

CONSTRUIR EL TREN INTERURBANO MEXICO - TOLUCA. PRIMER ETAPA  
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y VIABILIDAD TÉCNICA DEL MISMO

**ANEXO B ANTEPROYECTO, ESTUDIOS DE CAMPO Y VIABILIDAD TÉCNICA**



ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO</b>	<b>4</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>6</b>
<b>2.1. RUTA</b>	<b>7</b>
<b>2.2. ESTACIONES Y TERMINALES</b>	<b>8</b>
<b>2.3. RUTAS DE ALIMENTACIÓN MÁS CERCANAS.</b>	<b>8</b>
<b>2.4. PLAN DE OPERACIÓN DEL TREN TOLUCA - VALLE DE MÉXICO.</b>	<b>10</b>
<b>3. TRAZO FERROVIARIO</b>	<b>12</b>
<b>3.1. TOPOGRAFÍA</b>	<b>12</b>
<b>3.2. DESCRIPCIÓN DEL TRAZO Y PERFIL</b>	<b>12</b>
<b>3.3. SISTEMA DE VÍAS</b>	<b>13</b>
<b>3.4. VIADUCTOS FERROVIARIOS</b>	<b>14</b>
<b>3.4.1. VIADUCTOS FERROVIARIOS PREFABRICADOS</b>	<b>14</b>
<b>3.4.2. VIADUCTOS FERROVIARIOS SINGULARES</b>	<b>14</b>
<b>3.5. TÚNEL FERROVIARIO</b>	<b>15</b>
<b>3.6. TÚNEL ARTIFICIAL</b>	<b>16</b>
<b>3.7. INSTALACIONES EN TALLERES Y DEPÓSITOS</b>	<b>16</b>
<b>3.7.1. VÍAS DE TALLER</b>	<b>22</b>
<b>3.7.2. VÍAS ESPECIALES</b>	<b>22</b>
<b>3.7.3. INSTALACIONES ESPECIALES</b>	<b>23</b>

---

<b>4.</b>	<b>SISTEMAS FERROVIARIOS</b>	<b>25</b>
<b>4.1.</b>	<b>ELECTRIFICACIÓN</b>	<b>25</b>
<b>4.2.</b>	<b>SEÑALIZACIÓN</b>	<b>27</b>
<b>4.3.</b>	<b>SISTEMA DE CONTROL DE TRENES</b>	<b>28</b>
<b>4.4.</b>	<b>PUESTO DE CONTROL CENTRAL (PCC)</b>	<b>30</b>
<b>4.5.</b>	<b>SISTEMA DE COMUNICACIONES</b>	<b>32</b>
<b>4.6.</b>	<b>TALLERES Y DEPÓSITO</b>	<b>35</b>
<b>4.7.</b>	<b>SISTEMA DE BOLETAJE</b>	<b>37</b>
<b>5.</b>	<b>MATERIAL RODANTE</b>	<b>38</b>
<b>6.</b>	<b>VIABILIDAD TÉCNICA</b>	<b>39</b>
<b>6.1.</b>	<b>VIADUCTOS PREFABRICADOS Y VIADUCTOS ESPECIALES</b>	<b>39</b>
<b>6.2.</b>	<b>TÚNEL Y TÚNEL ARTIFICIAL</b>	<b>40</b>
<b>6.3.</b>	<b>SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN</b>	<b>41</b>
<b>6.4.</b>	<b>SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y COMUNICACIONES</b>	<b>42</b>
<b>6.5.</b>	<b>SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS DE EMERGENCIA</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL PROYECTO

El proyecto presentado se denomina por sus características “Construcción el Tren **Interurbano** Toluca-Valle de México”. Para abreviar se utilizará de manera indistinta “Tren Interurbano Toluca-Valle de México”, o las siglas “TITV”.

De conformidad con la Novena Decisión contenida en el Discurso del Presidente de la República, Lic. Enrique Peña Nieto, emitido durante su toma de posesión, ordenó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, impulsar el proyecto de construcción del tren México-Toluca.

Asimismo, el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, establece dentro de su Meta Nacional “México Próspero”, el objetivo 4.2 “Democratizar el acceso al financiamiento de proyectos con potencial de crecimiento” mismo que de conformidad con la estrategia 4.2.5, se busca “Promover la participación del sector privado en el desarrollo de infraestructura, articulando la participación de los gobiernos estatales y municipales para impulsar proyectos de alto beneficio social que contribuyan a incrementar la cobertura y calidad de la infraestructura necesaria para elevar la productividad de la economía”, asimismo, dentro de sus líneas de acción se prevé el apoyo para el desarrollo de infraestructura con una visión de largo plazo, basada en tres ejes rectores i) desarrollo regional equilibrado, ii) desarrollo urbano y iii) conectividad logística”.

Por su parte, el objetivo 4.9 “Contar con una infraestructura de transporte que se refleje en menores costos para realizar la actividad económica” contempla como líneas de acción dentro de la estrategia 4.9.1 “Modernizar, ampliar y conservar la infraestructura de los diferentes modos de transporte así como mejorar su conectividad bajo criterios estratégicos y de eficiencia”, el fomentar que la construcción de nueva infraestructura favorezca la integración logística y aumentar la competitividad derivada de una mayor interconectividad, así como evaluar las necesidades de infraestructura a largo plazo para el desarrollo de la economía, considerando el desarrollo regional, las tendencias demográficas, las vocaciones económicas, entre otros.

El TITV, tiene como objetivo principal atender la problemática de transporte que se presenta en el corredor que abarca la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, el tramo interurbano que se conecta mediante la carretera federal 15 y 15 D y hacia la Ciudad de Toluca desde la Ciudad de México y la zona de Santa Fe que se encuentra en la entrada de la

Ciudad. La solución propuesta, consiste en un servicio de transporte de alta capacidad de tipo ferroviario interurbano, que constituye una alternativa superior de transporte de pasajeros segura, rápida, cómoda, accesible en precio y ecológicamente sustentable.

