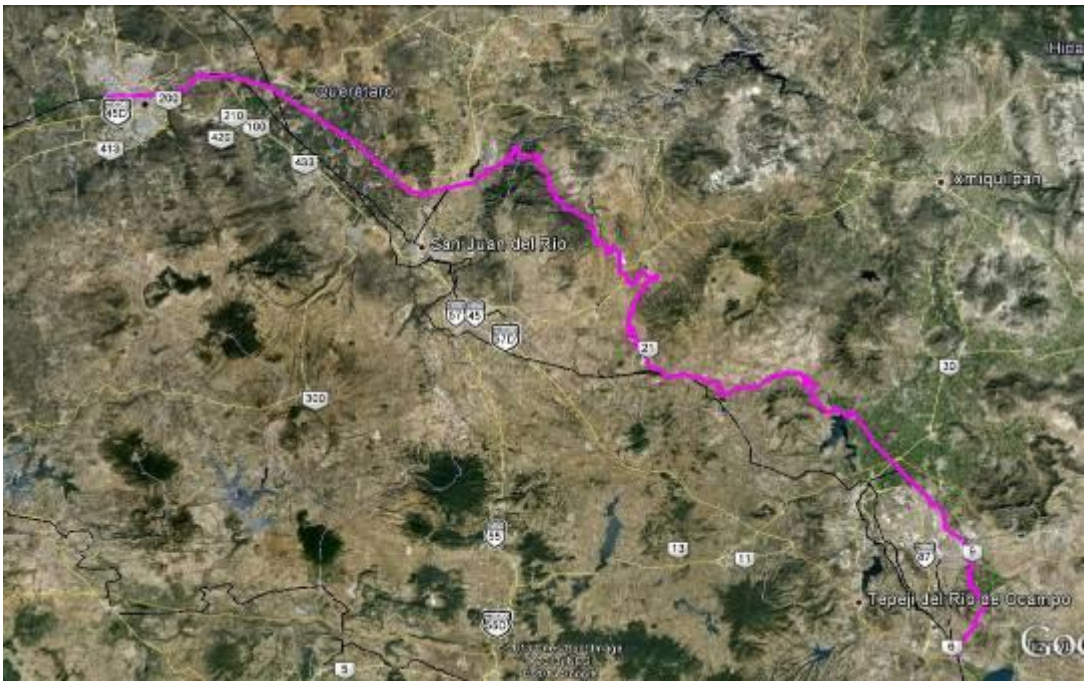


Fig. 3.4. Ubicación de la línea “B” en el corredor ferroviario México-Querétaro.

Actualmente, dentro del corredor México–Querétaro, el uso de la línea “B” está a cargo de la concesionaria Ferrocarril Mexicano (Ferromex) en el tramo Huehuetoca-Querétaro. El estado de conservación de la vía es aceptable para esta línea de carga, aun cuando se observan durmientes de madera en diferentes tramos, como se muestra en la siguiente figura.

Fig. 3.5. Fotografía actual de la Línea "B" (vía derecha), vista hacia Querétaro, cerca del poblado de Maravillas (Edo. de Hidalgo). Del lado izquierdo, se aprecian las vías y los postes del sistema de electrificación de la Línea Juárez y Morelos (P.K. 117+500).

Vías principales Juárez y Morelos. En el año de 1986, durante el gobierno del presidente Miguel de la Madrid, se puso en servicio la nueva vía México–Querétaro, con 245 kilómetros de vía doble, y se iniciaron los trabajos para la electrificación de esta línea denominada Juárez-Morelos.

Entre las ciudades de México y Querétaro, la ruta actual de la línea Juárez-Morelos discurre por las localidades de Tlalnepantla, Lechería, Cuautitlán, Teoloyucan, Huehuetoca, Tlaltepoxco, El Salto, Cruz Azul, Tula, San Antonio, Héroes Carranza, San Sebastián de Juárez, Maravillas, Dañú, Polotitlán, San Sebastián de las Barrancas, Santa Bárbara, San Juan del Río, Chintepec, Ahorcado, Jesús María, La Cañada y Hércules, como se muestra en la siguiente figura.

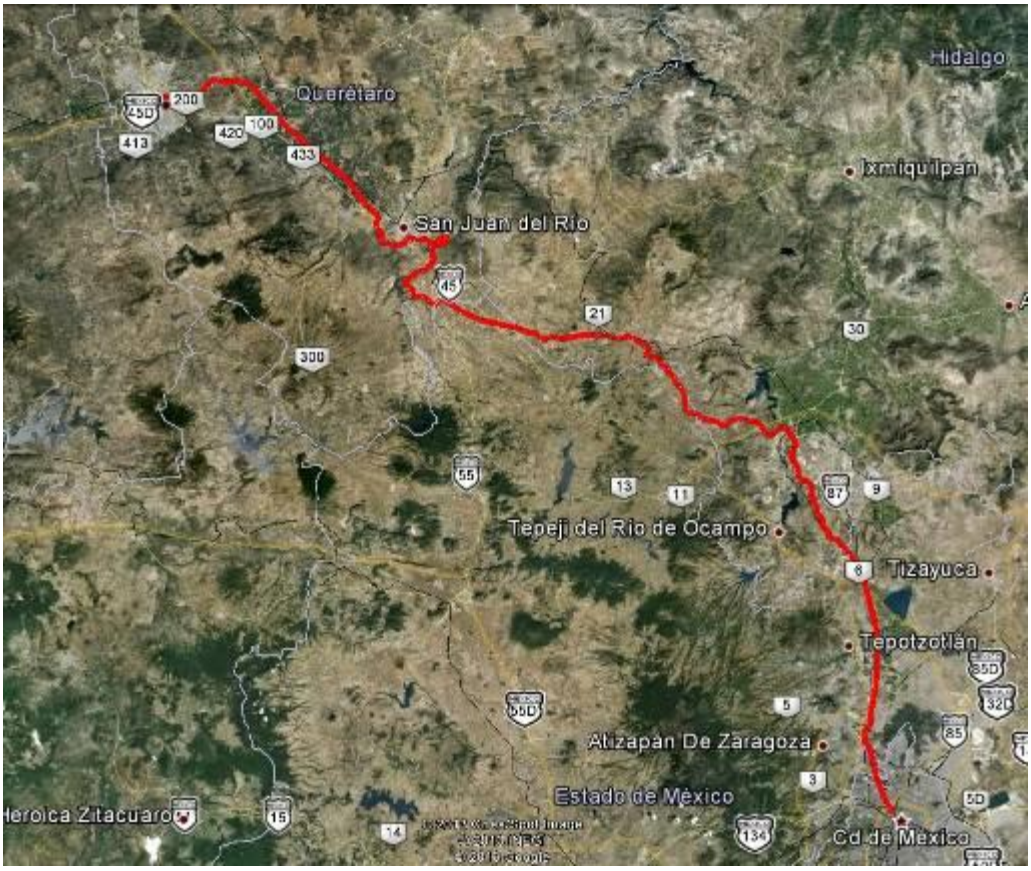


Fig. 3.6. Ubicación de la línea Juárez-Morelos en el corredor ferroviario México-Querétaro.

Actualmente, dentro del corredor México–Querétaro, el uso de la línea Juárez-Morelos está a cargo de la concesionaria Kansas City Southern de México (KCSM) en el tramo Huehuetoca-Querétaro. El estado de conservación de la vía doble es adecuado para esta línea de carga, la cual cuenta con durmientes de concreto presforzado prácticamente en toda su longitud; el sistema de la catenaria sólo cuenta con los postes metálicos y algunos accesorios (ménsulas, brazos de atirantado), pero no cuenta con el cable de soporte, hilo de contacto, ni péndolas (ver figuras más adelante).

Fig. 3.7. Fotografía actual de la Línea Juárez-Morelos, vista hacia Querétaro, P.K. 2+500

Fig. 3.8. Fotografía actual de la Línea Juárez-Morelos, vista hacia Querétaro, P.K. 19+860

Fig. 3.9. Fotografía actual de la Línea Juárez-Morelos, vista hacia Querétaro, P.K. 27+180

Fig. 3.10. Fotografía actual de la Línea Juárez-Morelos, vista hacia Querétaro, P.K. 39+200

Con la finalidad de investigar con mayor detalle el estado actual de la línea Juárez-Morelos, fue necesario realizar un levantamiento de las vías desde Buenavista hasta Querétaro. Este

levantamiento de vías consistió en recabar datos en campo sobre diferentes aspectos de las mismas: croquis con dimensiones básicas de la sección transversal, ubicación de vías auxiliares (laderos, espuelas, patios), ubicación de señales, ubicación de postes de catenaria, tipo de material de los durmientes, estado de conservación de las vías, ubicación de elementos que definen el derecho de vía (como postes de la SCT), etc.

El equipo utilizado por cada brigada de trabajo consistió en lo siguiente: distanciómetro láser (alcance 200m, resolución ±5mm), flexómetros de 8m de longitud, cámara digital, chalecos antirreflejantes y papelería básica (tabla de apoyo, cuaderno, lápices).

Fig. 3.11. Fotografía del personal técnico en los trabajos de campo.

En el Anejo Nº3 “Inventario de la vía actual”, se muestran las fichas técnicas elaboradas a partir del levantamiento de campo.

3.2 Características principales de las líneas férreas Juárez y Morelos

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

Figura 3.12. Ámbito de estudio

La denominada línea "B" cuyo recorrido va desde la estación de Huehuetoca, en el estado de México (p.k. 49+000 de la línea B), a la estación de Hércules, al noreste de Querétaro (p.k. 265+015 de la línea B) pasando por las estaciones de Huichapan y Hidalgo (p.k. 160+000 de

la línea B). Esta línea corresponde al corredor ferroviario México-Nuevo Laredo. La longitud total de la misma es de 216 km y actualmente la empresa Ferrocarril Mexicano (Ferromex) mantiene la concesión y operación.

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

Algunas de sus características principales son:

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

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

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

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

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

En el municipio de Teoloyucan se incorpora al corredor por el lado izquierdo una línea de mercancías (línea A). Esta línea mantiene un trazado paralelo aunque distante unos 30m desde el p.k. 32+700 hasta el 35+000 aproximadamente. En este p.k. la vía se acerca a la triple vía del corredor principal quedando integrada en la misma plataforma ferroviaria. Esta situación de plataforma de 4 vías troncales en paralelo (esporádicamente existen vías adicionales por espuelas a instalaciones anexas) se mantiene hasta el final del tramo.

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

P.K. (kilometración actual de la línea Juárez-Morelos)	Nº DE VÍAS	UBICACIÓN DE LAS VÍAS
26+100	4	S1-S1-C-C
26+165	3	S1-C-C
26+450-32+000	3	C-C-C
32+650-47+000	4	C-C-C-C

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Los servicios actuales tienen un volumen importante de demanda, lo que significa una afluencia de trenes de mercancías, especialmente en el tramo Pantaco a Huehuetoca.

- Un punto de conflicto actual por su demanda se tiene entre la terminal del Valle de México (Salida Patio Oriente) y Lechería (P.K. línea A 21+000), en virtud de que entre las 6:30 y las 19:30 hrs los servicios del tren salen del patio Oriente y llegan al patio de Recibo circulando un promedio de 50 trenes, de las empresas concesionarias Ferromex, Kansas City Southern, Ferrosur y los Servicios de Industrias del Ferrocarril y Terminal del Valle de México.

- Derivado de la concesión que se otorga al tren Suburbano las dos vías principales de las cuatro que existían, se modifican en forma importante, operando de la siguiente manera:

  - ✓ En el tramo de Buenavista a Pantaco las vías Morelos y Juárez actualmente son las vías 1 y 2 del Tren Suburbano.

  - ✓ La Línea B, cuyo inicio parte en el P.k. 7+714, se convierte en la vía 1 del tren Suburbano y desde éste punto hasta Lechería, paralelamente con la Línea Morelos como vía 2.

  - ✓ A partir de la vía en el tramo de Lechería el tren Suburbano ocupa las Vías Morelos y Juárez hasta Cuautitlán.

- De acuerdo a lo anterior, la vía para el tráfico de trenes de mercancías, se tiene la circulación por vía A en el tramo desde Huehuetoca a Pantaco, por la vía B en el tramo desde Huehuetoca a Lechería, y así mismo por la vía "Juárez" de Lechería a Pantaco (P.K 6+800).

- La vía de la Línea A tiene conexiones para la entrada y salida de los trenes de mercancías, de la Terminal del Valle de México y de Pantaco, así como el servicio a las siguientes industrias:

  - ✓ P.K. 4+085 Conexión a Línea CNA hacia Tlatilco, Julia y Naucalpan.
  - ✓ P.K. Línea A-5+000 Conexión Sur a Patio Intermodal Pantaco
  - ✓ P.K. Línea A−5+500 Conexión Norte Patio Intermodal Pantaco
  - ✓ P.K. Línea A−8+000 Cortavías de Industrias Vallejo y Peralvillo (Puente Suburbano) y Conexión a Patio San Pablo.
  - ✓ P.K. Línea A −10+000 Cortavías hacia línea "Juárez" = P.K. línea Juárez 8+262
  - ✓ P.K. 11+845 Salida Patio Oriente.
  - ✓ P.K. 12+372 Conexión a Línea ˆS˜ Distrito Tenayuca.
  - ✓ P.K−14+900 Dos conexiones a Vías entrada Patio de Recibo.
  - ✓ P.K−15+300 Conexión a vía Industrias Tlalnepantla
  - ✓ P.K−17+00 Conexión Sur Patio Cemex Barrientos.
  - ✓ P.K−17+500 Conexión Norte Patio Cemex Barrientos.
  - ✓ P.K−20+00 Dos conexiones a Industrias.

3.5 Conclusiones del análisis del acceso desde Huehuetoca a Buenavista

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

1. La línea “A” México-Huehuetoca se inicia en el P.K. 1+098, y actualmente tiene una intensa utilización por trenes de carga de los servicios de industrias de la terminal del Valle de México, así como por la llegada y salida de los trenes de los ferrocarriles de Kansas City Southern, Ferromex y Ferrosur.

2. La línea “B” Pantaco-Huehuetoca tiene modificaciones realizadas para configurar la ruta del tren Suburbano.

3. En el patio denominado "piloto" en Lechería se llevan a cabo gran cantidad de maniobras denominadas mayores en relación a la toma y dejada de equipo (carros) en este punto para hacer el intercambio entre los ferrocarriles KCS, Ferromex y Ferrosur representando un sitio critico para el nuevo tren de pasajeros.

4. En el P.K. 47+000 de las líneas “JUAREZ” y “MORELOS” se inicia el territorio operado por el sistema de control de Tráfico Centralizado de Kansas City Southern. A futuro, con la

5. La vía Industrias que da comienzo en el Km 45+000 se utiliza por el tren de la empresa de Cemex hasta el Km 46+500 y está vía continúa para dar servicio a Industrias hasta el Km 48+500, sin embargo debe ser reacondicionada por encontrarse en malas condiciones actualmente.

3.6 Planteamiento de la línea de altas prestaciones entre México D.F. y Querétaro

Como ya se ha explicado en el apartado 2, el planteamiento metodológico considerado ha sido lograr el máximo aprovechamiento de la línea ferroviaria existente Juárez-Morelos, evitando de este modo las afecciones a terceros que conllevaría la nueva infraestructura siempre y cuando se garanticen los estándares de calidad que requiere una línea de alta prestaciones.

Tomando este criterio como punto de partida, se ha analizado el trazado de la línea férrea desde un punto de vista meramente geométrico, radios en planta y pendientes en alzado, con este análisis se ha establecido que tramos de la línea actual disponen de una geometría aceptable para los estándares de calidad que requiere una línea de alta velocidad, posteriormente, y ya sabiendo que tramos son aprovechables y cuáles no, se han generado

actuaciones, alternativas al corredor existente, que mejoran en gran medida las prestaciones ferroviarias actuales dotándolas de carácter de línea de alta velocidad.

Posteriormente y por tramo independientes, se realizó un análisis multicriterio entre las actuaciones generadas que permitió obtener la mejor solución a desarrollar en el Anteproyecto.

3.7 Condicionantes ambientales

La zona de influencia del proyecto presenta dos tipos de figura ambiental:

3.7.1 Áreas de Conservación y Regiones de Importancia Ecológica

En México existen zonas denominadas Áreas Protegidas, que son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado (CONANP, 2012). De la misma manera que los ordenamientos, existen áreas protegidas de nivel federal, estatal y municipal. Para el aprovechamiento de Áreas protegidas, existen instrumentos que determinan las estrategias de conservación y uso, como planes o programas de manejo (CONANP, 2012).

Por otro lado, también existen regiones de importancia ecológica (CONABIO, 2012) denominadas Regiones Prioritarias, dentro de las que se encuentran las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP), Regiones Marinas prioritarias (RMP) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), aunque no existen instrumentos de manejo, siempre deben considerarse acciones que no afecten de manera significativa los sitios.

3.7.2 Vinculación con Zonas Protegidas Ambientalmente

Existen zonas cercanas a las vías Juárez-Morelos con algún grado de protección ambiental, entre las que se encuentran las siguientes:

- **Sierra de Guadalupe y Santuario Laguna de Zumpango,** su status de conservación está marcada como *Área Natural Protegida*, su programa de manejo no es compatible con infraestructura que promueva la degradación del lugar. Aunque en las imágenes satelitales se aprecian asentamientos humanos en las orillas de la sierra y de la laguna.

- Humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Esta región tiene una alta importancia hidrológica y de biodiversidad que actualmente presenta dificultades por el tendiente crecimiento urbano y cambios en la vocación del suelo. Es un sitio de importancia a nivel regional y nacional.

- Santuario del Agua Sistema Hidrológico Presa Huapango y la Zona arqueológica La Cruz, si bien son zonas críticas para las que habrá que definir una serie de medidas que minimicen o mitiguen el impacto desde un punto de vista ambiental, el trazo actual de las vías atraviesan algunas de ellas, por lo que el impacto que supone la ejecución de una infraestructura de estas características en las inmediaciones de las vías tiene una menor relevancia.

- Río San Juan, Es un área de reserva ecológica a nivel municipal, las vías cruzan con él a la altura del municipio de San Juan del Río.

3.8 Condicionantes hidrológicos

Durante los primeros kilómetros del trazo actual de la vía férrea sólo se encuentra una corriente de agua importante; se encuentra en la zona norte del Distrito Federal, se trata del río de los Remedios, éste es un río importante que ayuda a drenar parte de las aguas negras del norte del D.F. y de una parte del Estado de México, El cauce del río de los Remedios tiene una longitud total de 15,7 km, de los cuales 4,1 Km se encuentra en el distrito Federal y el resto en el Estado de México.

Es hasta el municipio de Huehuetoca cuando las vías Juárez-Morelos se vuelven a encontrar con corrientes importantes de agua; tal es el caso del río Cuautitlán (el cual corre paralelo a las vías) con dirección de sur a norte cruzando la cabecera municipal por la zona poniente.

En el municipio de Tepeji del Río de Ocampo las vías corren paralelas con los ríos “Tula” y “El Salto”. Más adelante, en el municipio de Tula de Allende las vías se cruzan con los ríos “Tula” y “Rosas” cuyas corrientes fueron la base para la construcción de la Presa Endhó, esta presa se encuentra al norte del trazo actual de las vías Juárez-Morelos.

En el municipio de Soyaniquilpan de Juárez, las vías se cruzan con algunos arroyos, entre los cuales destacan: el Tinaja, el Salto, Chuparrosa, Arroyo Grande y El Tecolote. Así mismo, las vías discurren a las orillas de las presas Julián Villagrán y Macua.

Dentro del municipio de Jilotepec, el trazo actual de las Vías Juárez-Morelos discurre a un costado de las presas Los Quelites y Nopala.

Más adelante, en el Municipio de Polotitlan, las vías se cruzan con el arroyo San Agustín; éste arroyo desemboca en el Río Blanco.

En San Juan del Río, las vías Júarez y Morelos se cruza con una importante corriente de agua; el Río San Juan, éste río atraviesa los municipios de San Juan del Río y Tequisquiapan hasta su unión con el río Tula, formando el río Moctezuma. Tiene una cuenca de 2,840 km² en la entidad y un desplazamiento promedio de 184 millones de metros cúbicos al año. Casi a la salida del municipio de San Juan del Río las vías se encuentran con el arroyo el Caracol.

A su llegada al municipio de Santiago de Querétaro y en su recta final, las vías Juárez-Morelos se cruzan con el río Querétaro.

3.9 Condicionantes geológicos

El trazado objeto de estudio, está situado en el cinturón volcánico transmexicano (CVTM). Se trata de un arco volcánico de edad neógena que se extiende a lo largo de 900 Km desde el oeste a este cruzando la región centro-sur de México. La Cordillena Neovolcánica es una sucesión de eminencias volcánicas que atraviesa la parte central de los Estados Unidos Mexicanos, a lo largo del paralelo de 19 grados norte, en un sentido general que va de oriente a occidente, con ramales o derivaciones cuya genética responde a su origen reciente, correspondiente al terciario y cuaternario. Los macizos de mayor relevancia son del primer periodo mencionado. La Cordillera Neovolcánica es una estructura compleja, de continuo acrecentada por estar viva desde la perspectiva geológica, y que alberga elementos estructurales diversos, como cuencas, valles, edificios gigantes, como el Popocatépetl y enjambres de edificios de medianos a pequeños y de lagos-cráter. Al ser medida desde el Volcán de Fuego, entre Jalisco y Colima, hasta el Cofre de Perote arroja 800 km de longitud, pero si se prolongan sus límites al noroccidente (en donde está el volcán Sangangüey) y al sureste (en donde se halla la Serranía de los Tuxtlas, rebasa los 900 km lineales. Su anchura es variable, con máximos de 300 km dentro de territorio michoacano. Por sus majestuosas dimensiones y el poder de sus erupciones históricas, así como por ser fuente de focos sísmicos de relevancia, aunado a su protagonismo como referente climático, fisiográfico, hidrográfico, ecológico, productivo y antropológico, posee una fuerte personalidad y preside al

paisaje mexicano y a la cultura popular, sobre todo en los pobladores de la región central de México.

Los picos más altos de México se sitúan en esta región dominada por volcanes activos (Volcán Colima (4.393 m); Paricutín (.2774 m); Nevado de Toluca (4.577 m); Popopcatepetl (5.452 m); Iztaccíhualt (5.86 m) Matlalcueitl (4.461 m); Cofre de Perote (4.282 m) y Pico de Orizaba (4.580m). El origen del CVTM presenta ciertas controversias si bien, está influenciado por la subducción de la Placa de Cocos a lo largo del “trench” centroamericano.

Estratigráficamente, los materiales más antiguos que afloran en las inmediaciones del corredor corresponden a los sedimentos carbonatados cretácicos definidos por Wilson et al. (1955), como Formación El Doctor. Aunque existen algunos afloramientos cretácicos pertenecientes a esta formación y a la suprayacente (Soyatal), la mayoría de los materiales que afloran son de origen volcánico o volcanoclástico. En el apartado 14. Estudio geológico-geotécnico se realiza una descripción en detalle de los materiales presentes en el trazado.

3.10 Criterios funcionales de diseño

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

- Máximo aprovechamiento del derecho de vía de la línea existente de mercancías Juárez y Morelos.
- Independización (manteniéndolas adosadas), en aquellos tramos donde se aprovecha el derecho de vía existente, de las plataformas destinadas a la doble vía para tráfico de viajeros de altas prestaciones y a la doble vía para tráfico de mercancías.
- En la entrada y salida de México D.F. la dificultad de disponer de una nueva plataforma de vía doble para tráfico de viajeros de altas prestaciones sin perturbar la explotación actual ferroviaria, tanto de las vías de carga como de las vías de pasajeros unido a la existencia de numerosas estructuras correspondientes al cruce con viales importantes obliga a plantear la posibilidad de utilizar, provisionalmente y hasta que la capacidad de las vías lo permita, la plataforma del sistema 1.

- En la recta de entrada a Querétaro y antes de llegar a la curva denominada “la Griega”, la doble vía destinada a tráfico de viajeros de altas prestaciones ocupa la parte izquierda de la plataforma en el sentido de avance de la kilometración. Sin embargo, al llegar a la curva “la Griega” y para evitar la afección a edificaciones e infraestructuras existentes situadas en la margen izquierda es preciso cambiar la configuración de las vías, pasando la doble vía de pasajeros a ocupar la parte derecha de la plataforma mediante un salto de las vías que le dan soporte sobre las destinadas al tráfico de mercancías.

- En la entrada a la ciudad de Querétaro, al ser un tramo con un fuerte carácter periurbano al inicio y completamente urbano al final, los pasillos de entrada se reducen prácticamente al corredor de la vía actual si se quiere discurrir en superficie, en caso de plantearse la posibilidad de ejecutar una solución soterrada el pasillo ya no sería este, pudiéndose alejarse del mismo en función de la mejora de las prestaciones ferroviarias. Al igual que ocurre con el corredor de entrada a México, la dificultad estriba en implantar una plataforma nueva vía doble destinada al tráfico de viajeros de altas prestaciones en una zona predominantemente urbana y con la existencia de tráfico ferroviario de mercancías.

- Implantación de la estación provisional de Querétaro antes de entrar en el área urbana de Querétaro, en el cruce con el Bvd. Bernardo Quintana. Una vez rebasado el Boulevard es necesario el soterramiento de las vías ya que no hay espacio en superficie para implantarlas sin afectar a numerosas edificaciones existentes. La situación de la estación provisional propuesta permitiría la puesta en servicio del México-Querétaro sin necesidad de impactar en la almendra central de la ciudad.

3.11 Criterios y parámetros para la definición de alternativas

Como resultado de los criterios funcionales de diseño y los condicionantes de todo tipo identificados, los criterios específicos adicionales seguidos para la definición del trazado han sido los siguientes:

- Minimizar las afecciones a las vías existentes de carga Juárez y Morelos.

- Disponer dos saltos de carnero en función de la configuración de las vías.

- Entreeje de 4,7 m para las vías de tráfico de viajeros de altas prestaciones.
- En los tramos con aprovechamiento del derecho de vía, entreejes de 4,70 m tanto para las vías de tráfico de viajeros de altas prestaciones como para las vías de carga. Distancia de 14 m desde el entreeje de las vías de pasajeros al entreeje de las vías de carga.
- Los parámetros de diseño deben ser congruentes con la geometría que requiere una línea de altas prestaciones (V=300 Km/h)

En las tablas siguientes se indican los parámetros geométricos y funcionales que se han utilizado en la definición del trazado del Anteproyecto para las vías destinadas al tráfico de viajeros de altas prestaciones.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE TRAZADO EN PLANTA (vías de tráfico de viajeros de altas prestaciones)		
Parámetro	**Valor normal**	**Valor excepcional**
Radio mínimo	5.350 m	4.750 m
Peralte máximo	140 mm	160 mm
Longitud mínima de la curva de transición en planta (clotoide)	390	270

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE TRAZADO EN ALZADO (vías de tráfico de viajeros de altas prestaciones)		
Parámetro	**Valor normal**	**Valor excepcional**
Rampa máxima	25 mm/m	30 mm/m
Rampa mínima en túnel	5 mm/m	5 mm/m
Radio mínimo del acuerdo vertical	32.000 m	16.500 m
Longitud máxima de rasante uniforme con máxima rampa	3.000 m	

PARÁMETROS FUNCIONALES (vías de tráfico de viajeros de altas prestaciones)		
Parámetro	**Valor normal**	**Valor excepcional**
Aceleración transversal no compensada máxima	0,46 m/s^2	0,52 m/s^2
Insuficiencia máxima de peralte	70 mm	80 mm
Exceso máximo de peralte	80 mm	100 mm
Variación máxima de peralte	30 mm/s	50 mm/s
Variación máxima de la insuficiencia de peralte	30 mm/s	50 mm/s
Rampa máxima del peralte	0,5 mm/m	1 mm/m
Aceleración vertical máxima	0,22 m/s^2	0,39 m/s^2

4 DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO

4.1 Descripción general

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

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

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

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

4.1.1 Tramo urbano: entrada/salida en México

En la parte inicial el trazado discurre por el corredor ferroviario existente, conviviendo con el sistema 1 de explotación de viajeros, hasta que alcanza una zona en la que la plataforma puede finalmente adoptar un trazado independiente.

El trazado parte de la Estación de Buenavista, estación situada en el centro de Ciudad de México.

En su configuración actual, la estación dispone de 9 vías con 7 andenes (cinco de ellos centrales). En la situación definitiva se prevé el uso de 5 vías y 3 andenes (dos de ellos centrales) para la explotación de la línea de Alta Velocidad.

Desde la estación de Buenavista, el futuro ferrocarril discurre por las vías del sistema 1 en dirección Norte - Noroeste, atravesando las diferentes estaciones dispuestas a lo largo de la red hasta llegar finalmente a Cuautitlán. El corredor existente no dispone prácticamente de espacio para alojar más plataformas, salvo en zonas puntuales, ya que alberga las vías del sistema 1 así como las vías de mercancías que abastecen a las naves que surgen a lo largo del trayecto, pues se trata de una zona fuertemente industrializada.

A su paso por las estaciones del sistema 1, con objeto de optimizar la explotación tanto de la red de ferrocarriles del sistema 1, como la de la futura línea de Alta Velocidad, se ha recurrido en algunas de ellas a la implantación de los denominados “laderos”, esto es, vías únicas independientes que salvan la longitud correspondiente a las estaciones de viajeros que el recorrido de Alta Velocidad encuentra a su paso, para evitar interferencias cuando un tren de viajeros efectúa su parada en la estación. Se han dispuesto laderos en las estaciones de Tlalnepantla (vía izquierda), San Rafael (vía derecha), Lechería (ambas vías), y por último Cuautitlán (ambas vías).

Como criterio general se han dispuesto radios y aparatos que permiten el paso más ajustado al trazado existente, teniendo en cuenta que se comparten vías con el sistema de ferrocarriles para viajeros que en la actualidad está en servicio. Por tanto nos encontramos con radios mínimos muy reducidos para lo que sería un trazado de Alta Velocidad (300 m y en algún caso 249 m).

Desde Cuautitlán en adelante, el pasillo ferroviario se estrecha para dar cabida a la nueva plataforma que formarán las dos vías de Alta Velocidad y la reposición de las vías de mercancías “Juárez”, “Morelos”, “B” (y eventualmente “601”).

Al llegar al P.k aprox. 30+375, ambas vías se separan para saltar sobre las vías existentes y ponerse a la izquierda de las mismas, aprovechando el espacio libre de edificaciones entre la vía de Mercancías “A” y las vías “Juárez” y “Morelos”. De esta manera se evita el cruce a nivel sobre la línea “Juárez”, lo que resulta en una solución que incrementa la seguridad de las circulaciones de ambas vías.

Una vez que las vías de Alta Velocidad se colocan a la izquierda de las vías Juárez y Morelos, la plataforma sigue su recorrido hacia el Norte durante aproximadamente 3 km, con la vía A por la Izquierda, y las Juárez y Morelos y B por la derecha.

En torno al PK 43+300 y 44+100 el espacio disponible para el corredor ferroviario se estrecha considerablemente, por lo que el trazado se ve obligado a elevarse para mantener el servicio de las vías existentes. Para ello, comienza a elevarse entre muros desde el PK 42+400 en rampa de 20 milésimas hasta el PK 43+150 en donde la infraestructura discurre en Viaducto sobre las vías de mercancías existentes hasta el PK 47+000, en donde la plataforma vuelve a posarse sobre el terreno.

4.1.2 Tramo interurbano

Una vez abandonada la población de Huehuetoca por el norte, la plataforma de la nueva línea ferroviaria discurre durante poco más de dos kilómetros a la derecha de las vías existentes (Juárez, Morelos y A) y rodeando un nuevo pozo del TEO (P.K. 48+900) para girar a izquierdas, cruzando sobre las vías actuales y el Gran Canal.

Entre los PPKK 57+600 y 59+200 se encuentra del primer puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes (PAET) de los cuatro de los que se disponen en la nueva línea.

Un kilómetro y medio después del cruce con el vial Arco Norte de Tula, la traza cruza sobre las vías actuales Juárez-Morelos para situarse a su margen derecha y discurrir paralelas durante cuatro kilómetros aprovechando su pasillo y derecho de vía.

En el P.K. 87+000, ambas plataformas ferroviarias se separan, girando la nueva traza hacia el noroeste buscando volver a situarse en paralelo en la zona de los laderos de Daxti, donde se ubica el segundo PAET de la línea (P.K. 92+800).

En el entorno del P.K. 95+000 la nueva traza vuelve a acercarse al pasillo de las líneas Juárez y Morelos actuales.

En el P.K. 114+000 pasan a circular sensiblemente en paralelo las cuatro vías durante cuatro kilómetros en los que se sitúa el PAET-3 (P.K. 116+900).

Entre el P.K. 129+500 y hasta 141+000, comparten corredor y derecho de vía con las líneas Juárez y Morelos existentes, las cuales ven modificados los laderos de Polotitlán para acoger a las nuevas vías.

A partir del P.K. 141+000 la nueva traza se separa y toma una orientación sureste – noroeste y ubicar el cuarto y último PAET de la nueva línea (161+700).

Una vez cruzada la autopista 57 México – Querétaro, la traza busca el corredor existente, al que se adosa por su margen izquierda, manteniéndose paralelo a él hasta el P.K.174+000, donde lo cruza mediante una estructura y vuelve a adosarse a las vías actuales, pero a la derecha, hasta el P.K. 193+500.

4.1.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro

Tramo final del trazado, se caracteriza por discurrir aprovechando en su mayor parte el trazado de la Línea actual Juárez-Morelos.

Se distinguen dos zonas una primera donde el trazado ferroviario de alta velocidad discurre entre el trazado de la Línea “B” y el trazado de la Línea Juárez-Morelos y una segunda zona

donde el trazado ferroviario de alta velocidad discurre a la derecha del corredor formado por la Línea de Alta Velocidad, la Línea Juárez-Morelos y la Línea “B”.

En ambas zonas la geometría de la línea ferroviaria de alta velocidad se ha adaptado al corredor existente con el objeto de reducir las afecciones a terceros.

Como elemento singular destaca la Estación de Querétaro, esta estación dispone de dos andenes de 200 metros de longitud útil, dos vías de estacionamiento y un culatón de maniobras para permitir el cambio de vía de las diferentes unidades. Completando la estación se define la geometría de las dos vías que constituyen la nave de limpieza e inspección.

La estación de Querétaro se sitúa entre la urbanización Balcones del Acueducto, el Boulevard Bernardo Quintana y el trazado de la Línea Juárez-Morelos.

4.2 Cartografía

Para la redacción del Anteproyecto se ha obtenido cartografía a escala 1/5.000 en las siguientes fases:

1. Realización de un vuelo fotogramétrico
2. Implantación y observación de una red básica topográfica
3. Apoyo en campo del vuelo
4. Restitución fotogramétrica

El vuelo para la obtención de la cartografía 1/5.000 se realizó en diciembre de 2012, con un GSD (proyección del píxel sobre el terreno) de 30 cm y recubrimientos del entre el 60-70% en sentido longitudinal y del 30% en sentido transversal.

La cartografía se ha obtenido en Proyección Universal Transversa Mercator (U.T.M.). Se ha utilizado el sistema de Referencia ITRF2008, época 2010.0 definido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La Red Básica Topográfica del proyecto está formada por 18 puntos distribuidos sobre el ámbito del trazado y colocados de manera estable en el terreno, sobre los que se han realizado observaciones con instrumentación GPS en modo de posicionamientos estable, que permitieran determinar sus coordenadas planimétricas y altitudes ortométricas en el sistema de referencia del proyecto.

El objetivo del apoyo fotogramétrico es dotar de geometría al vuelo fotogramétrico que para ello se han observado diferentes puntos de apoyo con instrumentación GPS, doble frecuencia y RTK, desde los vértices de la Red Básica.

La restitución fotogramétrica se ha realizado a escala 1/5.000 con una equidistancia de curvas de nivel de 5 m, en un ancho variable (500 m en zonas urbanas y hasta 5 Km en zonas rústicas), mediante el empleo de equipos digitales.

4.3 Inventario de la vía actual

El objetivo del inventario de la vía actual consiste en mostrar las obras ubicadas a lo largo de la línea Juárez–Morelos, las cuales resultarían afectadas por la nueva línea de alta velocidad del tren de pasajeros México–Querétaro.

La metodología consistió en llevar a cabo un levantamiento de datos en campo de las obras existentes. En el anejo correspondiente, se muestran las fichas de las obras localizadas en los tramos donde la línea Juárez–Morelos compartirá el derecho de vía con la nueva LAV. Dichos tramos, referidos al cadenamiento del eje de trazo del anteproyecto, son los siguientes:

- P.K. 2+500 al P.K. 49+500.
- P.K. 92+700 al P.K. 97+500.
- P.K. 102+500 al P.K. 103+700.
- P.K. 125+500 al P.K. 130+500.
- P.K. 138+400 al P.K. 153+800.
- P.K. 197+300 al P.K. 243+000.

El inventario presenta las fichas con la ubicación, descripción y vista panorámica de las siguientes obras, en los tramos enlistados:

- Pasos superiores.
- Pasos inferiores.
- Pasos peatonales.
- Pasos a nivel.
- Viaductos.
- Alcantarillas.
- Acequias (canales).

En la figura siguiente, se muestra la configuración del trazo de anteproyecto escala 1:5.000, así como el de la línea Juárez–Morelos. En la tabla siguiente, se indica el número de obras levantadas en campo.

Figura 4.3.1. Trazo de la línea Juárez–Morelos (línea color rojo) y de la nueva línea de AV (línea color blanco).

TIPO DE OBRA	NÚMERO DE OBRAS
Pasos superiores	59
Pasos inferiores	25
Pasos peatonales	33
Pasos a nivel	18
Viaductos	6
Alcantarillas	52
Acequias (canales)	138

Tabla 4.3.1. Número de obras del inventario de la vía actual.

4.4 Geología y geotecnia

4.4.1 Introducción

A partir del Análisis de factibilidad de las alternativas y una vez seleccionado el trazado, se procede al estudio y redacción del “Anteproyecto de la alternativa seleccionada”, cuyo objeto es el análisis geológico-geotécnico del nuevo corredor, siempre enfocado a su utilidad dentro de los estudios geotécnicos.

4.4.2 Geología

4.4.2.1 Geología general

La ciudad de México (D.F.) queda situada en el cinturón volcánico transmexicano (CVTM). Se trata de un arco volcánico de edad neógena que se extiende a lo largo de 900 Km desde el oeste a este cruzando la región centro-sur de México. Los picos más altos de México se sitúan en esta región dominada por volcanes activos (Volcán Colima (4.393 m); Paricutín (.2774 m); Nevado de Toluca (4.577 m); Popopcatepetl (5.452 m); Iztaccíhualt (5.86 m) Matlalcueitl (4.461 m); Cofre de Perote (4.282 m) y Pico de Orizaba (4.580m). El origen del CVTM presenta ciertas controversias si bien, está influenciado por la subducción de la Placa de Cocos a lo largo del “trench” centroamericano.

4.4.2.2 Tectónica

la zona de estudio se sitúa en un área tectónicamente muy activa. El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) queda situado en el borde sur del corredor, pero a lo largo de todo el corredor estudiado afloran rocas volcánicas de edades comprendidas entre el Oligoceno y el Holoceno. El origen del CVTM presenta ciertas controversias si bien, está influenciado por la subducción de la Placa de Cocos a lo largo del "trench" centroamericano. En la figura adjunta se observa un esquema estructural de esta zona.

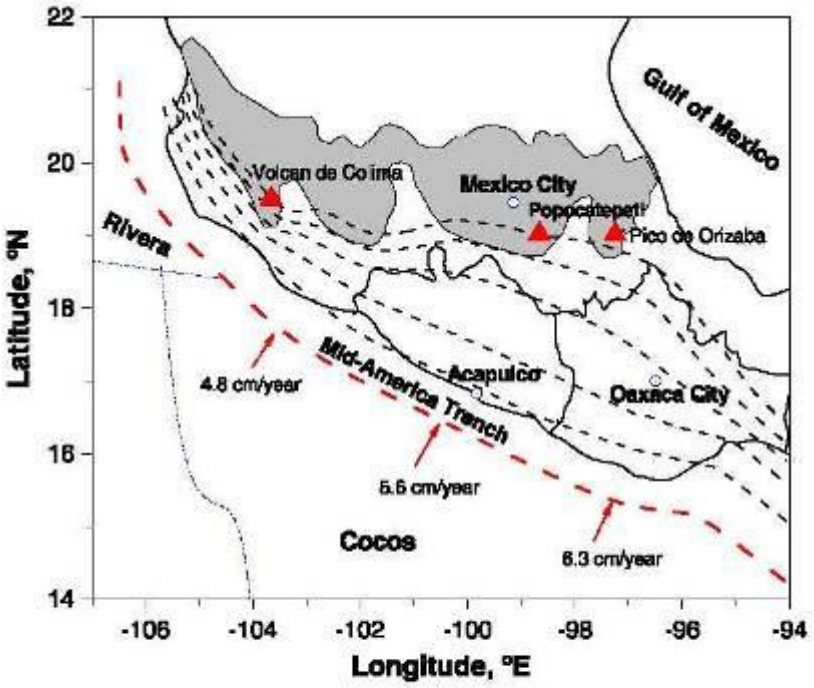


Fig. 1. Schematic map of the Trans-Mexican Volcanic Belt (dark shading) and main tectonic features of the Rivera and Cocos plates (adapted from Pardo and Suárez (1995)). Numbers along the trench indicate the convergence rate (in cm/year), respectively. Contours represent the depth of the top of the subducted slab. Slow-slip events have been observed in the southern Mexico region (Guerrero and Oaxaca) with GPS technologies since 2001 (Kostoglodov et al., 2003).

Figura 4.4.1.-Esquema del cinturón volcánico Transmexicano tomado de Álvarez Ramirez et al, (2011).