Los objetivos específicos de la construcción de la Tren Interurbano Toluca-Valle de México son los siguientes:

- **Reducción en el tiempo de traslado.**- El TITV proveerá un ahorro considerable de tiempo para los habitantes de la ZMVT (integrada por Toluca, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Ocoyoacac, y Zinacantepec) y de la Ciudad de México (en el Distrito Federal, las delegaciones vinculadas con la zona de estudio son Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo). El proyecto permitirá realizar, por ejemplo, un recorrido desde Observatorio a Santa Fe que hoy se realiza entre 45 y 55 minutos, según la hora del día a la que se realice el viaje, en menos de 10 minutos. Este ahorro permitirá a los usuarios contar con mayor tiempo disponible para compartirlo con sus familias, descanso, capacitación y otras actividades.
- **Mejora de la conectividad regional entre Toluca y el Valle de México.**- La ciudadanía en general se beneficiará por la construcción de servicio ferroviario interurbano que conecte ambas ciudades y facilite el acceso al Aeropuerto de Toluca. Además de crear un corredor de movilidad que lleve desde el poniente de la ZMVM hasta la salida a Puebla, a través de la continuación de viaje a través de la Línea 12 del Metro, de una manera fácil y rápida.
- **Transporte sustentable, amigable con la naturaleza y el entorno social.**-En la actualidad hay más de 600 mil viajes diarios en la zona de influencia: dichos viajes se realizan a través de medios de transporte de mediana y pequeña capacidad, con motores de combustión, particularmente en los extremos que son zonas urbanas. La infraestructura vial disponible en horas de máxima demanda es insuficiente y registra altos niveles de congestión que terminan por generar muchas más emisiones contaminantes a la atmósfera. El Tren Interurbano, por su capacidad y tracción eléctrica, permite movilizar a muchas personas en esta alternativa de transporte público, que ofrece además, comodidad, tiene un trazo fundamentalmente subterráneo en las zonas urbanas, se encuentra confinado, y es altamente seguro. Por lo anterior, resulta una alternativa de transporte que ofrece gran cantidad de externalidades positivas que mejoran el escenario medio ambiental de la zona de influencia.

- **Equidad.-** Al llevar infraestructura de transporte tanto a la zona poniente del Distrito Federal, como a lo largo de la ZMVT desde Lerma hasta Zinacantepec, mejora el acceso de importantes núcleos de población a servicios de calidad y rapidez, contribuyendo a una mejor distribución del beneficio social que se obtiene de la acción gubernamental, por impulsar proyectos de integración regional equilibrada.
- **Proyecto de bajo impacto.** La Zona Metropolitana del Valle de Toluca, el parque de La Marquesa y el Distrito Federal, sufrirán un impacto negativo mínimo, pues el proyecto toma en cuenta las características de cada tramo, para aprovechar las condiciones existentes en el diseño del trazo y constructivo más apropiado.

Es un proyecto ferroviario de pasajeros que provoca sustitución de otros modos de transporte por parte de los usuarios. Puede generar nuevos viajes, en función de otras políticas complementarias como la re densificación de zonas urbanas cercanas al trazo, pero no se ha considerado como un efecto directo del proyecto. Es un servicio de tipo férreo, eléctrico, interurbano, de velocidad media.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente apartado, se definen las características principales de cada uno de los subsistemas que componen el sistema ferroviario, sus especificaciones, estándares técnicos, niveles de desempeño y calidad de los mismos.

El objetivo del presente capítulo es determinar de manera integral y conceptual los aspectos técnicos relevantes de un proyecto de transporte público urbano-interurbano a base de trenes modernos, definiendo y determinando la factibilidad técnica de su desarrollo entre la zona metropolitana de la Ciudad de Toluca y la zona poniente de la Ciudad de México.

Para ello se parte de los valores que arroja el estudio de demanda y particularmente la determinación de la cantidad de pasajeros a bordo del tren por hora y sentido en el tramo inter-estación más cargado, todo ello en la hora máxima demanda. En función de la cantidad de pasajeros/hora-sentido y de la capacidad de los trenes, expresada como cantidad máxima de pasajeros por coche, o por tren, se determina luego la cantidad de trenes por hora que es necesario considerar para poder brindar una oferta de transporte suficiente a la demanda expresada como pasajeros/

hora y sentido. En función de la cantidad de pasajeros a transportar por hora, se determina la flota de trenes requerida para satisfacer los requerimientos de la demanda y en función de la flota de trenes que circula en la línea se determinará el consumo de energía, las particularidades del sistema de señalización y así siguiendo con cada uno de los subsistemas correspondientes a las obras electromecánicas. Se puede concluir que en un sistema de transporte ferroviario se definen cada uno de los subsistemas en función de las necesidades de los restantes subsistemas, resultando así un sistema ferroviario completo e integrado en todas sus especialidades e interfaces.

Este procedimiento de diseño conceptual del sistema ferroviario comienza con la definición del plan operativo que regirá en base a la demanda prevista y continua luego con cada una de las especialidades.

## **2.1. Ruta**

El proyecto “Construcción y Operación del Tren Interurbano Toluca-Valle de México” consiste en la implementación y construcción de la infraestructura necesaria para el funcionamiento de un corredor regional entre la ZMVT y el Distrito Federal.

El proyecto tiene como objetivo principal atender la problemática de transporte que se presenta en el corredor que abarca la ZMVT y el tramo interurbano que conecta la Ciudad de Toluca con la Ciudad de México.

La solución propuesta, consiste en un servicio de transporte masivo de tipo ferroviario regional que constituye una alternativa de transporte de pasajeros segura, rápida, cómoda, accesible en precio y ecológicamente sustentable.

El proyecto contará con una longitud total de 57.70 km, 6 estaciones y un taller.

- Estación terminal - Zinacantepec
- Estación intermedia -Cristóbal Colon
- Estación intermedia - Metepec
- Estación intermedia - Lerma

- Estación intermedia - Santa Fe y
- Estación terminal - Observatorio

## **2.2. Estaciones y terminales**

Como se ha mencionado el proyecto contará con 6 estaciones. Para el tipo de estación se analizaron diferentes espacios como; locales de servicio, taquillas, vestíbulos, zonas para alojar máquinas expendedoras de boletos y revalidadoras, zona de control de acceso (torniquetes), locales para control, vigilancia y jefe de estación, circulaciones verticales y equipos para movilización de personas con capacidades especiales y de la tercera edad. Así mismo, se analizó la zona de andenes con la dimensión suficiente para dar cabida a trenes de 150 m de largo durante los primeros años, pero previendo aumento de frecuencia debido al incremento de la demanda.

El anteproyecto del Tren Interurbano México – Toluca contempla la construcción de la estación Terminal de Observatorio

La estación Terminal de Observatorio se encuentra en una posición privilegiada, en el centro de gravedad de las citadas líneas de metro y central de autobuses, de modo que el intercambio modal del ferrocarril con el resto de modos de transporte se realiza de forma cómoda y rápida.

Este Intercambiador Multimodal no forma parte del anteproyecto, es decir, no está contemplado en el presupuesto, solo se ha considerado en el mismo la estación ferroviaria de Observatorio.

## **2.3. Rutas de alimentación más cercanas.**

Las rutas alimentadoras de las estaciones se pueden resumir como sigue:

- Estación terminal - Zinacantepec

Esta estación se sitúa en una zona de baja densidad de población y las principales rutas alimentadoras serán las que recorren las principales avenidas.

Esto facilitará el acercamiento de la población de este municipio al futuro tren permitiendo un desplazamiento más rápido dentro del Área Metropolitana del Valle de Toluca y por supuesto un conexión mucho más directa con el DF.

- Estación intermedia -Cristóbal Colon

En esta ubicación confluyen muchas líneas de autobuses en la actualidad lo cual posibilitará una alimentación de viajeros importante al futuro tren, incluso si no se modifican los derroteros de las actuales rutas, de hecho no será necesario (aunque siempre conveniente) en este punto tal reordenación.