4.4.2.3 Geomorgología

Las formas de relieve más características se relacionan con la actividad volcánica. Así se pueden distinguir: **conos de cinder**, algunos de ellos con cráter bien conservado y otros aunque no conservan su cráter siguen presentando una morfología muy característica con

formas en planta seudocirculares o ligeramente elipsoidales y una considerable elevación desde su base.

Dentro del corredor no se ha reconocido ninguna **caldera volcánica** pero si fuera del mismo. Entre otras se puede destacar la de Huichapan de varios kilómetros de diámetro. Esta caldera es la responsable de muchos de los depósitos piroclásticos que aparecen en las inmediaciones del trazado. También fuera del corredor, al norte de la vía actual se levanta el volcán La Joya o Cerro Colorado de composición andesítica que ha emitido también un enorme volumen de rocas piroclásticas.

En las ignimbritas de San Juan del Río se han observado unas formas de alteración alveolar característica que se conoce con el nombre de “tafone”.

La zona de Querétaro corresponde con una depresión cuaternaria desarrollada a partir de un sistema de fallas de gravedad. En la parte final del corredor se ha observado/ interpretado este “escalón” estructural como una fractura que favorece el desarrollo de esta cuenca.

4.4.2.4 Unidades geológicas diferenciadas

A continuación se describen todas y cada una de las unidades geológicas diferenciadas en la cartografía geológica a escala 1/5.000 dentro de la banda de unos 4-5 kilómetros del corredor estudiado.

- **Rellenos antrópicos sin compactar (A):** Están constituidos por depósitos caóticos procedentes de derribos, escombreras o cualquier clase de obra. En general son afloramientos aislados y ocupan poca extensión superficial.

- **Rellenos antrópicos compactados (Ac).** Se han asignado a esta unidad los terraplenes de las vías de comunicación, así como las áreas urbanizadas. Los núcleos urbanos más importantes son México D.F, San Juan del Río y Querétaro.

- **Depósitos aluviales y fondos de valle (Qa).** En esta unidad se agrupan tanto las llanuras aluviales de gran extensión como los fondos de barranco de cualquier tamaño. En general están constituidos por arenas y gravas con pasadas de limos. La naturaleza de los cantos es muy variable, si bien se observa un cierto predominio de los de composición basalto-andesita, de color negruzco.

- **Depósitos de tipo aluvial-coluvial (Qa-c).** Se trata de unos depósitos detríticos de carácter mixto que ocupan zonas de enlace entre las laderas y los valles. Están constituidos por arenas y cantos con algo de fracción arcillosa.

- **Depósitos de ladera y coluviones (Qc).** Estos materiales están íntimamente relacionados con las laderas de las que proceden. En planta se caracterizan por presentar una forma seudotriangular con el vértice agudo apuntando hacia la cabecera del depósito. Los mayores espesores se alcanzan en la parte más distal, mientras que en la cabecera son mínimos. En general ocupan una escasa superficie dentro de la zona estudiada. Son depósitos caóticos de carácter granular constituidos por cantos subangulosos, poco transportados y muy heterométricos.

- **Depósitos de terraza (Qt).**. Se trata de un depósito constituido por grandes bolos subredondeados que pueden llegar a alcanzar unos 70-80 cm. de diámetro con matriz arenosa. En general la mayoría de los bolos son inferiores a 30 cm y se observan cantos de diversa composición y tamaño. Presentan bases erosivas canalizadas y niveles de cantos rubefactados.

- **Suelos (S).** Se ha utilizado esta denominación tan genérica para referirse a recubrimientos de carácter superficial, que llegan a cubrir grandes extensiones a lo largo del trazado. Al W de San Juan del Río hay una amplia llanura que se extiende unos 25 km, en la que no se observan afloramientos. Se trata de una zona muy fértil en la que se aprecia un potente suelo vegetal que cubre a los depósitos de tobas y brechas sálicas (S-H) y localmente también a depósitos limosos.

- **Depósitos areno-arcillosos (Qar-ar).** En los alrededores de la antigua estación de Héroes de Carranza se han observado unos depósitos detríticos de color marrón-anaranjado que cubren una zona de coladas basálticas. Se trata de un depósito poco potente de apenas unos metros de espesor, constituido por arenas con pasadas de arcillas con cierta plasticidad. Estos depósitos podrían estar relacionados con pequeñas cuencas endorreicas que quedaron cerradas con posterioridad a una serie de emisiones volcánicas que se alinean según una directriz NO. Concretamente se observan tres edificios de cinder que han emitido coladas basálticas.

- **Zonas de encharcamiento (Ze).** Se trata de áreas con cierto carácter endorreico en las que predominan depósitos de formaciones superficiales de tipo arcillo-arenoso, en las que ocasionalmente se producen fenómenos de encharcamiento con cierta estacionalidad.

- **Coladas basálticas (Bc) y centros de emisión y piroclastos basálticos (Bp).** Se describen conjuntamente aunque en cartografía se han separado estos materiales (masivos en el caso de las coladas y fragmentarios en el caso de los centros de emisión). Los centros de emisión están constituidos por una gran acumulación de piroclastos de proyección aérea con bombas, lapilli y escorias basálticas de diversa granulometría. Las coladas son masivas de colores grises a negruzcos y, en ocasiones, con disyunción columnar. Tanto hacia el techo como hacia la base de cada una de las unidades lávicas individuales se observan escorias y cascajo con fragmentos lávicos "engullidos" en el avance de la colada a modo de "morrenas

- **Tobas sálicas y depósitos hidromagmáticos (S-H).** Esta unidad es una de las que cubre mayor extensión superficial. Ocupa diversas planicies y en ella se reconocen tanto depósitos de pómez sálico, como niveles de cineritas de explosiones hidromagmáticas como pasadas de carácter sedimentario. Muestra siempre tonalidades blanquecinas y cremas y estratificación paralela subhorizontal muy característica. En la parte superior es frecuente observar unos niveles centimétricos encostrados de tipo "caliche".

- **Toba pumítica-toba riolítica (Tp-Tr).** Se trata de una unidad que aflora de forma marginal en el corredor estudiado. Los mejores afloramientos cartografiados se localizan al norte de la localidad San Juan del Cuervo. Están constituidos por depósitos de tobas con abundante pómez de composición ácida (riolita), entre los que se intercalan pasadas de tobas-brechas riolíticas más ricas en líticos y cristales.

- **Unidad volcanosedimentaria (V-S).**Se trata de una potente serie sedimentaria constituida por limos con niveles de sales, calizas y pasadas de tobas cineríticas. Esta unidad aflora en el entorno de la vía en el tramo anterior a la ciudad de Tula, donde se observa que la red de drenaje se ha encajado dando lugar a relieves escalonados. La estratificación es subhorizontal y debido a la diferente competencia de los materiales se producen fenómenos de erosión diferencial que ocasiona la aparición de "voladizos" que frecuentemente dan lugar a desprendimientos de bloques.

- **Ignimbrita-toba pumítica (Ig-T)**. Son unas ignimbritas soldadas con abundantes flamas y texturas de desvitrificación entre las que se intercalan pasadas de niveles de pumitas de color claro, que corresponden a intensas emisiones de carácter explosivo.

- **Coladas de andesitas-basaltos (A-Bc) y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas-basaltos (A-Bp).** A esta unidad se asignan las coladas y centros de emisión de esta composición que se han emitido a lo largo del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno). Estos materiales afloran ampliamente a lo largo del corredor y presentan cierta variación en su edad. Estas coladas han sido y son objeto de explotación para balasto ferroviario. Presentan disyunción columnar en las zonas masivas y originan relieves escalonados muy característicos debido a la alternancia de niveles de escorias y de bases y techos fragmentarios ("cascajo").

- **Toba riolítica-Toba dacítica (Tr-D).** Aunque llegan a afectar puntualmente al trazado, se encuentran recubiertos por suelos de alteración y por coladas más recientes de basaltos holocenos (B). En muestra de mano se observa que se trata de una roca gris con textura de toba fragmentaria. Intercalado entre el apilamiento se observan pasadas más compactas correspondientes a las unidades lávicas.

- **Toba riolítica-Riolita (Tr-R).** Esta unidad se encuentra localizada al oeste de la presa de Requena dentro del término municipal de Tepeji del río Ocampo y queda situada a unos 4 Km. Al NE del trazado. Existen niveles masivos de coladas riolíticas (muy duras) que alternan con pasadas de tobas y brechas de similar composición. En conjunto presentan potencias superiores a 100 m. y se pueden asignar al Neógeno.

- **Coladas de andesitas-dacitas y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas-dacitas (Tp A-D).** Estos materiales se han observado al oeste de la Estación de Lechería donde se levantan varios centros de emisión, alguno de los cuales llega a conservar su cráter, si bien presentan formas en planta algo irregulares. Se trata de una roca intermedia-ácida de tonalidad grisácea. Esta unidad ocupa grandes extensiones al oeste del corredor en la zona de Tepoztlan. Son coladas potentes con bases fragmentarias entre las que se intercalan niveles más brechoides.

- **Coladas de andesitas y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas (Tp A).** Estas coladas se sitúan a techo de las andesitas miocenas siendo en ocasiones

problemática su individualización y/o asignación a una u otra unidad. Se han asignado al Plioceno En la zona de San Juan del Río localmente se intercalan entre ambas unidades las ignimbritas y tobas de la unidad (Ig-T).

- **Coladas de andesitas-basaltos y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas-basaltos (Tm A-B).** Estas coladas son muy similares a las que se han descrito para la unidad A-B, puesto que presentan una composición similar, pero han sido asignadas al Mioceno, de acuerdo con los autores de la carta geológica. Se trata de rocas de color grisáceo-oscuro, mayoritariamente de tipo afanítico y puntualmente pueden presentar algún fenocristal aislado de piroxeno. En el apilamiento lávico se intercalan niveles de escorias y zonas fragmentarias que corresponden a bases y techos de las coladas. Esto da lugar a relieves escalonados y favorece el desarrollo de suelos en estas zonas fragmentarias. Además, en la trinchera de la vía actual se han observado los niveles de piroclastos de un centro de emisión asignado a estos episodios.

- **Coladas de andesitas y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas (Tm A).** Los mejores afloramientos se localizan en el sector de San Juan del Río, donde el encajamiento de algunos barrancos permite observar estos materiales tanto debajo de las Andesitas pliocenas (Tp-A) como de la unidad (Ig-T). Constituyen apilamientos de coladas con espesores superiores a 25 m. Las unidades lávicas presentan tonos grisáceos oscuros de tipo afanítico e intercalan niveles de escorias y piroclastos de tonos marrón oscuro.

- **Coladas de Andesitas-dacitas y centros de emisión y depósitos piroclásticos de andesitas-dacitas (Tm A-D).** En el sector inicial del trazado se han cartografiado varios afloramientos de esta unidad. Son coladas potentes de composición andesita-dacita de tonos grisáceos que se han asignado al Mioceno.

- **Riolita-Toba riolítica (R-Tr).** Esta unidad está muy escasamente representada en el corredor estudiado, tan sólo se han cartografiado unos pequeños afloramientos localizados al NE del trazado, en la zona de Pedro Escobedo, constituyen pequeños islotes que resaltan como cerros testigos en medio de la llanura cuaternaria. Algunos de ellos corresponden a centros de emisión, y se denominan: San Clemente, Gran Chaparral y San Vicente. Según los autores de la carta geológica se les asigna al Oligoceno.

Lutitas y areniscas (Ks). Esta unidad está constituida por una serie rítmica a modo de "flysch" en la que predominan las alternancias de delgadas capas de lutitas y areniscas calcáreas con niveles delgados de calizas de tipo "wakstone-packstone" con estratificación de mediana a delgada. Esta serie sedimentaria se ha asignado al Cretácico superior (Turoniano-Campaniano), según los datos suministrados por los autores de la carta geológica de Tula de Allende y corresponde con la Formación Soyatal. Dentro del corredor estudiado se han cartografiado sendos afloramientos que afectarían a las futuras variantes de Tula.

4.4.2.5 Características hidrogeológicas

En general, a lo largo del trazado se pueden diferenciar, a priori, unas zonas de morfología muy suave en las que predominan los depósitos de carácter aluvial (Qa), así como los recubrimientos de suelos (S), y Antrópicos (A). Todas estas unidades presentan una alta permeabilidad por porosidad intergranular. Además se pueden considerar los depósitos de coluviones (Qc) que aunque morfológicamente son muy diferentes, también constituyen una formación superficial poco potente y permeable.

La unidad de gravas y bolos (Qg) presenta unas características intermedias de permeabilidad puesto que existe matriz entre los clastos que resta permeabilidad al conjunto.

Dentro de las formaciones volcánicas que afloran a lo largo del corredor estudiado se pueden establecer tres grupos principales: Coladas, centros de emisión y depósitos piroclásticos de caída, y tobas, brechas y otras unidades piroclásticas. Esta clasificación no obedece tanto a sus características composicionales como a su estructura interna y/o origen.

Las coladas tienen escasa permeabilidad salvo en las zonas de bases y techos fragmentarios en que se incrementa su permeabilidad por fracturación y porosidad intergranular En este sentido, se puede señalar que cuanto más recientes son las coladas mayor es este parámetro, puesto que se incrementa la compactación de las zonas de bases y techos por mayor espesor de materiales. Además, en las unidades más antiguas los apilamientos y alteración secundaria pueden desarrollar minerales del grupo de las ceolitas que tapizan los huecos y vacuolas de las coladas.

Los centros de emisión y piroclastos de caída están constituidos por lapilli, escorias y bombas que tienen una elevada porosidad intergranular, si bien, como se ha comentado

anteriormente, en los edificios miocenos este valor es menor por los fenómenos de compactación y desarrollo de minerales secundarios. .

En general las tobas e ignimbritas tienen una permeabilidad muy baja, si bien, en los horizontes superiores y en los niveles de pómez si existe una elevada permeabilidad.

Nivel freático sondeos

Durante la ejecución de los sondeos, se han realizado las siguientes mediciones de nivel freático:

CUADRO RESUMEN REGISTROS DEL NIVEL FREÁTICO			
SONDEO	EMPRESA	PROFUNDIDAD NF	OBSERVACIONES
S-1	FICSA	-	No detectado
S-2	FICSA	-	No detectado
S-4	EPIEMS	28,50 m	En periodos de lluvia elevación de 1 m
S-5	FICSA	-	No detectado
S-6	EPIEMS	-	No detectado
S-11	EPIEMS	40,00 m	Asociado al nivel de boleos en periodo de lluvias
S-13	FICSA	-	No detectado
S-19	EPIEMS	17,20 m	En periodos de lluvia elevación de 0,80 m
S-20	FICSA	-	No detectado
S-21	FICSA	-	No detectado
S-22	FICSA	-	No detectado
S-27	FICSA	-	No detectado
S-29	FICSA	4,27 m	-
S-30	EPIEMS	17,20 m	-
S-31	EPIEMS	19,80 m	-
S-32	EPC	-	No se dispone de registro
S-33	FICSA	-	No detectado
S-34	FICSA	-	No detectado
S-41	EPC	-	No se dispone de registro
S-48	EPC	-	No se dispone de registro
S-49	FICSA	-	No detectado
S-53	FICSA	-	No detectado
S-54	EPC	-	No se dispone de registro
S-55	EPC	-	No se dispone de registro
S-56	EPC	-	No se dispone de registro

Tabla 4.4.1.- Resumen registro nivel freático

4.4.2.6 Riesgos geológicos

- **Riesgo volcánico**: Los riesgos geológicos están relacionados principalmente con el vulcanismo activo de la zona. Existe un gran número de erupciones históricas en el país.

- **Riesgo sísmico:** La zona se encuadra también (desde un punto de vista regional) en un área sísmicamente activa, por lo que se deberá tener en cuenta los efectos sísmicos ante el diseño de estructuras y/o cimentaciones.

- **Deslizamientos y procesos erosivos en taludes:** Los suelos blandos se asocian a las llanuras aluviales cuaternarias que ocupan grandes extensiones en la zona, si bien localmente se observan algunos fenómenos de encalichamiento superficial, dan lugar a delgadas costras. Las inestabilidades de taludes son manifiestas y se han identificado numerosos fenómenos en las trincheras de la vía actual y de la autopista.

- **Riesgos geotécnicos ligados a cimentaciones:** Los materiales presentan una gran variabilidad en su comportamiento geomecánico, debiendo identificarse aquellos que pueden presentar baja capacidad portante y generación de asientos importantes, así como posibles colapsos relacionados con tubos volcánicos.

- **Afección a edificaciones:** la heterogeneidad de los materiales deberá tenerse en cuenta sumado a los riesgos ligados a la ejecución de los túneles en zonas urbanas, respecto a los riesgos de subsidencias en superficie debido a la descompresión del terreno.

- **Afección del nivel freático:** Las características de la obra proyectada requiere tener en cuenta la posible afección a las mismas. Deberá comprobarse en fases posteriores la profundidad a la que se localiza el nivel freático, ya que en la mayoría de los sondeos no se ha realizado dicha medición.

- **Agresividad frente al hormigón:** Deberá analizarse la posibilidad de ataque químico agresivo al hormigón en fases posteriores, tanto de los materiales presentes en las obras como del agua del nivel freático, ya que únicamente se ha realizado un ensayo en la fase en la que nos encontramos.

- **Sismicidad:** La zona objeto de estudio está situada en zona sísmica por lo que las estructuras deberán ser diseñadas teniendo en cuenta el sismo.

4.4.3 Estudio de Materiales

4.4.3.1 Introducción

En este apartado se recogen las necesidades de materiales previstas en proyecto, así como el posible aprovechamiento de los materiales procedentes de excavación a lo largo del trazado de las distintas alternativas proyectadas y en el caso de ser necesario de los materiales que se explotan en zonas próximas al ámbito de actuación (canteras), con el fin de disponer de los materiales necesarios para la formación de las distintas unidades del movimiento de tierras de las alternativas en estudio.

4.4.3.2 Necesidades de materiales

Las necesidades de materiales que han de considerarse, de partida, son:

- Materiales para la formación de terraplenes, para saneos de cimiento de terraplén y mejora del fondo de excavación de desmonte.
- Materiales para capa de forma y cuñas de transición.
- Material para sub-balasto y balasto.
- Áridos gruesos y finos para hormigones de obras de fábrica.
- Materiales para capas drenantes y escollera.

4.4.3.3 Prescripciones exigidas a los materiales

Se han empleado los criterios de aceptación de los materiales según los dos pliegos manejados: Manual de calidad para materiales en la sección estructural de vías férreas", Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto mexicano de transporte (SCT. IMT) y la Ficha UIC-719.

4.4.3.4 Aprovechamiento de los materiales procedentes de la traza

De cada uno de estos materiales pueden efectuarse las siguientes consideraciones en cuanto a su empleo, a falta de resultados de ensayos de laboratorio en todas las unidades diferenciadas que corroboren dichas estimaciones:

UNIDAD GEOTÉCNICA	UNIDADES GEOLÓGICAS	GM	TIPO DE MATERIAL	APROVECHAMIENTO	REUTILIZACIÓN
COLADAS	**T_MA-Dc, T_PA-Dc, T_MAc, T_PAc, Bc ,A-Bc**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
IGNIMBRITAS Y TOBAS	**Ig-T, Tp-Tr, R-Tr, Tr-R**	II-III	ROCA	80 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
CALIZAS	**ks**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS	**T_MA-Dp, T_PA-Dp, T_MAp, T_PAp, Bp ,A-Bp**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
DEPÓSITOS VOLCÁNICOS	**S-H, V-S**	-	SUELO	50 %	Terraplén
Depósitos de barranco	**Q_C, Qac**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Depósitos de terrazas	**QT**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Depósitos aluviales	**Qa, Qar-ar**	-	SUELO	50 %	Terraplén
Suelos	**S**	-	SUELO	0 %	-
Rellenos antrópicos compactados	**Ac**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Rellenos antrópicos sin compactar	**A**	-	SUELO	0 %	-

Tabla 4.4.2.- Aprovechamiento y posibilidades de reutilización de los materiales procedentes de excavación a lo largo del trazado

4.4.3.5 Canteras

En el presente estudio se han inventariado un total de 11 canteras, que por su localización y proximidad al trazado proyectado pueden resultar de interés.

CÓDIGO	DENOMINACIÓN	EMPRESA	SITUACIÓN	NATURALEZA	APROVECHAMIENTO DE MATERIALES	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	DISTANCIA APROX. AL TRAMO (km)	RESERVAS	PRODUCCIÓN	ESTADO ACTUAL	NOTAS
C-1	Cantera de cemento "Tito A"	Cementos Cruz Azul S.C.	Tolva de Acende	Caliza	-Áridos de machacadora para hormigones		[illegible]	Elevadas		Activo	Empresa muy importante
C-2	Cantera "Pilgrim"	Cementos Cruz Azul S.C.	Tolva de Acende	Caliza	-Áridos de machacadora para hormigones		[illegible]	[illegible]		Activo	Empresa muy importante
C-3	P.K. 81 izquierda		Tolva de Acende	Tobas y conglos	-Áridos para bases y pol		[illegible]	[illegible]		Abandonado	Posible vertedero
C-4	Cantera La Palma	C-Mex	Tolva de Acende	Caliza	-Áridos para hormigón	Planta de Abastecim	[illegible]	Elevadas	Transportan directamente a la planta de Abastecim.	Activo	Empresa muy importante
C-5	P.K. [illegible] izquierda		Tolva de Acende	Tobas, conglos y arcos	-Áridos para hormigón		[illegible]	[illegible]		Abandonado	Posible vertedero
C-6	Pico P.K. [illegible] izquierda		San Juan del Río	Tobas pumíticas y brechas volcánicas	-Áridos para hormigón		[illegible]	Elevadas		Inactiva/abandonada	
C-7	Junto a la vía, a la dch P.K. 199+200		San Juan del Río	Tobas pumíticas y brechas volcánicas	-Áridos para hormigón		[illegible]			Abandonado	Posible vertedero
C-8	Próxima al cruce de la A-570 a Pinalito		San Juan del Río	Tobas pumíticas y brechas volcánicas	-Áridos para hormigón		[illegible]	Elevadas		Inactiva/abandonada	Se podría continuar la explotación a cielo abierto existente (83.333 m3)
C-9	Próxima al cruce de la A-570 a Pinalito		San Juan del Río	Tobas pumíticas y brechas volcánicas	-Áridos para hormigón		[illegible]				Posible vertedero (87.500 m3)
C-10	"El Mexicano"		Guerrero	Tobas y conglos	-Áridos para hormigón		[illegible]			Activo	Extensión interior y ampliación orden derechos (26.000 m3)
C-11	P.K. 263+300 de la vía actual		Guerrero	Andesitas basálticas	-Rellenos -Subbalasto -Capa de base -Rechazo de vertedero para [illegible]		[illegible]	Elevadas		Activo	

4.4.4 Geotecnia

4.4.4.1 Introducción

En este apartado, el estudio geotécnico tiene como objetivo analizar los condicionantes que los materiales atravesados imponen a la obra en función de su comportamiento geomecánico y características geotécnicas.

4.4.4.2 Campaña de investigación geotécnica

Con el fin de determinar las características geológicas y geotécnicas, tanto de los materiales más superficiales como del substrato para el Anteproyecto del corredor ferroviario, se propuso la realización de una serie de investigaciones que ha procedido a la realización de veinticinco (25) sondeos, noventa y cinco (95) calicatas y cinco (5) perfiles de sísmica de refracción.

Durante la ejecución de los sondeos y las calicatas se realizaron una serie de trabajos complementarios, como la toma de muestras y ensayos de penetración estándar, dependientes de la naturaleza del terreno.

TIPO	NÚMERO INVESTIGACIONES	OBJETIVOS PRINCIPALES
SONDEOS	25	Estudio Túneles. Cimentación viaductos. Modelo geológico-geotécnico. Caracterización materiales.
CALICATAS	95	Reutilización material desmontes. Cimentación de Rellenos. Modelo geológico-geotécnico.
SÍSMICA DE REFRACCIÓN	5	Espesores de suelos flojos. Modelo geológico-geotécnico. Caracterización materiales. Excavabilidad

Tabla 4.4.3.- Cuadro-resumen del estado de las investigaciones para el Anteproyecto

Complementariamente se han realizado una serie de inventarios de campo, que permiten obtener información sobre los materiales afectados por la traza principalmente en relación al diseño de taludes.

4.4.4.3 Unidades geológico-geotécnicas diferenciadas

De acuerdo al modelo geológico definido y a las características geológico-geotécnicas de los materiales atravesados por las alternativas objeto del estudio, una vez agrupados los materiales por su comportamiento geotécnico similar, se han diferenciado las siguientes unidades geotécnicas tipo:

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA		
UNIDAD GEOTÉCNICA	**UNIDADES GEOLÓGICAS**	**GM**
COLADAS	**T_MA-Dc, T_PA-Dc, T_MAc, T_PAc, Bc ,A-Bc**	II-III
		IV-V
IGNIMBRITAS Y TOBAS	**Ig-T, Tp-Tr, R-Tr, Tr-R**	II-III
		IV-V
CALIZAS	**ks**	III-IV
DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS	**T_MA-Dp, T_PA-Dp, T_MAp, T_PAp, Bp ,A-Bp**	III-IV
DEPÓSITOS VOLCÁNICOS	**S-H, V-S**	-
Depósitos de barranco	**Q_C, Qac**	-
Depósitos de terrazas	**QT**	-
Depósitos aluviales	**Qa, Qar-ar**	-

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA		
UNIDAD GEOTÉCNICA	**UNIDADES GEOLÓGICAS**	**GM**
Suelos	**S**	-
Rellenos antrópicos compactados	**Ac**	-
Rellenos antrópicos sin compactar	**A**	-

Tabla 4.4.4.- Resumen de la equivalencia entre unidades geológicas y unidades geotécnicas diferenciadas

4.4.4.4 Análisis de los resultados obtenidos

A partir del análisis de los resultados de campo y laboratorio obtenidos en la campaña geotécnica realizada para el presente estudio, junto con la consulta de publicaciones geotécnicas y normativas, complementado con la propia experiencia en estudios similares, se recomienda adoptar los siguientes parámetros geotécnicos resumidos a modo de cuadro resumen.

UNIDAD GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA			PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE CÁLCULO																	
						MATRIZ ROCOSA			MACIZO ROCOSO					TENSIONES EFECTIVAS				COEFICIENTE DE BALASTO	
UNIDAD GEOTÉCNICA	UNIDADES GEOLÓGICAS	GM	N_{SPT}	% PASANTE TAMIZ 0,080	PESO ESPECÍFICO APARENTE γ [kN/m³]	R.C.S. [MPa]	TRACCIÓN INDIRECTA BRASILEÑO [MPa]	E [MPa]	RQD %	GSI	m	RMR básico	Q básico	Cohesión c' [kPa]	Ángulo de rozamiento interno φ' [°]	Módulo de deformación E [MPa]	Coeficiente de Poisson ν	K_{30} [MN/m³]	K_s [MN/m³]
COLUDAS	T_cA-Dc, T_cA-Dc, T_cAc, T_cAc, Bc, A-Bc	II-III	-	-	25,4	80	7	20.000	50-70	45-65	25	55-80 (65)	8-11	350	54,5	4.300	0,22	>5.000	5.000O
		IV-V	13-100 (82)	32	16,5	0,50	-	-	0-20	15	23	-	-	15	26,74	84	0,24	200-400	150O
IGNIMBRITAS Y TOBAS	Ig-T, Tp-Tr, R-Tc, Tr-R	II-III	-	-	19,5	0,50	2,10	1.700-3.600 (3.000)	40-60	65-80	11	54-65 (70)	25	170	42,6	4.465	0,30	>5.000	5.000O
		IV-V	8-100 (80)	66,10	14	0,20	-	-	0-10	20	11	-	-	0	22,24	79,53	0,32	120-300	150O
CALIZAS	ks	III-IV	-	-	17,3	0,75	1,50	250	0-40	20	9	-	-	27	17,79	154	0,30	120-300	150O
DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS	T_cA-Dp, T_cA-Dp, T_cAs, T-Ap, Bp, A-Bp	III-IV	-	-	20,9	17	1,00	2.500	20-60	30-60	11	50-60 (70)	20	245	43,39	4.125	0,25	200-400	5.000O
DEPÓSITOS VOLCÁNICOS	S-H, V-S	-	23-100 (80)	42,39	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	150	25	200	0,32	200-400	150O
Depósitos de barranco	Q, Qac	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	0	38	57	0,30	120-250	SOBRE NF: 20%(D)
Depósitos de terrazas	QT	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	0	38	57	0,30	150-300	SOBRE NF: 20%(D)
Depósitos aluviales	Qa, Qan-ar	-	-	66,84	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	10	28	28	0,32	30	SOBRE NF: 5%(D)
Suelos	S	-	-	61,59	16,0	-	-	-	-	-	-	-	-	10	28	8	0,35	30	SOBRE NF: 5%(D)
Rellenos antrópicos compactados	Ac	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	10	38	38	0,30	80-150	SOBRE NF: 5%(D)
Rellenos antrópicos sin compactar	A	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	0	35	18	0,32	50-100	SOBRE NF: 5%(D)

Tabla 4.4.5.-Tabla resumen parámetros geotécnicos adoptados

4.4.4.5 Geotecnia de las obras de tierra

4.4.4.5.1 Análisis geotécnico de desmontes

Con objeto de dar contestación a los diferentes aspectos que debe abordar el estudio de los desmontes, se ha efectuado un análisis de los datos obtenidos en el reconocimiento geotécnico del terreno a lo largo del corredor. Específicamente, se ha tratado de obtener la toda la información posible relacionada al comportamiento de los taludes proyectados mediante una serie de inventarios de taludes, puntos de observación y estaciones geomecánicas.

En la tabla siguiente se recoge a modo de resumen la excavabilidad de cada una de las unidades geológico-geotécnicas diferenciadas a lo largo del trazado.

UNIDAD GEOTÉCNICA	UNIDADES GEOLÓGICAS	GM	TIPO DE MATERIAL	EXCAVABILIDAD
COLADAS	**T_MA-Dc, T_PA-Dc, T_MAc, T_PAc, Bc ,A-Bc**	II-III	ROCA	Voladura
		IV-V	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
IGNIMBRITAS Y TOBAS	**Ig-T, Tp-Tr, R-Tr, Tr-R**	II-III	ROCA	Ripable /Voladura
		IV-V	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
CALIZAS	**ks**	II-III	ROCA	Ripable/Voladura
		IV-V	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS	**T_MA-Dp, T_PA-Dp, T_MAp, T_PAp, Bp ,A-Bp**	II-III	ROCA	Ripable/Voladura
		IV-V	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
DEPÓSITOS VOLCÁNICOS	**S-H, V-S**	-	SUELO	Ripable/Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Depósitos de barranco	**Q_C, Qac**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Depósitos de terrazas	**QT**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Depósitos aluviales	**Qa, Qar-ar**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Suelos	**S**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Rellenos antrópicos compactados	**Ac**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador
Rellenos antrópicos sin compactar	**A**	-	SUELO	Excavable mediante medios mecánicos convencionales con uso puntual de martillo picador

Tabla 4.4.6.- Resumen de la excavabilidad estimada para cada una de las unidades.

El inventario de taludes realizado, permite constatar el comportamiento de taludes en los materiales estudiados, su estado actual de conservación, inclinaciones estables e inestables

sobre cada material, así como las posibles problemáticas geotécnicas y los tratamientos adoptados. Estos taludes inventariados se consideran representativos por estar desarrollados sobre materiales con el mismo perfil geotécnico y características estructurales respecto a los desmontes proyectados.

En general los ángulos de excavación de los taludes en roca inventariados son prácticamente verticales o subverticales, presentando inclinaciones superiores a 60º, correspondiendo a taludes en coladas, ignimbritas y tobas con grados de meteorización I-III a excepción de las tobas sálicas y depósitos hidromagmáticos. Estos presentan un buen estado general, con excepción de chineos o caída de pequeños bloques principalmente favorecida por la erosión diferencial, presentando un tratamiento de gunita, malla de triple torsión y anclajes, dependiendo de la unidad geológica presente y de la altura del talud. Existen también taludes de ángulo inferior, relacionados con los depósitos cuaternarios y tobas sálicas y depósitos hidromagmáticos.

En el caso de los suelos, estos presentan taludes más tendidos próximos a los 34º con un buen estado, afectados puntualmente por chineos y erosión diferencial.

A partir de estos datos y teniendo en cuenta las peculiaridades de este tipo de materiales volcánicos se recomienda diseñar una inclinación homogénea, que permita disminuir las pequeñas inestabilidades.

4.4.4.5.2 Análisis geotécnico de rellenos

Los materiales con los que se construirán los rellenos podrán proceder de las excavaciones a lo largo del trazado, siendo necesario recurrir a préstamos (canteras y yacimientos granulares) en caso de déficit de material y cuando las prescripciones técnicas más exigentes (balasto, sub-balasto) así lo requieran.

Con los materiales aptos para la formación de rellenos procedentes de las excavaciones a lo largo del trazado, podrán abordarse tres tipos de rellenos diferentes: principalmente terraplén, rellenos tipo pedraplén y rellenos todo - uno.

Se recomienda que con el objetivo de unificar los ángulos de los rellenos, así como en previsión de la diferente naturaleza de los materiales a emplear, ya sean todo-uno, terraplén o

pedraplenes, los rellenos se ejecuten con un ángulo 2H:1V, inclinación que permite también reducir la afección en planta del trazado.

Las medidas a adoptar para evitar que el plano de apoyo de los rellenos se configure como un plano preferente de debilidad, serán suficientes para evitar roturas a través del terreno de apoyo, dado que con las medidas que se recomiendan a continuación, este se hallará en general constituido por materiales de adecuada resistencia.

En el tramo que nos ocupa el cimiento del relleno estará constituido principalmente por roca, y en las ocasiones en las que existan terrenos flojos la preparación del cimiento que se requerirá para evitar problemas de estabilidad obligará a eliminarlos. Por lo tanto, los asientos que experimentarán los rellenos objeto de este estudio se deberán, casi exclusivamente, a la consolidación propia del relleno.

En tales condiciones la magnitud de los asientos dependerá, básicamente, de la altura del relleno, del tipo de material empleado y del grado de compactación que se alcance en obra. Su magnitud total es difícil de estimar y en la práctica, a efectos ingenieriles, únicamente tendrá significado la magnitud y el plazo en que se producirán los asientos residuales, después de terminada la ejecución de cada relleno.

4.4.4.5.3 Análisis geotécnico de la plataforma

Con el objeto de conseguir la categoría de la plataforma ferroviaria proyectada, se deberá disponer, tanto sobre la coronación de los rellenos como en el fondo de excavación de los desmontes, una “capa de forma”, constituida por suelos con una categoría que dependerá de ese tipo de plataforma deseada.

A la vista de las conclusiones obtenidas a partir de la campaña de investigación de campo y laboratorio se ha definido la plataforma existente (habiéndose tenido también en cuenta a la hora de definir los tratamientos en fondo de desmontes del anterior capítulo, de acuerdo tanto con la clasificación de la Ficha UIC-719, como con las especificaciones del Pliego prescripciones técnicas de Manual de Calidad de materiales en la sección estructural de vías férreas SCT, IMT), se necesita una capa de forma de 0,40 cm.

4.4.4.6 Geotecnia para la cimentación de estructuras

En fases posteriores deberá realizarse la correspondiente campaña geotécnica enfocada a la cimentación de cada una de las estructuras proyectadas que permitirá elaborar las recomendaciones de cimentación adecuadas. En cualquier caso, se recomienda que previamente al comienzo de las obras algún técnico competente confirme que los materiales del subsuelo reconocidos, así como la posición del nivel freático, estén en consonancia con las conclusiones del presente estudio para, si fuese oportuno y necesario, introducir las oportunas correcciones en el supuesto de que se observasen significativas desviaciones.

El planteamiento y metodología adoptado en el análisis de las recomendaciones geotécnicas de cimentación de estructuras en el presente Anteproyecto, ha consistido en recomendar las tipologías de cimentación, estimándose para el caso de cimentaciones directas –superficiales- la carga de hundimiento admisible y en el caso de ser necesario recurrir a cimentaciones profundas –pilotaje- indicándose el nivel de empotramiento.

En general las estructuras previstas podrán salvarse mediante cimentación superficial/directa sobre el sustrato rocoso (cumpliendo con la carga admisible), y pilotada en zona de suelos, aunque, teniendo en cuenta la zona sísmica y la falta de información geotécnica en esta fase de estudio, se recomienda una cimentación pilotada a lo largo del trazado.

4.5 Trazado

4.5.1 Criterios generales

La utilización del corredor ferroviario existente, especializado en el transporte de mercancías, para soportar circulaciones de altas prestaciones a velocidades superiores a las máximas admitidas en la actualidad, conlleva la modificación de la geometría de su trazado para garantizar que los parámetros que determinan la seguridad de la circulación y la comodidad de los viajeros presentan valores adecuados.

La explotación de la futura línea supondrá su utilización exclusiva por composiciones de viajeros, lo que supone que las actuaciones propuestas deberán satisfacer las necesidades de seguridad y confort de los viajeros sin penalizar con ello la conservación de la vía, debido al excesivo desgaste que provocarían los trenes mercantes de mayor peso. No obstante,

también se han diseñado tramos de vías para tráfico exclusivo de mercancías cuando la plataforma de la nueva línea ferroviaria comparte el derecho de vía de las existentes, siendo necesaria la reposición de éstas.

La metodología seguida ha sido la siguiente:

- En las zonas donde la insuficiencia de curvatura corresponde a un arco de circunferencia del trazado, su modificación puede llevarse a cabo de modo individual.
- En aquellas otras áreas en que una sucesión de curvas presente insuficiencias, su modificación se lleva a cabo de manera conjunta si resulta inviable hacerlo de forma individual.

  Esta modificación global de la secuencia de alineaciones se resuelve ventajosamente haciendo discurrir el trazado modificado por un nuevo corredor, definiendo un libramiento de trazado.

4.5.2 Configuración de la solución

En el *"Estudio de factibilidad técnica y redacción del anteproyecto del tren México-Querétaro. Análisis de alternativas utilizando las líneas Juárez y Morelos"* se dividió el corredor de dichas líneas en función de su factibilidad para la implantación de una línea de altas prestaciones, así surgieron nueve tramos con distintas actuaciones de trazado en varios de ellos.

Tras comparar cada una de ellas mediante un análisis multicriterio la combinación de actuaciones que mejor se adaptaba a las necesidades de la nueva línea fue la siguiente:

CORREDOR	TRAMO	ACTUACIÓN SELECCIONADA
Entrada y salida a México D.F.	Buenavista – Cuautitlán norte	Estación de Buenavista
		Escenario 1B
	Cuautitlán norte – Huehuetoca	Actuación única
Central	El Salto + Libramiento de Tula	Libramiento de Tula 4
	Tula – Santuario del Agua	Subtramo 1
		Subtramo 2 Este
		Subtramo 3
	Libramiento San Juan del Río	Libramiento San Juan del Río 1
	San Juan del Río – La Griega	Actuación única
Entrada y salida a Querétaro	Curva La Griega	Curva la Griega 1
	La Griega – Querétaro	Escenario 1

4.5.3 Normativa seguida

Una infraestructura ferroviaria tiene un muy largo período de vida útil, y por tanto debe ser proyectada con los parámetros geométricos más amplios posible, para que futuras mejoras en el material móvil no se vean impedidas por limitaciones en la infraestructura.

Ahora bien, el territorio también impone sus condiciones, y mantener unos parámetros de trazado constantes en todo el recorrido llevaría con toda seguridad a una infraestructura con costes inasumibles o, directamente, imposible de materializar.

Por este motivo se asumirán parámetros de trazado más restrictivos en zonas de especial dificultad, de acuerdo con la tramificación general, y siempre manteniendo las prestaciones finales en el rango de tiempos objetivo.

Por otra parte, los parámetros necesarios para definir un trazado ferroviario se limitan para cumplir con las exigencias de seguridad, comodidad del viajero, conservación de la vía y compatibilidad técnica.

Puesto que en la actualidad no existe una normativa aplicable a este tipo de líneas en México, para el diseño del trazado se han seguido las recomendaciones de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), así como las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad de infraestructura del sistema ferroviario de alta velocidad europeo.

Si bien esta normativa establece unos valores límites y excepcionales para los parámetros de diseño de trazado en líneas de ferrocarril en función de la velocidad de circulación, dichos valores están referidos únicamente a condiciones de seguridad, no así al confort del viajero ni a la conservación de la vía, exigencias igualmente importantes en este tipo de líneas y máxime cuando su diseño se realiza exclusivamente para el transporte de viajeros.

Dada la demostrada y larga experiencia española en este tipo de infraestructuras, se limitan dichos valores a las exigencias de comodidad y confort tomadas como base en las instrucciones y recomendaciones españolas para el diseño de líneas de alta velocidad.

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO	VALOR EXCEPCIONAL
Peralte (D)	140 mm	160 mm
Insuficiencia del peralte (I)	70 mm	80 mm
Rampa de peralte (dD/ds))	0,5 mm/m	1,0 mm/m
Variación del peralte con respecto al tiempo (dD/dt)	30 mm/s	50 mm/s
Variación de la insuficiencia del peralte con respecto al tiempo (dI/dt)	30 mm/s	50 mm/s
Pendiente longitudinal (i)	25 ‰	30 ‰
Aceleración vertical (av)	0,22 m/s²	0,39 m/s²

4.5.4 Implantación territorial

A pesar de haber diseñado el trazado como una entidad geométrica única, con inicio en la estación de Buenavista en México D.F. y final en la de Querétaro, ni los condicionantes

impuestos ni las prestaciones a considerar son homogéneos, por lo que bien pueden diferenciarse dos realidades totalmente diferentes:

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

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

4.5.4.1 Tramo urbano: entrada en México (P.K. 0+000 a P.K. 47+000)

En la parte inicial y como se ha comentado anteriormente, el trazado discurre por el corredor ferroviario existente, conviviendo con el sistema 1 de explotación de viajeros, hasta que alcanza una zona en la que la plataforma puede finalmente adoptar un trazado independiente.