- Estación intermedia - Metepec

Esta posición en la confluencia de dos grandes avenidas posibilitará no sólo la alimentación natural sino la eventual reordenación que las propias rutas locales realicen para maximizar sus ingresos cuando esté en operación el futuro tren.

- Estación intermedia - Lerma

Esto asegura la existencia de muchas rutas metropolitanas que podrán alimentar al futuro tren al conectarle con una amplia zona de la misma.

- Estación intermedia - Santa Fe

Por la zona en donde se ubica la convertirá en un punto de acceso preferente para la Universidad y en un punto de acceso muy interesante para el Centro Comercial.

- Estación terminal - Observatorio

La estación de Observatorio coincide con el actual CETRAM y estación de Metro, es decir, el gran centro de transferencia modal que es Observatorio en la actualidad se verá reforzado en el futuro por la existencia del nuevo tren.

Todo esto convertirá a Observatorio en uno de los mayores CETRAMs del DF, posibilitando innumerables posibilidades de trasbordos entre todos los modos que confluyen en ella.

#### **2.4. Plan de operación del tren Toluca - Valle de México.**

##### **Características de la demanda y modo de operación adoptado.**

El Ferrocarril Toluca – Valle de México tiene la característica que la variación de la carga horaria por tramo no registra variaciones importantes, entre el sector de máxima demanda horaria y la interurbana

Cabe considerar que se prevé un ajuste progresivo de la demanda inicial producto de la curva de maduración que se espera se produzca desde el año 0 al año 5. Esto tendrá su correlato en la estrategia del servicio de trenes planteado inicialmente. El sistema posee los recursos necesarios para realizar los cambios previstos por la evolución de la demanda.

Esta característica de cargas por tramo hace que el modo de explotación adoptada sea de trenes directos circulando entre las terminales.

##### **Terminales y estaciones intermedias.**

Las terminales serán de andenes laterales. Tendrán capacidad para efectuar maniobras “O” y “V”.

Las estaciones intermedias son aptas para efectuar maniobras.

Se proyectaran cambiavías que permitirán el cambio de vía de un convoy.

### **Velocidad máxima, comercial, tiempos de recorrido, intervalo**

La velocidad máxima posible será de 160 kilómetros por hora, la velocidad comercial entre estaciones terminales será de 90 kilómetros por hora.

Para el año 0 y durante los primeros 5 años el intervalo será de 6 minutos pudiéndose prever un ajuste del intervalo como respuesta a la curva de maduración de la demanda de transporte que se vaya registrando.

Para cumplir la demanda en el año de puesta en servicio se prevé que existan 20 convoyes en operación en la hora punta.

Se considera que a partir del año 13 se habrá alcanzando la máxima capacidad con el material rodante adquirido en el inicio de la operación, por lo que debe disponerse de cuatro nuevos trenes en operación en la hora punta.

Del mismo modo, para el año 25 se prevé la incorporación de otros cuatro trenes adicionales con el fin satisfacer la demanda prevista para ese año.

### **Patio y talleres**

El sistema Ferroviario Toluca – Valle de México tendrá un taller ubicado luego de la cola de maniobras de la Terminal Zinacantepec;

Contará también con taller de catenaria y vías, así como edificios anexos: almacenes, oficinas, etc.

El Patio y Taller será gobernado desde el Puesto de Control de Patio y Talleres, la señalización será lateral, la velocidad de circulación será de 15 kilómetros por hora.

La circulación en la línea será gobernada desde el Puesto de Control Central, la señalización será lateral. La seguridad estará dada por un CBTC (Control de Trenes Basado en Comunicaciones). De esta forma se garantizará la seguridad y disponibilidad de las circulaciones.

### **Zona de Transición**

Existirá una zona de transición entre la entrada al taller y la cola de maniobras de la Terminal Zinacantepec, el control del mismo será compartido entre el Puesto Control Central y el Puesto de Control de Patio y Talleres.

## **3. TRAZO FERROVIARIO**

### **3.1. Topografía**

**Para la realización del proyecto geométrico conceptual de la línea del tren TOLUCA – VALLE DE MÉXICO, se considero lo siguiente:**

Se obtuvo una topografía suficiente para realizar nuestra propuesta geométrica en planta y perfil.

Se determinaron curvas de nivel a cada 10 metros en toda la zona de estudio, representadas gráficamente desde Toluca a la Ciudad de México. Una vez identificado el trazo definitivo se analizó y matematizó con respecto a las curvas de nivel del terreno agreste y sinuoso determinado así las diferentes secciones homogéneas que integran el sistema.

### **3.2. Descripción del trazo y perfil**

Para la solución de la línea del tren TOLUCA – VALLE DE MÉXICO, se tomaron las siguientes consideraciones que influyeron en la decisión de la solución geométrica que se presenta en el presente análisis conceptual.

Un punto importante que se considero es el de aprovechar parte del camellón de las vialidades, la autopista, el derecho de vía de CFE y la consideración de la construcción de un túnel, con la finalidad de generar así la menor afectación posible a construcciones existentes.

### **3.3. Sistema de vías**

En la construcción de la infraestructura de rodamiento para el sistema, se considerarán los requerimientos indispensables para el desarrollo, la ingeniería, fabricación, construcción, instalación, pruebas y puesta en servicio del sistema de vías para la línea.

Los elementos que la integrarán deberán ser de bajo mantenimiento considerando que dicha vía proporcione las mejores condiciones de servicio, con un nivel óptimo de seguridad y confiabilidad, así como las instalaciones necesarias para su adecuada operación, conservación y mantenimiento.

La vía se definirá como el conjunto de dispositivos necesarios para soportar, guiar y completar el circuito eléctrico al material rodante. Las vías de una línea se clasificarán en primarias: aquellas por las cuales realizan su recorrido los trenes para la prestación del servicio y secundarias: aquellas destinadas a realizar maniobras en talleres, depósito y vías de escape.

Se desarrollará el proyecto geométrico para el sistema de vías conforme al trazo de la línea y buscando que el confort y seguridad sean prioritarios en el diseño.

El sistema de vía férrea será diseñado para dar servicio a la intemperie, sin que esta condición origine perturbaciones en su funcionamiento, ni fatigas anormales en sus elementos.

### **3.4. Viaductos ferroviarios**

El proyecto contempla la construcción de viaductos ferroviarios con dos propósitos; el primero es minimizar los impactos viales y sociales en las zonas urbanas que puede generar la construcción de una nueva línea ferroviaria de esta naturaleza, por otro lado, cruzar las zonas altas más accidentadas con sistemas de viaductos.

#### **3.4.1. Viaductos ferroviarios prefabricados**

La prefabricación de elementos de concreto es un componente importante en los sistemas modernos de construcción, ya que la producción en serie y el control de calidad inciden en la duración del proceso constructivo y en la calidad de la obra misma; lo que permite ahorrar tiempo de ejecución y obtener obras limpias, rápidas y seguras.