Pueden distinguirse tres zonas en función de los condicionantes que impone el territorio: Desde la estación de Buenavista hasta Cuautitlán, en las inmediaciones de la Avenida Jose María Morelos, desde aquí hasta el PK 30+600, en donde se efectúa un salto de carnero, y desde este punto hasta la población de Huehuetoca.

Buenavista-Cuautitlán

El trazo parte de la Estación de Buenavista. En su configuración actual dispone de 9 vías con 7 andenes (cinco de ellos centrales). En la situación definitiva se prevé el uso de 5 vías y 3 andenes (dos de ellos centrales) para la explotación de la línea de Alta Velocidad.

Desde la estación de Buenavista, el futuro ferrocarril discurre por las vías del sistema 1 en dirección Norte - Noroeste, atravesando las diferentes estaciones dispuestas a lo largo de la

red hasta llegar finalmente a Cuautitlán. El corredor existente no dispone prácticamente de espacio para alojar más plataformas, salvo en zonas puntuales, ya que alberga las vías del sistema 1 así como las vías de mercancías que abastecen a las naves que surgen a lo largo del trayecto, pues se trata de una zona fuertemente industrializada.

Como elementos singulares del trazado, pueden destacarse las estaciones de Buenavista, Fortuna, Tlalnepantla, San Rafael, Lechería, Tultitlán, los viaductos existentes para el paso de vías del sistema 1, Puente Vallejo y Puente Lechería. Otros elementos singulares del trazado son el túnel de Barrientos, situado en torno al PK 16+500, y los cruces con vías de comunicación de entidad, como el Circuito Interior (Av. Del Río Consulado), los Ejes 3, 4 y 5 Norte, la Autopista Urbana Ecatepec-Los Remedios, Avenida Mario Colín, José López Portillo y Alamedas, Ferrocarrilera y Álamos, Independencia, Circuito Exterior Mexiquense y Jose María Morelos.

A su paso por las estaciones, con objeto de compatibilizar la explotación tanto de la red de ferrocarriles del sistema 1, como la de la futura línea de Alta Velocidad, se ha recurrido a la implantación de laderos en las estaciones de Tlalnepantla (vía izquierda), San Rafael (vía derecha), Lechería (ambas vías), y por último Cuautitlán (ambas vías), siendo necesaria la reposición de las vías de carga que actualmente ocupan dicha superficie.

Cuautitlán- Salto de Carnero

Desde Cuautitlán en adelante, el pasillo ferroviario se estrecha para dar cabida a la nueva plataforma que formarán las dos vías de Alta Velocidad y la reposición de las vías de mercancías “Juárez”, “Morelos”, “B” (y eventualmente “601”).

Al llegar a la altura del PK 26+150, coincidiendo con el cruce bajo la Avenida Jose María Morelos, las vías del sistema 1 se juntan para acabar en culatón unos metros más adelante. En este punto existe la confluencia de varias vías de mercancías, las cuales tienen continuidad después del paso. Como en esta estación es necesaria la implantación de ambos laderos, el conjunto de vías hace necesaria la demolición y reconstrucción del paso.

En este tramo el trazado se caracteriza por tener largas rectas y tener radios bastante amplios (mínimo de 2.500 m), hasta llegar a las inmediaciones del paso Santa María (PK aprox.

30+375), en donde ambas vías se separan para saltar sobre las vías existentes y situarse a la izquierda de las mismas, aprovechando el espacio libre de edificaciones entre la vía de Mercancías “A” y las vías “Juárez” y “Morelos”.

El salto de carnero provoca afecciones en la reposición de las vías de mercancías que ya se venía efectuando desde Cuautitlán, Línea “B” y Línea “601”, afecciones que se solventan desplazándolas hacia la derecha para dejar espacio a la rampa de la vía 1 de la LAV antes de saltar sobre las vías “Juárez” y “Morelos”.

Salto de Carnero- Huehuetoca

Una vez que las vías de Alta Velocidad se colocan a la izquierda de las vías Juárez y Morelos, la plataforma sigue su recorrido hacia el Norte durante aproximadamente 3 km, con la vía A por la Izquierda, y las Juárez y Morelos y B por la derecha.

El trazado en estos kilómetros no presenta una gran dificultad desde el punto de vista orográfico, ya que discurre por terrenos bastante planos. Desde el punto de vista geométrico se caracteriza por amplias rectas y único radio de 3. 200 m.

Tras pasar este punto, el trazado sigue rumbo Noroeste en recta hasta el PK 43+500, por terrenos prácticamente planos. Algunas estructuras de entidad que encuentra el trazado son el cruce con Gran Canal, procedente de la Laguna de Zumpango, en torno al PK 36+875, así como el cruce con el anillo exterior Mexiquense en el PK 42+100.

En torno al PK 43+300 y 44+100 el espacio disponible para el corredor ferroviario se estrecha considerablemente, por lo que el trazado se ve obligado a elevarse para mantener el servicio de las vías existentes. Para ello, comienza a elevarse entre muros desde el PK 42+400 en rampa de 20 milésimas hasta el PK 43+150 en donde la infraestructura discurre en Viaducto sobre las vías de mercancías existentes hasta el PK 47+000, en donde la plataforma vuelve a posarse sobre el terreno.

En esta zona se encuentran ubicadas instalaciones importantes como los talleres del Sistema 1 y una lumbrera del Túnel Emisor Oriente (TEO) en las inmediaciones del PK 43+500, así como edificaciones en la margen izquierda y vías de carga existentes.

4.5.4.2 Tramo interurbano (P.K. 47+000 a P.K. 193+000)

Una vez abandonada la población de Huehuetoca por el norte, la plataforma de la nueva línea ferroviaria discurre durante poco más de dos kilómetros a la derecha de las vías existentes (Juárez, Morelos y A) y rodeando una nueva lumbrera del TEO (P.K. 48+900) para girar a izquierdas, cruzando sobre las vías actuales y el Gran Canal.

Una vez que la nueva infraestructura abandona el corredor de las vías Juárez y Morelos , cruza sobre la carretera federal 87 (Santa Teresa-Tula), transita al sur de las instalaciones de la fábrica “Mabe” para girar a derechas y enfilar el valle del río Tula antes de su “desembocadura” en la presa Requena.

Entre los PPKK 57+600 y 59+200 se encuentra del primer puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes (PAET) de los cuatro de los que se disponen en la nueva línea.

Una vez cruzado el cauce del río Tula, aguas abajo del embalse Requena, el trazado gira hacia el oeste evitando el núcleo de San Miguel Vindho por el sur, para discurrir entre las poblaciones de San Ildefonso y Nueva Santa María e internarse en la zona más abrupta de Cerro Grande, que atraviesa con un sinfín de desmontes y terraplenes de pequeña longitud pero de considerable altura y que, en determinadas ocasiones, pasan a convertirse en túneles y viaductos (ocho túneles y tres viaductos, el último sobre el Arco Norte de Tula).

Un kilómetro y medio después del cruce con este vial, la traza cruza sobre las vías actuales Juárez-Morelos para situarse a su margen derecha y discurrir paralelas durante cuatro kilómetros aprovechando su pasillo y derecho de vía.

En el P.K. 87+000, ambas plataformas ferroviarias se separan, girando la nueva traza hacia el noroeste buscando volver a situarse en paralelo en la zona de los laderos de Daxti, donde se ubica el segundo PAET de la línea (P.K. 92+800).

En el entorno del P.K. 95+000 la nueva traza vuelve a acercarse al pasillo de las líneas Juárez y Morelos actuales, para describir un arco a izquierdas rodeando el cerro sobre cuya ladera sur se asienta la población de San Sebastián de Juárez, cruzando en su camino dos veces sobre la línea B (PPKK 100+000 y 104+600).

Rodea por el norte el núcleo urbano de Maravillas, para discurrir en una recta de seis kilómetros al norte del corredor de las líneas Juárez y Morelos, cruzar bajo ellas y situarse al sur de éstas.

En el P.K. 114+000 pasan a circular sensiblemente en paralelo las cuatro vías durante cuatro kilómetros en los que se sitúa el PAET-3 (P.K. 116+900).

A continuación las nuevas vías, mediante una única alineación curva de radio 9.500m corrige el trazado de las actuales por el sur exigiendo la construcción de dos túneles y un viaducto, para en el P.K. 124+900 cruzar sobre ellas y situarse en paralelo, esta vez, por el norte.

Entre el P.K. 129+500 y hasta 141+000, comparten corredor y derecho de vía con las líneas Juárez y Morelos existentes, las cuales ven modificados los laderos de Polotitlán para acoger a las nuevas vías.

A partir del P.K. 141+000 la nueva traza se separa y toma una orientación sureste – noroeste dejando siempre la ciudad de San Juan del Río al norte. Cruza sobre las vías existentes en el P.K. 148+300 entrando en una zona de relieve abrupto con profundos barrancos que sortea mediante estructuras tipo viaducto. Rodea el cerro de La Venta por su izquierda para, entre éste y la autopista 57 México – Querétaro, ubicar el cuarto y último PAET de la nueva línea (161+700).

Una vez cruzada la autopista, la traza busca el corredor existente, al que se adosa por su margen izquierda, manteniéndose paralelo a él hasta el P.K.174+000, donde lo cruza mediante una estructura y vuelve a adosarse a las vías actuales, pero a la derecha, hasta el P.K. 193+500. En su recorrido, bordea por su margen derecha la estación del Ahorcado y en el P.K. 183+500 cruza sobre la vía de unión de las líneas Juárez y Morelos con la B.

4.5.4.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro (P.K. 93+000 a P.K. 209+759)

El tramo final del trazado, se caracteriza por discurrir aprovechando en su mayor parte el corredor de las líneas Juárez-Morelos, adaptando la geometría de la línea ferroviaria de alta velocidad con el objeto de reducir las afecciones a terceros.

Como elemento singular destaca la Estación de Querétaro, esta estación dispone de dos andenes de 200 metros de longitud útil, dos vías de estacionamiento y un culatón de maniobras, así como dos vías adicionales a la nave de limpieza e inspección.

La estación de Querétaro se sitúa entre la urbanización Balcones del Acueducto, el Boulevard Bernardo Quintana y el trazado de la Línea Juárez-Morelos.

Desde el punto de vista de la geometría de la vía se distinguen dos zonas una primera con radios de 2.500 metros en la cual las velocidades máximas están en el orden de los 200 kilómetros por hora y una segunda zona donde la densidad urbana impide la inserción de grandes radios, a la vez que se sitúa en la zona de acercamiento a la estación, adaptando el trazado al de las líneas Juárez y Morelos (el radio mínimo adoptado es de 763,947 metros).

El trazado comienza en la recta anterior a la curva denominada “La Griega” discurriendo en paralelo con la Línea Juárez-Morelos. Llega hasta la urbanización conocida como “Los Héroes”, donde gira a la izquierda, en este punto se produce la incorporación de la Línea B, de forma que la línea de alta velocidad, a partir de este punto, se sitúa entre las dos líneas existentes. Para aumentar la velocidad de paso se eleva el radio de esta curva hasta 2.500 metros.

Una vez pasada la curva de “La Griega”, el trazado discurre por el corredor actual, entre las diferentes urbanizaciones existentes. Previo al cruce con la Carretera Federal 57, la línea Juárez-Morelos se desvía hacia la izquierda, transitando desde este punto paralelo a la Línea “B”. En este tramo se definen dos alineaciones rectas separadas por una curva a izquierdas de valor 2.527,50 metros. Una vez finalizada la segunda alineación recta, la línea “B” gira hacia la izquierda, mientras que la alta velocidad vuelva a buscar la Línea Juárez-Morelos mediante un giro a la derecha con una curva de radio 2.500 metros. El cruce entre la alta velocidad y la Línea “B” se resuelve con una estructura.

A partir de este punto la alta velocidad discurre a la derecha del trazado encadenando una serie de curvas a derecha e izquierda adaptadas al corredor actual de la Línea Juárez-Morelos y, a las diferentes edificaciones existentes.

Previo a la futura estación de alta velocidad se produce la bifurcación entre la línea de alta velocidad y la Línea Juárez-Morelos, la alta velocidad se abre a la derecha y la Línea Juárez-Morelos continúa por su corredor. Una vez separadas, la línea de alta velocidad atraviesa un túnel de nueva ejecución mediante una curva a izquierdas de radio 2.400 metros, a partir de esta curva se sitúa la recta de la estación. Recta de 800 metros de longitud en la cual se sitúan los andenes, una transición de entreejes de 4,70 a 4,00 metros, una bretel, dos culatones de maniobra y las toperas.

En alzado el trazado se adapta a los trazados de las Líneas existentes pero ajustando las características de los acuerdos verticales a las velocidades del tramo.

Como elementos más singulares están la rampa sobre la Línea “B” y la Estación de Querétaro. La estación de Querétaro se dispone en horizontal, estando su cota condicionada por el cruce con el Boulevard de Bernardo Quintana.

4.6 Movimiento de tierras

En el anejo nº 6 Movimiento de tierras se ha realizado una cuantificación de los volúmenes generales de tierra generados en el movimiento de tierras en las actuaciones contempladas.

La obtención de la cubicación básica para las distintas obras de tierras se ha efectuado en base a las mediciones realizadas a partir de los perfiles del terreno obtenidos de la cartografía. De los volúmenes de excavaciones en los distintos tramos y los parámetros de excavabilidad, aprovechamiento, coeficiente de paso (valor global considerado de 1,03) y coeficiente de esponjamiento (valor global considerado de 1,19) deducidos del Anejo de Geología y Geotecnia se han obtenido a su vez los volúmenes aprovechables para terraplén y capa de forma provenientes de desmontes.

Estos volúmenes de excavaciones aprovechables confrontados con los volúmenes necesarios de rellenos en cada tramo permiten obtener el material necesario de préstamos para terraplén y capa de forma, así como el excedente a vertedero.

Tras aplicar el balance de tierras a cada uno de los tramos de actuación se llega a las siguientes conclusiones:

- Material para rellenos procedente de préstamos ..... 2.148.472,8 m³
- Material de préstamo para capa de forma ..... 787.417,2 m³
- Material de préstamo para subbalasto ..... 805.835,1 m³
- Material de préstamo para balasto ..... 1.339.045,2 m³
- Material a vertedero ..... 12.289.107,5 m³

4.7 Hidrología y drenaje

El objeto del Estudio Hidrológico y de Drenaje es identificar las cuencas vertientes interceptadas por el trazado de estudio y la obtención de los caudales punta, para los periodos de retorno establecidos, de cada cuenca, para posteriormente dimensionar las obras de drenaje.

4.7.1 Hidrología

4.7.1.1 Introducción

La metodología de cálculo para los caudales depende del tamaño de la cuenca de aporte. De esta manera se puede hacer la distinción entre cuencas pequeñas, cuencas grandes y cuencas muy grandes.

El límite para definir un tipo u otro, viene determinado por el valor de su superficie. De esta manera, se puede hacer la siguiente clasificación, según lo indicado en la Normativa:

- **Cuencas pequeñas**: se considerarán como cuencas pequeñas aquellas con una superficie de hasta cien (100) kilómetros cuadrados. Para el cálculo de los caudales de referencia de estas cuencas se utilizará el Método Racional. Dentro de las cuencas pequeñas, se puede hacer la distinción de una tipología de cuenca particular. Esto quiere decir que el caso particular de **cuencas muy pequeñas**, caracterizadas como cuencas planas, de poca pendiente, en las que el escurrimiento no ha formado cauces y fluye en forma laminar, con superficie de hasta uno coma cinco (1.5) kilómetros

cuadrados, se tratarán de forma diferente y los caudales de referencia de dichas cuencas se calcularán mediante el Método de Horton.

- **Cuencas grandes**: se considerarán como cuencas grandes aquellas con una superficie comprendida entre los cien (100) y los doscientos cincuenta (250) kilómetros cuadrados. Para el cálculo de los caudales de referencia de estas cuencas se utilizará el Método de Chow.

- **Cuencas muy grandes**: se considerarán como cuencas muy grandes aquellas con una superficie superior a doscientos cincuenta (250) kilómetros cuadrados. Para el cálculo de los caudales de referencia de estas cuencas se realizará un estudio foronómico mediante un estudio estadístico directo de las series de los registros de caudales de las estaciones hidrométricas instaladas en la corriente de estudio.

4.7.1.2 Normativa de Referencia

Uno de los documentos de referencia para el desarrollo del Estudio Hidrológico es la publicación **"Isoyetas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la República Mexicana"** editada por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Caminos y Transportes. De la publicación se obtienen los valores de intensidad de lluvia y precipitación para diferentes periodos de retorno y duración de las cuencas identificadas.

Por otra parte, la principal norma de aplicación para el desarrollo del estudio, es la Norma **N·PRY·CAR.1·06 – Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes**.

Dicha normativa pertenece a la colección de Normas NIT (Normativa para la Infraestructura del Transporte), editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte del Gobierno de México y se subdivide en las siguientes Normas y Manuales:

N·PRY·CAR.1·06·001/00 Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para puentes

N·PRY·CAR.1·06·002/00 Trabajos de Campo

N·PRY·CAR.1·06·003/00 Procesamiento de la Información

N·PRY·CAR.1·06·004/00 Análisis Hidrológicos

N·PRY·CAR.1·06·005/00 Análisis Hidráulicos

N·PRY·CAR.1·06·006/00 Presentación del Estudio Hidráulico-Hidrológico para Puentes

Aunque dicha normativa se refiera a puentes sobre carreteras, se considera que sus bases de cálculo son aplicables a un trazado ferroviario como es el caso de estudio, e igualmente extrapolables a todas las cuencas interceptadas por el trazado, no únicamente a las cuencas asociadas a un puente.

4.7.1.3 Periodos de retorno

Para cada una de las cuencas definidas, se ha calculado el caudal para los periodos de retorno de 50, 100, 300 y 500 años.

Para las cuencas cuyas vaguadas sean cruzadas mediante un viaducto, se ha calculado también el caudal para un periodo de retorno de 1000 años.

Las alcantarillas proyectadas para el desagüe de las cuencas, se dimensionarán respetando la capacidad de desagüe correspondiente a la avenida de 100 años de periodo de retorno. Una vez dimensionadas las alcantarillas, se realizarán las comprobaciones para el caudal de periodo de retorno de 300 años.

Por otra parte, para los viaductos proyectados sobre vaguadas, se comprobará que tengan capacidad para el desagüe de los caudales de 500 y 1000 años de periodo de retorno, comprobando que se respete un resguardo mínimo de 1.50 m desde la cota de la lámina de agua hasta la cota inferior del tablero del viaducto.

4.7.1.4 Metodología de cálculo – Cuencas muy pequeñas – Método Horton

Particularmente en cuencas muy pequeñas que cumplen con las siguientes características: cuencas planas, de poca pendiente, en las que el escurrimiento no ha formado cauces y fluye en forma laminar, como puede ser el proveniente de una ladera o el de la superficie de

rodamiento de una carretera, con superficie de hasta uno punto cinco (1.5) kilómetros cuadrados, para el cálculo de los caudales de referencia se procede según lo indicado por el Método de Horton.

La formulación del Método de Horton es la siguiente:

$$Q_{Tr} = q \cdot A$$

Donde:

Q_{Tr} = caudal punta de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido (m^3/s)

A = área de la cuenca de estudio (ha)

q = caudal unitario de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido [(m^3/s)/ha], calculado según la siguiente expresión:

$$q = 0{,}0275 \cdot I_e \cdot \tanh^2\left[0{,}3194 \cdot t_c' \cdot \left(\frac{I_e}{n' \cdot L}\right)^{0{,}50} \cdot Sc^{0{,}25}\right]$$

q = caudal unitario de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido [(m^3/s)/ha]

I_e = intensidad de lluvia en exceso para el periodo de retorno establecido (cm/h)

tc' = duración crítica (min)

n' = coeficiente de retardo de la cuenca en estudio, adimensional

L = longitud del cauce principal (m)

Sc = pendiente media del cauce principal, adimensional

Estos parámetros se han definido para cada una de las cuencas definidas, cuyos caudales se han calculado mediante el Método de Horton.

4.7.1.5 Metodología de cálculo – Cuencas pequeñas – Método Racional

Para el cálculo de los caudales de referencia de las cuencas con una superficie de hasta cien (100) kilómetros cuadrados se procede según lo indicado por el Método Racional.

La formulación del Método Racional es la siguiente:

$$Q_{Tr} = 0{,}278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dónde:

Q_{Tr} = caudal punta de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido (m^3/s)

C = coeficiente de escurrimiento de la cuenca de estudio (adimensional)

I = intensidad de lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca de estudio para el periodo de retorno establecido (mm/h)

A = área de la cuenca de estudio (km^2)

Estos parámetros se han definido para cada una de las cuencas definidas, cuyos caudales se han calculado mediante el Método Racional.

4.7.1.6 Metodología de cálculo – Cuencas grandes – Método Chow

Para el cálculo de los caudales de referencia de las cuencas con una superficie comprendida entre los cien (100) y los doscientos cincuenta (250) kilómetros cuadrados se procede según lo indicado por el Método de Chow.

La formulación del Método de Chow es la siguiente:

$$Q_{Tr} = 2{,}78 \cdot A \cdot X \cdot Z$$

Donde:

Q_{Tr} = caudal punta de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido (m^3/s)

A = área de la cuenca de estudio (km^2)

X = factor de escurrimiento (cm/h)

Z = factor de reducción del pico, adimensional

Este método también se ha utilizado para el cálculo del caudal de periodo de retorno de 500 años, de todas las cuencas, independientemente de su superficie.

De igual forma, se ha utilizado el Método de Chow para el cálculo del caudal de periodo de retorno de 1000 años, de las cuencas cuyas vaguadas que sean cruzadas mediante un viaducto, independientemente de su superficie.

4.7.1.7 Metodología de cálculo – Cuencas muy grandes – Estudio foronómico

El estudio foronómico requiere para su ejecución de estudios de campo que implican estudiar desde los diferentes tipos de superficies, el reconocimiento de la zona para conocer los caudales principales, la medición del caudal en la corriente hasta su velocidad para posteriormente realizar los cálculos hidráulicos para comprobación de los datos obtenidos en campo.

Debido a esta gran ejecución de actividades, este estudio no se realizó por lo que para este tipo de cuencas mayores a 250 km^2, se utilizó el método de Chow para realizar los cálculos hidráulicos para el diseño de las obras de drenaje.

4.7.2 Drenaje

4.7.2.1 Introducción

En el estudio de drenaje, se describen, justifican y dimensionan las actuaciones en cuando al drenaje proyectado en el trazado de la línea ferroviaria de estudio.

El trazado, dado su carácter lineal, interfiere a lo largo de su recorrido con el curso natural de las aguas en laderas y cauces siendo necesario restablecer su continuidad mediante el drenaje transversal a través de la implantación de alcantarillas para los pequeños cauces y viaductos para los ríos y cauces de entidad.

Por otra parte, resulta igualmente necesario definir las obras de drenaje longitudinal de la plataforma, cuyo cometido es la recogida y evacuación, por medio de cunetas, colectores y drenes subterráneos, de los caudales de escorrentía circulantes por los taludes de los desmontes y de la plataforma ferroviaria.

4.7.2.2 Drenaje Transversal

4.7.2.2.1 Alcantarillas

4.7.2.2.1.1 Alcantarillas existentes

Parte de los tramos del trazado de la línea ferroviaria de estudio, comparte plataforma con la infraestructura ferroviaria existente de "*las líneas Juárez y Morelos".*

En dichos tramos, las actuaciones en cuanto al drenaje transversal consisten en la ampliación de las alcantarillas existentes en el tramo de ampliación de la plataforma ferroviaria. De esta manera se plantea la ampliación de las alcantarillas que sean afectadas por el trazado de la nueva línea ferroviaria.

La ampliación de las alcantarillas se realizará manteniendo las dimensiones y pendiente de las alcantarillas existentes, para de esa manera, conservar el mismo régimen de funcionamiento hidráulico.

Se ha realizado un trabajo de campo, con el objetivo de localizar e identificar las alcantarillas existentes en los tramos en los que el nuevo trazado discurre paralelo o comparte plataforma con las líneas ferroviarias existentes.

4.7.2.2.1.2 Alcantarillas proyectadas

Para el dimensionamiento y comprobación hidráulica de las alcantarillas proyectadas, se han determinado inicialmente los caudales totales a evacuar por cada una de ellas, a partir de los caudales calculados en el Apartado “Hidrología”.

En el siguiente cuadro resumen se refleja cada una de alcantarillas propuestas relacionadas con su correspondiente cuenca de aportación.

En la misma tabla se han reflejado todas las cuencas y su correspondencia con la solución de drenaje proyectada (alcantarilla o viaducto). De esta manera, se tiene una tabla resumen global en la que se refleja la solución de drenaje adoptada para cada una de las cuencas delimitadas en el proyecto.

CUENCA	PK	NOMBRE	DIMENSIONES
1	43+325	VIADUCTO 43.2	
2	45+250	VIADUCTO 43.2	
3	47+354	ALCANTARILLA 47.4 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 5.70x7.80 m
4	47+990	ALCANTARILLA 48.0	CAJÓN BICELULAR 5.00x3.50 m
5+6+7+8+9	52+875	VIADUCTO 52.8	
6	50+650	VIADUCTO 50.4	
7+8	51+681	ALCANTARILLA 51.7	CAJÓN 3.50x2.50 m
9	52+357	ALCANTARILLA 52.4	TUBO Ø2.13 m
5+6+7+8+9+10	53+900	VIADUCTO 53.9	
11	54+189	ALCANTARILLA 54.2	CAJÓN BICELULAR 4.00x3.50 m
12	55+545	ALCANTARILLA 55.6	TUBO Ø1.52 m
13	55+961	ALCANTARILLA 56.0	CAJÓN 6.00x3.50 m
14	57+912	ALCANTARILLA 57.9	CAJÓN 7.00x4.00 m
15	63+600	VIADUCTO 63.4	
15A	61+835	ALCANTARILLA 61.8	TUBO Ø1.22 m
15B	62+380	ALCANTARILLA 62.4	TUBO Ø1.22 m

CUENCA	PK	NOMBRE	DIMENSIONES
16	65+273	ALCANTARILLA 65.3	TUBO Ø1.83 m
17+18+19	67+100	VIADUCTO 67.0	
18A	69+574	ALCANTARILLA 69.6	TUBO Ø1.22 m
20	70+567	ALCANTARILLA 70.6	CAJÓN 5.00x3.50 m
21	72+290	ALCANTARILLA 72.3	TUBO Ø1.83 m
22	72+762	ALCANTARILLA 72.8	TUBO Ø1.52 m
23	73+077	ALCANTARILLA 73.1	TUBO Ø1.83 m
24	73+521	ALCANTARILLA 73.5	TUBO Ø2.13 m
25	74+142	ALCANTARILLA 74.2	TUBO Ø1.22 m
26	74+400	ALCANTARILLA 74.4	TUBO Ø1.52 m
27	75+157	ALCANTARILLA 75.2	CAJÓN 2.50x2.00 m
28	76+250	VIADUCTO 75.9	
29	77+400	VIADUCTO 76.9	
30	82+000	VIADUCTO 81.4	
30% 31	82+875	ALCANTARILLA 82.9 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 1.80x1.20 m
70% 31	83+770	ALCANTARILLA 83.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 1.50x0.75 m
32	84+392	ALCANTARILLA 84.4 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 3.00x1.80 m
33	84+769	ALCANTARILLA 84.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 5.00x3.50 m
34	85+806	ALCANTARILLA 85.8	TUBO Ø1.83 m
35	86+000	ALCANTARILLA 86.0	CAJÓN 2.50x2.00 m
36	87+850	VIADUCTO 87.6	
37	89+798	ALCANTARILLA 89.8	TUBO Ø1.83 m
38	90+517	ALCANTARILLA 90.5	CAJÓN 2.50x2.00 m
39	91+885	ALCANTARILLA Y PASO INFERIOR 91.9 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 6.44x 3.80 m
40+41	93+203	ALCANTARILLA 93.2	CAJÓN 3.50x2.50 m
42	95+016	ALCANTARILLA 95.0	TUBO Ø1.52 m
43	95+318	ALCANTARILLA 95.3	CAJÓN 6.00x3.50 m
44	98+050	VIADUCTO 97.8	
45	98+662	ALCANTARILLA 98.7	TUBO Ø1.83 m

CUENCA	PK	NOMBRE	DIMENSIONES
46	99+675	VIADUCTO 99.5	
47	100+125	VIADUCTO 99.5	
48	103+200	VIADUCTO 103.0	
49+49A	104+675	VIADUCTO 104.6	
49A	105+237	ALCANTARILLA 105.2	CAJÓN BICELULAR 7.00x4.00 m
50	106+475	ALCANTARILLA 106.5	TUBO Ø2.13 m
51	107+478	ALCANTARILLA 107.5	CAJÓN 2.50x2.00 m
52	110+402	ALCANTARILLA 110.4	CAJÓN BICELULAR 4.00x3.50 m
52+53	110+780	ALCANTARILLA 110.8	CAJÓN TRICELULAR 7.00x4.00 m
54	111+412	ALCANTARILLA 111.4	TUBO Ø1.83 m
55	112+354	ALCANTARILLA 112.4	CAJÓN 5.00x3.50 m
56	113+560	ALCANTARILLA 113.6	CAJÓN 3.00x2.00 m
57	114+220	ALCANTARILLA 114.2	TUBO Ø1.52 m
58	114+543	ALCANTARILLA 114.5	TUBO Ø1.22 m
59	114+771	ALCANTARILLA 114.8 (AMPLIACIÓN)	2 CAJÓN 1.00x1.00 m (a cada margen del PI)
60	115+200	ALCANTARILLA 115.2	TUBO Ø1.52 m
61	116+525	VIADUCTO 116.5	
62	117+813	ALCANTARILLA 117.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 4.00x4.00 m (Bóveda)
63	118+779	ALCANTARILLA 118.8	CAJÓN BICELULAR 4.00x3.50 m
64	120+921	ALCANTARILLA 121.0	CAJÓN BICELULAR 4.00x3.50 m
65	122+150	VIADUCTO 121.9	
66	124+083	ALCANTARILLA 124.1	CAJÓN 4.00x3.50 m
67	125+300	VIADUCTO 124.9	
50% 68	127+443	ALCANTARILLA 127.5	TUBO Ø1.83 m
50% 68	127+725		
69	129+283	ALCANTARILLA 129.3 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 1.00x1.00 m (Bóveda)
70	132+751	ALCANTARILLA 132.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 2.50x2.70 m (Bóveda)
70A	133+441	ALCANTARILLA 133.5 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 1.50x1.60 m (Bóveda)
70B	134+902	ALCANTARILLA 134.9 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN BICELULAR 3.50x3.20 m

CUENCA	PK	NOMBRE	DIMENSIONES
71	136+145	ALCANTARILLA 136.1 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 3.70x3.30 m
72	137+549	ALCANTARILLA 137.6 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 4.20x3.00 m
50% 73	139+212	ALCANTARILLA 139.2 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 3.60x3.00 m
50% 73	139+891	ALCANTARILLA 139.9 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 4.60x1.40 m
74	142+150	VIADUCTO 142.0	
75	145+269	ALCANTARILLA 145.3	TUBO Ø1.83 m
76	147+190	ALCANTARILLA 147.2	CAJÓN 3.50x2.50 m
77	151+775	VIADUCTO 151.6	
78	152+125	VIADUCTO 152.0	
79	153+225	VIADUCTO 153.0	
80	153+950	VIADUCTO 153.0	
81	156+275	VIADUCTO 156.2	
82+83	156+725	VIADUCTO 156.5	
84	157+750	VIADUCTO 157.4	
85	167+150	VIADUCTO 167.1	
86	198+950	VIADUCTO 198.9	
86+87	4+700 (Rep. Línea B)	VIADUCTO 4.7 (Rep. Línea B)	
86+87+88	199+875	VIADUCTO 199.3	
89	201+108	ALCANTARILLA 201.1 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 3.00x3.00 m (Bóveda)
90	201+902	ALCANTARILLA 201.9 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 4.00x5.10 m (Bóveda)
91	203+817	ALCANTARILLA 203.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 2.00x2.00 m (Bóveda)
92	204+735	ALCANTARILLA 204.8 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 2.00x2.10 m (Bóveda)
93	205+119	ALCANTARILLA 205.1 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 2.00x2.00 m (Bóveda)
70%94	208+083	ALCANTARILLA Y PASO INFERIOR 208.1 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 3.44x2.80 m
30%94	208+284	ALCANTARILLA 208.3 (AMPLIACIÓN)	CAJÓN 2.10x1.10 m

4.7.2.2.1.3Criterios de dimensionamiento y cálculo

Los criterios aplicados en el dimensionamiento y cálculo de las alcantarillas proyectadas se detallan a continuación:

Periodos de retorno establecidos:

Las alcantarillas proyectadas se dimensionan respetando la capacidad de desagüe correspondiente a avenidas de 100 años de periodo de retorno.

Una vez dimensionadas las alcantarillas, se realizarán las comprobaciones para el caudal de periodo de retorno de 300 años. Las comprobaciones a realizar para cada alcantarilla son las siguientes:

Daños a la propia vía: Se comprobará que la lámina de agua para el caudal de periodo de retorno de 300 años no alcance la base del balasto en ningún punto del trazado.

Caudal unitario: Se comprobará que el ancho del conducto de la alcantarilla, no debe sea inferior al del cauce. Para ello, se tendrá en cuenta que el caudal unitario por metro de ancho no exceda los 3 m^2/s en cauces difusos de gran ancho, ni los 6 m^2/s en los cauces incisos bien definidos, para el caudal de periodo de retorno de 300 años.

Tipologías. Las tipologías típicas de las alcantarillas son tubos y cajones prefabricados de concreto reforzado de diferentes dimensiones. Alguna de las tipologías para alcantarilla, comparte funcionalidad como Paso Inferior.

Tamaño mínimo. Según las tipologías típicas definidas, se establece como tamaño mínimo para las alcantarillas el tubo de diámetro 1.22 m, por cuestiones de limpieza y mantenimiento.

Ancho mínimo. Se recomienda disponer un ancho de conducto no inferior al del cauce principal.

Velocidades máximas y mínimas. Se dimensionan las alcantarillas respetando los valores máximos y mínimos admisibles para el concreto. De esta manera, las alcantarillas se dimensionan de tal forma que la velocidad máxima del agua sea inferior a 6 m/s para evitar erosiones y desgastes excesivos en las mismas; y la velocidad mínima superior a 0.5 m/s para evitar sedimentaciones.

Emplazamiento: El emplazamiento de las alcantarillas queda definido por tratarse del punto de cruce de las vaguadas con el trazado, de manera que se de continuidad a la escorrentía generada en la cuenca. La alcantarilla se dispondrá siguiendo la alineación del cauce preservando la continuidad del mismo.

Sección de control. Las alcantarillas dimensionan hidráulicamente, de forma que la sección de control se establezca aguas arriba de las mismas (control de entrada) respetando la relación $H/D \leq 1.2$ (siendo H el valor del calado a la entrada de la alcantarilla y D el diámetro del tubo o la altura interior del cajón).

Embocaduras. En los extremos de las obras se colocan muros de cabecera y aletas para contener las tierras del terraplén.

Embocaduras deprimidas. Cuando la altura del terraplén sea insuficiente para albergar el conducto mínimo en el talud de aguas arriba se plantea deprimir la solera de la embocadura despejando el terreno hasta enlazar con la topografía natural.

Badenes. En los casos en que a la entrada y/o salida de la alcantarilla exista un camino, se colocará en el mismo un badén. El badén consiste en una franja de concreto sobre el camino, para protegerlo del paso de la escorrentía. En el caso de que la altura del camino sea elevada, se proyecta dar continuidad a la alcantarilla mediante una nueva alcantarilla bajo el camino de las mismas dimensiones.

4.7.2.2.1.4 Dimensionamiento

Los cálculos hidráulicos de las alcantarillas proyectadas se han realizado siguiendo la metodología propuesta por el Bureau of Public Roads de los Estados Unidos de América.

Esta metodología distingue ocho posibilidades diferentes de funcionamiento de la alcantarilla, divididas en dos grandes grupos, dependiendo de si la sección a la entrada está parcial o totalmente llena.

Para conocer el tipo de funcionamiento es necesario introducir una serie de parámetros:

- Tipo de embocadura: determina el coeficiente de pérdidas en la entrada, ke.
- Datos de la alcantarilla: dimensiones, rugosidad, longitud y pendiente.
- Caudal de diseño: las alcantarillas proyectadas se dimensionan para el caudal de 100 años de periodo de retorno.

Se calcula la altura de agua a la entrada de la alcantarilla como si el funcionamiento fuera de cada uno de los tipos previstos, obteniendo a la vez una serie de parámetros que posteriormente indican el tipo de funcionamiento.

Se comprueba además, como se ha indicado, que los valores de velocidad en el interior de cada una de las alcantarillas se sitúan en los valores admisibles para elementos de concreto comprendidos entre los 0,5 m/s (velocidad mínima admisible para evitar sedimentaciones) y los 6 m/s (velocidad máxima admitida para evitar erosiones y desgastes excesivos).

Dichos cálculos, se establecen únicamente para las alcantarillas de nueva implantación. Respecto a las alcantarillas ampliadas, las mismas se han ampliado manteniendo las dimensiones y pendiente de las alcantarillas existentes, por lo que se considera que la ampliación mantiene el régimen de funcionamiento hidráulico del tramo existente en la actualidad.

4.7.2.2.1.5 Comprobaciones

<u>Daños a la propia vía</u>:

Con el objetivo de evitar posibles afecciones en la plataforma ferroviaria debido a la presencia de agua, se establece que la lámina de agua para el caudal de periodo de retorno de 300 años no debe alcanzar la base del balasto en ningún punto del trazado.

Caudal unitario:

Para asegurar el correcto funcionamiento de la alcantarilla y evitar que la propia alcantarilla suponga un estrechamiento excesivo del cauce, se debe garantizar que el ancho del conducto de la alcantarilla no sea inferior al ancho del cauce.

Para ello, se tendrá en cuenta que el caudal unitario por metro de ancho no exceda los 3 m^2/s en cauces difusos de gran ancho, ni los 6 m^2/s en los cauces incisos bien definidos, para el caudal de periodo de retorno de 300 años.

4.7.2.2.2 Viaductos

4.7.2.2.2.1 Viaductos proyectados - Asignación de caudales

A lo largo del trazado de estudio, se interfieren diversos cauces. Con el objetivo de garantizar su continuidad, se establece el drenaje transversal, a través de la implantación de alcantarillas para los pequeños cauces y viaductos para los ríos y cauces de entidad.

Por lo tanto se proyectan viaductos sobre los ríos y cauces de entidad interceptados por el trazado de la línea ferroviaria de estudio.

Las comprobaciones hidráulicas de los viaductos proyectados se realizarán los caudales de periodo de retorno de 500 y 1000 años.

4.7.2.2.2.2 Estudio Hec-Ras

La comprobación hidráulica de los viaductos proyectados, se ha realizado mediante la modelización de los mismos utilizando la aplicación informática Hec-Ras, para los caudales de periodo de retorno de 500 y 1000 años.

La modelización de los ríos realizada para esta fase de proyecto, se trata de una modelización sencilla, con el objetivo de estudiar el funcionamiento hidráulico de cada río, para los caudales de estudio, en la situación actual.

Esta modelización es suficiente para esta fase de estudio y los resultados que aporta son válidos para justificar el correcto funcionamiento hidráulico de los viaductos proyectados y

evaluar el valor del resguardo. El valor del resguardo corresponde a la altura libre desde la cota de la lámina de agua hasta la cota de la cara inferior del tablero del viaducto.

El resguardo mínimo que cada viaducto ha de cumplir toma el valor de 1.50 m. De esta manera, se asegura el correcto funcionamiento hidráulico frente al riesgo de obstrucción de la sección.

4.7.2.3 Drenaje Longitudinal

4.7.2.3.1 Criterios de dimensionamiento y cálculo

Periodo de retorno establecido:

Se establece el periodo de retorno de 50 años como periodo de retorno de cálculo de los elementos de drenaje longitudinal.

Tiempo de concentración:

Se considera un tiempo de concentración de 5 minutos para el cálculo de los elementos de drenaje longitudinal.

Velocidades máximas y mínimas. Se dimensionan los elementos de drenaje longitudinal respetando los valores máximos y mínimos admisibles para el concreto. De esta manera, se dimensionan de tal forma que la velocidad máxima del agua sea inferior a 6 m/s para evitar erosiones y desgastes excesivos; y la velocidad mínima superior a 0.5 m/s para evitar sedimentaciones.

Porcentaje de llenado. Los cálculos de drenaje longitudinal se han realizado considerando un porcentaje de llenado del elemento de estudio de un 80 % de su calado total. Este resguardo del 20% en la capacidad de llenado, ofrece la garantía de un correcto funcionamiento ante un incremento de caudal, sin llegar a la situación de que los colectores proyectados entren en carga o las cunetas desborden.

4.7.2.3.2 Elementos de drenaje longitudinal

La recogida y evacuación de las aguas superficiales procedentes de las márgenes de la vía y de la propia plataforma se efectúa mediante una serie de elementos de drenaje dispuestos a lo largo del trazado, que se describen a continuación.

Cuneta de plataforma

Las cunetas de plataforma reciben las escorrentías de los taludes de los desmontes y de la mitad de la plataforma de la vía y la conducen hasta los puntos de desagüe. Adicionalmente también pueden recibir el caudal a través de lavaderos que conducen la escorrentía desde los puntos bajos de la coronación del desmonte.

La cuneta de plataforma definida en el proyecto es una cuneta de sección trapecial, de 0,50 m de base, altura de 0,50m y talud 1H/2V revestida con un mínimo de 10 cm de concreto fc=200 Kg/cm^2.

Cunetón de plataforma

Se define como cunetón de plataforma, a la cuneta de plataforma de mayores dimensiones.

Su funciones, además, de la propia de recibir la escorrentía de los taludes de desmonte y de la plataforma y conducirla hasta los puntos de desagüe, también consisten en una medida de seguridad frente a los posibles desprendimientos de los desmontes, recogiendo los fragmentos y evitando que los mismos puedan llegar a la plataforma ferroviaria.

Además de las funciones indicadas, el cunetón de plataforma, debido a sus mayores dimensiones, también se destina como paseo de mantenimiento, para el acceso a las vías de los vehículos de inspección, seguridad y mantenimiento.

El cunetón de plataforma definido en el proyecto es de sección trapecial, de 2,50 m de base, altura de 0,30m y talud 1H/2V revestida con un mínimo de 10 cm de concreto fc=200 Kg/cm^2.

Contracuneta

Las contracunetas se sitúan como protección de los taludes en aquellos tramos en que el terreno colindante vierte hacia los mismos.

En cuanto a su disposición en relación a la sección tipo, se distingue entre la contracuneta situada en el pie de terraplén y la situada en la coronación de desmonte.

Se proyectan contracunetas de pie de terraplén con el fin de recoger las aguas procedentes de las cuencas naturales que vierten hacia el terraplén. También para la recogida, en su caso de las aguas de las contracunetas de coronación de desmonte y las de cunetas de plataforma, y canalizarlas hasta el cauce natural más cercano.

Por otra parte, se proyectan contracunetas de coronación de desmonte con el fin de recoger la escorrentía procedente del terreno natural que vierte hacia el talud de desmonte y evacuarla de nuevo al terreno, a una contracuneta de pie de terraplén o a la cuneta de plataforma, mediante un lavadero apoyado en el talud de desmonte. Estas cunetas protegen los taludes de la erosión que produciría la escorrentía en los mismos.

Ambas contracunetas (pie de terraplén y coronación de desmonte), se han diseñado de sección trapecial, de 0,50 m de base, altura de 0,50m y talud 1H/1V revestida con un mínimo de 10 cm de concreto fc=200 Kg/cm^2.

La separación entre el pie de talud de terraplén o la coronación del talud de desmonte y el borde de la contracuneta será como mínimo de 1,00 m.

Dren

Para asegurar el correcto funcionamiento del drenaje de la plataforma, se han proyectado unos drenes para recogida y evacuación de la escorrentía que se infiltre a través de las capas de subbalasto y capa de forma. Este sistema dren se proyecta bajo la cuneta de plataforma o bajo la capa de balasto.

Este sistema dren está formado por una tubería ranurada de PVC de diámetro 305 mm de diámetro en zanjas, sobre cama de arena, rellenas de material granular filtrante y envueltas en un fieltro de polipropileno, que hace de filtro.

A lo largo de los tramos de dren se colocan arquetas de registro cada unos 40-50 m para favorecer las labores de mantenimiento.

Colector

Los colectores longitudinales proyectados se diseñan en aquellos tramos en que habiéndose agotado la capacidad hidráulica de las cunetas o los drenes, no es posible la evacuación del caudal al terreno colindante o a una alcantarilla.

Con el fin de evitar obstrucciones en los tubos de los colectores, se ha considerado como diámetro mínimo el de 380 mm. El resto de los diámetros típicos proyectados son los siguientes: 380 mm, 610 mm, 760 mm y 1070 mm. El material de los colectores será concreto.

Es los tramos de colector, se colocan arquetas sumidero o de registro cada 40-50 m para facilitar las tareas de mantenimiento de los colectores.

Lavadero

En los puntos bajos del desmonte, se han proyectado los denominados lavaderos. Dichos elementos consisten en una bajante de concreto hidráulico adosado al talud de desmonte. A través de la misma, discurre el caudal desde el punto bajo del desmonte hasta la cuneta o cunetón de plataforma.

4.7.3 Predimensionamiento

Para la evaluación de la capacidad hidráulica de los elementos de drenaje longitudinal proyectados, se ha realizado un predimensionamiento a partir de las ecuaciones de Manning y el Método Racional.

El mismo consiste en determinar la máxima longitud de un tramo de elemento de drenaje longitudinal (cuneta o colector) que se puede instalar sin desagües intermedios, recogiendo la escorrentía de la plataforma y/o taludes, para una determinada pendiente longitudinal.

Para determinar la capacidad hidráulica de las secciones se utiliza la fórmula de Manning-Strickler, que tiene la siguiente expresión:

$$Q = S \bullet R_H^{2/3} \bullet i^{1/2} \bullet K$$

Donde:

Q: caudal desaguado en m^3/s

S: área de desagüe en m^2

R_H: radio hidráulico en m, según la expresión: $R_H = S/P_m$

Pm: perímetro mojado en m

i: pendiente de la línea de energía en tanto por uno. Considerando flujo en régimen uniforme, se adopta el valor de la pendiente longitudinal del trazado.

K: coeficiente de rugosidad de Manning-Strickler. Para los elementos de concreto (cunetas y colectores) se toma el valor K=67 y para los elementos de PVC (tubo dren) se toma el valor de K=100.

Por otra parte, para la evaluación del caudal de cálculo se ha utilizado la formulación del Método Racional, que tiene la siguiente expresión:

$$Q_{Tr} = 0{,}278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dónde:

Q_{Tr} = caudal punta de la cuenca de estudio para el período de retorno establecido (m^3/s)

0.278 = factor de conversión

C = coeficiente de escurrimiento de la cuenca de estudio (adimensional)

I = intensidad de lluvia para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca de estudio para el periodo de retorno establecido (mm/h)

A = área de la cuenca de estudio (km^2)

Estos parámetros se han definido siguiendo la misma metodología del Método Racional utilizada para el cálculo del caudal punta de las cuencas.

4.8 Estructuras

El objeto del presente documento consiste en la definición y justificación de las tipologías propuestas para las distintas estructuras del trazado ferroviario incluido en los “Estudios de Pre-Inversión y Estudios Complementarios para la Elaboración del Anteproyecto ejecutivo del Tren de Pasajeros México - Querétaro”.

Para cada estructura, se describe el encaje de la misma, justificando la solución adoptada a partir de los criterios generales de diseño y los condicionantes concretos de cada estructura, teniendo en cuenta la geometría de los trazados, la topografía, los condicionantes funcionales, los obstáculos a salvar, etc.

Este documento se organiza en los siguientes apartados:

- Criterios generales de diseño: se explican los aspectos que se han tenido en cuenta en la selección de la tipología más adecuada para las estructuras existentes en el trazado de la línea ferroviaria. Se realiza un estudio de alternativas y finalmente se describe la solución adoptada.
- Resumen de estructuras.
- Valoración económica.

4.8.1 Criterios generales de diseño

Se ha realizado un estudio preliminar de las estructuras existentes agrupadas por tipologías:

- Viaductos y pérgolas.
- Pasos superiores.

- Pasos inferiores.
- Muros.
- Falsos túneles.

Para cada grupo se han tenido en cuenta factores relativos a la topografía, condicionantes ambientales, orografía, obstáculos a salvar, procesos constructivos y requerimientos económicos. Se describe a continuación los criterios que se han seguido para cada una de las tipologías.

4.8.2 Viaductos y pérgolas

4.8.2.1 Condicionantes

- Orografía

El trazado ferroviario discurre tanto por zona rural como urbana, aunque la gran mayoría de los viaductos se encuentra en zona rural. Se puede decir que en la zona urbana los viaductos en general no alcanzan alturas superiores a los 15 m, mientras que en la zona rural existen viaductos de hasta 80 m de altura. Este aspecto es importante puesto que condiciona el procedimiento constructivo.

En el caso de alturas superiores a los 20 m resulta necesario acometer la construcción del viaducto desde la parte superior del mismo, para alturas inferiores se pueden emplear grúas o cimbras situadas bajo el mismo.

- Condicionantes ambientales

Se ha respetado el cauce de los ríos existentes de tal manera que se evita la disposición de pilas en los mismos.

La tipología seleccionada deberá integrarse en el medio limitando su impacto ambiental. A la vista de la orografía y según esta premisa se deben optimizar los cantos de las estructuras por lo que no se deben alcanzar luces muy elevadas.

- Obstáculos a salvar

Los obstáculos a salvar consisten en carreteras, autopistas, líneas ferroviarias, ríos y valles. Se ha considerado un gálibo vertical mínimo de 7,00 m para cruzar por encima de las líneas ferroviarias, y de 5,30 m para salvar autopistas, carreteras y caminos.

- Procedimientos constructivos

Los procedimientos constructivos deben ser rápidos y eficaces para que la totalidad de la línea se pueda acometer en un periodo de tiempo no muy elevado.

- Requerimientos económicos

Se ha tenido en cuenta la economía de la tipología estructural adoptada y de los procedimientos constructivos.

4.8.2.2 Estudio de alternativas

En primer lugar se descartan soluciones “in situ” y “metálicas” puesto que los procedimientos constructivos se alargan considerablemente en el tiempo, optando entonces por soluciones prefabricadas.

- Alternativa 1: Doble viga artesa de canto constante. Esta solución alcanza luces de hasta 35 m con un canto máximo de 3,05 m. El montaje de las mismas se puede llevar a cabo de forma rápida y económica mediante grúas.

- Alternativa 2: Doble viga artesa con viga martillo sobre pila. Esta solución consiste en disponer vigas de canto variable y simétricas apoyadas sobre pilas, llamadas vigas martillo. Sobre las mismas apoyan a media madera vigas de canto constante, permitiendo así elevar las luces alcanzadas. Se ha optado por no superar los 48 m de longitud siendo la longitud máxima habitual de 45 m. Esta solución se puede ejecutar en el caso de alturas inferiores a 20 m utilizando cimbras y grúas situadas en el terreno o bien mediante cimbras autolanzables situadas en la parte superior del viaducto.

- Alternativa 3: Cajón con dovelas prefabricadas. Luces máximas de hasta 45 m con cantos máximos de 3,90 m. Esta solución alcanza luces que permiten salvar la gran mayoría de los obstáculos existentes en el trazado ferroviario. Requiere de una planta de prefabricación próxima a la traza, cimbras autolanzables y góndolas de transporte de dovelas. Se descarta dicha solución por el coste de tiempo y dinero tan elevado que

supondría el montaje, transporte y desmontaje de las cimbras autolanzables para dovelas.

4.8.2.3 Descripción de la solución adoptada

Se considera que las alternativas 1 y 2 son las más adecuadas para acometer los viaductos de la línea ferroviaria. Estas tipologías permiten una cierta continuidad estructural al mismo tiempo que reducen al mínimo los tiempos constructivos. También resultan viables económicamente para el rango de luces en el que nos encontramos.

La sección tipo tiene una anchura total de 14,50 m. Dicha anchura permite albergar la plataforma ferroviaria además de unas pantallas anti-ruido de 2,50 m de altura y paseos de 0,85 m de anchura. La separación entre ejes es de vía es de 4,70 m.

Las prelosas de la losa de compresión actúan también de encofrado para las impostas y permite además que la ferralla correspondiente a la losa de compresión se coloque directamente montada sobre las prelosas de tal manera que se reducen los tiempos de ejecución.

Se ha considerado una relación c/l de 11,50 en el caso de la solución tipo 1. Para la solución tipo 2 la relación c/l es de 11,50 en pilas y 14,00 en centro de vano. El apoyo a media madera de las vigas centrales sobre las vigas martillo se lleva a cabo a 1/5 de la longitud del vano. Este apoyo adquiere continuidad longitudinal mediante barras tipo Macalloy y un posterior hormigonado. Las almas internas de las vigas artesas se disponen verticales y con una separación mínima, de tal manera que mejora el comportamiento estructural de la solución durante las fases de hormigonado.

Las pilas son tipo tabique con abocinamiento superior. La altura del abocinamiento es de 8,00 m, la anchura varía con el esviaje de las estructuras pero en general tendrá una anchura superior de 14,50 m e inferior de 8,48 m, el canto será variable entre 1,50 m y 2,60 m en función de la altura de las pilas en cada estructura. Se realiza un aligeramiento interior en la zona del abocinamiento de dimensiones variables, manteniendo espesores mínimos de 0,55 m. A partir de la zona inferior del abocinamiento la pila consiste en un tabique anchura constante y canto variable en función de la altura. Para disminuir los tiempos de ejecución se plantea la ejecución de las pilas por módulos prefabricados. La cimentación de las pilas es pilotada salvo que los estudios geotécnicos que se desarrollen en las siguientes fases de

proyecto recomienden cimentaciones superficiales.

En cuanto a los estribos son cerrados con alturas inferiores a 12 m. El estribo fijo se materializará mediante barras de anclaje o mediante una losa de anclaje adherida al trasdós del encepado.

En los casos en los que no sea posible salvar los obstáculos existentes mediante dichas tipologías por falta de longitud se plantea la solución de pérgolas de vigas artesas apoyadas sobre pilas circulares.

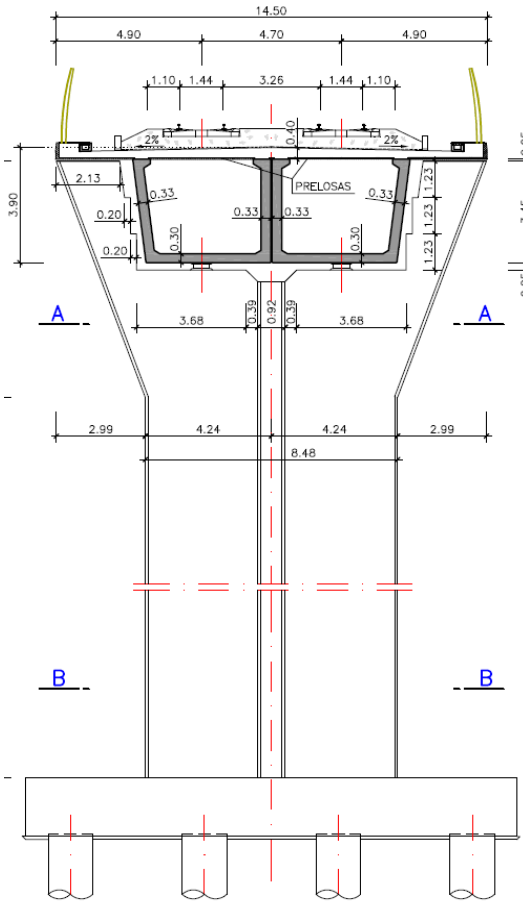


Figura 4.8: Sección tipo en eje de pila para Artesa de Canto Variable

4.8.2.3.1 Procedimiento constructivo Tipo 1.

Este procedimiento se aplica a viaductos de luces mayores de 35 m y altura de pilas mayores de 20 m. Se detallan a continuación las fases constructivas.

- Ejecución de estribos, cimentaciones y pilas.
- Montaje de cimbra en vano 1.
- Montaje de viga sombrero sobre pila 2.
- Montaje de viga 1.
- Montaje de prelosas desde pila 1 y ejecución de empalmes de vigas.
- Traslado de cimbra a vano 2 y disposición de abocinamiento superior en pila 1.
- Hormigonado de la zona central de la losa de compresión por zonas.
- Montaje viga sombrero de la pila 2.
- Montaje de la viga central 3, dejando colocados los elementos de empalme.
- Ejecución de empalmes
- Traslado cimbra a vano 3 y disposición de abocinamiento superior en pila 2.
- Montaje de prelosas y hormigonado por ases de la zona central de la losa de compresión.
- Hormigonado de los voladizos de la losa de compresión.
- Repetición de fases hasta último vano.
- Colocación de la última viga acuñando con el martillo y el estribo.
- Montaje de prelosas desde pila final.
- Ejecución de empalmes entre la última y la penúltima viga.
- Hormigonado por de la zona central de la losa de compresión.
- Ejecución de riostra en estribo 2 y hormigonado de los voladizos de la losa de compresión.
- Disposición de cargas muertas, balasto, vías impostas y barandillas.

4.8.2.3.2 Procedimiento constructivo Tipo 2.

Este procedimiento se aplica a viaductos de luces mayores de 35 m y altura de pilas menores de 20 m. Se detallan a continuación las fases constructivas.

- Ejecución de cimentaciones, pilas y estribos.
- Montaje de vigas martillo y colocación de torretas provisionales.
- Montaje de vigas centrales.
- Empalmes de vigas.
- Montaje prelosas y hormigonado de losa central sobre vigas martillo.
- Retirada de torretas.
- Postesado de la losa (fase 1).
- Hormigonado del resto de la losa central.
- Postesado de la losa (fase 2).
- Hormigonado de los voladizos de la losa.
- Disposición de cargas muertas, balasto, vías impostas y barandillas.

4.8.2.3.3 Procedimiento constructivo Tipo 3

Este procedimiento se aplica a viaductos de luces menores de 35 m. Se detallan a continuación las fases constructivas.

- Ejecución de cimentaciones y estribos.
- Montaje de pilas por módulos hasta cara superior de abocinamiento.
- Postesado de barras.
- Montaje de abocinamiento superior.
- Colocación de aparatos de apoyo y tope sísmico.

- Colocación de vigas.
- Montaje de prelosas y hormigonado de la losa.
- Disposición de cargas muertas, balasto, vías impostas y barandillas.

4.8.3 Pasos superiores

4.8.3.1 Condicionantes

Los pasos superiores deben salvar la línea ferroviaria permitiendo el paso por encima de la misma.

La tipología más adecuada deberá adaptarse a distintas anchuras y luces de tablero consiguiendo así una cierta continuidad visual a lo largo de la traza. Se ha considerado un gálibo vertical mínimo de 7,00 m sobre líneas de ferrocarril y de 5,30 m sobre carreteras, autopistas y caminos. En horizontal la distancia mínima del eje de vía al paramento de pila o estribo más cercano es de 5,65 m para la L.A.V. México - Querétaro.

4.8.3.2 Estudio de alternativas

- Alternativa 1: Vigas doble T prefabricadas. Dicha solución se adapta adecuadamente a luces de hasta 52,00 m. Se trata de una solución económica y muy rápida de ejecutar puesto que permite colocar las vigas mediante grúas. Se pueden alcanzar relaciones c/l de hasta 1/22.
- Alternativa 2: Vigas Metálicas. Dicha solución resulta adecuada para aquellos pasos que requieren de luces elevadas de hasta 85,00 m. Se pueden alcanzar relaciones c/L de 1/33.
- Alternativa 3: Losa de hormigón postesada. Esta solución alcanza luces máximas de 35 m con canto constante y de 40,00 m con canto variable. No resulta adecuada si se pretende una rápida construcción de las estructuras puesto que debe ejecutarse *in situ*.

4.8.3.3 Descripción de la solución adoptada

Se considera la alternativa 1 como la solución más adecuada en la gran mayoría de los casos, y se recurre a la alternativa 2 en los casos en los que resulte necesario salvar luces superiores

a los 52,00 m. Se distinguen 6 modelos de pasos superiores de vigas dentro del trazado ferroviario.

En el Apéndice se incluyen planos tipo con la planta, alzado y sección transversal de los 6 modelos y una tabla que define la geometría de los mismos. Sus características geométricas pueden verse en la tabla resumen del apartado 3.2.

4.8.4 Pasos inferiores

Estos pasos permiten cruzar por debajo de la L.A.V México – Querétaro, de la Línea de Ferrocarril Juárez – Morelos, de la zona de Tepanquiahuac, de la estación de Cuautitlán, del PAET y de los laderos de Polotitlán.

Se trata de pasos inferiores de tablero de vigas de hormigón pretensado, con estribos con cimentación superficial.

Los pasos existentes en el trazado deben ampliarse para albergar la nueva plataforma. Se plantea la ampliación por ambos lados del tablero y se disponen juntas longitudinales entre la estructura existente y las ampliaciones, evitando así afecciones a la antigua estructura.

El rango de luces y los gálibos existentes indican que la solución más adecuada teniendo en cuenta factores estructurales y económicos es la de tablero de vigas, manteniendo así la tipología existente. Dicha solución permite adaptarse fácilmente a las distintas anchuras de ampliación y una rápida ejecución de las mismas. Al conservar la tipología se reduce el impacto visual de la nueva estructura.

4.8.5 Muros

Los muros existentes se ejecutan como muros de hormigón armado con canto variable. Existen además de los definidos en el apartado 3.1. 12 muros a lo largo del trazado de la L.A.V. Su situación, características geométricas y objeto se muestran en la tabla resumen del apartado 3.4.

Por tanto en el proyecto encontramos 12 muros de contención de taludes y terraplenes, 6 muros de contención pertenecientes al falso túnel 206.5, y 23 muros pertenecientes a los viaductos de la L.A.V.

El espesor en coronación es de 0,40 m, mientras que en el encuentro con la zapata tiene un

espesor de 0,40 + 0,10·H metros, siendo H la altura del muro desde la coronación hasta el encuentro con la zapata. El canto de la zapata es variable entre 0,30 m y 1,20 m y su anchura variará en función de la altura, con una relación de H/3.

4.8.6 Falsos túneles

4.8.6.1 Condicionantes

Existen cuatro falsos túneles que se desarrollan en el trazado de la línea ferroviaria México–Querétaro.

Esta estructura deberá dar continuidad a la nueva plataforma ferroviaria y a las vías repuestas, por tanto la sección de la estructura deberá tener unas dimensiones suficientes para albergar 2, 4 y 5 vías de ferrocarril.

El gálibo vertical, considerado a partir de la cara superior de carril, es como mínimo de 7,00 m, mientras que el gálibo horizontal mínimo desde eje de vía es de 3,20 m.

4.8.6.2 Estudio de alternativas

Se plantea como única solución un marco in situ con pila intermedia en los casos en los que la anchura interior sobrepase los 13,00 m, puesto que la solución prefabricada presenta grandes dificultades a la hora de ser transportada por las dimensiones del cajón.

Se descarta la ejecución de un cajón hincado por resultar mucho más económico el cajón *in situ*.

4.8.6.3 Descripción de la solución adoptada

Como se ha señalado en el apartado anterior la solución adoptada consiste en un marco de hormigón un situ, con pila intermedia o no según la anchura de la sección tipo.

El falso túnel 206.5 cuenta con una zona en la que la solución planteada cosiste en un tablero de vigas artesas puesto que la luz a salvar es muy elevada.

4.8.7 Resumen de estructuras

4.8.7.1 Viaductos y pérgolas

Se incluye a continuación una tabla descriptiva de los viaductos existentes en la traza:

CLASIFICACIÓN		DENOMINACIÓN	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L	A	CANTO	Nº VANOS	L_i	PILA		CIMENTACIÓN PILAS	TIPOLOGÍA DE ESTRIBOS	CIMENTACIÓN ESTRIBOS	SITUACIÓN	OBSTÁCULO QUE CRUZA
											H_{MAX}	H_{MIN}					
						(m)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)					
VIADUCTOS Y PÉRGOLAS	1	VIADUCTO 31.5	31+506	31+626	ARTESAS C.C. ISOST.	120	9.3	2.53	4	4*30	15.25	10.45	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC ACTUAL
			31+626	31+938	PÉRGOLA ARTESAS	312.65	8.5	1.65	1	VAR(17,90 - 12,11)							
			31+938	32+044	ARTESAS C.C	106	9.3	2.53	4	23+2*30+23							
	2	VIADUCTO 36.8	36+856	36+880	ARTESAS C.C	24	18.72	2.05	1	24	-	-	-	Cerrados	Superficial	Urbano	Canal
	3	VIADUCTO 43.2	43+150	47+005	PÉRGOLA ARTESAS	3855	14.5	2.75	1/2	VAR (31,82 - 23,64)	10	9	Profunda	Cerrados	Profunda	Urbano	Calles, ríos
	4	VIADUCTO 50.4	50+413	50+483	ARTESAS C.C. ISOST.	70	14.5	3.05	2	2*35	39.9	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC
			50+483	50+706	PÉRGOLA ARTESAS	223	14.5	2.95	1/2	VAR(33,90-18,69)							
			50+706	50+811	ARTESAS C.C. ISOST.	105	14.5	3.05	3	3*35							
	5	VIADUCTO 51.1	51+098	51+223	ARTESAS C.V (MARTILLO)	125	14.5	4.2/3.40	3	38.5+48+38.5	12.05	10.5	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Autopista
	6	VIADUCTO 52.8	52+821	52+936	ARTESAS C.V (MARTILLO)	115	14.5	3.90/3.20	3	35+45+35	10	8.1	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	7	VIADUCTO 53.9	53+845	54+000	ARTESAS C.C	155	14.5	3.05	5	25+3*35+25	15.25	10.45	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	8	VIADUCTO 63.4	63+399	63+700	ARTESAS C.V (MARTILLO)	301	14.5	3.90/3.20	7	38+5*45+38	35.25	12.5	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río, Caminos
	9	VIADUCTO 67.0	67+003	68+609	ARTESAS C.V (MARTILLO)	1606	14.5	4.2/3.4	35	35+16*45+17*48+35	29.85	11	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Carretera, Caminos y
	10	VIADUCTO 75.9	75+930	76+405	ARTESAS C.V (MARTILLO)	475	14.5	3.90/3.20	11	35+9*45+35	45.6	12.85	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	11	VIADUCTO 76.9	76+930	77+549	ARTESAS C.V (MARTILLO)	619	14.5	3.90/3.20	15	38+4*45+6*38+3*45+38	69	13	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Autopista y Río
	12	VIADUCTO 81.4	81+384	82+334	ARTESAS C.V (MARTILLO)	950	14.5	3.90/3.20	22	35+8*45+4*40+8*45+35	24.85	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC, Caminos
	13	VIADUCTO 87.6	87+560	88+269	ARTESAS C.V (MARTILLO)	709	14.5	4.2/3.40	16	35+4*45+3*48+7*45+35	26.1	9.8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río, Caminos
	14	VIADUCTO 97.8	97+810	98+410	ARTESAS C.V (MARTILLO)	600	14.5	3.90/3.20	14	30+12*45+30	27.5	10.4	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río, Caminos
	15	VIADUCTO 99.5	99+478	100+383	ARTESAS C.V (MARTILLO)	905	14.5	3.90/3.20	22	25+35+3*40+5*45+2*40+8*45+35+25	55.45	12.9	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC, Río, Caminos
	16	VIADUCTO 103.0	103+010	103+510	ARTESAS C.V (MARTILLO)	500	14.5	3.90/3.20	12	30+40+8*45+40+30	24.3	8.85	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Valle
	17	VIADUCTO 104.6	104+596	104+721	ARTESAS C.C	125	14.5	3.05	4	27.5+2*35+27.5	13.5	11.1	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC y Carretera
	18	VIADUCTO 109.9	109+940	109+966	ARTESAS C.C	26	14.5	2.25	1	26	-	-	-	Cerrados	Superficial	Rural	FF.CC
	19	VIADUCTO 116.5	116+487	116+572	ARTESAS C.C	85	14.5	3.05	3	25+35+25	9	9	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	20	VIADUCTO 121.9	121+885	122+435	ARTESAS C.V (MARTILLO)	550	14.5	3.90/3.20	13	27.5+11*45+27.5	27	9	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Valle
	21	VIADUCTO 124.9	124+861	125+391	ARTESAS C.C	530	14.5	3.05	16	24.5+30.5+12*35+30.5+24.5	20	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC / CAMINOS
			125+391	125+486	PÉRGOLA ARTESAS	95	14.5	3.05	1	VAR (34,62-10)			Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	
			125+486	125+836	ARTESAS C.C	350	14.5	3.05	11	23+29.5+7*35+29.5+23			Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	
	22	VIADUCTO 142.0	142+027	142+608	ARTESAS C.V (MARTILLO)	581	14.5	3.90/3.20	15	23+29+36+9*45+36+29+23	37.7	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río, Caminos
	23	VIADUCTO 143.6	143+559	143+663	ARTESAS C.V (MARTILLO)	104	14.5	3.50/2.85	3	32+40+32	9	9	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Carretera
	24	VIADUCTO 148.3	148+287	148+305	ARTESAS C.C	17.7	14.5	1.55	1	17.7	-	-	-	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC
	25	VIADUCTO 151.6	151+633	151+930	ARTESAS C.V (MARTILLO)	297	14.5	3.90/3.20	7	36+5*45+36	82.2	9.15	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	26	VIADUCTO 152.0	152+030	152+255	ARTESAS C.V (MARTILLO)	225	14.5	3.50/2.85	6	32.5+4*40+32.5	72.15	8.4	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	27	VIADUCTO 153.0	153+137	154+155	ARTESAS C.V (MARTILLO)	1017.5	14.5	3.90/3.20	25	30+40+45+3*35+2*40+8*45+40+35+40+4*45+37+25.5	49.80	10.15	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Caminos, Río
	28	VIADUCTO 156.2	156+155	156+430	ARTESAS C.V (MARTILLO)	275	14.5	3.90/3.20	8	25+30+37.5+2*45+37.5+30+25	28.15	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	29	VIADUCTO 156.5	156+530	156+690	ARTESAS C.V (MARTILLO)	160	14.5	3.90/3.20	4	35+2*45+35	35.15	12.75	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Camino, carretera
	30	VIADUCTO 157.4	157+405	157+930	ARTESAS C.V (MARTILLO)	525	14.5	3.90/3.20	13	30+3*40+5*45+3*40+30	24.1	9.8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Carretera
	31	VIADUCTO 162.7	162+662	162+967	ARTESAS C.V (MARTILLO)	305	14.5	3.90/3.20	8	30+45+40+30+2*45+40+30	13.85	13.05	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Autopista
	32	VIADUCTO 167.1	167+130	167+170	ARTESAS C.C. ISOST	40	26.61	4	1	40	-	-	-	Cerrados	Profunda	Rural	Río
	33	VIADUCTO 173.5	173+531	173+693	ARTESAS C.C	162	14.5	3.05	5	28.5+3*35+28.5	12.15	10.8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC, canal
			173+693	174+000	PÉRGOLA ARTESAS	307	14.5	2.9	1	VAR(19,6/29,7)							
			174+000	174+160	ARTESAS C.C	160	14.5	3.05	5	27.5+3*35+27.5							
	34	VIADUCTO 183.3	183+331	183+451	ARTESAS C.C. ISOST	120	14.5	2.6	4	4*30	12.35	12.05	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	FF.CC
			183+451	183+567	PÉRGOLA ARTESAS	115.9	14.5	2.5	1	VAR(28,54-27,59)							
			183+567	183+627	ARTESAS C.C. ISOST	60	14.5	2.6	2	2*30							
	35	VIADUCTO 198.9	198+931	198+948	ARTESAS CC	17	20.4	1.5	1	17	-	-	-	Cerrados	Superficial	Rural	Río
	36	VIADUCTO 199.3	199+345	199+695	ARTESAS CC	350	14.5	2.6	12	25+10*30+25	14.75	9.25	Profunda	Cerrados	Profunda	Urbano	FF.CC / Río
			199+695	199+824	PÉRGOLA ARTESAS	129	14.5	2.7	1	VAR (27,13-17,81)							
			199+824	200+024	ARTESAS CC	200	14.5	2.6	7	25+5*30+25							
	37	VIADUCTO 209.5	209+496	209+553	ARTESAS CC ISOSTATICO	57.02	2*14,50	1.4	4	16.02+13.92+13.07+14.01	8	8	Profunda	Cerrados	Profunda	Rural	Carretera
	38	CTO 4.7 Reposición	198+931	198+948	DOBLE T	9,40	8.5	0.93	1	9.4	-	-	-	Cerrados	Superficial	Rural	Río

Tabla 4.8.1 Características viaductos y pérgolas

4.8.7.2 Pasos superiores

Se incluye a continuación una tabla descriptiva de los pasos superiores.

ESTRUCTURA	PK TRAZADO	TIPO	L_T (m)	LUCES [m] L1	L2	L3	L4	L5	L6	B ANCHURA (m)	A_c ANCHO CALZADA (m)	AR_I/AR_D (m)	C_L CANTO LOSA (m)	C_V CANTO VIGA VANO 1 (m)	CANTO VIGA VANO 2 (m)	CANTO VIGA VANO 3 (m)	CANTO VIGA VANO 4 (m)	CANTO VIGA VANO 5 (m)	CANTO VIGA VANO 6 (m)	TIPO VIGA	C_T CANTO TOTAL (m)	S_V SEPARACIÓN EJES DE VIGAS (m)	Nº DE VIGAS	$D_I = D_D$	OBSTACULO O ELEMENTO QUE CRUZA	PILAS TIPOLOGÍA	PILAS Hmáx	PILAS DIMENSIONES	CIM. PILAS	TIPOLOGÍA ESTRIBOS	CIM. ESTRIBOS
PS-001	29+025	TIPO 1	36	36						7.2	6	1.0	0.2	1.6						H. PRETENSADO	1.8	1.75	4	0.975	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-002	30+375	TIPO 3	76	15	46	15				7.2	6	1.0	0.2	1.35	2.4	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,50	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-003	31+605	TIPO 1	42	42						7.2	6	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.75	4	0.975	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-004	32+960	TIPO 3	80	20	40	20				7.2	6	1.0	0.2	1.35	1.83	1.35				H. PRETENSADO	2.03	1.75	4	0.975	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,50	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-005	33+975	TIPO 1	52	52						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-006	34+730	TIPO 1	52	52						9.7	8.5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.50	6	1.1	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-007	35+635	TIPO 1	46	46						7.2	6	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-008	36+845	TIPO 1	42	42						8.2	7	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.55	5	1	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-009	37+775	TIPO 1	45	45						7.2	6	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-010	39+395	TIPO 1	47	47						7.2	6	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-011 Cpo. A	42+095	TIPO 6	85	85						9.2	8	1.0	0.2	2.6						METÁLICAS	2.8	3.50	3	1.1	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-011 Cpo. B	42+095	TIPO 6	85	85						9.2	8	1.0	0.2	2.6						METÁLICAS	2.8	3.50	3	1.1	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-011 Cpo. C	42+095	TIPO 6	85	85						9.2	8	1.0	0.2	2.6						METÁLICAS	2.8	3.50	3	1.1	LAV - LJM	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-012	48+235	TIPO 1	40	40						7.2	6	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.75	4	0.975	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-013	59+680	TIPO 1	42	42						7.7	6.5	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.40	5	1.05	LAV	-	-	-	-	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-014	61+420	TIPO 1	43	43						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-015	76+613	TIPO 1	49	49						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV	-	-	-	-	CARGADEROS	SEGÚN GEOTECNIA
PS-016	84+500	TIPO 2	57	42	15					5.2	4	1.0	0.2	1.83	1.35					H. PRETENSADO	2.03	1.65	3	0.95	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	10,43	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-017	86+992	TIPO 2	64	44	20					7.2	6	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-018	93+250	TIPO 1	50	50						5.2	4	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.55	3	1.05	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-019	96+212	TIPO 1	52	52						8.2	7	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.50	5	1.1	LAV	-	-	-	-	CARGADEROS	SEGÚN GEOTECNIA
PS-020	105+919	TIPO 1	52	52						8.2	7	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.50	5	1.1	LAV	-	-	-	-	CARGADEROS	SEGÚN GEOTECNIA
PS-021	108+105	TIPO 1	50	50						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-022	116+160	TIPO 2	67	47	20					6.2	5	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,90	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-023	121+400	TIPO 1	50	50						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV	-	-	-	-	CARGADEROS	SEGÚN GEOTECNIA
PS-024	124+324	TIPO 1	42	42						7.2	6	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.75	4	0.975	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-025	126+950	TIPO 2	88	46	42					6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,70	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-026	127+781	TIPO 1	48	48	0					7.2	6	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-027	130+460	TIPO 2	72	52	20					9.2	8	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	LAV - LJM	MUROS INTERMEDIOS	9,95	SECC. RECT.	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-028 Cpo. A	131+120	TIPO 4	134	22	45	45	22			17.2	16	1.0	0.2	1.35	2.4	2.4	1.35			H. PRETENSADO	2.6	1.50	11	1.1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-028 Cpo. B	131+120	TIPO 4	134	22	45	45	22			17.2	16	1.0	0.2	1.35	2.4	2.4	1.35			H. PRETENSADO	2.6	1.50	11	1.1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-029	131+790	TIPO 2	68	48	20					6.2	5	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-030	134+150	TIPO 3	92	20	52	20				6.2	5	1.0	0.2	1.35	2.4	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-31	135+562	TIPO 2	72	52	20					6.2	5	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-032	136+076	TIPO 6	62	62						7.2	6	1.0	0.2	2.6						METÁLICAS	2.8	3.50	2	1.85	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-033	138+970	TIPO 1	52	52						7.2	6	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.70	4	1.05	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-034	141+000	TIPO 1	52	52						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	-	-	-	-	CARGADEROS	SEGÚN GEOTECNIA
PS-035	150+250	TIPO 3	80	20	40	20				7.2	6	1.0	0.2	1.35	1.83	1.35				H. PRETENSADO	2.03	1.75	4	0.975	LAV	SECCIÓN CIRCULAR	10.56	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-036	152+890	TIPO 1	48	48						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-037	159+127	TIPO 3	80	20	40	20				8.2	7	1.0	0.2	1.35	1.83	1.35				H. PRETENSADO	2.03	1.55	5	1	LAV	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-038	160+031	TIPO 1	52	52						8.2	7	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.50	5	1.1	LAV	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-039	170+959	TIPO 2	72	52	20					9.2	8	1.0	0.2	2.4	1.35					H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-040	176+647	TIPO 3	113	52	41	20				9.2	8	1.0	0.2	2.4	1.83	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	CANAL, LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	10,52	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-041	178+832	TIPO 3	118	40	36	42				9.2	8	1.0	0.2	1.83	1.6	1.83				H. PRETENSADO	2.03	1.80	5	1	CANAL, LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	10,67	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-042	182+660	TIPO 3	126	52	52	22				9.2	8	1.0	0.2	2.4	2.4	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	CAMINO, LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-043	187+635	TIPO 6	64	64						17.2	16	1.0	0.2	2.6						METÁLICAS	2.8	3.50	5	1.6	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-044	191+324	TIPO 3	86	20	46	20				8.2	7	1.0	0.2	1.35	2.4	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.50	5	1.1	LAV - LJM, CAMINO	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-045	195+961	TIPO 3	114	20	50	44				9.2	8	1.0	0.2	1.35	2.4	1.35				H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	LAV - LJM, CANAL, CAMINO	SECCIÓN CIRCULAR	9,65	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-046 Tramo 1	197+500	TIPO 3	101	20	46	35				20.2	19	1.0	0.2	1.35	2.4	1.83				H. PRETENSADO	2.6	1.80	11	1.1	LAV	SECCIÓN CIRCULAR	10.75	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-046 Tramo 2	197+500	TIPO 1	40	40						20.2	19	1.0	0.2	1.83						H. PRETENSADO	2.03	1.80	11	1.1	CAMNO	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-047	198+281	TIPO 2	70	20	50					8.7	7.5	1.0	0.2	1.35	2.4					H. PRETENSADO	2.6	1.65	5	1.05	LAV	SECCIÓN CIRCULAR	9,95	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-048	203+154	TIPO 1	46	46						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-049	204+463	TIPO 1	48	48						6.2	5	1.0	0.2	2.4						H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	-	-	-	-	H. ARMADO	SEGÚN GEOTECNIA
PS-050	206+800	TIPO 3	92	20	20	52				6.2	5	1.0	0.2	1.35	1.35	2.4				H. PRETENSADO	2.6	1.40	4	1	LAV - LJM	SECCIÓN CIRCULAR	13,73	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA
PS-051	209+169	TIPO 5	224	20	40	52	52	40	20	9.2	8	1.0	0.2	1.35	1.83	2.4	2.4	1.83	1.35	H. PRETENSADO	2.6	1.75	5	1.1	ESTACIÓN (LAV), LJM	SECCIÓN CIRCULAR	12.2	ϕ= 1,50m	SEGÚN GEOTECNIA	TIERRA ARMADA	SEGÚN GEOTECNIA

Tabla 4.8.2: Características pasos superiores

4.8.7.3 Pasos inferiores

Se incluye a continuación una tabla descriptiva de los pasos inferiores.

TIPOLOGÍA	PK TRAZADO	CLARO (m)	GALIBO VERTICAL (m)	CANTO VIGAS (m)	ESVIAJE º	ANCHO DE PASO INFERIOR (m)
PASO INFERIOR DE VIGAS	31+605	8,00	4,50	0,50	85	45,00
	42+830	18,00	5,50	1,15	75	35,00
	44+050	19,00	4,50	1,15	24	70,00
	44+670	9,00	4,50	0,50	59	32,00
	45+600	11,00	4,50	0,50	48	38,00
	52+928	12,00	5,50	0,50	98	20,00
	55+693	10,00	4,50	0,50	61	20,00
	57+485	10,00	5,50	0,50	54	22,00
	58+412	15,00	7,90	0,50	34	70,00
	66+626	10,00	8,80	0,50	149	33,00
	89+571	12,00	7,00	0,50	63	20,00
	102+765	8,00	4,50	0,50	105	18,00
	107+396	6,00	11,00	0,50	72	19,00
	110+054	6,00	10,80	0,50	60	20,00
	111+603	8,00	4,50	0,50	88	18,00
	114+776	8,00	5,50	0,50	61	20,00
	118+981	8,00	4,50	0,50	33	31,00
	129+018	14,00	4,50	0,50	124	21,00
	145+351	10,00	8,70	0,50	108	19,00
	147+334	18,00	7,70	1,15	24	40,00
	149+640	10,00	5,50	0,50	131	23,00
	163+603	6,00	5,60	0,50	118	20,00
TIPOLOGÍA	PK TRAZADO	CLARO (m)	GALIBO VERTICAL (m)	CANTO VIGAS (m)	ESVIAJE º	ANCHO AMPLIACIÓN (m)
AMPLIACIÓN PASO INFERIOR	134+855	6,00	4,50	0,50	66	40,00
	139+481	11,00	3,50	0,50	110	33,00
	164+931	9,00	4,00	0,50	54	40,00
	165+192	10,00	4,00	0,50	53	40,00
	165+574	5,30	3,00	0,50	130	41,00
	167+106	5,00	4,00	0,50	88	31,00
	167+200	4,60	4,20	0,50	84	32,00
	167+217	12,00	4,50	0,50	89	31,00
	167+367	4,00	3,50	0,50	88	31,00

Tabla 4.8.3. Características pasos inferiores

4.8.7.4 Muros

Se incluye a continuación una tabla descriptiva de los muros.