La fabricación de estos elementos se llevará a cabo en plantas móviles de prefabricación cercanas al sitio de la ejecución de la obra, con la finalidad de evitar traslado largo itinerario que generen molestias a los vecinos cercanos al proyecto.

#### **3.4.2. Viaductos ferroviarios singulares**

Los objetivos específicos de estos viaductos son, (i) incrementar la fiabilidad del sistema ferroviario, centrandose en los viaductos por tratarse de elementos críticos del sistema. (ii) Mejora del mantenimiento de las estructuras, pasando de un concepto de inspección y mantenimiento correctivo a un mantenimiento predictivo, basado en el diagnóstico continuo. (iii) Integración del sistema en los procedimientos de un gestor de infraestructuras ferroviarias y de las empresas encargadas del mantenimiento, con el objeto de optimizar y programar dicho mantenimiento. (iv) mejor comprensión de los fenómenos de degradación de la infraestructura y de la evolución de los niveles de servicios o de eventuales patologías y de la vida útil real o esperable de estas infraestructuras; (v) aplicación del conocimientos a la mejora de los criterios y herramientas actuales de diseño, con especial orientación a la mejora del diseño de viaductos singulares, a su comportamiento dinámico, la incremento de la velocidad de las circulaciones, y finalmente a la mejor de la normativa aplicable.

### 3.5. Túnel ferroviario

El desarrollo del túnel ferroviario será la obra de infraestructura civil más importante, tanto técnica como económicamente, de este proyecto y su definición y solución constructiva serán decisivos para el desarrollo exitoso del proyecto.

Por dicho motivo en el diseño del trazado del túnel se ha tomado en consideración diversos factores:

- El proyecto ejecutivo del túnel minimiza la longitud del mismo.
- Se minimiza la afectación a zonas de protección medioambiental. El túnel evita cruzar las zonas de protección ambiental.
- La normativa internacional de aplicación para la construcción de túneles ferroviarios.
- La influencia de factores aerodinámicos en la circulación de un tren por el túnel se superponen y aumentan en túneles de vía doble cuando dos trenes se cruzan. Estas influencias aumentan en forma proporcional al aumento de velocidad de circulación de los trenes.
- En los túneles la seguridad se ha convertido en uno de los principales condicionantes del diseño, incrementando los costos de construcción, pero brindando una amplia seguridad a los pasajeros mediante la construcción de galerías de conexión.
- El túnel también deberá estar dotado de sistemas de ventilación capaces de extraer el aire viciado e impulsar aire fresco hacia cualquier punto del túnel en caso de emergencia, puesto que en circulación normal es el propio movimiento de los trenes el que hace circular el aire a modo de émbolo.



Tramo túnel doble vía y sección tipo

### **3.6. Túnel artificial**

El túnel artificial se construiría por el método “cut & cover” según los siguientes pasos que se enumeran a continuación:

1. Ejecución de pantallas en uno de los lados de la calle.
2. Ejecución de pantallas y semi-losa superior en el otro lado.
3. Excavación del túnel desde las bocas este y oeste bajo la losa ya construida, sin interferencias con el tráfico de la calle ya en servicio
4. Ejecución de losa de fondo en el túnel, según se vaya avanzando en la excavación de las tierras del túnel.

### **3.7. Instalaciones en Talleres y Depósitos**

#### **Consideraciones generales**

Para que la Línea Toluca – Valle de México opere en condiciones de seguridad, disponibilidad, confiabilidad y óptimo mantenimiento, se ha previsto la construcción de instalaciones de estacionamiento de trenes y talleres en las inmediaciones de la Terminal Zinacantepec.

#### **Criterios básicos de diseño**

Los criterios básicos de diseño considerados para el desarrollo del Estacionamiento y Taller de la Línea Toluca – Valle de México son:

- Disponibilidad máxima de la flota de trenes
- Flexibilidad máxima de movimiento de trenes en zona de Estacionamiento y del Taller.
- Óptima conectividad entre el Estacionamiento y la Línea Toluca – Valle de México.
- Asignación racional de los espacios requeridos para mantenimiento de trenes, así como para otras instalaciones requeridas.
- Condiciones de seguridad para los empleados y prevención de accidentes

- Condiciones de trabajo para los empleados con la menor afectación posible a la salud
- Consideración de normas y experiencias de mantenimiento internacionales
- Seguridad en toda el área, con accesos y circulaciones directas a todas sus instalaciones

### **Instalaciones del patio y talleres Ferrocarril Toluca – Valle de México**

Para desarrollar las actividades de mantenimiento al material rodante así como para el estacionamiento de trenes, se requieren contar con toda la infraestructura necesaria que permita atender la flota considerada y la conservación y mantenimiento de los trenes.

- Taller de servicio e inspección
- Almacén de vías
- Vías de estacionamiento de los trenes
- Vía de lavado
- Almacén general
- Edificio de control central y de patio
- Edificio de administración
- Subestación eléctrica de alta tensión
- Vialidad perimetral
- Estacionamiento para vehículos de servicio
- Planta de tratamiento de agua de lavado
- Depósito de lubricantes
- Área para deshechos
- Estacionamiento para automóviles

### **Modalidad de trabajo**

El aspecto operacional del Estacionamiento de trenes y Talleres del Ferrocarril Toluca – Valle de México cubrirá las siguientes actividades:

- Estacionamiento de trenes.
- Maniobras entre estacionamiento y taller.
- Salida de trenes a servicio.
- Control de los trenes desde PCP a la zona de transferencia hacia las distintas vías de estacionamiento y del taller.
- Mantenimiento del material rodante e instalaciones.
- Las instalaciones del taller estarán diseñadas para mantener a la totalidad de los trenes, cuando el sistema de transporte esté desarrollado a su máxima capacidad.
- El Taller del Ferrocarril Toluca – Valle de México tendrá la capacidad de responder operativamente a todas las alternativas de mantenimiento menor, tales como controles, limpieza profunda, alistamientos, inspecciones, reparaciones no planificadas y menores requeridas por el material rodante o las instalaciones fijas.
- En una segunda etapa se construirán las instalaciones restantes para realizar intervenciones de más profundidad.

### **Función de las instalaciones:**

- La extensión del predio del Patio y Taller del Ferrocarril Toluca – Valle de México permitirá implantar vías de estacionamiento e instalaciones de mantenimiento para la flota máxima de trenes.
- A futuro la plataforma de estacionamiento podrá ser ampliada mediante la realización de las obras civiles correspondientes e instalando los haces de vías necesarios para alcanzar la máxima capacidad.
- El desarrollo del presente diseño contempla flexibilidad a fin de enfrentar cualquier situación de bloqueo para el ingreso / egreso de los trenes al servicio. Permite así mismo un ágil ingreso de los trenes al servicio comercial.