CLASIFICACIÓN		ESTRUCTURA	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	OBSERVACIONES
MUROS DE VIADUCTOS	1	MURO V - 1	VIADUCTO 31.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	600.0	10.80	1.00	Contención de terraplenes
	2	MURO V - 2				600.0	10.80	1.00	Contención de terraplenes
	3	MURO V - 3				600.0	12.20	1.00	Contención de terraplenes
	4	MURO V - 4				600.0	12.20	1.00	Contención de terraplenes
	5	MURO V - 5	VIADUCTO 43.2		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	600.0	12.25	1.00	Contención de terraplenes
	6	MURO V - 6				600.0	12.25	1.00	Contención de terraplenes
	7	MURO V - 7				14.5	12.25	12.25	Contención de terraplenes
	8	MURO V - 8				14.5	8.50	8.50	Contención de terraplenes
	9	MURO V - 9				390.0	8.50	1.00	Contención de terraplenes
	10	MURO V - 10				390.0	8.50	1.00	Contención de terraplenes
	11	MURO V - 11	VIADUCTO 50.4		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	43.0	5.60	5.05	Contención de terraplenes
	12	MURO V - 12	VIADUCTO 53.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	25.0	10.30	10.30	Contención de terraplenes
	13	MURO V - 13	VIADUCTO 109.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	11.0	9.90	9.90	Contención de terraplenes
	14	MURO V - 14				9.0	9.90	9.90	Contención de terraplenes
	15	MURO V - 15				13.0	12.15	12.15	Contención de terraplenes
	16	MURO V - 16				13.0	12.15	12.15	Contención de terraplenes
	17	MURO V - 17	VIADUCTO 173.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	35.0	11.10	10.10	Contención de terraplenes
	18	MURO V - 18				48.0	12.25	11.65	Contención de terraplenes
	19	MURO V - 19	VIADUCTO 183.3		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	15.0	12.20	12.10	Contención de terraplenes
	20	MURO V - 20				60.0	13.90	13.50	Contención de terraplenes
	21	MURO V - 21	VIADUCTO 198.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	11.2	3.70	3.70	Contención de terraplenes
	22	MURO V - 22				7.0	4.65	4.65	Contención de terraplenes
	23	MURO V - 23	VIADUCTO 199.3		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	165.0	9.10	1.00	Contención de terraplenes
MUROS DE FALSO TÚNEL	24	MURO FS - 1	FALSO TÚNEL 206.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	142.0	11.50	1.00	Contención de terraplenes
	25	MURO FS - 2				20.0	10.10	1.00	Contención de terraplenes
	26	MURO FS - 3				15.0	10.10	1.00	Contención de terraplenes
	27	MURO FS - 4				10.0	10.10	1.00	Contención de terraplenes
	28	MURO FS - 5				19.0	11.50	1.00	Contención de terraplenes
	29	MURO FS - 6				15.0	10.10	1.00	Contención de terraplenes
MUROS DE CONTENCIÓN DE TERRAPLENES Y TALUDES	30	MURO 198.7	198+791	199+180	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	389.0	2.75	1.00	Contención de terraplenes de la L.A.V. México - Querétaro
	31	MURO 1.2	201+225	201+390	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	165.0	4.80	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	32	MURO 2.4	202+425	202+615	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	190.0	4.25	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	33	MURO 3.5	203+475	203+850	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	375.0	5.60	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	34	MURO 4.8	204+750	204+950	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200.0	1.00	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	35	MURO 6.1	206+050	206+250	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200.0	1.20	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	36	MURO 7.4	207+350	207+625	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	275.0	3.15	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	37	MURO 7.9	207+900	208+145	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	245.0	3.60	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Juárez - Morelos 231+000 - 241+200
	38	MURO 3.1	206+060	206+260	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200.0	3.40	1.00	Contención de terraplenes. Reposición Vía B
	39	MURO 206.0	206+050	206+300	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	250.0	11.00	6.00	Contención de taludes. L.A.V. México - Querétaro
	40	MURO 207.7	207+025	207+650	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	625.0	14.00	6.00	Contención de taludes. L.A.V. México - Querétaro
	41	MURO 207.8	207+850	207+950	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	100.0	5.00	3.00	Contención de taludes. L.A.V. México - Querétaro

Tabla 4.8.4. Muros

4.8.7.5 Falsos túneles

Se incluye a continuación una tabla descriptiva de los falsos túneles.

CLASIFICACIÓN		ESTRUCTURA	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L	A	H	$GV_{MÍN}$	$GH_{MÍN}$	PILA		ESPESORES		
											Φ - PILA	H - PILA	HASTIALES	DINTEL	LOSA
						(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
FALSO TÚNEL	1	FALSO TÚNEL 112.9	112+985	113+235	MARCO IN SITU	250	15.00	12.05	7.00	3.20	-	-	1.40	1.15/1.70	1.70
	2	FALSO TÚNEL 203.8	203+867	204+231	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	364	27.87	11.50	7.00	3.20	1.35	7,40	1.35	1.10/1.60	1.60/2.50
	3	FALSO TÚNEL 204.4	204+460	204+665	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	205	27.87	11.50	7.00	3.20	1.35	7,40	1.35	1.10/1.60	1.60/2.50
	4	FALSO TÚNEL 206.5	206+502	206+336	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	424	27.87	11.50	7.00	3.2	1.35	7.4	1.35	1.10/1.60	1.60/2.50
			206+336	206+732	TABLERO DE VIGAS ARTESAS		27.87-38.42	11.5						1.15+0.20	
			206+732	206+926	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA		27.87	11.5						1.10/1.60	

Tabla 4.8.5. Características Falsos túneles

4.8.8 Valoración económica

4.8.8.1 Viaductos

CLASIFICACIÓN		DENOMINACIÓN	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L (m)	A (m)	CANTO (m)	Nº VANOS	OBSTÁCULO QUE CRUZA	RATIO peso/m □	TOTAL pesos
VIADUCTOS Y PÉRGOLAS	1	VIADUCTO 31.5	31+506	31+626	ARTESAS C.C. ISOST.	120	9,3	2,53	4	FF.CC ACTUAL	34031,70	**64442767,44**
			31+626	31+938	PÉRGOLA ARTESAS	312,65	8,5	1,65	1		20585,50	**60112336,12**
			31+938	32+044	ARTESAS C.C	106	9,3	2,53	4		34031,70	**50775296,40**
	2	VIADUCTO 36.8	36+856	36+880	ARTESAS C.C	24	18,72	2,05	1	Canal	39693,47	**17833482,20**
	3	VIADUCTO 43.2	43+150	47+005	PÉRGOLA ARTESAS	3855	14,5	2,75	1/2	Calles, ríos	20585,50	**1150677986,25**
	4	VIADUCTO 50.4	50+413	50+483	ARTESAS C.C. ISOST.	70	14,5	3,05	2	FF.CC	34031,70	**34640867,43**
			50+483	50+706	PÉRGOLA ARTESAS	223	14,5	2,95	1/2		20585,50	**66563214,25**
			50+706	50+811	ARTESAS C.C. ISOST.	105	14,5	3,05	3		34031,70	**51714571,32**
	5	VIADUCTO 51.1	51+098	51+223	ARTESAS C.V (MARTILLO)	125	14,5	4.2/3.40	3	Autopista	61492,68	**140430833,32**
	6	VIADUCTO 52.8	52+821	52+936	ARTESAS C.V (MARTILLO)	115	14,5	3.90/3.20	3	Río	30746,34	**51269521,95**
	7	VIADUCTO 53.9	53+845	54+000	ARTESAS C.C	155	14,5	3,05	5	Río	30746,34	**69102399,15**
	8	VIADUCTO 63.4	63+399	63+700	ARTESAS C.V (MARTILLO)	301	14,5	3.90/3.20	7	Río, Caminos	30746,34	**146847594,47**
	9	VIADUCTO 67.0	67+003	68+609	ARTESAS C.V (MARTILLO)	1606	14,5	4.2/3.4	35	Carretera, Caminos y	61492,68	**1431980039,16**
	10	VIADUCTO 75.9	75+930	76+405	ARTESAS C.V (MARTILLO)	475	14,5	3.90/3.20	11	Río	30746,34	**211765416,75**
	11	VIADUCTO 76.9	76+930	77+549	ARTESAS C.V (MARTILLO)	619	14,5	3.90/3.20	15	Autopista y Río	30746,34	**275963774,67**
	12	VIADUCTO 81.4	81+384	82+334	ARTESAS C.V (MARTILLO)	950	14,5	3.90/3.20	22	FF.CC, Caminos	30746,34	**423530833,50**
	13	VIADUCTO 87.6	87+560	88+269	ARTESAS C.V (MARTILLO)	709	14,5	4.2/3.40	16	Río, Caminos	61492,68	**632175496,74**
	14	VIADUCTO 97.8	97+810	98+410	ARTESAS C.V (MARTILLO)	600	14,5	3.90/3.20	14	Río, Caminos	30746,34	**267493158,00**
	15	VIADUCTO 99.5	99+478	100+383	ARTESAS C.V (MARTILLO)	905	14,5	3.90/3.20	22	FF.CC, Río, Caminos	30746,34	**403468846,65**
	16	VIADUCTO 103.0	103+010	103+510	ARTESAS C.V (MARTILLO)	500	14,5	3.90/3.20	12	Valle	30746,34	**222910965,00**
	17	VIADUCTO 104.6	104+596	104+721	ARTESAS C.C	125	14,5	3,05	4	FF.CC y Carretera	30746,34	**61320500,50**
	18	VIADUCTO 109.9	109+940	109+966	ARTESAS C.C	26	14,5	2,25	1	FF.CC	39693,47	**16028223,19**
	19	VIADUCTO 116.5	116+487	116+572	ARTESAS C.C	85	14,5	3,05	3	Río	30746,34	**39834958,10**
	20	VIADUCTO 121.9	121+885	122+435	ARTESAS C.V (MARTILLO)	550	14,5	3.90/3.20	13	Valle	30746,34	**245202061,50**
	21	VIADUCTO 124.9	124+861	125+391	ARTESAS C.C	530	14,5	3,05	16	FF.CC / CAMINOS	34031,70	**261533614,50**
			125+391	125+486	PÉRGOLA ARTESAS	95	14,5	3,05	1		20585,50	**28356526,25**
			125+486	125+836	ARTESAS C.C	350	14,5	3,05	11		34031,70	**172710877,50**
	22	VIADUCTO 142.0	142+027	142+608	ARTESAS C.V (MARTILLO)	581	14,5	3.90/3.20	15	Río, Caminos	30746,34	**259022541,33**
	23	VIADUCTO 143.6	143+559	143+663	ARTESAS C.V (MARTILLO)	104	14,5	3.50/2.85	3	Carretera	30746,34	**61349709,52**
	24	VIADUCTO 148.3	148+287	148+305	ARTESAS C.C	17,7	14,5	1,55	1	FF.CC	39693,47	**11114171,60**
	25	VIADUCTO 151.6	151+633	151+930	ARTESAS C.V (MARTILLO)	297	14,5	3.90/3.20	7	Río	30746,34	**132409113,21**
	26	VIADUCTO 152.0	152+030	152+255	ARTESAS C.V (MARTILLO)	225	14,5	3.50/2.85	6	Río	30746,34	**100309934,25**
	27	VIADUCTO 153.0	153+137	154+155	ARTESAS C.V (MARTILLO)	1017,5	14,5	3.90/3.20	25	Caminos, Río	30746,34	**453623813,78**
	28	VIADUCTO 156.2	156+155	156+430	ARTESAS C.V (MARTILLO)	275	14,5	3.90/3.20	8	Río	30746,34	**122601030,75**
	29	VIADUCTO 156.5	156+530	156+690	ARTESAS C.V (MARTILLO)	160	14,5	3.90/3.20	4	Camino, carretera	30746,34	**71331508,80**
	30	VIADUCTO 157.4	157+405	157+930	ARTESAS C.V (MARTILLO)	525	14,5	3.90/3.20	13	Carretera	30746,34	**234056513,25**
	31	VIADUCTO 162.7	162+662	162+967	ARTESAS C.V (MARTILLO)	305	14,5	3.90/3.20	8	Autopista	30746,34	**135975688,65**
	32	VIADUCTO 167.1	167+130	167+170	ARTESAS C.C. ISOST	40	26,61	4	1	Río	40479,32	**43086188,21**
	33	VIADUCTO 173.5	173+531	173+693	ARTESAS C.C	162	14,5	3,05	5	FF.CC, canal	34031,70	**79940463,30**
			173+693	174+000	PÉRGOLA ARTESAS	307	14,5	2,9	1		20585,50	**91636353,25**
			174+000	174+160	ARTESAS C.C	160	14,5	3,05	5		34031,70	**78953544,00**
	34	VIADUCTO 183.3	183+331	183+451	ARTESAS C.C. ISOST	120	14,5	2,6	4	FF.CC	34031,70	**59215158,00**
			183+451	183+567	PÉRGOLA ARTESAS	115,9	14,5	2,5	1		20585,50	**34594962,03**
			183+567	183+627	ARTESAS C.C. ISOST	60	14,5	2,6	2		34031,70	**29607579,00**
	35	VIADUCTO 198.9	198+931	198+948	ARTESAS CC	17	20,4	1,5	1	Río	39693,47	**15210537,70**
	36	VIADUCTO 199.3	199+345	199+695	ARTESAS CC	350	14,5	2,6	12	FF.CC / Río	34031,70	**172710877,50**
			199+695	199+824	PÉRGOLA ARTESAS	129	14,5	2,7	1		20585,50	**38505177,75**
			199+824	200+024	ARTESAS CC	200	14,5	2,6	7		34031,70	**98691930,00**
	37	VIADUCTO 209.5	209+496	209+553	ARTESAS CC ISOSTATICO	57,02	2*14,50	1,4	4	Carretera	34031,70	**56274138,49**
	38	VIADUCTO 4.7 Rep,Línea B	198+931	198+948	DOBLE T	9,40	8,5	0,93	1	Río	34031,70	**2719132,83**

Tabla 4.8.6: Valoración económica viaductos

4.8.8.2 Pasos superiores

ESTRUCTURA	PK TRAZADO	L_T	B ANCHURA	TIPO VIGA	C_T CANTO TOTAL	OBSTACULO O ELEMENTO QUE CRUZA	RATIO peso/m □	TOTAL pesos
		m	m		m			
PS-001	29+025	36	7,2	H. PRETENSADO	1,8	LAV - LJM	11791,21	**3056281,63**
PS-002	30+375	76	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**10576593,50**
PS-003	31+605	42	7,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV - LJM	19328,57	**5844959,57**
PS-004	32+960	80	7,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV - LJM	19328,57	**11133256,32**
PS-005	33+975	52	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**6231530,97**
PS-006	34+730	52	9,7	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**9749330,71**
PS-007	35+635	46	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**6401622,38**
PS-008	36+845	42	8,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV - LJM	19328,57	**6656759,51**
PS-009	37+775	45	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**6262456,68**
PS-010	39+395	47	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**6540788,09**
PS-011 Cpo. A	42+095	85	9,2	METÁLICAS	2,8	LAV - LJM	19328,57	**15114941,74**
PS-011 Cpo. B	42+095	85	9,2	METÁLICAS	2,8	LAV - LJM	19328,57	**15114941,74**
PS-011 Cpo. C	42+095	85	9,2	METÁLICAS	2,8	LAV - LJM	19328,57	**15114941,74**
PS-012	48+235	40	7,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV	19328,57	**5566628,16**
PS-013	59+680	42	7,7	H. PRETENSADO	2,03	LAV	19328,57	**6250859,54**
PS-014	61+420	43	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5152996,76**
PS-015	76+613	49	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5872019,57**
PS-016	84+500	57	5,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV - LJM	19328,57	**5728988,15**
PS-017	86+992	64	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**8906605,06**
PS-018	93+250	50	5,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5025428,20**
PS-019	96+212	52	8,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**8241702,25**
PS-020	105+919	52	8,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**8241702,25**
PS-021	108+105	50	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5991856,70**
PS-022	116+160	67	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**8029087,98**
PS-023	121+400	50	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5991856,70**
PS-024	124+324	42	7,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV	19328,57	**5844959,57**
PS-025	126+950	46	5,4	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**4801216,79**
PS-026	127+781	43	6,34	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5269354,75**
PS-027	130+460	72	9,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**12803244,77**
PS-028 Cpo. A	131+120	134	17,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**44548488,14**
PS-028 Cpo. B	131+120	134	17,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**44548488,14**
PS-029	131+790	68	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**8148925,11**
PS-030	134+150	92	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**11025016,33**
PS-31	135+562	72	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**8628273,65**
PS-032	136+076	62	7,2	METÁLICAS	2,8	LAV - LJM	19328,57	**8628273,65**
PS-033	138+970	52	7,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**7236616,61**
PS-034	141+000	52	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**6231530,97**
PS-035	150+250	80	7,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV	19328,57	**11133256,32**
PS-036	152+890	48	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**5752182,43**
PS-037	159+127	80	8,2	H. PRETENSADO	2,03	LAV	19328,57	**12679541,92**
PS-038	160+031	52	8,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**8241702,25**
PS-039	170+959	72	9,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**12803244,77**
PS-040	176+647	113	9,2	H. PRETENSADO	2,6	CANAL, LAV - LJM	19328,57	**20093981,37**
PS-041	178+832	118	9,2	H. PRETENSADO	2,03	CANAL, LAV - LJM	19328,57	**20983095,59**
PS-042	182+660	126	9,2	H. PRETENSADO	2,6	CAMINO, LAV - LJM	19328,57	**22405678,34**
PS-043	187+635	64	17,2	METÁLICAS	2,8	LAV - LJM	19328,57	**21276889,86**
PS-044	191+324	86	8,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM, CAMINO	19328,57	**13630507,56**
PS-045	195+961	114	9,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM, CANAL, CAMINO	19328,57	**20271804,22**
PS-046 Tramo 1	197+500	101	20,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**39434148,51**
PS-046 Tramo 2	197+500	40	20,2	H. PRETENSADO	2,03	CAMINO	19328,57	**15617484,56**
PS-047	198+281	70	8,7	H. PRETENSADO	2,6	LAV	19328,57	**11771099,13**
PS-048	203+154	46	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**5512508,16**
PS-049	204+463	48	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**5752182,43**
PS-050	206+800	92	6,2	H. PRETENSADO	2,6	LAV - LJM	19328,57	**11025016,33**
PS-051	209+169	224	9,2	H. PRETENSADO	2,6	ESTACIÓN (LAV), LJM	19328,57	**39832317,06**

Tabla 4.8.7. Valoración económica pasos superiores

4.8.8.3 Pasos inferiores

TIPOLOGÍA	PK TRAZADO	CLARO (m)	GALIBO VERTICAL (m)	CANTO VIGAS (m)	ANCHO DE PASO INFERIOR (m)	RATIO peso/m ☐	TOTAL pesos
PASO INFERIOR DE VIGAS	31+605	8,00	4,50	0,50	45,00	32140,47	**11570569,20**
	42+830	18,00	5,50	1,15	35,00	32140,47	**20248496,10**
	44+050	19,00	4,50	1,15	70,00	32140,47	**42746825,10**
	44+670	9,00	4,50	0,50	32,00	32140,47	**9256455,36**
	45+600	11,00	4,50	0,50	38,00	32140,47	**13434716,46**
	52+928	12,00	5,50	0,50	20,00	32140,47	**7713712,80**
	55+693	10,00	4,50	0,50	20,00	32140,47	**6428094,00**
	57+485	10,00	5,50	0,50	22,00	32140,47	**7070903,40**
	58+412	15,00	7,90	0,50	70,00	32140,47	**33747493,50**
	66+626	10,00	8,80	0,50	33,00	32140,47	**10606355,10**
	89+571	12,00	7,00	0,50	20,00	32140,47	**7713712,80**
	102+765	8,00	4,50	0,50	18,00	32140,47	**4628227,68**
	107+396	6,00	11,00	0,50	19,00	32140,47	**3664013,58**
	110+054	6,00	10,80	0,50	20,00	32140,47	**3856856,40**
	111+603	8,00	4,50	0,50	18,00	32140,47	**4628227,68**
	114+776	8,00	5,50	0,50	20,00	32140,47	**5142475,20**
	118+981	8,00	4,50	0,50	31,00	32140,47	**7970836,56**
	129+018	14,00	4,50	0,50	21,00	32140,47	**9449298,18**
	145+351	10,00	8,70	0,50	19,00	32140,47	**6106689,30**
	147+334	18,00	7,70	1,15	40,00	32140,47	**23141138,40**
	149+640	10,00	5,50	0,50	23,00	32140,47	**7392308,10**
	163+603	6,00	5,60	0,50	20,00	32140,47	**3856856,40**
TIPOLOGÍA	PK TRAZADO	CLARO (m)	GALIBO VERTICAL (m)	CANTO VIGAS (m)	ANCHO AMPLIACIÓN (m)	RATIO peso/m ☐	TOTAL pesos
AMPLIACIÓN PASO INFERIOR	134+855	6,00	4,50	0,50	40,00	32140,47	**7713712,80**
	139+481	11,00	3,50	0,50	33,00	32140,47	**11666990,61**
	164+931	9,00	4,00	0,50	40,00	32140,47	**11570569,20**
	165+192	10,00	4,00	0,50	40,00	32140,47	**12856188,00**
	165+574	5,30	3,00	0,50	41,00	32140,47	**6984124,13**
	167+106	5,00	4,00	0,50	31,00	32140,47	**4981772,85**
	167+200	4,60	4,20	0,50	32,00	32140,47	**4731077,18**
	167+217	12,00	4,50	0,50	31,00	32140,47	**11956254,84**
	167+367	4,00	3,50	0,50	31,00	32140,47	**3985418,28**

Tabla4.8.8. Valoración económica pasos inferiores

4.8.8.4 Muros

CLASIFICACIÓN		ESTRUCTURA	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	RATIO (peso/m □)	TOTAL (pesos)
MUROS DE VIADUCTOS	1	MURO V - 1	VIADUCTO 31.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	600,0	10,80	1,00	3318,80	**21505824,00**
	2	MURO V - 2				600,0	10,80	1,00	3318,80	**21505824,00**
	3	MURO V - 3				600,0	12,20	1,00	4180,40	**30600528,00**
	4	MURO V - 4				600,0	12,20	1,00	4180,40	**30600528,00**
	5	MURO V - 5	VIADUCTO 43.2		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	600,0	12,25	1,00	4180,40	**30725940,00**
	6	MURO V - 6				600,0	12,25	1,00	4180,40	**30725940,00**
	7	MURO V - 7				14,5	12,25	12,25	4180,40	**742543,55**
	8	MURO V - 8				14,5	8,50	8,50	3318,80	**409042,10**
	9	MURO V - 9				390,0	8,50	1,00	3318,80	**11001822,00**
	10	MURO V - 10				390,0	8,50	1,00	3318,80	**11001822,00**
	11	MURO V - 11	VIADUCTO 50.4		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	43,0	5,60	5,05	2221,23	**534872,18**
	12	MURO V - 12	VIADUCTO 53.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	25,0	10,30	10,30	3318,80	**854591,00**
	13	MURO V - 13	VIADUCTO 109.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	11,0	9,90	9,90	3318,80	**361417,32**
	14	MURO V - 14				9,0	9,90	9,90	3318,80	**295705,08**
	15	MURO V - 15				13,0	12,15	12,15	4180,40	**660294,18**
	16	MURO V - 16				13,0	12,15	12,15	4180,40	**660294,18**
	17	MURO V - 17	VIADUCTO 173.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	35,0	11,10	10,10	3318,80	**1289353,80**
	18	MURO V - 18				48,0	12,25	11,65	4180,40	**2458075,20**
	19	MURO V - 19	VIADUCTO 183.3		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	15,0	12,20	12,10	4180,40	**765013,20**
	20	MURO V - 20				60,0	13,90	13,50	4180,40	**3486453,60**
	21	MURO V - 21	VIADUCTO 198.9		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	11,2	3,70	3,70	2221,23	**92047,77**
	22	MURO V - 22				7,0	4,65	4,65	2221,23	**71784,60**
	23	MURO V - 23	VIADUCTO 199.3		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	165,0	9,10	1,00	3318,80	**4983178,20**
MUROS DE FALSO TÚNEL	24	MURO FS - 1	FALSO TÚNEL 206.5		MURO DE HORMIGÓN IN SITU	142,0	11,50	1,00	3318,80	**5419600,40**
	25	MURO FS - 2				20,0	10,10	1,00	3318,80	**670397,60**
	26	MURO FS - 3				15,0	10,10	1,00	3318,80	**502798,20**
	27	MURO FS - 4				10,0	10,10	1,00	3318,80	**335198,80**
	28	MURO FS - 5				19,0	11,50	1,00	3318,80	**725157,80**
	29	MURO FS - 6				15,0	10,10	1,00	3318,80	**502798,20**
MUROS DE CONTENCIÓN DE TERRAPLENES Y TALUDES	30	MURO 198.7	198+791	199+180	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	389,0	2,75	1,00	2221,23	**2376160,79**
	31	MURO 1.2	201+225	201+390	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	165,0	4,80	1,00	2221,23	**1759214,16**
	32	MURO 2.4	202+425	202+615	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	190,0	4,25	1,00	2221,23	**1793643,23**
	33	MURO 3.5	203+475	203+850	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	375,0	5,60	1,00	2221,23	**4664583,00**
	34	MURO 4.8	204+750	204+950	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200,0	1,00	1,00	2221,23	**444246,00**
	35	MURO 6.1	206+050	206+250	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200,0	1,20	1,00	2221,23	**533095,20**
	36	MURO 7.4	207+350	207+625	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	275,0	3,15	1,00	2221,23	**1924140,49**
	37	MURO 7.9	207+900	208+145	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	245,0	3,60	1,00	2221,23	**1959124,86**
	38	MURO 3.1	206+060	206+260	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	200,0	3,40	1,00	2221,23	**1510436,40**
	39	MURO 206.0	206+050	206+300	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	250,0	11,00	6,00	3318,80	**9126700,00**
	40	MURO 207.7	207+025	207+650	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	625,0	14,00	6,00	4180,40	**36578500,00**
	41	MURO 207.8	207+850	207+950	MURO DE HORMIGÓN IN SITU	100,0	5,00	3,00	2221,23	**1110615,00**

Tabla 4.8.9 Valoración económica muros

4.8.8.5 Falsos túneles

CLASIFICACIÓN		ESTRUCTURA	PK - INICIO	PK-FINAL	TIPOLOGÍA	L (m)	A (m)	H (m)	RATIO peso/m	TOTAL pesos
FALSO TÚNEL	1	FALSO TÚNEL 112.9	112+985	113+235	MARCO IN SITU	250	15,00	12,05	221545,50	55386375
	2	FALSO TÚNEL 203.8	203+867	204+231	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	364	27,87	11,50	443091,00	161285124
	3	FALSO TÚNEL 204.4	204+460	204+665	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	205	27,87	11,50	443091,00	90833655
	4	FALSO TÚNEL 206.5	206+502	206+634	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA	424	27,87	11,50	443091,00	187870584
			206+634	206+734	PÉRGOLA ARTESAS		27.87-38.42	11,5		
			206+734	206+926	MARCO IN SITU PILA INTERMEDIA		27,87	11,5		

Tabla 4.8.10: Valoración económica falsos túneles

4.9 Túneles y obras subterráneas

4.9.1 Introducción

El objeto del presente anejo es la definición de los túneles y las obras subterráneas que forman parte del Anteproyecto "ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DE TREN DE PASAJEROS MEXICO-QUERÉTARO".

El trazado objeto de estudio se ha subdividido en diferentes tramos, para realizar en fases posteriores los proyectos constructivos de los mismos y que todo el análisis de información realizado en el presente estudio sirva como base de partida para la redacción de los proyectos de trazado y construcción en fases posteriores.

TRAMO	INICIO	FIN	LONGITUD (m)	TÚNELES	METROS DE TÚNEL
C1	0+000	30+500	30.500	0	0
C2	30+500	47+000	16.500	0	0
C3	47+000	66+000	19.000	2	2.020
C4	66+000	76+000	10.000	5	3.200
C5	76+000	87+000	11.000	1	3.495
C6	87+000	114+600	27.600	1	250
C7	114+600	141+500	26.900	2	1.280
C8	141+500	156+140	14.640	0	0
C9-A	156+140	172+000	15.860	0	0
C9-B	172+000	189+000	17.000	0	0
C10	189+000	209+759	20.759	4	1.413

Tabla 4.9.1.- Tramificación del trazado

4.9.2 Características de los túneles

A continuación se presenta una tabla resumen donde se presenta la tramificación constructiva de los túneles, indicando los PPKK de inicio y fin, tanto de los túneles en mina como los falsos túneles, tramo al que pertenecen y longitudes parciales y totales.

TRAMO	TIPOLOGÍA	FALSO TÚNEL	TÚNEL MINA		FALSO TÚNEL	LONGITUD FALSO TÚNEL (m)	LONGITUD MINA (m)	LONGITUD TOTAL (m)
		P.K. INICIO	P.K. INICIO	P.K. FIN	P.K. FIN			
C3	TÚNEL 63.8	63+750	63+980	65+100	65+200	330,00	1.120,00	1.450,00
	TÚNEL 65.4	65+380	65+430	65+925	65+950	75,00	495,00	570,00
C4	TÚNEL 68.6	68+325	68+645	69+430	69+460	350,00	465,00	815,00
	TÚNEL 69.8	69+810	69+855	70+105	70+165	105,00	250,00	355,00
	TÚNEL 71.1	71+140	71+230	72+155	72+190	125,00	925,00	1.050,00
	TÚNEL 74.7	74+680	74+730	75+050	75+100	100,00	320,00	420,00
	TÚNEL 75.2	75+240	75+280	75+730	75+800	110,00	450,00	560,00
C5	TÚNEL 77.7	77+730	77+755	81+180	81+225	70,00	3.425,00	3.495,00
C6	FALSO TÚNEL 113.0	112+985	-	-	113+235	250,00	0,00	250,00
C7	TÚNEL 119.8	119+825	119+960	120+510	120+640	265,00	550,00	815,00
	TÚNEL 122.9	122+860	122+950	123+185	123+325	230,00	235,00	465,00
C10	FALSO TÚNEL 203.9	203+867	-	-	204+231	364,00	0,00	364,00
	FALSO TÚNEL 204.5	204+460	-	-	204+665	205,00	0,00	205,00
	FALSO TÚNEL 206.5	206+502	-	-	206+926	424,00	0,00	424,00
	TÚNEL 208.5	208+540	208+620	208+905	208+960	135,00	285,00	420,00

Tabla 4.9.2.- Tramificación constructiva de los túneles

4.9.3 Geotecnia de túneles

4.9.3.1 Geología del trazado de los túneles

A continuación se presenta una tabla resumen donde se indican las unidades geotécnicas atravesadas por los túneles, las investigaciones disponibles y litologías asociadas.

TÚNEL	FALSO TÚNEL	TÚNEL MINA		FALSO TÚNEL	LONG FALSO TÚNEL (m)	LONG MINA (m)	LONG TOTAL (m)	UG	INVESTIGACIONES	LITOLOGÍA (Sondeos)
	P.K. INICIO	P.K. INICIO	P.K. FIN	P.K. FIN						
TÚNEL 63.8	63+750	63+980	65+100	65+200	330	1120	1450	. Depósitos volcano-sedimentarios (V-S) con intercalación de coladas basálticas (Bc)	S-4 (30,00 m) S-5 (30,00 m)	Limo de baja plasticidad de consistencia dura con intercalación de basalto poco vesicular
TÚNEL 65.4	65+380	65+430	65+925	65+950	75	495	570	. Depósitos volcano-sedimentarios (V-S)	-	
TÚNEL 68.6	68+325	68+645	69+430	69+460	350	465	815	. Lutitas y areniscas (ks)	S-6 (45,00 m)	Limo de baja plasticidad de consistencia dura con bolos empacados en matriz arenosa y fragmentos de basalto
TÚNEL 69.8	69+810	69+855	70+105	70+165	105	250	355	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	
TÚNEL 71.1	71+140	71+230	72+155	72+190	125	925	1050	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	
TÚNEL 74.7	74+680	74+730	75+050	75+100	100	320	420	. Lutitas y areniscas (ks) . Coladas basálticas (Bc) . Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	S-11 (50, 00 m)	Limo arenoso de consistencia muy dura (Toba pumítica) Bolos en matriz arenosa con fragmentos de basalto
TÚNEL 75.2	75+240	75+280	75+730	75+800	110	450	560	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	
TÚNEL 77.7	77+730	77+755	81+180	81+225	70	3425	3495	. Coladas basálticas (Bc) . Centros de emision y piroclastos basálticos (Bp)	S-19 (25,00 m)	Limo arenosos café claro de consistencia muy dura con fragmentos de basalto
FALSO TÚNEL 113.0	112+985			113+235	250	0	250	. Tobas sálicas y depósitos hidromagmáticos (S-H)	-	
TÚNEL 119.8	119+825	119+960	120+510	120+640	265	550	815	. Coladas basálticas (Bc) con intercalación de centros de emisión y depósitos piroclásticos (Bp)	S-30 (25,00 m)	Arena pumítica color claro Basalto muy fracturado con intercalaciones de limo arenoso
TÚNEL 122.9	122+860	122+950	123+185	123+325	230	235	465	. Coladas basálticas (Bc)	S-31 (25,5 m)	Basalto fracturado poco vesicular gris oscuro con intercalaciones de limo arcilloarenoso Basalto gris oscuro
FALSO TÚNEL 203.9	203+867	-	-	204+231	364	0	364	. Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	S-55 (45,5 m)	Ignimbrita riolítica (toba riolítica soldada)
FALSO TÚNEL 204.5	204+460	-	-	204+665	205	0	205	. Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	S-55 (45,5 m)	
FALSO TÚNEL 206.5	206+502	-	-	206+926	424	0	424	. Rellenos antrópicos compactados (Ac) . Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	-	
TÚNEL 208.5	208+540	208+620	208+905	208+960	135	285	420	. Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	-	

Tabla 4.9.3.- Unidades geológicas atravesadas

4.9.3.2 Caracterización geotécnica de las unidades diferenciadas

Están definidos en el apartado 4.4. Geología y geotecnia.

4.9.3.3 Reutilización de los materiales excavados

De cada uno de estos materiales pueden efectuarse las siguientes consideraciones en cuanto a su empleo, a falta de resultados de ensayos de laboratorio en todas las unidades diferenciadas que corroboren dichas estimaciones:

UNIDAD GEOTÉCNICA	UNIDADES GEOLÓGICAS	GM	TIPO DE MATERIAL	APROVECHAMIENTO	REUTILIZACIÓN
COLADAS	**T_MA-Dc, T_PA-Dc, T_MAc, T_PAc, Bc ,A-Bc**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
IGNIMBRITAS Y TOBAS	**Ig-T, Tp-Tr, R-Tr, Tr-R**	II-III	ROCA	80 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
CALIZAS	**ks**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS	**T_MA-Dp, T_PA-Dp, T_MAp, T_PAp, Bp ,A-Bp**	II-III	ROCA	100 %	Pedraplén/Todo-uno (previo machaqueo)
		IV-V	SUELO	80 %	Terraplén
DEPÓSITOS VOLCÁNICOS	**S-H, V-S**	-	SUELO	50 %	Terraplén
Depósitos de barranco	**Q_C, Qac**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Depósitos de terrazas	**QT**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Depósitos aluviales	**Qa, Qar-ar**	-	SUELO	50 %	Terraplén
Suelos	**S**	-	SUELO	0 %	-
Rellenos antrópicos compactados	**Ac**	-	SUELO	80 %	Todo-uno (granulometría gruesa)/Terraplén
Rellenos antrópicos sin compactar	**A**	-	SUELO	0 %	-

Tabla 4.9.4.- Tabla resumen parámetros geotécnicos adoptados

4.9.4 Definición de la sección libre

La sección interior necesaria en los túneles se determina mediante la metodología basada en el empleo de la ficha UIC 779-11.

En la siguiente tabla se resumen las secciones libres de túnel obtenidas, para satisfacer los criterios de confort y salud:

Denominación	Longitud Total (m)	Coeficiente de bloqueo (B)	Ltúnel/Ltren	Sección libre Salud (m^2)	Sección libre Confort (m^2)	Sección libre Adoptada (m^2)
63.8	1450	0,16	7,3	75	90	**100**
65.4	570	0,16	2,9	75	100	**100**
68.6	815	0,16	4,1	75	100	**100**
69.8	355	0,17	1,8	70	92	**100**
71.1	1050	0,16	5,3	75	100	**100**
74.7	420	0,16	2,1	75	95	**100**

Denominación	Longitud Total (m)	Coeficiente de bloqueo (B)	Ltúnel/Ltren	Sección libre Salud (m^2)	Sección libre Confort (m^2)	Sección libre Adoptada (m^2)
75.2	560	0,16	2,8	75	98	**100**
77.7	3495	0,17	17,5	70	85	**85**
113.0	250	0,20	1,3	60	85	**85**
119.8	815	0,15	4,1	80	110	**110**
122.9	465	0,16	2,3	75	95	**95**
208.5	445	0,16	2,2	75	95	**95**

Tabla 4.9.5.-Sección libre adoptada (m^2)

4.9.5 Método constructivo

Teniendo en consideración las dimensiones, características del terreno y condicionantes constructivos de los túneles, se ha planteado su construcción mediante métodos “convencionales”. Se ha descartado el método “mecanizado” con empleo de tuneladora debido a que la longitud de los túneles es escasa para hacer competitiva la tuneladora frente al método convencional, además de existir diferentes litologías a lo largo del trazado que hacen difícil la selección del tipo de tuneladora y no existen condicionantes constructivos que desaconsejen el método convencional. Una tuneladora supone un elevado coste de inversión que en principio debe amortizarse íntegramente o en casi toda su totalidad en el túnel. Actualmente se estima que el empleo de una tuneladora de grandes dimensiones es económicamente competitiva frente al método convencional en longitudes de túnel de 4.000 a 5.000 metros. Esta estimación considera la posibilidad de reacondicionar maquinarias de segunda mano.

El proceso constructivo se plantea bajo la filosofía, criterios y elementos de sostenimiento del Nuevo Método Austriaco (NMA). Este método consiste en la aplicación de sostenimientos flexibles de forma inmediata tras la excavación, los cuales permiten la disipación de gran parte de la energía potencial del macizo que se libera tras la apertura de la perforación.

4.9.6 Sostenimiento

En esta fase de Anteproyecto se ha definido un primer cuadro de sostenimientos, que en fase de Proyecto Constructivo deberá ser ajustado una vez se disponga de una geotecnia más elaborada.

Sostenimiento Tipo I (ST-I)

El sostenimiento Tipo I se ha previsto para todos los tramos del túnel excavados en coladas y centros de emisión y depósitos piroclásticos basálticos sanos (GM-II) en los que el índice RMR corregido sea mayor que 60.

El arranque se realizará una longitud de pase en avance de 4,0 m El sostenimiento, tanto en la fase de avance como en la de destroza, se realizará mediante la siguiente secuencia:

- Proyección de una capa de sellado con hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 6 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Colocación de bulones tipo Swellex Mn24 o similar, de 3-4 m de longitud en una malla de 2,0 (T) x 2,0 m (L) o 1,5 (T) x 1,5 (L) m.
- Proyección de una capa de hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 6 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.

Sostenimiento Tipo II (ST-II)

El sostenimiento Tipo II se ha previsto para todos los tramos del túnel excavados en coladas o ignimbritas en los que el índice RMR corregido esté entre 50 y 60 puntos.

El arranque se realizará con una longitud de pase en avance de 3,0-4,0 m.

El sostenimiento se realizará mediante la siguiente secuencia:

- Proyección de una capa de sellado con hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 5 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Colocación de bulones tipo Swellex Mn24 o similar, de 4 m de longitud en una malla de 1,5 (T) x 1,5 m (L) o 1,0 (T) x 1,5 (L) m.
- Proyección de una capa de hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 10 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.

Sostenimiento Tipo III (ST-III)

El sostenimiento Tipo III se ha previsto para todos los tramos del túnel excavados en terrenos conformados por tobas, ignimbritas o coladas basálticas en los que el índice RMR corregido está comprendido entre 40 y 50 puntos.

La longitud máxima de pase en avance será de 1,0 m.

El sostenimiento en la fase de avance se realizará mediante la siguiente secuencia:

- Proyección de una capa de sellado con hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 6 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Colocación de bulones tipo Swellex Mn24 o similar, de 4,5 m de longitud en una malla de 1,0 (T) x 1,0 m (L).
- Colocación de cerchas tipo TH-29 espaciadas 1,0 m longitudinalmente y arriostradas entre sí con tresillones.
- Proyección de una capa de hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 12 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.

Sostenimiento Tipo IV (ST-IV)

El sostenimiento Tipo IV se ha previsto para todos los tramos del túnel excavados en terrenos conformados por tobas, ignimbritas, coladas basálticas, Tobas sálics e hidromagmáticas, etc.. en los que el índice RMR corregido está comprendido entre 30 y 40 puntos.

El sostenimiento en la fase de avance se realizará mediante la siguiente secuencia:

- Proyección de una capa de sellado con hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 10 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Colocación de bulones tipo Swellex Mn24 o similar, de 5,0 m de longitud en una malla de 1,0 (T) x 1,0 m (L).
- Colocación de cerchas tipo HEB espaciadas 0,75m longitudinalmente.

- Proyección de una capa de hormigón H/MP-30 reforzado con mallazo doble, de 20 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Se prevé la necesidad métodos especiales tipo Bernold

Sostenimiento Tipo V (ST-V)

El sostenimiento Tipo V se ha previsto para las zonas de emboquille, los tramos del túnel excavados bajo edificaciones y para los tramos en los que el RMR corregido sea inferior a 30 puntos.

El arranque se realizará con una longitud de pase máxima de 0,75 m en avance.

El sostenimiento para esta sección tipo estará compuesto por:

- Paraguas de micropilotes con un espaciamiento de 0,5 m.
- Capa de sellado con hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 10 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.
- Cerchas metálicas HEB espaciadas 0,75 m longitudinalmente.
- Capa de hormigón H/MP-30 reforzado con fibras de acero, de 30 cm de espesor mínimo, en bóveda y paramentos, cubriendo la superficie excavada.

4.9.7 Cuadro resumen de sostenimientos por túnel proyectado

TRAMO	TIPOLOGÍA	FALSO TÚNEL	TÚNEL MINA		FALSO TÚNEL	LONGITUD FALSO TÚNEL (m)	LONGITUD MINA (m)	LONGITUD TOTAL (m)	UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	SECCIÓN (m^2)	RMR	SOSTENIMIENTOS
		P.K. INICIO	P.K. INICIO	P.K. FIN	P.K. FIN								
C3	**TÚNEL 63.8**	63+750	63+980	65+100	65+200	330	1120	1450	Depósitos volcano-sedimentarios (V-S) con intercalación de coladas basálticas (Bc)	S-4 (30,00 m) S-5 (30,00 m)	100	400 (Dificultad extraordinaria) 400 m (RMR <20) 320 m (20 <RMR < 40)	ST-V ST-IV
C3	**TÚNEL 65.4**	65+380	65+430	65+925	65+950	75	495	570	. Depósitos volcano-sedimentarios (V-S)	-	100	250(Dificultad extraordinaria) 245m (RMR <20)	ST-V
C4	**TÚNEL 68.6**	68+325	68+645	69+430	69+460	350	465	815	. Lutitas y areniscas (ks)	S-6 (45,00 m)	100	100 (Dificultad extraordinaria) 200m (RMR <20) 165 m (20 <RMR < 40)	ST-V ST-IV
C4	**TÚNEL 69.8**	69+810	69+855	70+105	70+165	105	250	355	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	100	50 (Dificultad extraordinaria) 150 m (RMR <20) 50 m (20 <RMR < 40)	ST-V ST-IV
C4	**TÚNEL 71.1**	71+140	71+230	72+155	72+190	125	925	1050	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	100	300(Dificultad extraordinaria) 200 m (RMR <20) 200 m (20 <RMR < 40) 225 m (40<RMR<60)	ST-V ST-IV ST-III
C4	**TÚNEL 74.7**	74+680	74+730	75+050	75+100	100	320	420	. Lutitas y areniscas (ks) . Coladas basálticas (Bc) . Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	S-11 (50, 00 m)	100	100 (Dificultad extraordinaria) 100 m (RMR <20) 120 m (20 <RMR < 40)	ST-V ST-IV
C4	**TÚNEL 75.2**	75+240	75+280	75+730	75+800	110	450	560	. Toba riolítica-Riolita (Tr-R)	-	100	200 m (RMR <20) 150 m (20 <RMR < 40) 100 (40<RMR<60)	ST-V ST-IV ST-III
C5	**TÚNEL 77.7**	77+730	77+755	81+180	81+225	70	3425	3495	. Coladas basálticas (Bc) . Centros de emision y piroclastos basálticos (Bp)	S-19 (25,00 m)	85	925 (Dificultad extraordinaria) 1000 m (RMR <20) 1000 m (20 <RMR < 40) 500 m (40<RMR<60)	ST-V ST-IV ST-III
C6	**FALSO TÚNEL 113.0**	112+985			113+235	250	0	250	. Tobas sálicas y depósitos hidromagmáticos (S-H)	-	85	-	-
C7	**TÚNEL 119.8**	119+825	119+960	120+510	120+640	265	550	815	. Coladas basálticas (Bc) con intercalación de centros de	S-30 (25,00 m)	110	200 m (RMR <20) 350 m (20 <RMR < 40)	ST-V ST-IV

TRAMO	TIPOLOGÍA	FALSO TÚNEL	TÚNEL MINA		FALSO TÚNEL	LONGITUD FALSO TÚNEL (m)	LONGITUD MINA (m)	LONGITUD TOTAL (m)	UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	SECCIÓN (m^2)	RMR	SOSTENIMIENTOS
		P.K. INICIO	P.K. INICIO	P.K. FIN	P.K. FIN								
									emisión y depósitos piroclásticos (Bp)				
C7	**TÚNEL 122.9**	122+860	122+950	123+185	123+325	230	235	465	. Coladas basálticas (Bc)	S-31 (25,5 m)	95	135 (20< RMR<40) 100 m (40<RMR<60)	ST-IV ST-III
C10	**FALSO TÚNEL 203.9**	203+867	-	-	204+231	364	0	364	Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	S-55 (45,5 m)		-	-
C10	**FALSO TÚNEL 204.5**	204+460	-	-	204+665	205	0	205	. Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	S-55 (45,5 m)		-	-
C10	**FALSO TÚNEL 206.5**	206+502	-	-	206+926	424	0	424	. Rellenos antrópicos compactados (Ac) . Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	-		-	-
C10	**TÚNEL 208.5**	208+540	208+620	208+905	208+960	135	285	420	. Ignimbrita-Toba pumítica (Ig-T)	-	85	185 (20< RMR<40) 100 m (40<RMR<60)	ST-IV ST-III

Tabla 4.9.6.-Cuadro resumen de sostenimientos por túnel

4.9.8 Revestimiento

Una vez completada la excavación y sostenimiento del túnel, se ejecutará un revestimiento de hormigón encofrado HM-30 de 30 cm de espesor.

El revestimiento se ha diseñado como un anillo continuo de hormigón HM-30 en masa. No se ha previsto la colocación de armaduras en la bóveda por razones constructivas y estructurales. En efecto, los momentos flectores que, previsiblemente, aparecerán en la bóveda del túnel son lo bastante pequeños como para no necesitar ninguna armadura. Por otra parte, la complicación constructiva que supone el colocar armadura en la bóveda hace preferir siempre acudir a espesores mayores de hormigón que armar la sección.

El hormigón de revestimiento incluirá una dosificación de 4 kg/m3 de fibras de polipropileno.

4.9.9 Impermeabilización y drenaje

El sistema de impermeabilización y drenaje consiste en la colocación de una impermeabilización compuesta por un geotextil de 500 gr/m^2 y una lámina de PVC de 2 mm de espesor.

Un tubo dren de trasdós recoge el agua en el pie de los hastiales y lo conecta al colector longitudinal, mediante tubos transversales que vierten desde las arquetas situadas en las aceras. Las dimensiones de los tubos dren y del colector se definirán en fases posteriores.

El drenaje de plataforma del túnel está compuesto sendas cunetas rectangulares situadas en los extremos de la misma, que se encargarán de conducir el posible vertido hasta el colector principal central mediante tubos de hormigón.

4.9.10 Seguimiento y auscultación de los túneles en mina

En el sistema recomendado para la ejecución del túnel, denominado Nuevo Método Austriaco, la adecuada auscultación y control sistemático de los trabajos de excavación y sostenimiento forma parte esencial del método.

El seguimiento comprende el control geométrico y topográfico, la comprobación de las secciones transversales, gálibos, soleras y contrabóvedas, así como la auscultación mediante la realización de medidas específicas de convergencia, extensométricas y de presión.

4.10 Plataforma y superestructura

La sección transversal se construye a partir del entreeje asumido en los parámetros de trazado, mediante la incorporación del resto de elementos constituyentes (postes de electrificación, canaletas de comunicaciones, dispositivos de drenaje longitudinal, banqueta de balasto, paseos necesarios para el mantenimiento), obteniendo el ancho de la plataforma total

4.10.1 Plataforma

Aplicando la normativa de la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles, se distinguen en este sentido 4 categorías atendiendo a su capacidad portante y su aptitud como plataforma.

- QS0: Suelos inadecuados para realizar las capas subyacentes a la de forma
- QS1: Suelos malos, aceptables únicamente cuando se dispone de un buen drenaje
- QS2: Suelos medianos
- QS3: Suelos buenos

En función de la calidad del suelo que constituye la capa de forma y del espesor de ésta, se distinguen las siguientes clases de plataforma:

- P1: plataforma de mala capacidad portante (CBR ≤ 5)

- P2: plataforma de capacidad portante media (5 < CBR ≤ 20)
- P3: plataforma de capacidad portante buena (CBR > 20)

Para los trazados ferroviarios nuevos se plantea una explanada tipo P3 y se utilizará para la formación de capa de forma las clases de suelo QS3, QS2 y QS1. Por lo tanto los espesores que resultarán para la capa de forma variarán entre 0 (para calidad de suelo QS3), 40 cm (para calidad de suelo QS2) y 60 cm (para calidad de suelo QS1).

4.10.2 Capas de asiento

El cálculo de espesores de las distintas capas se basa en la formulación de la norma U.I.C. 719, en la que se calculan conjuntamente los espesores de la capa de balasto y de la subbase . El espesor mínimo de balasto bajo durmiente en eje de carril se ha establecido en 0,35 m, a partir del cual se obtiene el espesor del resto de capas que forman la subbase.

Se ha adoptado como espesor para la capa de subbalasto 0,30 m, para estar del lado de la seguridad y por razones constructivas. Por lo tanto, el espesor de las capas de asiento es de 0,65 m.

4.10.3 Superestructura

4.10.3.1 Balasto

El balasto debe ser de naturaleza silícea, proviniendo preferiblemente de rocas de origen ígneo, ya sean plutónicas o volcánicas, aunque podrían admitirse las de origen metamórfico (anfibolitas, cuarcitas) y las de origen sedimentario.

4.10.3.2 Durmientes

Los durmientes que se van a instalar serán de tipo monobloque de hormigón pretensado para ancho de vía estándar. La separación entre dos ejes de durmientes contiguos será de 0,60 m.

Las características más destacables de este tipo de durmiente son las siguientes:

- Longitud: 2,6 m

- Peso aproximado: 320 kg
- Anchura máxima en la base: 300 mm
- Altura en la sección bajo eje de carril: 242 mm
- Altura en la sección central: 210 mm
- Altura del durmiente en el extremo: 230 mm
- Inclinación del plano de apoyo del carril: 1/20

Se ha considerado un durmiente monobloque para carril UIC-60.

4.10.3.3 Carril

El carril es del tipo UIC-60, incluso aparatos de vía, que llega a obra en forma de barras largas de 270 m conformadas a partir de 14 soldaduras eléctricas de 15 barras simples de 18 m. Una vez en vía se conforman las barras largas soldadas definitivas mediante soldadura aluminotérmica.

Servir de conductor para las corrientes de señalización de los circuitos de vía.

4.10.3.4 Aparatos de vía

Los aparatos de desvío previstos son los que se definen a continuación. Para cada uno de ellos se especifica brevemente la función y su localización en el trazado.

- DSIH-350/220-AV-E-UIC60-17.000/7.300-1:50-CC-TC

  Se han dispuesto como escapes de los Puestos de banalización nº 1, 2, 3, 4, 5 y 6 y en los P.A.E.T. nº 1, 2, 3 y 4.

- DSIH-350/160-AV-E-UIC60-10.000/4.000-1:32-CC-TC

  Se han dispuesto en el desvío entre las vías Juárez y Morelos y las vías derecha e izquierda, en P.K. 30+600 aproximadamente.

- DSIH-350/100-AV-E-UIC60-3.000/1.500-1:22-CC-TC

  Se prevén este tipo de desvíos en las vías de apartado de los P.A.E.T. nº 1, 2, 3 y 4.

- DSH-200/100-UIC60-1500-0,042-CR-TC

  Se dispone este aparato en los desvíos del Ladero izquierdo de la estación de Lechería y en los desvíos de la estación de Cuautitlán.

- DSIH-200/80-UIC60-760-0,0714-CC-TC

  Se prevén en el Ladero izquierdo de la estación de Tlalnepantla y el Ladero derecho de la estación de Lechería

- DSH-P-UIC60-500-0,09-CC-TC

  Se prevén este tipo de aparatos en el Ladero derecho de la estación de San Rafael y en el Puesto de Banalización nº 7.

- DSI-C-UIC60-250-0,125-CC

  Este tipo de desvío está previsto en las estaciones de Buenavista y de Querétaro.

4.10.4 Secciones tipo

De acuerdo con lo mencionado en los apartados anteriores, los datos geométricos de partida que definen las secciones tipo son:

- Ancho de vía: 1,435 m
- Entreeje: 4,7 m
- Superestructura: plataforma sobre tierras, viaductos y túneles con vía sobre balasto
- Altura del hilo de contacto sobre rasante: 5,30 m

4.11 Estaciones

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

La nueva estación de Querétaro se situara en la zona de Balcones del Acueducto, descartada la estación antigua por una necesidad de mejor conexión con la ciudad.

La nueva Estación absorberá un flujo de pasajeros, que se estima en 7.000 personas/día, y facilitara la conexión con otros medios de transporte interno.

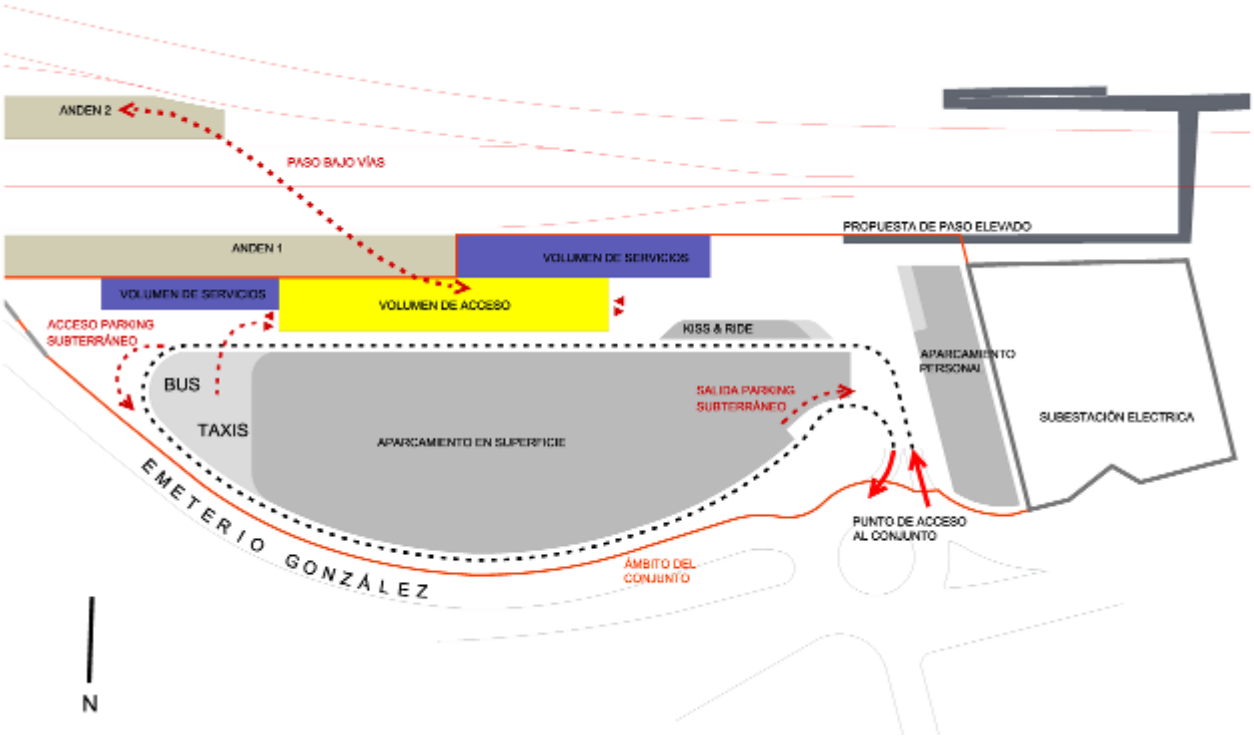
4.11.1 Distribución de usos y funciones

El ámbito queda dividido en tres zonas diferenciadas:

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

4.11.1.1 El edificio de Estación

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



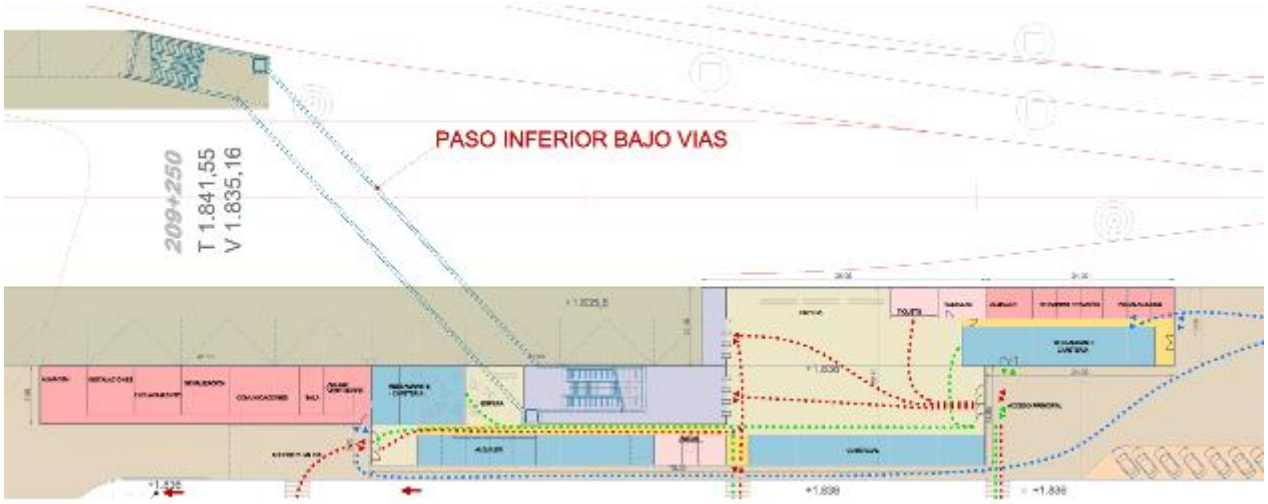
Se trata de un edificio formado por tres piezas. La pieza principal recoge el gran vestíbulo y los accesos, y sirve de articulación con el resto de los usos. De ella se accede a los andenes que se componen de:

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

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

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

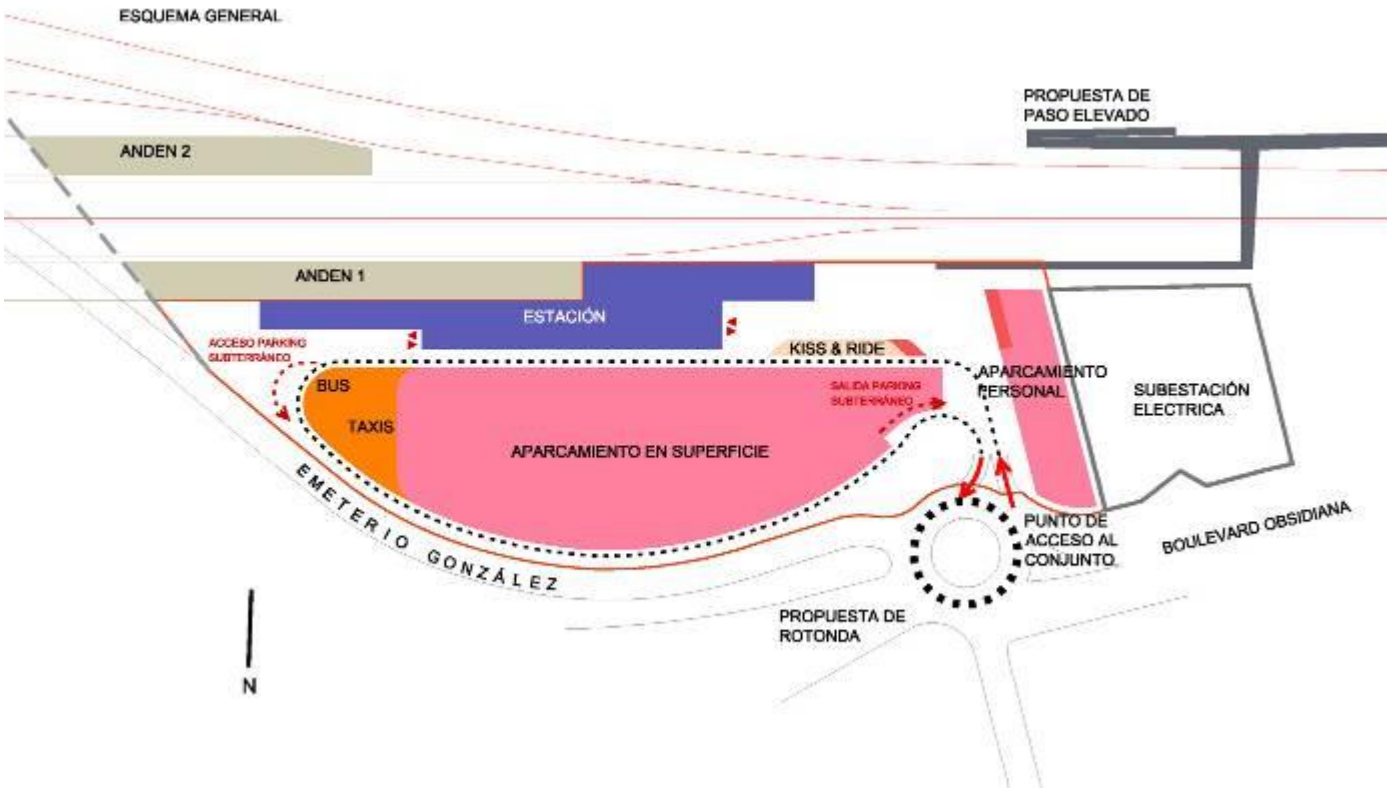
La planta de usos queda definida en la siguiente planta y cuadro de superficies aproximadas:



Cuadro general de Edificio. Estación aproximada de Superficies por usos, en m2	
Vestíbulo Principal	552
Vestíbulos Secundarios	86
Servicios Estación: Instalaciones, almacenes, vestuarios comunicaciones, señalización…	495
Comercial	446
Circulaciones	102
Acceso Anden 1	32
Acceso Anden 2 (en túnel bajo rasante)	490
Total	**2.203**

4.11.1.2 Urbanización y accesos

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



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

i. Aparcamiento

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

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

ii. Zona de Taxis y Bus

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

iii. Kiss & ride

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

iv. Carga y descarga y Emergencias.

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

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

v. Bicis

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

vi. Andenes y vías

Los andenes de una longitud de 210m y ancho de 10, están dotados de marquesina de espera de unos 100m ya que parte de ellos quedaran cubiertos bajo el inicio del falso túnel previsto para salvar los desniveles del terreno.

Estarán dotados de las instalaciones y equipamientos necesarios para su perfecto funcionamiento y directamente relacionados con la estación.

Resumen de superficies m^2

Superficie edificada Planta de Acceso	1.900	
Superficie edificada paso a Anden 2	490	
Superficie Total edificada Edificio Estación	2.390	
Anden1	2.100	
Anden2	2.100	
Parking en superficie	5.162	187 plazas + 20 plazas moto
Parking Subterraneo	7.125	246 plazas
Parking Personal servicio	787	27 plazas
Superficie Total edificada de Parking	13.074	
Resto Urbanización	4.211	
Superficie total Ámbito Estimado	14.062	

4.12 Instalaciones de seguridad y comunicaciones

Las instalaciones de seguridad a proyectar tienen por objeto el control y el mando de los elementos y aparatos de campo, el establecimiento de las rutas y de las maniobras de los trenes que estén en el ámbito interno de las estaciones, apartaderos y demás dependencias técnicas y la circulación entre bloqueos incluyendo el control de las señales.

Estos requerimientos serán realizados y asegurados por los enclavamientos de manera que se logre el control y protección de los trenes que circulen por la línea y se faciliten movimientos eficaces de los mismos, proporcionando la capacidad de transporte demandado, de manera que satisfaga las siguientes necesidades:

- Mantener una distancia de seguridad entre dos trenes consecutivos circulando por la misma vía.
- Posibilitar la circulación de trenes en sentido contrario, en condiciones de seguridad.
- Regular el paso de los trenes de acuerdo con la densidad de servicio y la velocidad exigida.

Los sistemas que intervienen en el conjunto de las instalaciones que nos ocupan se dividen en los siguientes bloques:

- Sistema de seguridad:
    - Enclavamientos electrónicos en las estaciones, apartaderos y demás zonas técnicas, con sus correspondientes sistemas videográficos de mando local.
    - Bloqueo en vía banalizada (BVB) entre enclavamientos.
- Sistemas de protección del tren:
    - ERTMS/ETCS Nivel 2 como sistema de operación principal.
    - ERTMS/ETCS Nivel 1 como sistema de respaldo de operación.
    - Sistema ASFA como nivel de respaldo de operación.
- Sistemas de control de tráfico centralizado (CTC).
- Sistemas auxiliares de detección
    - Detectores de caída de objetos (DCO).
    - Detectores de cajas calientes (DCC).
    - Detectores de viento lateral (DVL).
    - Detectores de comportamiento dinámico del pantógrafo (DCDP)
- Instalación de elementos de campo:
    - Circuitos de vía de audiofrecuencia.
    - Señales luminosas laterales, de tecnología de focos de LEDs.
    - Accionamientos de aguja.
    - Elementos del sistema auxiliar de detección.
    - Elementos del sistema de protección del tren.
- Suministro energético de los elementos y casetas a lo largo de la vía.
- Red de cables para las instalaciones de seguridad, que serán del tipo normalizado multiconductor o de cuadretes, de acuerdo con las características de los diferentes equipos a instalar..
- Obra civil que incluyen los siguientes elementos:

- Edificios técnicos y casetas
- Canalización de acceso a zonas técnicas
- Canalización de entrevía

4.12.1 Enclavamientos electrónicos

Se proyectarán enclavamientos electrónicos de última generación, basados en microprocesadores y se desarrollarán, a nivel modular, cada una de las funciones básicas que dichos enclavamientos deben realizar.

Los enclavamientos electrónicos se instalarán en edificios técnicos localizados a lo largo de la línea, así como los correspondientes bloqueos electrónicos entre las mismas.

El control y el mando de los elementos de campo, el establecimiento de las rutas y de las maniobras de los trenes que estén en el ámbito interno de las estaciones, apartaderos, puesto de adelantamiento y estacionamiento (PAET) y puestos de bloqueo (PB), así como los bloqueos entre los puntos anteriores, serán realizados y asegurados por los enclavamientos.

4.12.2 Bloqueos

El sistema de bloqueo del tramo a proyectar será el denominado Bloqueo en Vía Banalizada (BVB).

El establecimiento del mando de las señales del Bloqueo es automático, no siendo necesaria ninguna orden por parte del operador de tráfico. El operador de tráfico sí puede pedir el cierre de estas señales para retirar el mando; ésta retirada de mando puede ser un comando individual para cada señal o un mando conjunto.

4.12.3 Sistemas de protección del tren

ERTMS

Se proyectará un sistema de protección de trenes ERTMS, en sus niveles de aplicación 1 y 2, implementando las funciones de autorización de movimiento, detección del tren y control del

tren, proporcionando un sistema de supervisión puntual / continuo de la velocidad que también protege contra rebases de la zona de movimiento autorizada.

Independientemente del nivel de aplicación, las funciones que obtienen los perfiles dinámicos de velocidad y las órdenes de frenado se localizan siempre en el equipo embarcado en tren. Además, el equipo del tren debe ser capaz de recibir información de control para operaciones especiales y funciones auxiliares.

ASFA

Se proyectará un sistema de Anuncio de Señal y Frenado Automático (ASFA) como sistema de respaldo adicional del sistema principal de gestión y control del tráfico ferroviario (ERTMS) que se prevé instalar en la línea.

Se utilizará para paliar los efectos de los periodos de indisponibilidad que se pudieran dar en la explotación del tramo y servirá como sistema alternativo en caso de que el sistema ERTMS no esté totalmente operativo para una correcta explotación.

El sistema ASFA tomará la información necesaria de las señales y será compatible con la electrificación del tramo y con las perturbaciones generadas por las corrientes y retorno de tracción y las corrientes regenerativas del freno e interferencias electromagnéticas.

4.12.4 Sistemas de control de tráfico centralizado (CTC)

Se proyectará un sistema de Control de Tráfico Centralizado, ubicado en la Estación de Buenavista, integrando el CTC existente. El CTC estará continuamente comunicado con el resto de los componentes del sistema, recibiendo la información de campo a través del equipamiento asociado al sistema de señalización.

La funcionalidad del Control de tráfico Centralizado es la de controlar a distancia las Instalaciones de Seguridad existentes en los PAET´s y estaciones así como el tener información puntual de la situación de trenes con la finalidad de agilizar las funciones y exigencias crecientes de la explotación.

Todo el tráfico de información entre el Puesto de Control Central y sus correspondientes Estaciones Remotas se transmitirá por la red de comunicaciones previstas a tal efecto.

Debido a la longitud de la línea, por motivos de seguridad, se proyecta un PRO (Puesto Regional de Operación) en Querétaro que se podría hacer cargo igualmente del control de tráfico ferroviario, operando como CTC de respaldo y consiguiendo implementar una arquitectura redundada.

4.12.5 Centro de regulación y control (CRC)

Se proyectará un Centro de Regulación y Control (CRC), localizado en la Estación de Buenavista para integrar todos los sistemas que intervienen en la regulación del tráfico ferroviario, dando respuesta a las altas exigencias de una línea ferroviaria de alta velocidad.

De este modo, desde estos centros se regulan simultáneamente la señalización, electrificación, sistemas de comunicaciones, información al viajero y energía, entre otros elementos. Con ello se consigue un nuevo modelo de gestión del tráfico más flexible a las necesidades de la explotación, racionalizándolas y repartiendo, en su caso, las cargas de trabajo si fuera necesario.

4.12.6 Sistemas auxiliares de detección.

Los sistemas de supervisión que se han proyectado son los ligados a la seguridad y mantenimiento.

En primer lugar, los ligados a la seguridad, están, por tanto, relacionados con bloqueos y enclavamientos, y son los siguientes:

- Detectores de caída de objetos a la vía (DCO)
- Detectores de cajas calientes (DCC)
- Detectores de viento lateral (DVL)

El segundo grupo de detectores son los ligados a la infraestructura, estando este grupo compuesto exclusivamente de:

- Detectores de comportamiento dinámico del pantógrafo (DCDP)

4.12.7 Instalaciones de Comunicaciones Fijas

El Sistema de Telecomunicaciones Fijas prestará soporte y servicios de comunicaciones a la operación, gestión, mantenimiento y administración de la línea. Está compuesto del conjunto de sistemas que dan soporte a los servicios de comunicaciones demandados por diversos usuarios externos al sistema (señalización, GSM-R, detectores, etc.), por ello se instalarán equipos de comunicaciones en la práctica totalidad de los emplazamientos de la línea. Estos emplazamientos son los siguientes:

- Edificios Técnicos.
- Centro de Regulación y Control (CRC).
- Subestaciones Eléctricas.
- Centros de Autotransformación.
- Casetas de señalización (PICV y PBL).
- Casetas GSM-R.
- Estaciones de viajeros.
- Casetas de Operadores GSM/UMTS.
- Túneles.
- Casetas de túnel, etc.

La infraestructura de telecomunicaciones proporcionará, en todas sus capas funcionales, caminos de transmisión extremo a extremo que garantizan el transporte de toda la información demandada por los servicios a los que prestará soporte.

Se estructura sobre la base de niveles jerárquicos, que corresponden a volúmenes crecientes de transporte de información.

4.12.7.1 Nivel Físico.

Estará basado en su mayor parte en los cables de fibra óptica que transportarán la información necesaria para los niveles superiores, proporcionando conectividad extremo a extremo entre las diferentes localizaciones que sean necesarias.

4.12.7.2 Nivel de Transmisión.

El Nivel de Transmisión estará integrado por las redes que soportarán las comunicaciones de interconexión entre los distintos Centros de la línea y que dará el soporte de transmisión para redes de conmutación de circuitos o de paquetes con las que se interconectará.

Las redes que componen el nivel de transmisión son las siguientes:

- Red de Transporte SDH: compuesta por anillos dobles de gran capacidad con nodos en los edificios técnicos y CRC.

- Red de Acceso SDH: compuesta por anillos de menor capacidad que permitan recoger el tráfico de los emplazamientos en campo.

- Red de Datos de Explotación (RDE): compuesta por anillos de routers IP/MPLS Gigabit Ethernet (GbE) comunicados con fibra óptica, y situados en los edificios técnicos, en CRC de la línea y en los puntos singulares que se consideren oportunos.

4.12.7.3 Nivel de Conmutación.

Las redes de Conmutación son las que proporcionan servicios finales, o comunicaciones específicas para los diferentes sistemas de explotación de la línea.

Dentro de este nivel se distinguen fundamentalmente dos tipos de redes:

- Red de Voz: Dará servicio de Telefonía Fija (Operacional e Interfonía, Administrativa y de Gestión; de Mantenimiento y de Vigilancia) a todas las instalaciones de la Línea de Alta Velocidad

- Redes de Datos: Serán las diferentes redes de datos que darán conectividad IP a los diferentes servicios que lo requieran.

4.12.7.4 Nivel de Gestión de Red.

El nivel de Gestión de Red incluye los diferentes gestores de cada una de las redes, tanto de transmisión como de datos, así como el sistema de Supervisión de Fibra Óptica. Se incluirá además un Sistema de Gestión Integrada que proporcionará una plataforma de gestión global de los sistemas de Telecomunicaciones de la línea. Todos los sistemas de gestión estarán redundados.

4.12.8 Instalaciones de Comunicaciones Móviles

Como solución para las Telecomunicaciones Móviles se propone utilizar un sistema basado en tecnología GSM-R (Global System for Mobile communication - Rail) que permita un sistema común entre vías, comunicaciones, señalización, control y seguridad.

Las necesidades para el funcionamiento del Sistema ERTMS/ETCS nivel 2 nos obligan a la instalación en toda la línea de un sistema de radiocomunicaciones GSM-R, estos sistemas son totalmente compatibles y están probados en otras líneas ferroviarias internacionales actualmente en explotación. El sistema establecido para las radiocomunicaciones del tramo Buenavista-Cuautitlán del Suburbano está basado en tecnología TETRA y no es compatible con el Sistema GSM-R, por lo que será necesaria la instalación de las telecomunicaciones móviles en GSM-R en el trazado completo, desde Buenavista hasta Querétaro (sí que se podrán utilizar las torres de las estaciones base del TETRA que han sido instaladas en el tramo Buenavista-Cuautitlán que servirían como infraestructura del equipamiento GSM-R en esos puntos).

Para garantizar la cobertura, la disponibilidad y el tipo de acceso necesario para los sistemas de protección y control automático del tren, conforme a las especificaciones de ERTMS/ETCS nivel 2, se propone implantar una red de radio con una cobertura de radio optimizada para cada celda a lo largo del trazado, utilizando dos capas independientes y redundantes (capa A y capa B).

Para las condiciones de la cobertura en túneles, se utilizarán repetidores de fibra óptica. La solución óptima a desarrollar será la de un diseño de una red completamente redundante sin ningún punto sencillo de fallo, que tenga un solapamiento total de todas las células de ambas

redes. Este concepto de redundancia garantizaría la máxima fiabilidad del sistema gracias a la existencia de dos capas de red totalmente independientes.

Dado que se utilizaría el sistema GSM-R como modo de transmisión de las aplicaciones vitales en Nivel 2 de ERTMS/ETCS, todos los aspectos de planificación tienen en consideración una estructura de red dotada de una gran seguridad, para poder garantizar la máxima disponibilidad en todo el trazado.

Los elementos básicos de la red GSMR son los siguientes:

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN	
MSC	Mobile Services Switching Center	Centro de conmutación de servicios móviles
IN	Intelligent Network	Soporte de inteligencia de red para las funcionalidades LDA y FN
HLR	Home Location Register	Registro de localización de abonados
VLR	Visitor Location Register	Registro de localización de visitantes
AC	Authentication Centre	Centro de autenticación
EIR	Equipment Identification Registration	Registro de identificación de equipos
TRAU	Transcoding and Rate Adaptation Unit	Unidad de transcodificación y adaptación de velocidades
BSC	Base Station Controler	Controlador de estaciones base
BTS	Base Transceiver Station	Estaciones base transceptoras

Tabla 4.12.1 Elementos Básicos de la Red GSM-R

Desde el punto de vista funcional, el sistema se puede estructurar en los siguientes subsistemas: un subsistema de radio (BSS), subsistema de red (NSS) y subsistema de operación y mantenimiento.

El BSS se compone de la unidad de transcodificación y adaptación de velocidad de transmisión, los controladores de estación base (BSC) y las estaciones base transceptores (BTS). En la medida de lo posible, las redes estarán compuestas por celdas de gran tamaño,

permitiendo así la posibilidad de ofrecer cobertura en áreas extensas con las estaciones base. A lo largo del trazado tendremos BTSs de capa A y BTSs de capa B, para dar servicio a las dos vías. En los casos en los que es necesario proporcionar cobertura radioeléctrica en túneles u otros entornos en los que existen dificultades para garantizar dicha cobertura, se requerirá de la utilización de un sistema de repetidores conectados a la estación base dependiente a través de fibra óptica.

El NSS se compone básicamente, de la central de conmutación de servicios móviles, MSC, el registro de localización de visitantes, VLR, el registro de localización de abonados, HLR, centro de autentificación, AC, registro de identificación de equipos, EIR, registro de llamadas a grupos, GCR, y la función de internetworking, IWF, esenciales para los servicios de datos conmutados por circuitos.

Se propone instalar el equipamiento de centralización del Sistema GSM-R (MSC, IN, CLC, etc.) en el Centro de Regulación y Control (CRC) de la línea.

4.13 Electrificación

4.13.1 Sistema de Electrificación y ubicación de las instalaciones

En la línea de alta velocidad entre México (estación de Buenavista) y Querétaro se emplearán el sistema de electrificación 1x25 kV, en los primeros 26,5 km de la línea, y el sistema 2x25 kV en el resto.

La elección de ambos sistemas se debe a que en los primeros 26,5 kilómetros entre Buenavista y Cuautitlán, se encuentra o encontrará electrificado con el sistema 1 x 25 kV, para la alimentación a las líneas de cercanías actuales, y como la implantación de la línea de alta velocidad, discurre en gran parte por ese trazado actual, se opta por mantener el sistema de electrificación, 1 x 25 kV, aprovechando las instalaciones de electrificación ya instaladas.

El resto del trazado, al encontrarse sin electrificar, se adopta como mejor solución la implantación de un sistema de electrificación 2x25kV.

En el tramo Buenavista – Cuautitlán, para abastecer las circulaciones correspondientes a la Línea de Alta Velocidad, es probable que sea necesario la construcción de 1 subestación con

el sistema 1x25 kV con las mismas características que las subestaciones existentes 230/27,5 kV y 2x20 MVA, y su ubicación está de momento pendiente de su ubicación.

En caso que se realice la subestación al ser el mismo sistema de electrificación en estos primeros kilómetros se podrán integrar las subestaciones eléctricas existentes (para la alimentación de los cercanías) con la subestación nueva prevista.

También cabe la posibilidad que este tramo se alimente desde las subestaciones existentes de Vallejo y Cuautitlán Norte, cuya elección se determinará en fases posteriores.

Por tanto, los elementos de tracción previstos para la Línea de Alta Velocidad entre México y Querétaro, son los siguientes:

Tipología	P.K	Interdistancia Elementos de Tracción	Interdistancia Subestaciones	Interdistancia Zonas Neutras	OBSERVACIONES
Sistema 1 x25 kV.					
SE ACTUAL 1	7,900	7,900			SE Existente
SE NUEVA PROYECTADA	A determinar	A determinar	A determinar		Posible SE a proyectar a 1,5 km desde subestación de Ceylán 230 kV
SE ACTUAL 2	24,300	A determinar	A determinar		SE Existente
Sistema 2 x25 Kv					
CTI 1.1	30,500	6,200			Con Accesos
SE1	37,750	7,250	A determinar	7,250	Existe Acceso A 3,7 km aprox Línea 230 kV.
CTI 1.2	42,500	4,750			Con Accesos
CTF 1	52,250	9,750		14,500	Con Accesos
CTI 2.1	63,000	10,750			Con Accesos
CTI 2.2	74,250	11,250			Con Accesos
SE 2	87,500	13,250	49,750	35,250	Con Accesos a 1,5 km aprox SE Carranza 230 kV

Tipología	P.K	Interdistancia Elementos de Tracción	Interdistancia Subestaciones	Interdistancia Zonas Neutras	OBSERVACIONES
CTI 2.3	96,500	9,000			Con Accesos
CTI 2.4	104,500	8,000			Con Accesos
CTF 2	114,000	9,500		26,500	Con Acceso
CTI 3.1	120,750	6,750			Con Acceso. Terrenos de Subestación Existente
CTI 3.2	130,500	9,750			Con Acceso
CTI 3.3	140,250	9,750			Con Acceso
SE 3	148,500	8,250	61,000	34,500	Con Acceso. a 1,5 km aprox SE La Manga 230 kV
CTI 3.4	155,000	6,500			Con Acceso
CTI 3.5	164,750	9,750			Con Acceso
CTF 3	176,500	11,750		28,000	Con Acceso
CTI 4.1	185,000	8,500			Con Acceso
CTI 4.2	193,000	8,000			Con Acceso
SE 4	200,250	7,250	51,750	23,750	Desde línea de 230 kV a 1 km aprox
CTI 4.3	209,350	9,100			Con Acceso

Tabla 4.12.2. Ubicación Preliminar de los Elementos de Tracción

4.13.2 Líneas de Suministro Eléctrico a las Subestaciones de Tracción.

Es necesario que a cada una de las subestaciones de tracción previstas se les alimente a un nivel de tensión de 230 kV o superior procedente de Compañía Suministradora, bien desde Subestaciones de Distribución o desde Líneas que permitan la potencia a instalar.