### **Control de patio y talleres**

- Se encargará del estacionamiento, del mantenimiento, así como la coordinación con el Puesto de Control de Central (PCC) para el ingreso/egreso de los trenes, con el objeto de garantizar la eficiencia en la gestión todo esto en ámbitos contiguos.
- El comando y control de los sistemas, tales como: Señalización, Comunicaciones, Energía de Tracción incluyendo el mando de los seccionadores, Sistema de Comunicaciones y de Seguridad contra Incendios, serán comandados desde el Puesto de Control de Patio (PCP) que como se manifestó coexiste con el Puesto Control Central en un solo edificio. No obstante se prevé la posibilidad de efectuar el comando local de cada uno de los sistemas arriba mencionados.

### **Sistema de señalización**

- El Patio y Talleres tendrán un sistema de señalización similar al utilizado en Vía Principal operado en forma independiente desde el PCP. El movimiento de los trenes en el ámbito del estacionamiento de trenes y el taller será controlado por la señalización desde el PCP.

### **Sistema de comunicaciones**

- El Patio y Talleres contará con un sistema de telecomunicaciones que comprende Teléfonos, Radio tren-tierra (TETRA), Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), difusión sonora. El sistema de comunicaciones será operado desde el PCP.

### **Sistema de suministro de energía**

- La energía de tracción del Patio y Talleres se suministrará desde la Vía Principal. Contará con un sistema de catenaria similar al utilizado en la Vía Principal.
- El sistema de energía de tracción del Patio y Talleres será operado por el PCP.

### **Accesibilidad ferroviaria**

- El acceso a través de la vía férrea al Patio y Talleres se llevará a cabo mediante dos vías, que lo unen a la Terminal Zinacantepec cuyo dominio operativo es controlado por el PCP hasta la Zona de Transferencia ubicada entre la salida del Patio y Talleres y la cola de maniobras de la Terminal.

## **Sistema de Vías en Patios y Talleres**

### **Vías de Patio**

El desarrollo de las diferentes áreas de vías del Patio deben considerar las siguientes características:

- Permitir el estacionamiento de la flota inicial.
- Se utilizarán dos tipos de cambiavías, los cuales tendrán una tangente máxima de 20, un radio preferente de 120 m, o un radio mínimo de 100 m.
- Facilitar el movimiento de trenes en las vías de estacionamiento
- Las curvas no tendrán peralte. El radio menor será de 120 metros y en casos justificados, se podrán aceptar curvas con radio de 100 metros.
- Permitir fácil acceso a los trenes, al personal de operaciones y mantenimiento y el movimiento hacia los talleres y viceversa
- Las vías de estacionamiento e incluso las de talleres no deberán tener pendiente
- Prever rampas para facilitar el acceso a las cabinas de los trenes
- Disponer de techo ligero protector en las zonas de las cabinas de los trenes

### **Distancia entre ejes de vía**

La distancia entre ejes de vías del Patio se ajustará a los aspectos siguientes:

- En vías de circulación, la separación mínima entre ejes de vías será igual al gálibo dinámico del material rodante.
- La zona de estacionamiento de trenes deberá permitir la existencia de pasillos de servicio para trabajos en los trenes
- Deberá observarse además:
  - Presencia de equipos instalados en las vías o cercanas a ellas.
  - Presencia de componentes del sistema de energía de tracción y o auxiliares.
  - Presencia de componentes del sistema de señalización y control de trenes.

- Optimizar la capacidad de estacionamiento del Patio
- Instalación de hidrantes u otros equipos del sistema de extinción de incendio.

### **Pasillos de circulación**

En las vías de estacionamiento de trenes se prevén pasillos longitudinales de concreto para la circulación de personal de operaciones, mantenimiento y para la limpieza diaria de trenes.

### **Drenajes**

Todas las vías de estacionamiento dispondrán de un sistema de drenaje que permita captar, conducir y disponer los escurrimientos de aguas de lluvia a fin de permitir el correcto desempeño del personal operativo sin riesgos.

Particularmente los drenajes asegurarán que ante una precipitación máxima los niveles del agua no sobrepasarán la altura de los pasillos de circulación, ni del hongo del riel.

### **Iluminación**

Las vías de Patio deberán estar iluminadas. La iluminación del Patio, particularmente en los pasillos de circulación, deberá ser de tal forma, que el tránsito de personas y vehículos sea seguro.

Deben considerarse niveles adecuados de iluminación en las vías de Patio dada la serie de actividades que se ejecutan en horario nocturno (mantenimiento, limpieza etc.), como asimismo asegurar la actividad del personal de operaciones.

### **Zonas de transferencia**

Se denomina Zona de Transferencia al sector de vías donde se intercambia el control de la operación entre el PCP (Puesto Control Patio) y el PCC (Puesto Control Central). El mismo se ubicará posteriormente a la cola de maniobras de la estación Zinacantepec y tendrá una longitud de 160 metros.

### **Vías de maniobra**

Las vías de maniobra serán previas a la zona de transferencia sobre la vía Principal contando desde el eje del taller. Las velocidades de operación en vías de maniobra no deberán superar los 30 kilómetros por hora.

Los movimientos en las mismas estarán dirigidos por la señalización para asegurar la ruta, cuyo comando será ejercido por el Puesto de Control de Patio (PCP).

#### **3.7.1. Vías de taller**

Las vías de talleres son las instaladas dentro de los talleres. El ingreso a las mismas deberá ser autorizado por personal responsable del taller. La velocidad de ingreso a las instalaciones del taller serán de 5 km /h. La salida de los trenes del taller será coordinada entre el personal responsable del taller y el PCP.

#### **3.7.2. Vías especiales**

##### **Vía de lavado exterior y profundo de trenes**

En esta vía se realizara el lavado exterior de la carrocería del tren, bien sea con agua y detergente, acido, u otros elementos específicos a estos particulares. La ubicación de la Vía de Lavado es tal, que no es necesaria ninguna maniobra adicional para realizar dicha actividad. La conducción será a una velocidad no mayor de 5 kilómetros por hora.

La distancia entre ejes de vía deberá ajustarse a las características de la Maquina Lavadora.

Dado que los vehículos serán alimentados por catenaria, se deberá tener en cuenta las condiciones de seguridad que en el apartado correspondiente a energía de tracción se le imponen al sector; estando atento el responsable de la conducción del tren de observar todas las normas para la circulación en el sector.

Los requerimientos de espacio deben considerar la accesibilidad al sitio a fin de permitir el mantenimiento de los equipos en su conjunto.

Cercano a la vía debe preverse una caseta donde se ubicaran los dispositivos de control y equipos intrínsecos del conjunto de la Máquina Lavadora de Trenes.

Se debe contar con un sistema independiente de suministro y almacenaje de agua. Los residuos serán recolectados, transmitidos y tratados dentro el Tratamiento de Agua de Lavado.

### **Taller de Mantenimiento de material rodante**

En el Taller de Mantenimiento del Material Rodante se ejecutan las siguientes actividades:

- Inspecciones periódicas de los trenes
- Reparaciones ocasionales de los vagones
- Inspecciones adicionales de los trenes (no programadas)
- Limpieza en el interior y bajos chasis de vagones
- Sustitución de componentes eléctricos, neumáticos y mecánicos del vehículo
- Torneado de ruedas.

### **3.7.3. Instalaciones especiales**

- Máquina lavadora de trenes
- La Máquina Automática de Limpieza de Trenes está concebida principalmente para lavado exterior a intervalos regulares de la flota de trenes La instalación deberá permitir dos funciones de lavado:
  - Automática, para lavado programado de los trenes
  - Manual, para ejecutar la limpieza profunda de la formación
- La máquina podrá ser de operación ¡§Stop and Go¡¨ con pórticos de desplazamiento limitado por cepillos. Dentro de esta configuración, el tren tendrá que parar dos veces para permitir limpiar el frente de las cabinas. La velocidad máxima de pasada será de 5 kilómetros por hora. Estará ubicada en una vía especial sin interferencia operativa con el resto de las otras y sobre todo de las afectadas a la entrada y salida de trenes.
- Torno subterráneo de ruedas

El Torno Subterráneo de Ruedas debe permitir efectuar las mediciones, el torneado, y las verificaciones de las ruedas directamente en el vehículo y sin ningún desmontaje de ejes con sus ruedas.

Para la instalación de la maquina se requiere una fosa de 8 m x 8 m con una profundidad de 2,5 m.

El control numérico controla los cuatro ejes de los dos carros portaherramientas para el torneado de ruedas, y un eje de cabezal de giro para dar movimiento a las ruedas. Este control permite torner ruedas simultáneamente o independientemente en ambos lados del torno, torner de forma simultanea discos de freno con un sistema de velocidad de corte constante mediante dos carros adicionales y programar las condiciones de mecanizado en cuanto a profundidad de pasada, velocidad de corte y avance por vuelta para cada pasada. La interface entre hombre y maquina será especialmente concebida para que permita programar las condiciones de mecanizado de una forma fácil, para que el operador pueda fijar libremente el nivel de automatización que desee y para suministrar en todo momento información acerca del estado de la máquina. El torno dispondrá de un transportador, compactador y depósito de virutas.

- Edificio de Control (EC)

En el Edificio de Control) se encuentra el Puesto de Control de Patio y Taller (PCP) y el Puesto Control Central (PCC). El Puesto Control de Patio y Talleres realizara el control de mando de equipos de tráfico, energía de tracción y auxiliares

- Funciones del Control de Patio y Talleres

### **Control de información y manejo de comunicaciones con trenes y personal de**

#### **Mantenimiento**

- Control y manejo de las operaciones en el Patio y Talleres como la coordinación con el PCC de la entrada y salida de trenes a Vía Principal.

#### **Servicios necesarios:**

- Sistema de seguridad y extinción de incendios
- Energía eléctrica auxiliar

- Iluminación
- Aire acondicionado
- Servicios de sanitarios, duchas, vestuarios, dormitorio
- Sistemas de Telefonías
- Radio tren-tierra
- CCTV

## **4. SISTEMAS FERROVIARIOS**

### **4.1. Electrificación**

El sistema eléctrico de un sistema de transporte ferroviario es un elemento esencial para el funcionamiento del mismo, tanto desde el punto de vista del propio funcionamiento para prestar un servicio de calidad, como desde el punto de vista de la seguridad del transporte y de los usuarios del mismo. Es por ello, que es vital el diseño de un sistema robusto y fiable, que garantice la continuidad del suministro de todos los consumos, tanto en condiciones de funcionamiento normal, como en el caso de funcionamiento degradado por averías o por falta de disponibilidad de alguno o de varios de los elementos que forman parte del sistema eléctrico. En este contexto se han adoptado y definido las instalaciones que siguen.

El sistema eléctrico suministrará la energía eléctrica requerida a todos los consumidores del sistema del transporte ferroviario del Tren México – Toluca, es decir a todos los trenes que circulación así como a todas las instalaciones de Vía, Estaciones, Talleres y Depósitos y Puesto de Control Central.

El sistema eléctrico se conectará a la red eléctrica de Alta Tensión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) mediante una o dos Subestación de Alta Tensión (SEAT) ubicadas en emplazamientos contiguos al trazado de la línea. Cada subestación tendrá dos transformadores, uno destinado a tracción y otro destinado a los servicios del sistema (iluminación y fuerza motriz de las estaciones, talleres, locales técnicos, etc.). En fase de diseño detallado se

determinará la potencia de los distintos transformadores, garantizando una reserva mínima que permita el crecimiento eléctrico de la línea sin necesidad de sustituir o ampliar equipamiento.

La alimentación eléctrica en Alta Tensión transformada en las SEAT será distribuida en Media Tensión a las distintas Subestaciones de Tracción y a los Centros de Transformación de estaciones mediante sistemas de distribución independientes. Para ello se analizará, acorde a un estudio técnico-económico, la conveniencia de usar una topología de conductores en anillo o radial. Se analizarán las redundancias necesarias para garantizar el suministro eléctrico aún a pesar de la aparición de fallos propios del sistema o del suministrador externo CFE.

El sistema de alimentación de tracción se proporcionará a través de Subestaciones de Tracción, que se alimentarán de la red de distribución de tracción en Media Tensión procedentes de las SEAT. Este sistema, entre otras bondades, permite transportar la energía de tracción, lo cual asegura una reducción de las caídas de tensión, mientras que el material rodante recibe el hilo de contacto y los rieles. La energía de tracción será suministrada al sistema de catenaria y se establecerán secciones de alimentación determinadas por seccionadores de catenaria que serán distribuidos a lo largo de la línea. La ubicación de estas secciones de alimentación se concretará acorde al modelo operativo de circulación y especialmente a los servicios provisionales.

En los centros de consumo se instalarán los Centros de Transformación (CT). Los Centros de Transformación serán los encargados de transformar la energía eléctrica en Media Tensión proveniente de las SEAT. En cada centro de consumo se dispondrá de dos CT de forma de permitir una alimentación redundante y segura de cada consumo.

La línea aérea de contacto o catenaria será la encargada de transportar la energía entre los puestos de seccionamiento y el material móvil que circula por la línea. El retorno de la energía entre el material móvil y los puestos de seccionamiento se hará a través de las vías. Se analizará el sistema de suspensión y fijación de catenaria en función de cada tramo de línea (superficie, viaducto y túnel), seleccionando la más idónea en cada escenario. El circuito de cierre del sistema se realizará mediante una línea de alimentación constituida por un cable de retorno a las Subestaciones de Tracción.