El suministro de energía hasta las subestaciones de tracción, al ser una instalación complementaria en el que intervienen las Compañías Suministradoras, en este caso CFE, puede que no sea objeto de proyectos ferroviarios y su valoración económica y ejecución técnica no esté en el alcance propio de los proyectos de la línea ferroviaria.

No obstante en este anteproyecto se consideran las líneas de alimentación con una valoración técnico - económica realizada con los datos preliminares disponibles.

Se estima que la alimentación se realizará desde los puntos más cercanos a la ubicación prevista de las subestaciones de tracción.

Para el cálculo mecánico de las líneas aéreas se considera la línea de México – Querétaro se considera **Zona IV.** Para ello se considerará una temperatura de diseño de -5 ºC y una velocidad del viento de 90 km/h.

A fecha de redacción del presente estudio no puede determinar de una forma concisa la tipología de la línea si será aérea o subterránea.

Las principales características de la línea aérea serán las siguientes:

Clase de corriente ..... Alterna bifásica

Frecuencia ..... 60 Hz

Tensión nominal .....230 kV

Tensión más elevada para el material .....245 kV

Categoría de la línea 0-1

El derecho de vía de la línea de distribución hasta las subestaciones de tracción será de **26-32 m.**

4.13.3 Línea Aérea de Contacto

La solución adoptada para la línea aérea de contacto es la implantación de una catenaria compensada, apta para los requerimientos de la instalación, y alimentada con un sistema de en corriente alterna bifásica a 2x25 kV y 60 Hz.

Dentro de la Línea de Alta Velocidad México a Querétaro hay que tener en cuenta que los primeros 26,5 km discurren por las vías del ferrocarril Suburbano de México, tramo Buenavista-Cuautitlán, hoy en día en funcionamiento.

En este tramo entre Buenavista y Cuautitlán, se hará uso de la electrificación de las vías actuales salvo en aquellos puntos donde se implanten vía/s nuevas para las nuevas circulaciones de la Línea de Alta Velocidad.

También se contemplará la instalación de Línea Aérea de Contacto en la nueva playa de vías de la Estación de Buenavista y en la nueva Estación de Querétaro.

Las características más relevantes de la línea aérea de contacto a implantar son las siguientes:

- Sistema de catenaria simple poligonal atirantada en todos los perfiles, vertical, con péndola en Y, sin flecha en el hilo de contacto y formada por un sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales, compensada mecánicamente y apta para circular hasta 350 km/h.
- La línea de contacto estará compensada mecánicamente de forma independiente para el sustentador y el hilo de contacto.
- Sistema de retorno de tracción con cable de retorno y carril principal de retorno.
- La tipología de los conductores será la siguientes:
    - Sustentador: Cable de Cobre de 95 mm^2.
    - Hilo de contacto: Cu Mg 0,6 BC-150mm^2.
    - Cable de retorno: Cable Aluminio – Acero LA 110 mm^2.
    - Péndolas de cable Bz de 16 mm^2.
    - Feeder –25 kV: Cable Aluminio-Acero LA 280 mm^2.

4.14 Reposición de servidumbres

4.14.1 Reposición de viales y caminos

El objetivo del anteproyecto de reposición de servidumbres consistió en lo siguiente:

- Identificar los viales y caminos existentes que resultarán afectados por la puesta en

servicio de la línea de alta velocidad del tren de pasajeros México–Querétaro.

- Plantear una propuesta de reposición de dichos viales y caminos, a fin de mantener el nivel de servicio actual.

La identificación de servidumbres afectadas se realizó con base en la siguiente información:

- Inventario de la vía actual. De acuerdo con un levantamiento de datos en campo.
- Cartografía y topografía. Escala 1:5.000 para el anteproyecto de la LAV.

Las principales afectaciones serán las producidas por la ampliación de la plataforma actual de las vías de carga, a fin de incluir las nuevas vías de pasajeros en los tramos donde se aprovechará el derecho de vía de la Juárez/Morelos, y por la construcción de la nueva plataforma en los tramos con derecho de vía nuevo.

En el anejo correspondiente, se enlistan los viales, caminos, pasos superiores y pasos inferiores que resultarán afectados por la LAV, con una breve descripción de la configuración actual de los mismos. En los planos respectivos, se muestra la ubicación de las afecciones.

Los criterios de reposición de las servidumbres afectadas son los siguientes, con los cuales se busca mantener el nivel de servicio de la red viaria existente.

- **Pasos superiores**.

  La reposición de un paso superior será mediante la construcción de un paso nuevo y clausura del paso existente, cuando éste no tenga la longitud necesaria para incluir las nuevas vías de la LAV, o mediante la modernización del paso existente cuando su longitud sí permita incluirlas.

- **Pasos inferiores**.

  La reposición de un paso inferior será mediante la ampliación longitudinal del paso existente, cuando la ubicación de éste sea la misma, o mediante la construcción de un paso nuevo cuando los terraplenes de la LAV obstruyan un vial o camino existente.

- **Caminos de enlace**.

  La reposición de un camino paralelo a la LAV será mediante la rectificación de dicho camino, mejorando la superficie de rodamiento actual, distinguiendo para ello dos tipos de caminos de enlace: los de terracería y los de pavimento.

En cuanto al ancho de los viales y caminos, en la tabla y la figura siguiente se muestran los anchos identificados y aprovechados en las reposiciones de servidumbres.

Ancho transversal del camino (m)	No. de pasos superiores	No. de pasos inferiores	No. de caminos de enlace	Total
3.0≤ancho<4.0	0	7	0	7
4.0≤ancho<5.0	2	9	18	29
5.0≤ancho<6.0	15	2	0	17
6.0≤ancho<7.0	15	4	4	23
7.0≤ancho<8.0	7	0	0	7
8.0≤ancho<9.0	9	4	0	13
9.0≤ancho<10.0	0	4	0	4
ancho≥10.0	3	1	0	4
SUMA	51	31	22	104

Tabla 4.14.1. Anchos de reposición de pasos superiores, inferiores y caminos de enlace.

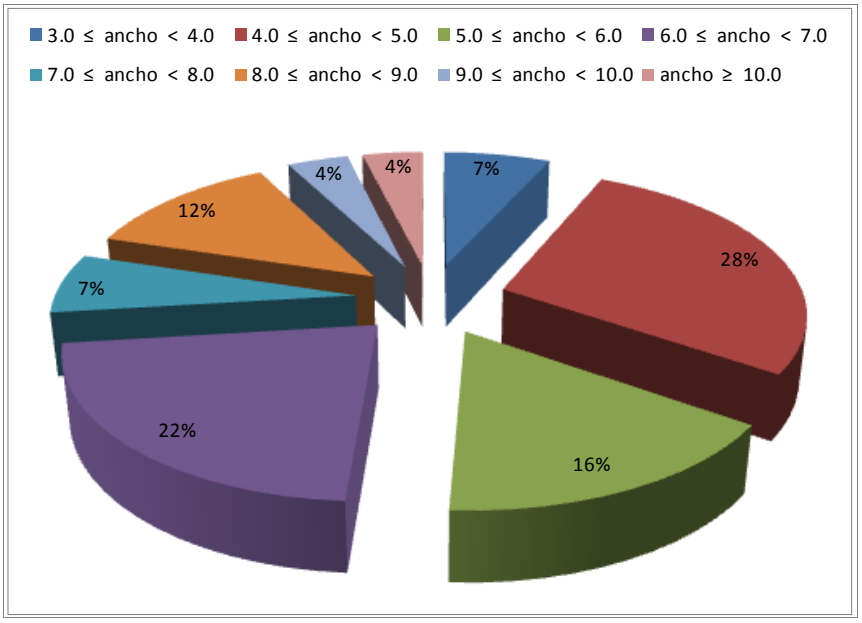


Figura 4.14.2. Anchos de reposición de pasos superiores, inferiores y caminos de enlace.

En el anejo correspondiente, se enlistan las reposiciones así planteadas; en los planos respectivos, se muestran las características del proyecto geométrico (alineamiento horizontal y vertical) de las mismas.

4.14.2 Reposición de otras servidumbres.

Dentro de este concepto se incluyen las afecciones a canales, ya sea para riego de áreas agrícolas o para drenaje de aguas residuales.

Según el tipo de canal existente, se plantearon las siguientes reposiciones:

No.	Tipo de canal	Tipo de reposición
1	En sifón	Ampliación longitudinal
2	Paralelos al trazo de la LAV	Revestimiento de concreto + rectificación del trazo del canal
3	Cruzan el trazo de la LAV	Protección con losa de concreto
4		Protección con tubo de polietileno de alta densidad (PAD ϕ=120cm, PAD ϕ=150cm)

Tabla 4.14.3. Tipologías de reposición de canales.

En el anejo correspondiente, se enlistan los canales identificados a lo largo del trazo de la LAV. En los planos respectivos, se muestra la ubicación de las reposiciones planteadas.

4.15 Reposición de servicios afectados

El objetivo del anteproyecto de reposición de servicios consistió en lo siguiente:

- Identificar los servicios públicos o privados existentes que resultarán afectados por la puesta en servicio de la línea de alta velocidad del tren de pasajeros México–Querétaro.
- Plantear una propuesta de reposición de dichos servicios, a fin de resolver el problema que plantea cada uno de ellos.

La identificación de servicios afectados se realizó con base en la siguiente información:

- Recorrido en campo. Levantamiento de datos en campo.
- Cartografía y topografía. Escala 1:5.000 para el anteproyecto de la LAV.

En la futura etapa de proyecto constructivo, será necesario complementar esta información con la proporcionada por las dependencias gubernamentales y/o las empresas propietarias de los servicios existentes, con el fin de incluir los servicios subterráneos que actualmente no cuentan con señalización aérea.

A partir de la información descrita, se identificó la afectación a los siguientes servicios existentes: líneas eléctricas (de alta, media y baja tensión), líneas telefónicas y/o de fibra óptica, gasoductos, alumbrado, abastecimiento (agua potable) y saneamiento (aguas residuales).

En las reposiciones planteadas se ha tomado en cuenta lo señalado en las siguientes especificaciones y normativas:

- Especificación DCDLTA01 – “Diseño de líneas de transmisión aéreas”, de la Comisión Federal de Electricidad, para tensiones de 69kV a 400kV.
- Especificación DCCLTA01 – “Construcción de líneas de transmisión aéreas”, de la Comisión Federal de Electricidad, para tensiones de 115kV a 400kV.
- Norma NRF-030-PEMEX-2009 – “Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos”, de Petróleos

Mexicanos.

- Norma NT-003-CNA-2001 – “Línea de conducción de agua. Cruce con ferrocarril”, de la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de líneas eléctricas (de alta, media o baja tensión), así como en las de alumbrado, los apoyos afectados serán reubicados fuera de la plataforma de la LAV, invadiendo lo menos posible las parcelas adyacentes.

En el caso de líneas telefónicas y/o de fibra óptica, éstas serán reubicadas a una distancia de 1,5 veces su altura a partir del pie del terraplén o corte de la LAV. Esto aplicará tanto para las líneas enterradas como las aéreas.

En el caso de gasoductos, se construirá una protección a base de una estructura cuya configuración dependerá del nivel de esfuerzos inducidos por la acción de las cargas de la LAV. En esta etapa de anteproyecto, se plantea una protección a base de losa de concreto reforzado.

En el caso de líneas de abastecimiento y/o saneamiento, el trazo de los tramos afectados será rectificado fuera de la plataforma de la LAV, mediante conexión by-pass en los puntos de desvío.

En todos los casos, los cruces subterráneos requerirán de la supervisión de obra por parte de las dependencias gubernamentales y/o las empresas propietarias de los servicios, y las obras de cruce tendrán la resistencia adecuada para las solicitaciones de la LAV.

Las empresas contratistas de obra se encargarán de la ejecución de los caminos, accesos, reposición de los mismos y labores de apoyo para la reposición de los servicios, de acuerdo con lo señalado en las especificaciones y normativas mencionadas.

En los siguientes cuadros se enlistan las afectaciones identificadas en los servicios existentes, la longitud total de reposiciones, y las empresas propietarias.

Tipo de servicio	Número de afecciones
Líneas eléctricas de Alta Tensión	34
Líneas eléctricas de Media Tensión	32
Líneas eléctricas de Baja Tensión	69
Líneas de telefonía	8
Líneas de fibra óptica	8
Gasoductos	23
Alumbrado	7
Abastecimiento	11
Saneamiento	4

Tabla 4.15.1. Número de afecciones a servicios.

Tipo de servicio	Longitud total de reposición (m)
Líneas eléctricas de Alta Tensión	17.110
Líneas eléctricas de Media Tensión	14.780
Líneas eléctricas de Baja Tensión	24.835
Líneas de telefonía	3.495
Líneas de fibra óptica	24.690
Gasoductos	11.060
Alumbrado	2.820
Abastecimiento	3.640
Saneamiento	4.400

Tabla 4.15.2. Longitud total de reposiciones (en metros).

Tipo de servicio	Empresas propietarias identificadas
Líneas eléctricas de Alta, Media y Baja Tensión	Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Líneas de telefonía y/o de fibra óptica	Teléfonos de México (TELMEX), Axtel, Bestel.
Gasoductos	Petróleos Mexicanos (PEMEX), Maxigas Natural, Mi Gas Natural.
Alumbrado	Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Abastecimiento y Saneamiento	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), Comisión del Agua del Edo. de México (CAEM), Comisión Estatal del Agua y Alcantarillado de Hidalgo (CEAA), Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (CEA).

Tabla 4.15.3. Empresas propietarias identificadas.

En el anejo correspondiente, se muestran los planos con la ubicación de las reposiciones así planteadas.

4.16 Reposiciones ferroviarias y situaciones provisionales

4.16.1 Introducción

La utilización de las vías del sistema 1, así como del corredor de la línea “Juárez-Morelos” por parte de la plataforma de alta velocidad, supone una afección a las vías mencionadas y al entorno que, durante parte de su recorrido, está ocupado por las vías de carga que discurren por este corredor. Esta situación se produce principalmente desde la salida de México, así como en la entrada a Querétaro, y también en el tramo interurbano, en donde se afecta la línea “Juárez-Morelos” en cuatro zonas diferenciadas. Por tanto el objeto de esta parte del estudio será la identificación de las afecciones al tráfico ferroviario, así como el planteamiento de soluciones para todas estas afecciones, manteniendo el servicio de las líneas existentes mientras se construye la plataforma de Alta Velocidad.

4.16.2 Condicionantes

Tramo urbano: Entrada en México

La zona de México DF por donde discurre el sistema 1 de viajeros es una zona fuertemente industrializada, por lo que existe una gran cantidad de vías de carga que comunican los diversos tipos de industria con los distintos corredores ferroviarios de mercancías.

Las principales afecciones son producidas en el inicio del tramo por la ejecución de laderos (Tlalnepantla, San Rafael, Lechería y Cuautitlán) que se ejecutan para optimizar la explotación de la línea de alta velocidad, compatibilizando el servicio con el del sistema 1 de viajeros. De igual manera se adapta la Estación de Buenavista para albergar 5 nuevas vías para la explotación de la línea de alta velocidad.

Posteriormente a la estación de Cuautitlán, existen otra serie de condicionantes que influyen en la propuesta de reposición de vías de carga, como la optimización del trazado de la plataforma de Alta Velocidad y la existencia de instalaciones asociadas a la propia infraestructura de los ferrocarriles existentes. En zonas puntuales, se optimizan los radios de curvatura y se ocupa todo el espacio del corredor existente para la ejecución de la nueva plataforma, lo que obliga al desvío de las vías de carga que circulan por el mismo. En otros casos, la presencia de instalaciones ferroviarias hace necesaria la ejecución de estructuras para incorporar a distinto nivel el trazado de Alta Velocidad por el corredor en donde discurren vías de mercancías, generando nuevas reposiciones y situaciones provisionales (PK 43+500, Talleres CAF).

Tramo interurbano

En el tramo interurbano las afecciones principales se producen exclusivamente sobre la vía Juárez-Morelos, en aquellos tramos en los que dicha línea comparte corredor con la línea de alta velocidad.

Siguiendo el criterio de máximo aprovechamiento del derecho de vía de los tramos en los que el trazado de la Juárez-Morelos discurre por un pasillo con geometría apta para albergar la nueva infraestructura, se hace necesario el desplazamiento de las vías de carga dentro de dicho derecho de vía. Por lo tanto, el único condicionante para la reposición de las líneas

Juárez y Morelos en estos tramos, no es tanto geométrico sino de no ocupación territorial adicional.

Tramo urbano: Entrada en Querétaro

En este caso uno de los condicionantes que más influye a la hora de plantear la reposición de las vías, a parte del espacio disponible en el corredor, es la orografía del terreno a la entrada en Querétaro, pues en la parte final gran parte del corredor discurre a media ladera, con orografía ligeramente ondulada.

Para aprovechar el pasillo ferroviario y ocupar el mínimo espacio se adaptan los trazados al corredor existente de la "Juárez-Morelos", lo que implica forzosamente la adopción de radios pequeños y curvas de acuerdo de parámetro reducido. Además en algunos casos es necesario disponer muros para minimizar afecciones a casas y viales que están cercanos a la traza, así como ejecutar falsos túneles que tendrán impacto directo sobre el diseño de las reposiciones.

4.16.3 Soluciones adoptadas

4.16.3.1 Tramo urbano: entrada en México

Las afecciones se producen en varias zonas del tramo, en función del tipo de afección que sufren por la incorporación del ferrocarril de Alta Velocidad. Las afecciones que se producen sobre las vías de carga, pueden clasificarse en dos grupos:

- Afección por implantación de vías "LADERO" en estaciones del Sistema 1 de viajeros
- Afección por cuestiones propias inherentes al trazado de un ferrocarril de Alta Velocidad.

Estas afecciones se resumen en las siguientes actuaciones:

- *Estación de Buenavista*
    - Alojamiento para 5 nuevas vías de alta velocidad
    - Redistribución de la salida de vías de Buenavista

- *Estación de Tlalnepantla*
    - Reposición de dos vías de mercancías afectadas por vía ladero izquierdo
    - Reposición de escape entre vías “A” y “Juárez”
    - Reposición de escape entre vía “A” y la situada inmediatamente a la izquierda
    - Reposición de escape entre vías situadas a la izquierda de la “A”
- *Estación de Lechería*
    - Ladero derecho: 2 ramales, 1 vía de carga, 1 escape
    - Ladero izquierdo: Afección a vías “A” y “Juárez”
- *Estación de Cuautitlán*
    - Reposición de vías vías de carga “601” y “B”.

Una vez sobrepasadas las estaciones del sistema 1, las actuaciones relativas a las reposiciones ferroviarias se concentran en las siguientes zonas:

- *PK 26+200-30+200*
    - Reposición de vías Juárez, Morelos, B y 601
- *PK 30+200-32+000*
    - Salto de carnero: Liberación de vías Juárez, Morelos. Reposición B y 601.
- *PK 34+300-36+500*
    - Reposición de vías A, Juárez, Morelos y B.
- *PK 36+500-44+600*
    - Reposición de vías A, Juárez, Morelos y B.
- *PK 46+100-47+500*

- Reposición de vía de mercancías.

4.16.3.2 Tramo interurbano

Existen cuatro tramos en los que es necesario el desplazamiento transversal de las líneas Juárez y Morelos dentro del derecho de vía actual como consecuencia de la inserción en el de la nueva plataforma ferroviaria. Los puntos kilométricos referidos a la vía existente son:

- *P.K. 90+800 a P.K. 96+325*
  - Reposición de 5,5 kilómetros de las vías Juárez y Morelos.
- *P.K. 139+800 a P.K. 152+300*
  - Desplazamiento de las vías Juárez-Morelos por implantación de plataforma de alta velocidad e implantación de laderos en Polotitlán.
- *P.K. 195+550 a P.K. 209+915*
  - Desplazamiento a la derecha de las vías Juárez-Morelos en diversas zonas para implantación de plataforma de alta velocidad a lo largo de los 14,3 km de la reposición. La “Juárez-Morelos” cruza a la izquierda en el viaducto situado en torno al PK 204+750.
- *P.K. 214+600 a P.K. 228+200*
  - Desplazamiento de vías Juárez y Morelos a la izquierda de su posición actual durante 13,5 km, para aprovechar con la plataforma de viajeros de alta velocidad el derecho de vía existente.

4.16.3.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro

Las actuaciones de reposición de vías ferroviarias y situaciones provisionales relacionadas con las mismas en la parte final del trazado, están exclusivamente relacionadas con las vías Juárez-Morelos y la línea “B”, pudiéndose resumir en cuatro zonas (referidas a PK de la línea existente “Juárez-Morelos”):

- *P.K. 225+540 a P.K. 230+850*
    - Reposición de línea “B”, en la zona de la Griega, desplazando a la derecha la vía “B” para alojar la plataforma LAV.
- *P.K. 234+000 a 237+750*
    - Reposición de la línea “B”, desplazando algunos tramos hacia la izquierda con objeto de habilitar espacio para la plataforma de alta velocidad. Termina su trazado conectándose con las vías Juárez-Morelos en falso túnel.
- *P.K. 231+000 a 241+200*
    - Reposición de línea “Juárez-Morelos”, desplazando la plataforma actual hacia la izquierda para dejar espacio a la derecha para la LAV. En este tramo se diseñan varios falsos túneles compartidos entre la plataforma de Alta Velocidad y la línea “Juárez-Morelos”, siendo necesaria la ejecución de varios muros para minimizar las afecciones a viales y edificaciones cercanas en tramos donde el ferrocarril discurre a media ladera. Finalmente se conecta la reposición con el trazado existente, una vez rebasada la Estación de Querétaro.

4.16.4 Situaciones provisionales

4.16.4.1 Tramo urbano: entrada en México

Como consecuencia del reducido espacio del que se dispone para compatibilizar la entrada del ferrocarril de alta velocidad en México con la explotación del sistema 1 de viajeros, y de las actuaciones planteadas a tal fin, será inevitable el planteamiento de situaciones provisionales originadas por motivos diversos:

- Ejecución de plataforma de vías de varga mientras se mantiene en servicio aquellas que van a reponerse, dejando únicamente las conexiones como elementos a ejecutar en último lugar.
- En las inmediaciones de estructuras, será necesario el planteamiento de desvíos de las vías de mercancías por la contigua, con el objeto de liberar espacio para ejecutar las cimentaciones, y alzados.

4.16.4.2 Tramo interurbano

Puesto que las vías Juárez y Morelos deben permanecer en todo momento en servicio para permitir el tráfico de mercancías hacia la ciudad de México, se hace necesario el establecimiento de unas situaciones provisionales en las que se garantice el tránsito mientras se construye la nueva línea de pasajeros:

- Mantenimiento del nivel operativo de la línea en vía única mientras se repone la nueva plataforma de las vías de mercancías en su posición final, para una vez puestas éstas en servicio, levantar dicha vía única y comenzar los trabajos de construcción de la nueva línea de altas prestaciones, ya sin interferencias con las vías de mercancías.

4.16.4.3 Tramo urbano: entrada en Querétaro

Las situaciones provisionales estarán relacionadas en este tramo con la ejecución por fases de las diferentes plataformas, para interferir lo mínimo necesario en la explotación de las líneas que se encuentran actualmente en servicio, en aquellos tramos en los que comparten corredor:.

- Ejecución de plataformas al mismo nivel: ejecución de la nueva infraestructura de manera aislada a la existente, recurriendo a vías auxiliares si fuera necesario, para posteriormente desviar el tráfico por la plataforma así ejecutada, ejecutando posteriormente la plataforma adyacente restituyendo el tráfico de la plataforma afectada.

- Plataformas a distinto nivel: por norma general se ejecutarán los desvíos previamente a la ejecución de la estructura de contención, para posteriormente ejecutar una de las plataformas para a continuación desviar el tráfico por la plataforma contenida por la estructura y restablecer el tráfico por la vía existente.

4.17 Usos de suelo y derechos de vía

4.17.1 Usos de suelo

Con base en el análisis realizado a detalle en el capítulo 2 de la memoria, se deduce que el proyecto es compatible con los usos de suelo indicados en la mayor parte de los municipios por donde cruza, excepto en casos muy puntuales, como es en Nopala de Villagrán y San

Juan del Río, donde se tendrá que solicitar el cambio de uso de suelo para la implantación del trazado ferroviario.

En el apéndice 1 de la memoria se incluyen los planos con la zonificación indicada en los planes de ordenamiento municipal donde existe esta información; cabe mencionar que en algunos casos, sólo se encontró el plan de ordenamiento en texto, por lo que no se presenta el plano de zonificación en el anexo mencionado.

4.17.2 Definición de la superficie de ocupación del proyecto

Para definir la superficie de ocupación del proyecto, se consideró como área de afectación la comprendida entre las líneas envolventes de ceros de terraplenes y cortes, excluyendo el área dentro de los límites del derecho de vía concesionado de la línea Juárez-Morelos, de acuerdo con las cartas de vía entregadas por la DGTFM de la SCT, e incluyendo el área requerida para alojar el camino de servicio, las obras de drenaje (cunetas, contracunetas, canaletas) y el cerramiento. Se incluyó a su vez el área requerida para alojar los derrames de los puentes propuestos para cruzar la vía y las zonas donde se alojarán las subestaciones y centro de transformación.

Con este criterio, se trató de disminuir al máximo la superficie de ocupación del proyecto y en consecuencia la de afectación, ya que al considerar un ancho variable en función de los ceros de terraplenes y cortes se obtiene una superficie menor en aproximadamente un 20% que al considerar un ancho constante a lo largo del trazo.

Es importante mencionar que aunque los trabajos realizados se plantearon a nivel anteproyecto, se incluyeron muros de contención para evitar afectaciones a zonas donde se concentran núcleos importantes de propiedades; en etapas posteriores, se deberán realizar los trabajos de ingeniería necesarios para definir a detalle dichas obras.

Con base en lo anterior, la superficie de ocupación del proyecto y en consecuencia de afectación corresponde a 550 hectáreas comprendidas del tramo de Huehuetoca a Querétaro, ya que en el tramo de Buenavista a Huehuetoca, se utilizará el derecho de vía existente que actualmente utiliza el sistema 1 del tren suburbano, por lo cual no se considera afectación, salvo en el caso de la rectificación de unas curvas en la parte final del tramo Cuautitlán Norte-Huehuetoca.

En las figuras siguientes se presentan las secciones tipo consideradas para definir el ancho de ocupación del proyecto para el caso de cortes, terraplenes y secciones en balcón.

En el apéndice 3 de la memoria se incluye el plano con la definición de la superficie de ocupación del proyecto del tramo comprendido de Huehuetoca a Querétaro.

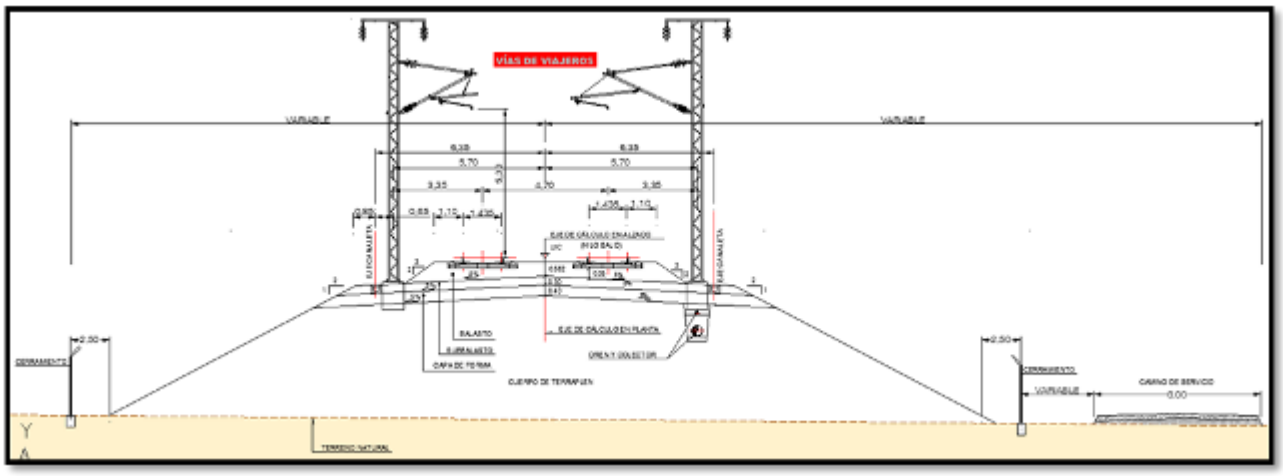


Fig. 4.17.1. Sección tipo para definición de ancho de ocupación en terraplén.

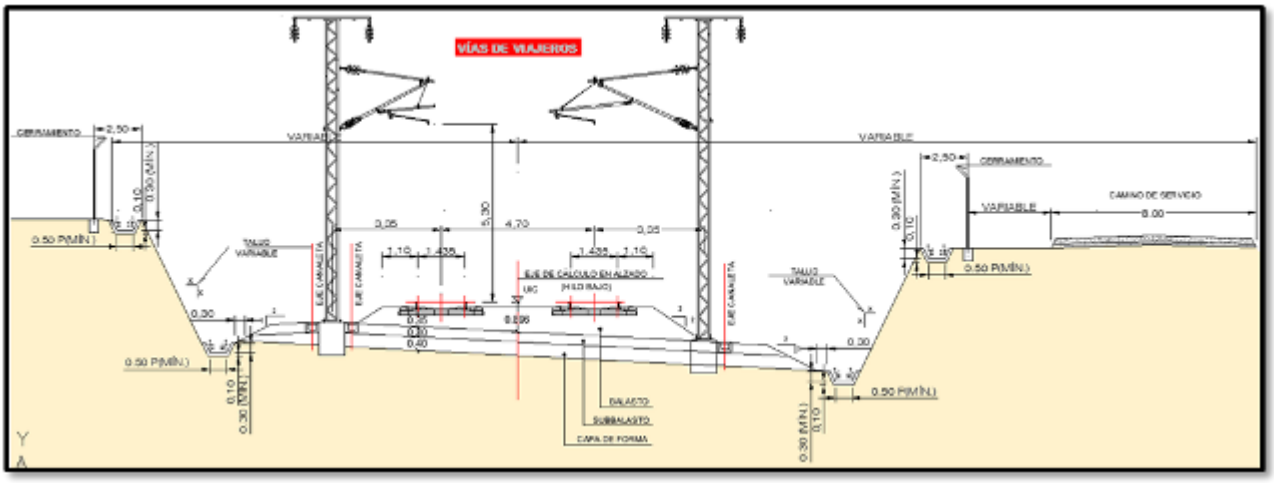


Fig. 4.17.2. Sección tipo para definición de ancho de ocupación en corte.

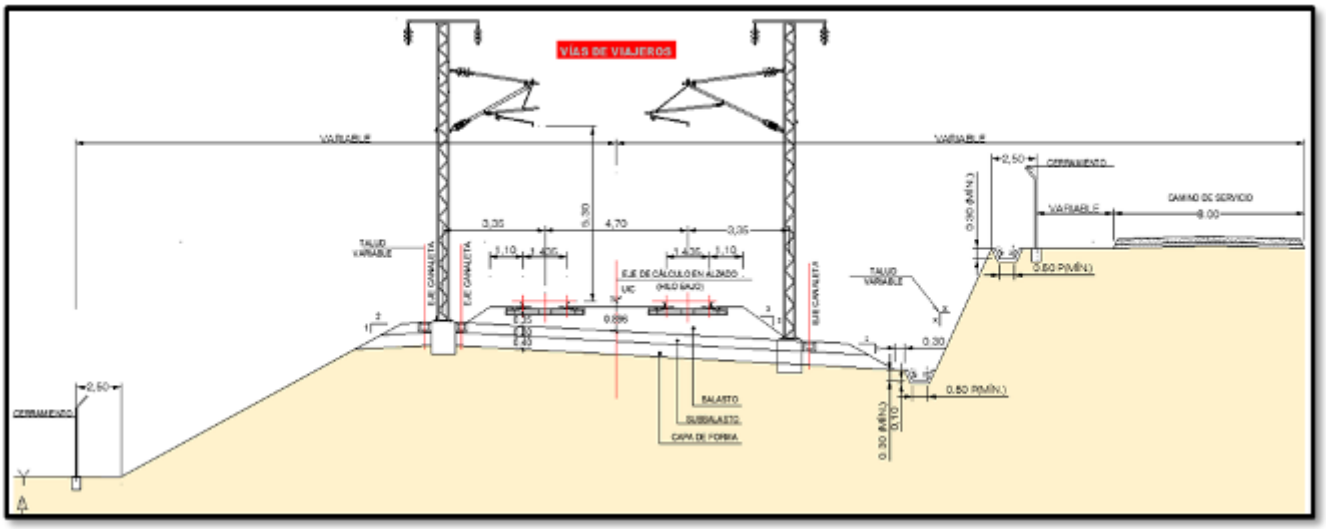


Fig. 4.73. Sección tipo para definición de ancho de ocupación en balcón.

4.17.3 Trabajos de campo realizados

Definida la superficie de ocupación del proyecto, se procedió a realizar el censo en campo de los predios afectados, para lo cual se definió una ficha tipo para recabar la información necesaria que permitiera identificar la localización del predio afectado, datos del propietario, régimen de tenencia de la tierra al que pertenece, acreditación de propiedad, uso de suelo, inventario de bienes afectados distintos a la tierra y definición del polígono de afectación.

Con la información recaba en campo se procedió a elaborar los documentos que se mencionan a continuación:

- Cédulas de información de predios afectados, donde se presentan los datos generales del predio (ubicación, titular, régimen de propiedad, etc…), superficie afectada, uso de suelo, situación jurídica, inventario de bienes afectados distintos a la tierra y polígono delimitado con la afectación por el trazo del anteproyecto. La colección completa de las cédulas se presenta en el apéndice 6 de la memoria.
- Plano con la identificación de predios afectados, indicando a su vez el tipo de tenencia de la tierra determinado en campo, incluido en el apéndice 4 de la memoria.
- Plano con la identificación de factibilidad de adquisición de predios, determinado con base en la percepción de aceptación que se obtuvo del propietario para con el proyecto incluido en el apéndice 5 del anejo.

- Base de datos con la información obtenida en campo, donde se presentan los datos recabados en campo en la cédula de información, ordenados por tramo, estado y municipio, incluida en el apéndice 7 del anejo.

4.17.4 Resultados obtenidos del censo

Concluido el censo de campo se procedió a procesar la información recabada, para obtener los documentos mencionados anteriormente y con ello definir las zonas e inmuebles afectados para la implantación del proyecto. A continuación se presenta una descripción de la información recabada.

4.17.4.1 Identificación de predios y superficies requeridas para el derecho de vía

A lo largo del trazo se detectaron 1,288 predios afectados con una superficie total de 609.53 Ha, de las cuales 35.12% pertenecen a propiedad privada, 59.22% a propiedad ejidal y 5.66% a propiedad pública. En la gráfica siguiente se presenta la distribución de la propiedad afectada con base en la información recabada en campo.

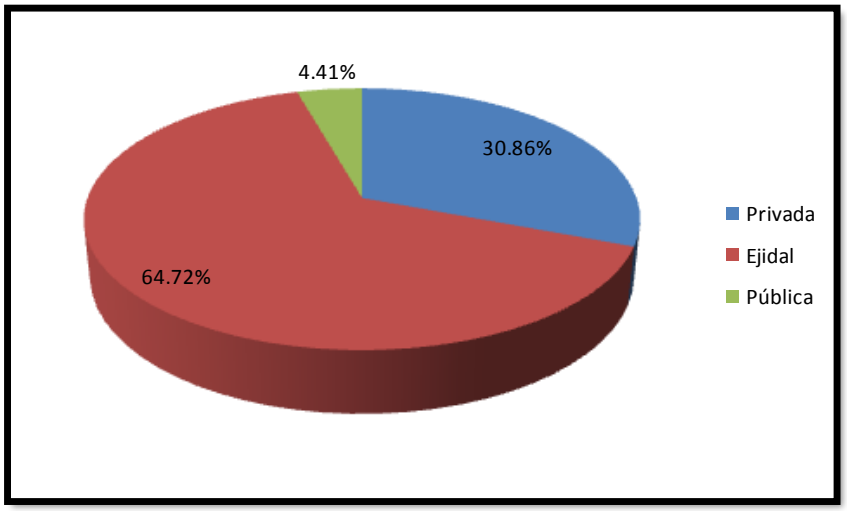


Fig. 4.17.4. Distribución en porcentaje del tipo de propiedad investigada en campo.

Con respecto a la distribución de áreas afectadas por estado, en el Estado de México se ubican 105.43 Ha que corresponden a un 17.30% del total, en Hidalgo 319.98 Ha que corresponden a un 52.50% y en Querétaro 184.12 Ha que corresponden a un 30.21%. La siguiente figura presenta la distribución en porcentaje de áreas afectadas por estado.

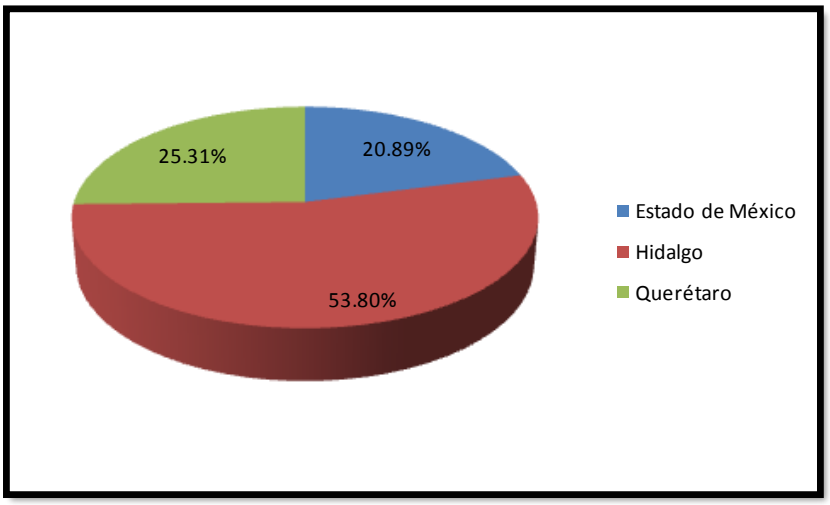


Fig. 4.17.5. Distribución en porcentaje de áreas afectadas por Estado.

Referente a la distribución del tipo de régimen de propiedad afectado por Estado, el Estado de México cuenta con 30.15 Ha de propiedad privada, 68.54 Ha de propiedad ejidal y 6.73 de propiedad pública; el Estado de Hidalgo cuenta con 114.03 Ha de propiedad privada, 196.34 de propiedad ejidal y 9.61 Ha de propiedad pública; finalmente, el Estado de Querétaro cuenta con 69.90 Ha de propiedad privada, 96.07 Ha de propiedad ejidal y 18.16 Ha de propiedad pública. En la figura siguiente se presenta la distribución de hectáreas afectadas por Estado para cada tipo de régimen de propiedad.

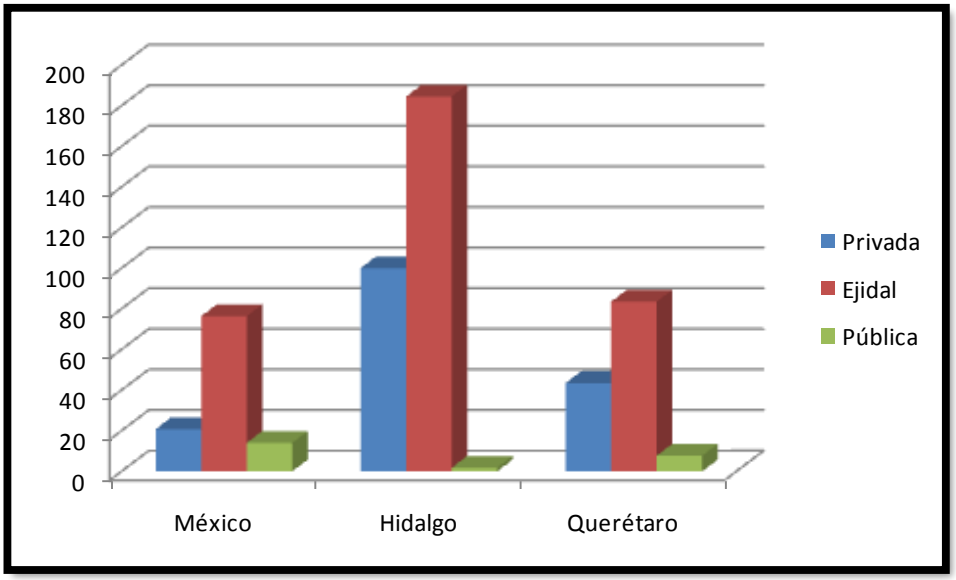


Fig. 4.17.6. Distribución de Hectáreas afectadas por estado para cada tipo de régimen de propiedad.

La distribución de áreas afectadas por tramo se presenta en la figura siguiente, donde se observa que el tramo de Tula cuenta con 174.96 Ha que corresponden al 28.70% del total, el tramo Tula-Santuario 1 cuenta con 37.36 Ha que representan el 6.13%, el tramo Tula-Santuario 2 tiene 106.26 Ha que son el 17.43%, en el tramo Tula-Santuario 3 existen 78.33 Ha que corresponden al 12.85%, el tramo Santuario del Agua cuenta con 20.74 Ha que representan el 3.40%, el Libramiento de San Juan del Rio cuenta con 121.42 Ha que son el 19.92%, el tramo San Juan del Río-La Griega tiene 44.80 Ha que representan el 7.35%, el tramo Curva La Griega tiene 6.88 Ha que son el 1.13%, el tramo La Griega-Querétaro cuenta con 17.57 Ha que corresponden al 2.88% y finalmente el tramo Querétaro cuenta con 1.21 Ha que representan el 0.20% del total.