Todo el sistema de energía de la línea y sus instalaciones funcionarán sin personal permanente y será supervisado a distancia a través de un Control Central de Energía Eléctrica (CCEE) que se construirá en el Puesto de Control Central. La supervisión alcanza la operación de todos los equipos automáticos, la indicación del estado de los mismos, la adquisición de los estados de las alarmas y la medición a distancia de los parámetros eléctricos más relevantes.

## **4.2. Señalización**

La señalización tiene como objetivo mantener la seguridad en el recorrido de los trenes en operación. Administra la autorización de circulación y la velocidad dependiendo del estado general de la vía y de los requerimientos operativos.

En este documento se indican solo las condiciones mínimas que deberá incluir el sistema de señalización, por lo que el proveedor deberá proponer al cliente para su aprobación, las condiciones que considere convenientes para garantizar la óptima fiabilidad, seguridad, disponibilidad, confort y demás requerimientos definidos en este documento para el sistema de señalización.

### **Conceptos generales:**

En el Ferrocarril Toluca – Valle de México se instalará un sistema de señalización lateral de bloqueo automático luminoso. Contará con un sistema de detección de presencia de trenes y enclavamientos electrónicos de seguridad intrínseca o de Nivel de Integración de Seguridad SIL 4, según lo definido por la norma europea IEC EN 61508. Los mandos de itinerarios se podrán efectuar en forma local o por telemando.

La señalización lateral será particularmente útil para la circulación de trenes con “marcha a la vista” por falla del sistema a bordo de control de trenes, para los vehículos de mantenimiento y eventualmente otros trenes no equipados con sistema a bordo de control de trenes.

Se tendrán dos conceptos de señales laterales identificados como señalización de espaciamiento y señalización de maniobras, la primera mantendrá la seguridad en la vía normal y la segunda en las zonas equipadas con aparatos de

cambio de vía. La implantación de señales de ambos conceptos, así como el tiempo de respuesta y procesamiento de todo el sistema de señalización garantizará un intervalo mínimo de 4 minutos entre trenes en toda la Línea, es decir en ambas terminales, estaciones intermedias, así como en los tramos inter-estaciones.

Las comunicaciones o escapes entre vías se controlarán mediante el uso de accionamientos de aguja eléctricos o hidráulicos, cuyo movimiento y alimentación será controlado por los enclavamientos acorde a la formación de itinerarios. Los accionamientos de aguja incluirán comprobadores que permitan conocer su posición actual.

### **4.3. Sistema de control de trenes**

La circulación de trenes en la Línea Toluca – Valle de México deberá realizarse de un modo seguro evitando que en todo momento y en cualquier circunstancia se acerquen a situaciones de peligro y, en caso necesario detener el tren con antelación suficiente para evitar alcances o descarrilamientos. Para lograr este objetivo es necesario un Sistema de Control de Trenes que cumpla con los requerimientos de calidad y gestión de la seguridad.

Todas las partes vitales del Sistema deberán estar diseñadas para permitir el funcionamiento en aplicaciones donde se requiere un nivel de integridad de Seguridad SIL4.

El Sistema de Control de Trenes tendrá como función:

- Proteger los movimientos de los trenes
- Prevenir que un tren rebase una señal al rojo
- Controla la velocidad del tren
- Avisa con antelación suficiente al conductor.
- Activa los frenos de emergencia en caso de peligro.

El sistema ATP (Protección Automática de Trenes) propuesto para la Línea Toluca – Valle de México estará compuesto por dos subsistemas:

- Equipos instalados en los trenes
- Equipos instalados en las vías.

Sus requerimientos son:

- Contar con señalización lateral
- Tener comunicación vía-tren.
- Detección de vía libre

El ATP del subsistema a bordo recibe de los equipos fijos de vía información acerca del estado de la señalización, estos mensajes son de información vital para las funciones de protección del tren.

El ATP a bordo, siendo este de seguridad intrínseca, permitirá llevar el control de los movimientos del tren proporcionando la información de manera visual al operador.

El sistema permitirá:

- Calcular las curvas de frenado y los perfiles de velocidad
- Calcular la velocidad real permitida
- Previene el exceso de velocidad (sobre velocidad)
- Controla el frenado y acciona el freno de servicio o el freno de emergencia en casos de peligro

Dada el requerimiento de 4 minutos de intervalo mínimo de explotación, se analizará la conveniencia de incluir funcionalidades ATO en la conducción del tren.

#### 4.4. Puesto de Control Central (PCC)

La operación de los distintos sistemas del Tren Toluca – Valle de México se coordinará desde un Puesto de Control Central (PCC), especialmente en situaciones de emergencia o contingencia. El PCC se ubicará en un edificio próximo a la línea y será el punto de concentración de información acerca del estado de funcionamiento de los sistemas y el control de tráfico así como el punto de emisión de órdenes, mandos y toma de decisiones. Por tanto, todas las redes de comunicación e información llegarán a este edificio.

La gestión de la operación y de la regulación del tráfico será realizada por operadores, los cuales dispondrán de puestos de operación equipados con sistemas informáticos del tipo Mando Centralizados orientados a la supervisión y control de todas las instalaciones de la línea. Se desplegará a lo largo de la línea una red de dispositivos PLC y aplicaciones SCADA responsables de la captación de información acerca de estados y alarmas de todos los sistemas y al envío de las órdenes de control generadas por los operadores o de forma automática por las aplicaciones.

Para la línea del Tren Toluca – Valle de México se prevé establecer los siguientes perfiles de operador:

- **Supervisor de Línea.** Es el responsable de la operación de la línea y la coordinación de todos los operadores del Puesto de Control. Como tal debe tener el control y el acceso a toda la información referente a lo que está pasando en la línea así como en el Puesto de Control. El supervisor dispondrá de todas las funcionalidades disponibles para el resto de operadores.
- **Regulador de Tráfico.** Responsable de supervisar la circulación de trenes en vía general así como la inyección / extracción de trenes a Talleres y Depósitos. Se responsabilizará de supervisar y coordinar las maniobras de trenes en vía general fruto de la aparición de situaciones de circulación en modo degradado.
- **Regulador de Energía.** Responsable de supervisar el sistema eléctrico de transformación y distribución de media tensión así como el sistema de tracción eléctrica. Este perfil se responsabilizará de realizar las maniobras sobre los sistemas eléctricos que sean requeridos bajo consignas de operación y mantenimiento.

- **Operador de Estaciones:** Responsable de la supervisión y el correcto funcionamiento de los siguientes sistemas de estación: Electromecánicos (ascensores, escaleras mecánicas, bombas de achique, etc...), Baja Tensión, Alumbrado y Boletaje.
- **Operador de Seguridad:** Se responsabiliza de la supervisión de los sistemas de seguridad y emergencia de estaciones, túnel e interior de los trenes, que se enumeran a continuación: CCTV, Control de Accesos, Ventilación mayor, detección y extinción de incendios.
- **Centro de Atención e Información al Usuario.** La función de este centro es fundamentalmente la de atender e informar al usuario y está formado por los siguientes perfiles de operador:
  - **Operador de Interfonia:** Se responsabiliza de atender las llamadas de información procedentes de los interfonos de estaciones o del interior de los trenes por parte de los usuarios de la línea así como la supervisión del estado de funcionamiento. En el caso de llamadas con carácter de emergencia, estas son redirigidas al Operador de Seguridad.
  - **Operador de Voceo y Teleindicadores:** Se responsabiliza de la difusión de mensajes de interés para los usuarios de la línea a través de las plataformas de difusión de información existentes así como la supervisión del estado de funcionamiento.