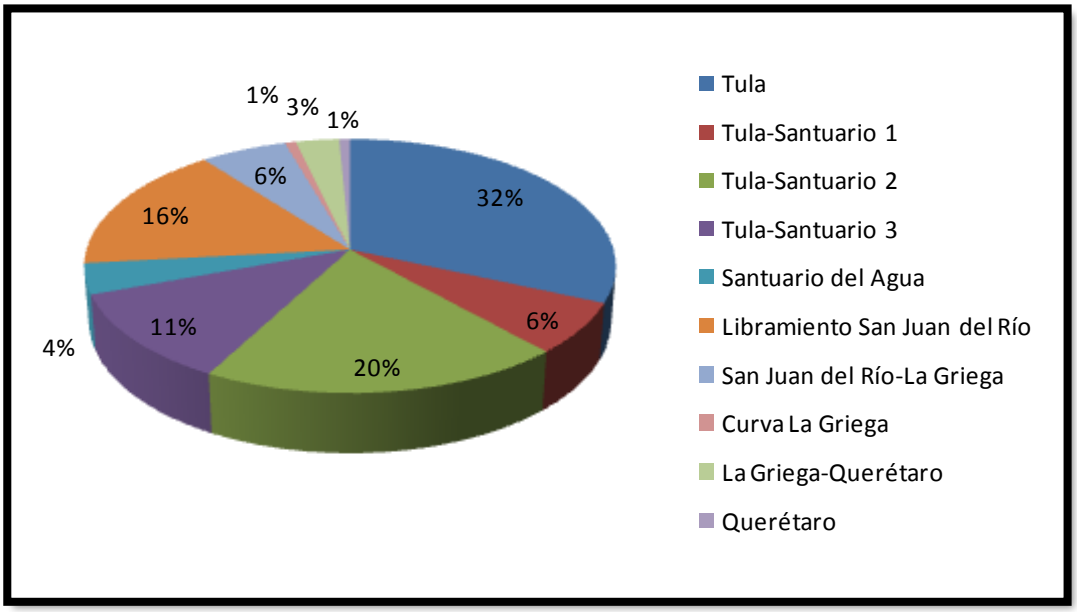


Fig. 4.17.7. Distribución en porcentaje de zonas afectadas por tramo.

4.17.4.2 Valoración

Con base en los precios por m² obtenidos y la definición de las áreas afectadas para cada zona en que se dividió el trazo, se hizo un cálculo del monto base para la adquisición de los terrenos. De acuerdo a los resultados obtenidos, se requieren 264.4 M.$ que corresponden a la adquisición de terrenos afectados de propiedad ejidal y privada y bienes distintos a la tierra.

Es importante mencionar que el monto indicado se debe considerar como presupuesto base (orientativo), ya que el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales deberá

dictaminar el valor de los terrenos afectados.

En la tabla 4.17.1 se presenta el cálculo de la valoración aproximada para la adquisición de los terrenos para el derecho de vía.

TRAMOS	ZONA	TIPO	COSTO DE TERRENO POR Ha ($)	SUPERFICIE (Ha)	COSTO DE ADQUISICIÓN ($)
42+000 - 50+100	Huehuetoca	Cercanías de parques industriales	$5'500,000.00	8.18	$44,988,785.60
		Terrenos rústicos	$350,000.00	0.69	$243,063.28
50+100 - 59+750	Tepeji del Río	Terrenos rústicos	$300,000.00	42.09	$12,626,601.11
59+750 - 127+750	Tula de Allende y resto de Hidalgo	Terrenos rústicos	$250,000.00	322.10	$80,524,268.63
127+750 - 142+100	Polotitlán	Terrenos rústicos	$350,000.00	36.00	$12,600,399.39
142+100 - 170+750	San Juan del Río	Totalmente rústico	$350,000.00	117.24	$41,033,699.83
		Zona semiurbana	$2'500,000.00	1.70	$4,257,749.50
170+750 - 205+900	Municipios conurbados de Querétaro	Totalmente rústico	$500,000.00	41.57	$20,784,962.66
		Zona urbana	$3'500,000.00	1.46	$5,103,978.32
205+900 - 209+750	Querétaro	Zona urbana	$5'000,000.00	2.78	$13,907,795.00
		Zona urbana residencial	$25',000,000.00	1.21	$30,303,150.00
Coste por adquisición de terrenos[1] =					$266,374,453.30
Afectación a Casas habitación y otras construcciones			$3,500.00[2]	22859.39[3]	$80,007,865.00
4.00% para Bienes Distintos a la Tierra (excluyendo construcciones)=					$13,855,292.73
5.00% para imprevistos =					$18,011,880.55
Total=					$378,249,491.59

(1) Sólo se considera la superficie de terrenos ejidales y de propiedad privada.

(2) Precio por metro cuadrado.

(3) Cantidad en metros cuadrados.

Tabla 4.18.1 Valoración del costo de adquisición de los terrenos para el derecho de vía del tren.

Debido a que un decreto de expropiación tarda aproximadamente de 2 a 3 años en emitirse previendo que no se lleguen a amparar los propietarios afectados, se recomienda que la adquisición del derecho de vía se realice mediante promesas de venta, iniciando con un contrato de ocupación previa por un monto del 5% al 10% del valor del avalúo oficial, con lo cual se pueden iniciar las obras, y una vez obtenidos los derechos de propiedad, realizar el pago del porcentaje restante.

4.18 Obras complementarias

En este punto se considera el conjunto de obras asociadas al proyecto de plataforma que no son consideradas como principales en el proyecto, aunque su ejecución es imprescindible para los requerimientos funcionales de la explotación, evitando así una interferencia con los otros procesos de ejecución asociados a la implantación de la superestructura o las instalaciones. Los elementos que se resumen a continuación se pueden consultar con mayor detalle en el anejo nº 19 (Obras Complementarias).

- *Caminos de servicio*. Definidos para facilitar el acceso por parte de los vehículos y personal de la explotación, a través de las puertas habilitadas en el cerramiento. Se reservará un espacio entre 4 metros para la plataforma del camino de servicio.

Los caminos de servicio son obras complementarias para la línea de alta velocidad del tren de pasajeros México–Querétaro, con la finalidad de permitir el acceso a los vehículos para el mantenimiento de la plataforma ferroviaria y de los taludes (terraplenes y cortes) de la misma.

Estos caminos de servicio se han planteado en dirección paralela a las líneas de ceros (pateos) de terraplenes y cortes. En cuanto al proyecto geométrico, se han tomado en cuenta las especificaciones del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras (Normas de Servicios Técnicos), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

De esta manera, considerando un camino tipo “D” (según la clasificación de las NST-SCT) con 4,0m de ancho, en la siguiente figura se muestra la sección tipo propuesta para los caminos de servicio de la LAV.

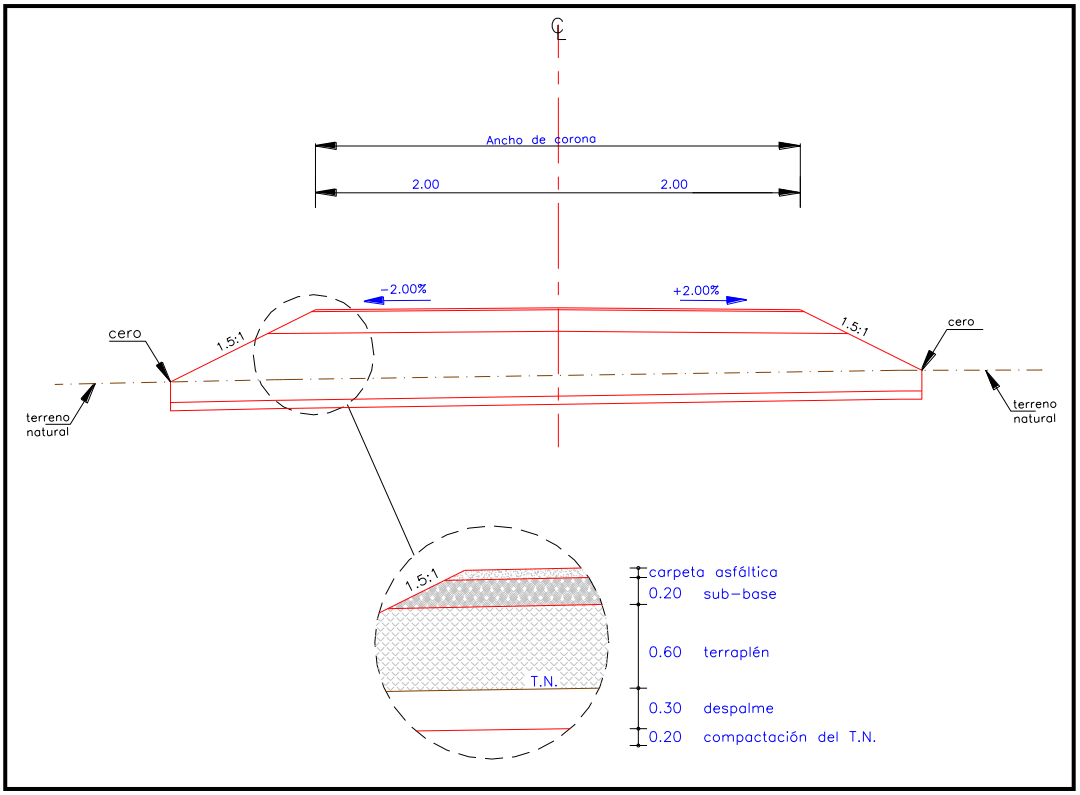


Figura 4.18.1. Sección tipo para los caminos de servicio de la LAV.

En los planos correspondientes, se muestra la ubicación, el trazado y las rasantes de los caminos de servicio de la LAV.

- *Cerramiento de la plataforma de alta velocidad*. Para mantener la funcionalidad de la línea de alta velocidad es necesario realizar un doble cerramiento a lo largo de toda su longitud, que será de tipo rural, cinegético o progresivo, consistente en una malla galvanizada con separación vertical de 15 cm. y horizontal progresiva de 20 a 5 cm. entre los alambres, con una altura mínima total de valla de 2,05 metros sobre el suelo, y enterrada un mínimo de 40 cm., para evitar el paso de animales excavadores, localizando una serie de cancelas a lo largo del cerramiento.

La distancia entre los postes intermedios y entre los de tensión, es respectivamente de 3,50 metros y 35,0 metros.

La cimentación de los postes estará constituida por macizos de 30x30 cm y 40 cm de profundidad como dimensiones mínimas, y quedará totalmente enterrada.

- *Puestas a tierra de estructuras*. Se considera la puesta a tierra de las armaduras, barandillas, postes y todos los elementos metálicos localizados en viaductos, pasos superiores e inferiores, con el objeto de proteger a las personas e instalaciones de los efectos derivados de la diferencia de potencial causada por el propio sistema de la tracción eléctrica, tanto en condiciones normales como en condiciones de fallos, cortocircuitos, descargas atmosféricas etc.

- *Hitos de deslinde. Tienen por objeto el marcaje definitivo de los límites de los terrenos* expropiados para la ejecución de las obras, en todos aquellos tramos donde el cerramiento de malla metálica no coincida con el límite de expropiación, localizándose en los puntos de quiebro de la línea de expropiación y separados 50 metros.

4.19 Plan de Obra. Tramificación de los proyectos de construcción

4.19.1 Plan de Obra

En el anejo nº 20 Plan de Obra se desarrolla la planificación para la ejecución de las actuaciones contempladas en los “ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DE TREN DE PASAJEROS MÉXICO – QUERÉTARO”.

Para llegar al establecimiento de un Plan de Obra con garantías de viabilidad, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Optimización de procedimientos constructivos asociados a la selección de soluciones.
- Mediciones de las unidades más significativas por su repercusión en el plazo de ejecución.
- Estudios de rendimiento de los posibles medios a emplear en dichas unidades.
- Particularidades del tratamiento de suelos deducidos del estudio geotécnico.

Las actuaciones correspondientes a la plataforma ferroviaria se han dividido en once tramos de ejecución (apartado 4.20.2), en los que se han obtenido los plazos parciales teniendo en cuenta las unidades de obra más significativas. Se ha contemplado una secuencia de ejecución adelantando los tramos C9B y C4 6 meses y 3 meses respectivamente respecto al

resto, por ser los de mayor prioridad. La ejecución de todas las plataformas se extenderá así a lo largo de **34 meses**.

Por otra parte se han estudiado las actuaciones de ejecución de la superestructura de vía, instalaciones y electrificación de forma conjunta (incluyendo la ampliación de la subestación eléctrica en el tramo inicial), resultando un plazo de ejecución para las mismas de **17 meses**. Existirá un cierto grado de solape entre estas actuaciones y las de la plataforma indicadas en el párrafo anterior, ya que se podrá acometer la ejecución de la superestructura ajustada a la secuencia de finalización de los tramos de plataforma.

En paralelo a la ejecución de la plataforma se realizarán actuaciones complementarias tales como la nueva estación de Querétaro y la construcción de talleres y cocheras. Estas actuaciones tendrán un plazo total de ejecución de **33 meses**.

Una vez finalizadas las actuaciones de superestructura e instalaciones ferroviarias se procederá a la realización de la puesta en marcha de las propias instalaciones y del material rodante, que se extenderá a lo largo de **6 meses**.

La combinación de los distintos aspectos ha dado lugar a un programa de trabajos cuyo plazo total se estima en **52 meses.**

4.19.2 Tramificación de los proyectos de construcción

Con el objeto de optimizar la planificación de la ejecución de la futura línea de Alta Velocidad que unirá las poblaciones entre México y Querétaro, se ha producido a la subdivisión del trazado en varios tramos.

En una primera fase se atendieron a criterios más relacionados con la geometría del trazado, obteniendo una primera división del proyecto que arrojó 12 subtramos.

Según se avanzó en la definición del proyecto, se consideraron otros factores para la división en subtramos, con el objeto principal de buscar una planificación que respondiera al plazo de ejecución considerado, además de repartir equitativamente el coste de los trabajos de la ejecución de plataforma de ferrocarril entre todos los tramos.

De esta nueva tramificación, se extraen 10 subtramos, numerados en este anteproyecto como C1 hasta C10, que serán los que originen los diversos proyectos constructivos que a su vez darán lugar a los distintos contratos de obra.

Esta tramificación difiere ligeramente sobre la planteada en fases anteriores, buscando una redistribución equitativa del coste de ejecución, en función de la longitud del tramo y tipología y longitud de las estructuras diseñadas.

Como caso particular, pueden mencionarse el tramo C1 y C10 (inicio y fin de trayecto del trazado entre los núcleos urbanos de México y Querétaro), así como el C9:

El tramo C1 comienza en la estación de Buenavista, y termina unos kilómetros más al Norte de Cuautitlán, concretamente en el PK 30+500 de la línea de Alta Velocidad, justo antes de comenzar el salto de carnero que sirve para disponer las vías de Alta Velocidad de manera independiente de la plataforma de vías existente.

Por su parte, el tramo C10 incluye la llegada a Querétaro, desde el PK 189+000 de la LAV, hasta el final del recorrido de la infraestructura, sobre el PK 209+759, e incluye la futura estación de Querétaro en el entorno del PK 209+000.

El tramo C9 puede ser considerado como otro tramo singular, ya que este tramo a su vez se ha dividido en C9a y C9b, por los criterios comentados anteriormente y también para iniciar de manera inmediata el procedimiento de elaboración de los proyectos de construcción lo más rápidamente posible, tomando como referencia el constructivo de este tramo, lo que redundará en un inicio más rápido de las obras y por tanto un inicio de ejecución de las obras con la mayor brevedad.

En el resto de tramos C2-C7 se incluye el resto del trazado, en donde se han incluido dos libramientos (“Tula” y “San Juan del Rio”) y el resto de trazado del ferrocarril que discurre lo más pegado posible al corredor de la línea “Juárez-Morelos”.

El esquema que recoge la tramificación descrita en los párrafos anteriores, se expone a modo de tabla en las páginas siguientes:

TRAMOS ESTUDIO FACTIBILIDAD			NUEVOS CONTRATOS INFRAESTRUCTURA PROPUESTA INICIAL TRAMOS HOMOGÉNEOS CON C9 PARTIDO PARA INICIO RÁPIDO DE OBRAS (C9-B)						
TÍTULO	PK PARTICULAR	DESCRIPCIÓN	Nº	PK GENERAL	L (M)	Nº VIAD	L VIAD (M)	Nº TÚN.	L TUN (M)
1 (BUEN - CUAUT NORTE)	0+000,000	INICIO	C1	0+000,000	30.500	-	-	-	-
	30+500,000	FIN BUEN-CUAUT NORTE		30+500,000					
2 (CUAUT NORTE - HUE)	0+000,000	INICIO CUAUT NORTE - HUEHUE	C2	30+500,000	16.500	3	4.417,00	-	-
	16+498,092	FIN CUAUT NORTE - HUEHUE		47+000,000					
3 (LIBRAMIENTO TULA)	0+000,000	INICIO TULA 4	C3	47+000,000	19.000,00	5	1.094,00	2	2.020,00
	18+950,000			66+000,000					
	18+950,000		C4	66+000,000	10.000,00	2	2.081,00	5	3.200,00
	29+000,000			76+000,000					
	29+000,000		C5	76+000,000	11.000,00	2	1.569,00	1	3.495,00
	37+293,593	FIN TULA 4		84+293,593					
4 (TULA - S.A. SUBTR 1)	0+000,000	INICIO TULA - S.A. SUBTRAMO 1		84+293,593					
	2+600,000			87+000,000					
	2+600,000		C6	87+000,000	27.600,00	6 1 FT	2865 250	-	-
	7+687,273	FIN TULA - S.A. SUBTRAMO 1		91+980,866					
5 (TULA - S.A. SUBTR 2)	0+000,000	INICIO TULA - S.A. SUBTRAMO 2 ESTE		91+980,866					
	21+000,000			112+980,866					
	22+625,000	FIN TULA - S.A. SUBTRAMO 2 ESTE		114+600,000					

TRAMOS ESTUDIO FACTIBILIDAD			NUEVOS CONTRATOS INFRAESTRUCTURA PROPUESTA INICIAL TRAMOS HOMOGÉNEOS CON C9 PARTIDO PARA INICIO RÁPIDO DE OBRAS (C9-B)						
TÍTULO	PK PARTICULAR	DESCRIPCIÓN	Nº	PK GENERAL	L (M)	Nº VIAD	L VIAD (M)	Nº TÚN.	L TUN (M)
6 (TULA - S.A. SUBTR 3)	0+000,000	INICIO TULA - S.A. SUBTRAMO 3		114+600,000					
	10+600,000			125+200,000					
	14+768,000	FIN TULA - S.A. SUBTRAMO 3		129+368,000					
7 (SANT. AGUA)	0+000,000	INICIO S.A.	C7	129+368,000	25.900,00	3	1.610,00	2	1.280,00
	9+398,716	FIN S.A.		138+766,716					
8 (LIBR. SJR)	0+000,000	INICIO LIBRAMIENTO SJR		138+766,716					
	2+800,000			141+500,000					
	2+800,000		C8	141+500,000	14.640,00	6	2.243,00	-	-
	17+373,000			156+140,000					
	17+373,000			156+140,000					
	26+896,202	FIN LIBRAMIENTO SJR		165+662,918					
9 (SJR - LAGRIEGA)	0+000,000	INICIO SJR-LAGRIEGA	C9-A	165+662,918	15.960,00	5	1.306,00	-	-
	3+800,000			169+462,918					
	6+000,000			172+000,000					
	6+000,000		C9-B	172+000,000	17.000,00	2	925	-	-
	22+986,333	FIN SJR-LAGRIEGA		189+000,000					
10 (CURVA LA GRIEGA)	0+000,000	INICIO CURVA LAGRIEGA		189+000,000					
	6+986,576	FIN CURVA LAGRIEGA		195+986,576					
11 (LAGRIEGA - QRO)	0+000,000	INICIO LAGRIEGA - QRO	C10	195+986,576	20.759,05	3 3 FT	753 993	1	420,00
	13+800,000	FIN LAGRIEGA - QRO		209+759,049					
12 (EST. PROV. QRO)		ESTACION PROVISIONAL DE QRO		209+000					
			VALORES TOTALES:		209.759,049	37,00	18.962,00	11,00	10.415,00

4.20 Talleres y patios

4.20.1 Condicionantes generales.

Aunque entre México DF y Querétaro existen otras líneas férreas que unen ambas ciudades, su interconexión con la diseñada en este documento es nula, por lo que no permite el trasvase circulaciones ni el aprovechamiento de otras instalaciones y en particular los patios y cocheras.

La tipología de la línea ferroviaria (línea de alta velocidad) obliga a pensar en la necesidad de contar con instalaciones específicas que aseguren la conservación, tanto del material móvil como de las instalaciones fijas que componen el conjunto del corredor.

Las instalaciones de mantenimiento de material móvil e instalaciones fijas son un elemento básico para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema ferroviario de nueva implantación como el que se quiere establecer y efectuar todas las operaciones para el mantenimiento, limpieza y reparación de las unidades móviles.

El emplazamiento de los mismos se hará fuera del derecho de vía de la autopista y se considera instalaciones complementarias imprescindibles para la funcionalidad de la línea.

La elección del emplazamiento adecuado donde alojar estas instalaciones requiere de una caracterización de los elementos básicos a partir de los condicionantes de diseño existentes, destacando los que tienen que ver con aspectos: Territoriales, funcionales, hidrológicos y de drenaje, geológicos y de servidumbres afectadas.

Cada uno de estos aspectos, descritos con mayor detalle a continuación, no se puede considerar por separado, puesto que en la mayoría de los casos existe una estrecha relación entre ellos. Con carácter previo, la elección de una amplia zona para implantación del recinto ferroviario, se supone acordada con las Administraciones afectadas a partir de dos elementos esenciales: la disposición de terrenos y las garantías de conexión, en particular con el tronco ferroviario al que dará servicio la instalación.

A partir de los datos de explotación y las hipótesis que establecen una configuración generalista del material móvil, teniendo en cuenta todos los condicionantes se genera una propuesta de implantación compuesta por distintas áreas de mantenimiento, tanto de material

móvil como de infraestructuras, depósitos, áreas de gestión y accesos.

Sobre esta base se fijan unas mínimas instalaciones de mantenimiento y estacionamiento diario, en las proximidades de las estaciones de Buenavista y la provisional de Querétaro, y un conjunto compacto de mayor entidad aproximadamente en el PK 31+500 de la línea Juárez – Morelos, cuando la densidad de la edificación ya lo permita, donde se realizarán las labores preventivas y correctivas que se establezcan en los programas de mantenimiento.

En los siguientes capítulos se establecen las hipótesis de partida y los condicionantes asociados.

4.20.1.1 Datos de partida

Las condiciones de partida hacen referencia a las hipótesis de explotación establecidas y a la tipología aproximada del material móvil. En el primer caso se consideran dos escenarios, uno como referencia el año 2022, con 9 trenes en total (6 en circulación y 3 en reserva) y otro como horizonte final el año 2043, con 20 trenes en total (16 en circulación y 4 en reserva).

En relación con el material móvil, se consideran ramas de alta velocidad, con capacidad para superar los 250 km/h, con las siguientes características aproximadas:

- Longitud: 200 m
- Anchura: 2,900 – 2,950 m
- Altura: 3,300 – 4,00 m (dependiendo del tipo de cabeza tractora)

4.20.1.2 Condicionantes territoriales.

Teniendo en cuenta la necesaria proximidad de las instalaciones al tronco ferroviario, así como el desarrollo urbanístico en la zona, los aspectos que se pueden considerar son los siguientes:

- Espacio disponible. Esta condición se establece como premisa básica, puesto que no se ha considerado la posibilidad de desarrollar operaciones urbanísticas que afecten a la estructura territorial actual.
- Compatibilidad con los planes de ordenación urbana existentes.

- Ordenación de los elementos considerados dentro de área industrial.
- Compatibilidad con los posteriores desarrollos.
- Compatibilidad y funcionalidad dentro del área de implantación estableciendo, si es necesario, una reserva de espacio para futuras ampliaciones.
- Compatibilidad con los accesos a la propia instalación.
- Permeabilidad viaria suficiente, evitando en lo posible el efecto barrera.

4.20.1.3 Condicionantes funcionales.

Teniendo en cuenta la imposibilidad de localizar las instalaciones al inicio o final de la línea, como fondo de saco de la estación término, pensando además que las conexiones con los sentidos de circulación no pueden ser directas por condicionantes geométricos, territoriales, estructurales, de servidumbres, etc., es necesario valorar los dos esquemas funcionales, que se presentan en una localización intermedia, para garantizar una operativa y gestión de recursos adecuada, en los periodos de inicio y final del servicio, mediante la disposición de aparatos de desvío en el tronco ferroviario:

<u>1/ Disposición en fondo de saco,</u>

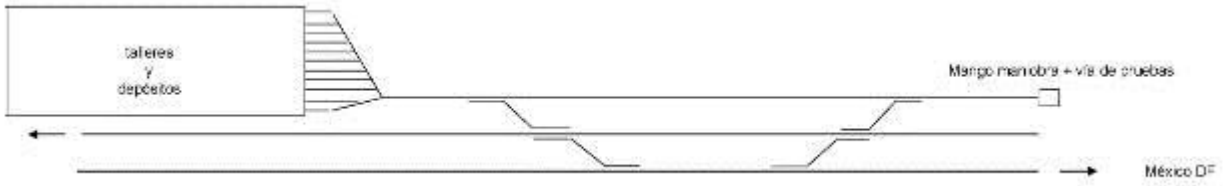


Figura 4.20.1. Disposición esquemática de talleres y depósitos en fondo de saco.

<u>2/ Doble conexión con el tronco ferroviario, denominadas pasantes</u>,

Figura 4.20.2 Disposición esquemática de talleres y cocheras pasantes.

En cualquier caso, como consecuencia de su implantación en puntos intermedios de la línea y la ausencia de conexión directa con los diferentes sentidos de circulación, la ocupación de cantones dentro de la línea, para realización de ciertas maniobras de entrada y salida, que podría ser un condicionante fundamental, es similar en ambas opciones.

Teniendo en cuenta la limitación territorial, que imposibilita la deslocalización de grandes espacios para implantación de instalaciones al inicio o al final de la línea, como fondo de saco de las estaciones término, se consideran los siguientes aspectos:

- Necesidades de revisión y operaciones de mantenimiento diario.
- Necesidades o requerimientos de los ciclos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Compatibilidad con la infraestructura ferroviaria del Sistema 1 en la estación de Buenavista.
- Compatibilidad con la infraestructura ferroviaria de las vías de carga de la línea Juárez – Morelos en la estación de Querétaro.
- Disposición de los elementos.

Dentro de este ámbito de actuación, considerando el funcionamiento general de la propia instalación y la conectividad con el tronco ferroviario, el resto de condicionantes que se han considerado son los siguientes:

- Accesos garantizados desde las dos cabeceras de línea.

- Geometría de la plataforma ferroviaria en relación con la ubicación de aparatos de desvío para facilitar los accesos.

- Garantizar unos movimientos dentro de las instalaciones de acuerdo con los siguientes parámetros: Radio mínimo de las alineaciones circulares, Longitud de las unidades que explotarán la línea, anchura de las unidades que explotarán la línea, depósito para material móvil y capacidad para alojar el máximo de unidades y talleres de mantenimiento con capacidad suficiente para tratar un número máximo de unidades correspondientes con el material que circulará por la futura plataforma.

- Depósito para mantenimiento de infraestructuras con capacidad suficiente para almacenar vehículos y material en un mismo edificio.
- Acceso independiente y lo más directo posible a las diferentes instalaciones.

- Disposición de viales interiores y zonas de estacionamiento para vehículos.
- Disposición de una vía de rodeo, con posibilidad de utilización como vía de pruebas.
- Disposición de una zona para mantenimiento de instalaciones fijas.

4.20.1.4 Condicionantes hidrológicos y de drenaje

La disposición de una amplia explanada nivelada, contigua al corredor ferroviario, está muy relacionada con la cota de la rasante ferroviaria, siendo necesario compatibilizar el drenaje propio de la explanada con el resto de soluciones previstas en el tronco ferroviario, asociadas tanto al drenaje transversal como al longitudinal

4.20.1.5 Condicionantes ambientales

La necesidad de localizar una extensa zona para disposición de las instalaciones globales obliga a confirmar que no se afectan espacios protegidos, en particular los localizados más próximos a México DF (que se pretende establecer como núcleo cercano más adecuado para garantizar todo tipo de abastecimiento de la instalación), como el Santuario Laguna de Zumpango.

4.20.1.6 Condicionantes geológicos.

En este caso no se trata de elementos que puedan condicionar la implantación en un determinado lugar. Puesto que son suficientemente conocidas, tanto las estructuras geológicas de la zona como los factores sísmicos asociados al territorio.

4.20.1.7 Condicionantes de las servidumbres

Con independencia de la necesidad de reponer todas las carreteras y caminos afectados dentro del ámbito de actuación, la conexión de los accesos a las instalaciones con la autopista Ciudad de México – Querétaro o una vía con capacidad para tránsito de vehículos pesados será un condicionante adicional, con varios aspectos relevantes que habrá que analizar:

- La necesidad de identificar y compatibilizar con alguno de los cruces a distinto nivel.
- La integración de los elementos repuestos en el territorio.

4.20.2 Criterios Generales

Teniendo en cuenta los datos de partida asociados a la explotación y los criterios generales de mantenimiento, la ordenación de los espacios de trabajo seguirán las siguientes hipótesis básicas:

- Aprovechamiento máximo de las instalaciones.
- Iniciativa basada en la sustitución de piezas.
- Holgura. Se trata del margen que se establece para la organización de las distintas intervenciones.
- Los periodos dedicados al mantenimiento correctivo, por su menor repercusión en el sistema, son intercalados en los huecos libres que las intervenciones programadas dejan en las vías de los talleres.

En este tipo de instalaciones, el mantenimiento preventivo es considerado como el pilar fundamental del sistema, constituido por una serie de ciclos o intervenciones, en función de los kilómetros recorridos por las unidades.

Dentro del conjunto de trabajos y funciones que se desarrollan en las instalaciones, las asociadas con el mantenimiento correctivo son consideradas como menores, reparadas aprovechando su intercalación en los ciclos preventivos, sin suponer un espacio de dedicación exclusiva dentro del espacio global.

Los requerimientos mínimos para las distintas zonas de trabajo, como punto de partida para tener en cuenta en la propuesta, se resumen a continuación:

Cocheras o depósitos para estacionamiento del material móvil. Se podrá considerar una única nave, lo más diáfana posible, con capacidad para alojar el número de vehículos previstos, tanto si se propone una composición por vía o se duplica la longitud útil para alojar una doble composición.

Los condicionantes territoriales obligan a estudiar una distribución segregada de esta zona en cada una de las cabeceras de la línea.

Mantenimiento de material móvil. Se trata de la instalación de mantenimiento propiamente dicha, constituida por diferentes áreas de trabajo que pueden conformar un único espacio arquitectónico: Nave de lavado, nave de inspección y soplado, nave para reparaciones preventivas y correctivas, nave de pintura, y nave de torno.

Mantenimiento de infraestructuras e instalaciones fijas. Se trata de una instalación necesaria para conservar en estado óptimo las instalaciones de vía y electrificación de toda la línea.

Administración y gestión. Se trata de una instalación que tiene que ir asociada al área de reparación principal, de manera complementaria, con capacidad para alojar dependencias auxiliares al taller.

Playa de vías. Se trata del conjunto de vías que se desarrollan frente a la fachada principal de la instalación de mantenimiento para facilitar el acceso de las composiciones a cada zona.

4.20.3 Condicionantes Especiales

De acuerdo con los criterios señalados anteriormente se han elegido los siguientes emplazamientos para los talleres.

Taller nº1: Cabecera Buenavista

Quedará situado aproximadamente a la derecha de la nueva vía de alta velocidad en el sentido de avance, aproximadamente en el PK 4+000 de la nueva vía de alta velocidad.

Los desvíos proyectados atienden, además de a los condicionantes generales, a una serie de consideraciones especiales:

- El emplazamiento en cabecera hace que no sea necesario dotar a las instalaciones de un desvío de entrada directa para las circulaciones en sentido Querétaro-México DF ni de una vía mango de maniobra, puesto que ante la proximidad del final de línea en ese sentido, se considera más adecuado hacer el cambio de sentido en Buenavista tras apear a los pasajeros y efectuar las reparaciones necesarias una vez que los vehículos circulen en sentido Querétaro.

Taller nº2: Taller Central

Quedará situado aproximadamente a la izquierda de la nueva vía de alta velocidad en el sentido de avance, aproximadamente en el PK 31+500 de la nueva vía de alta velocidad.

Los desvíos proyectados atienden, además de a los condicionantes generales, a una serie de consideraciones especiales:

- Hasta el PK 30+000 aproximadamente, las vías de alta velocidad circulan sobre la línea Juárez-Morelos, compartiendo el sistema 1.

  En este tramo el trazado se caracteriza por tener largas rectas y tener radios bastante amplios (mínimo de 2.500 m), hasta llegar a las inmediaciones del paso Santa María (PK aprox. 30+375), en donde ambas vías se separan para saltar sobre las vías existentes y ponerse a la izquierda de las mismas:

  - La vía izquierda procedente de Querétaro, se separa más a la izquierda para dejarle espacio a la vía derecha para que también quede situada a la izquierda de la línea Juárez- Morelos.

  - La vía derecha “salta” sobre la línea Juárez – Morelos mediante un “salto de carnero” y se sitúa a la izquierda de la línea Juárez-Morelos, evitando así el cruce a nivel sobre la línea “Juárez”.

El emplazamiento de los talleres, por tanto, viene condicionado por:

- El desplazamiento a la izquierda de la vía izquierda (sentido Querétaro – México DF).

- El salto de carnero, de forma que los desvíos de acceso a los talleres, en ambos sentidos, debe producirse antes de que la rasante de las vías de alta velocidad se eleve.

- La disposición en planta elegida de las vías de los talleres, de forma que se tenga acceso tanto a la vía mango del torno-foso y a la vía de pruebas, desde ambos sentidos de avance.

- La proximidad de la línea “A”, a la izquierda de la línea Juárez- Morelos.

- Las edificaciones presentes en el tramo considerado.

Taller nº3: Cabecera Querétaro

Quedará situado aproximadamente a la derecha de la nueva vía de alta velocidad en el sentido de avance, aproximadamente en el PK 209+000 de la nueva vía de alta velocidad.

El emplazamiento en cabecera hace que sea necesario dotar a las instalaciones de una zona de estacionamiento y una vía de soplado, de forma que se regulen los desajustes producidos entre las horas punta y las horas valle.

4.20.4 Solución propuesta y dimensionamiento de las instalaciones

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

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

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

Figura 4.20.3. Esquemas de las instalaciones de Buenavista

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

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

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

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

Figura 4.20.4. Esquema de la instalación de Querétaro

Taller nº2: Taller central. Instalación principal de mantenimiento de material móvil y de la infraestructura de la línea, localizada en el punto kilométrico aproximado 31+500 de la línea

Juárez – Morelos, al norte de Cuautitlán, está compuesta por las siguientes áreas:

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

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

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

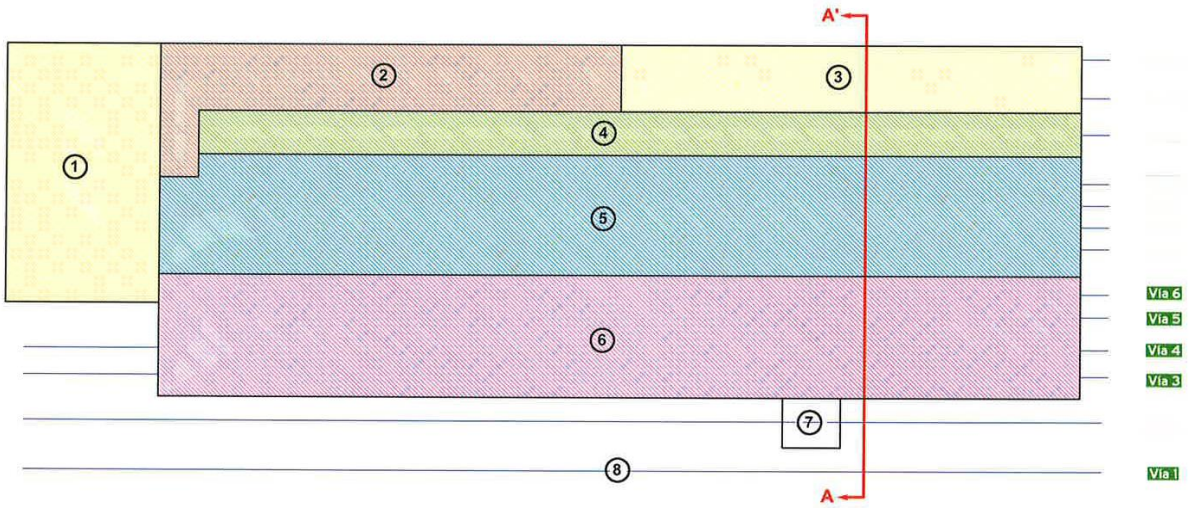


Figura 4.20.5. Esquemas de las instalaciones del Taller Central

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

Cuadro resumen disposición vías en Taller nº2. Taller Central

Las dimensiones de los distintos recintos se resumen a continuación:

ÁREAS DE TRABAJO	VÍAS	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	DISPONIBILIDAD FOSO	SUPERFICIE (m^2)
Estacionamiento	3	220	14,40	6,00	NO	3.168
Inspección básica y soplado	1	220	15	7,50	SI	3.300
Área administrativa		24	14	2,50	NO	336
TOTAL	**4**					**6.804**

Figura 4.20.6. Dimensionamiento preliminar Taller nº1: Cabecera Buenavista

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

Figura 4.20.7. Dimensionamiento preliminar Taller nº3: Cabecera Querétaro

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

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

Figura 4.20.8. Dimensionamiento preliminar Taller nº2: Taller Central

4.20.4.1 Aspectos constructivos y arquitectónicos

Para las naves de talleres, se propone una estructura a base de pilares de hormigón armado y cubiertas realizadas con celosías metálicas.

Para las diferentes naves de talleres, y en el sentido longitudinal se pueden establecer módulos estructurales idénticos para cada área, con pilares aproximados de 0,60 m x 1,00 m dispuestos cada 14 - 15 m y formando junta estructural cada dos módulos.

En el sentido transversal, se pueden establecer pórticos estructurales.

En relación con los aspectos arquitectónicos:

- Todos los cerramientos exteriores de las naves contarán con elementos ligeros.
- Todas las cubiertas de las naves serán inclinadas, a dos aguas.
- Todas las divisiones interiores fijas, se realizarán con fábrica de bloques huecos.
- En las áreas de estacionamiento, talleres y almacén, se dispondrán varios tipos de pavimento continuo de hormigón, de acuerdo con su funcionalidad.
- Salvo el acceso principal a la zona administrativa, todas las puertas exteriores no industriales serán metálicas.
- En relación con los techos, no se dispondrá falso techo.

4.20.4.2 Equipamiento

En este punto se considera el conjunto de instalaciones eléctricas y mecánicas que son necesarias para el adecuado funcionamiento de la instalación.

Además de las instalaciones generales de edificación se destacan las específicas asociadas a los talleres y que se detallan en el Anejo 21: Talleres y Patios

4.20.5 Funcionalidad Ferroviaria

Una vez dimensionado el edificio es necesario buscar una adecuada disposición, ordenando la funcionalidad del recinto ferroviario teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- Mínimo recorrido de los ramales de acceso.
- Mínimo recorrido para el acceso a las vías de mantenimiento y reparación
- Acceso directo a talleres desde el tronco de la nueva línea de alta velocidad.
- Disposición de una vía de pruebas.

5 VALORACIÓN DE LAS OBRAS

A los efectos de avanzar la inversión necesaria asociada a las obras de infraestructura, plataforma, obras complementarias, superestructura, instalaciones y electrificación del tramo objeto de este proyecto, una vez definidas con precisión suficiente las diferentes unidades que integran las obras se ha procedido a evaluar su coste económico de acuerdo con los siguientes criterios:

- Criterios de medición

  Se ha procedido a identificar y medir las unidades agregadas de obra que deben acometerse para ejecutar el conjunto de la operación.

  Para facilitar el análisis de la valoración se ha ordenado y agrupado la medición de unidades de acuerdo con su naturaleza en demoliciones, explanación, estructuras, drenaje transversal, drenaje longitudinal, firmes, señalización, reposición de servicios afectados, reposición de vías ferroviarias, obras complementarias, reposición de servidumbres, superestructura, instalaciones de seguridad, señalización y comunicación, electrificación, imprevistos y seguridad y salud en el trabajo.

- Definición de precios agregados

  Para hacer más sencilla la interpretación de los costes de la actuación conservando un nivel de precisión acorde con el ánimo de un Anteproyecto se ha utilizado un conjunto de unidades agregadas que engloban todas las unidades a ejecutar para completar las obras.

  Para cada una de ellas se ha calculado el precio de costo directo mediante la agregación de los precios unitarios de las unidades que comprende. De este modo puede obtenerse una valoración completa de la obra mediante un proceso de fácil comprensión y sencillo análisis.

- Estructura del presupuesto

Costo Inversión (sin IVA)

Actividad	Total
Infraestructura	24,248,760,000.00
Vía	3,936,880,000.00
Electrificación	1,980,350,000.00
Seguridad y Telecomunicaciones	3,030,580,000.00
Material Móvil	4,019,200,000.00
Derecho de vía	353,000,000.00
TOTAL	**37,568,770,000.00**

Costo Inversión (con IVA)

Actividad	Total
Infraestructura	28,128,561,600.00
Vía	4,566,780,800.00
Electrificación	2,297,206,000.00
Seguridad y Telecomunicaciones	3,515,472,800.00
Material Móvil	4,662,272,000.00
Derecho de vía	409,480,000.00
TOTAL	**43,579,773,200.00**