El número de puestos de operador vendrá determinada por las necesidades operativas de la línea.

En el Puesto de Control Central se instalará pantallas gigantes tipo videowall para permitir un ágil intercambio de información entre operadores y dada su criticidad se procederá a la redundancia de los sistemas y equipos más importantes como por ejemplo la red de comunicaciones local o la granja de servidores y aplicaciones críticas.

Adicionalmente se plantea incluir como parte del Puesto de Control Central las siguientes salas de propósito específico:

- Centro de Procesado de Datos o CPD.
- Sala de Mantenimiento
- Sala de Simulación

- Sala de Formación
- Sala de Crisis

#### **4.5. Sistema de Comunicaciones**

Los subsistemas de comunicación dentro de un entorno ferroviario son herramientas importantes para lograr el objetivo de una eficiente operación.

En el Caso de la línea de Ferrocarril Toluca – Valle de México el sistema proporcionará una comunicación segura y eficiente para la coordinación de trabajos y el envío de información necesaria en el instante y lugar requerido.

El desglose de los subsistemas a utilizar en el Ferrocarril Toluca – Valle de México lo podemos sintetizar de la siguiente forma:

- Radio Comunicación Digital (red de telecomunicación móvil):

Por medio de este sistema se coordinarán las instrucciones de operación de la marcha de los trenes entre los conductores de los trenes y los reguladores del Puesto Control Central y Puesto de Control de Patio y Talleres.

Así mismo este sistema permitirá el intercambio de información entre los sistemas embarcados del tren y los sistemas en tierra, permitiendo disponer de una comunicación bidireccional continua.

Dada su importancia, este sistema se basará en tecnologías de radio digital de alta robustez y fiabilidad, proporcionando de forma especial redundancia de cobertura a lo largo de toda la traza de la línea.

- Telefonía:

Tendrá como objetivo lograr la comunicación entre los aparatos telefónicos distribuidos a través de la línea, Edificio de Control y Zona de Patio y Talleres, así mismo permitirá la comunicación con la Red Pública a través de un enlace especial. Permitiendo la emisión y recepción de llamadas externas. El subsistema de telefonía está basado en Voz sobre IP de forma que los aparatos telefónicos podrán comunicarse entre sí, haciendo uso de la infraestructura de la Red de Multiservicios prevista.

- Interfonia:

Se desplegará en estaciones y en el interior de los trenes de una red de interfonos IP, destinados a proporcionar un canal de comunicación directo entre los usuarios y el operador de la línea de Ferrocarril Toluca – Valle de México. En función de la zona se implantará interfonos de atención informativa o interfonos de atención a emergencias, llegando a dar la posibilidad de combinar ambos interfonos. Como mínimo se deberán instalar interfonos en las siguientes ubicaciones: vestíbulos, ascensores, andenes, accesos e interior de los trenes.

- Grabación por Voz:

Este subsistema realizará las grabaciones de las comunicaciones de voz que atañen directamente la operación de la línea del Tren Toluca – Valle de México y principalmente las que son establecidas desde los puestos de regulación del Edificio de Control ya sean vía telefónica o por la radio comunicación.

La activación del equipo central de grabación de voz será por la misma voz de las comunicaciones y realizar la grabación de las mismas.

El equipo de grabación de voz estará basado en tecnología digital y tendrá la capacidad de grabar por un tiempo mínimo a determinar, contando con discos de respaldo.

- Sonorización y Voceo:

El objetivo de este subsistema es el de proporcionar a los usuarios de la línea del Tren Toluca – Valle de México información en tiempo real o grabada acerca de la circulación de trenes así como acerca de cualquier otra información que pueda ser de su interés durante el tiempo de trayecto.

Este sistema también será utilizado como sistema de apoyo a los sistemas de emergencia en el caso de necesitar proceder a la evacuación de una estación o de un tren.

La emisión de los mensajes se realizará principalmente desde el Edificio de Control aunque también se habilitarán puestos de emisión de ámbito local en Estaciones, Puesto de Control de Talleres o cabinas de conducción.

Se prevé la emisión de voceos en andenes y vestíbulos de estaciones, talleres, patios y depósitos así como en el interior de los trenes.

- Teleindicadores:

El objetivo de este subsistema es el de proporcionar a los usuarios de la línea del Tren Toluca – Valle de México información en tiempo real acerca de la circulación de trenes así como acerca de cualquier otra información que pueda ser de su interés durante el tiempo de trayecto.

La emisión de los mensajes se realizará desde el Edificio de Control, pudiendo emitir los mensajes en andenes y vestíbulos de estaciones así como en el interior de los trenes.

- Reloj de sincronía:

El objetivo de este subsistema es la difusión y la sincronización del tiempo (hora y fecha) a los subsistemas de comunicaciones y a los subsistemas de las especialidades electromecánicas, así mismo se debe desplegar el tiempo (hora y fecha) en los relojes de los andenes de las estaciones, Edificio de Control, trenes y zonas de interés dentro de las instalaciones. Utilizará también la Red Multiservicios prevista.

- Equipo de Circuito Cerrado

El objetivo de este subsistema es brindar apoyo a las labores de vigilancia y seguridad a lo largo de la Línea del Tren Toluca – Valle de México, este contará con centros de monitoreo centrales (Edificio de Control) o locales (Estaciones y Talleres) que permitirán observar en tiempo real lo que ocurre en la línea y quedando el almacenamiento de esta información para revisiones futuras de forma que se pueda verificar como sucedió algún incidente y como fue manejado por el personal operativo.

Este subsistema estará basado en tecnología IP de forma que desde el puesto central será posible acceder a las diferentes cámaras distribuidas a lo largo de la línea. Como parte de la infraestructura se instalarán cámaras fijas y de móviles que además de ser monitoreadas podrán ser controladas de forma remota desde el centro de monitoreo.

- Control de Accesos

Este subsistema tendrá como objetivo garantizar el acceso controlado a locales técnicos y áreas restringidas por parte del personal autorizado. Para ello se optará por un sistema de detección de tarjetas inalámbricas inteligentes y controladoras de puertas basadas en protocolo IP. Se instalará un terminal de gestión y configuración en el Puesto de Control Central que permitirá configurar los permisos de accesos así como monitorizar el estado del sistema y detectar posibles actos de intrusión.

- Red de Nivel Físico

Se procederá al tendido a lo largo de toda la traza de la línea de cableado de fibra óptica destinado al transporte de los distintos servicios de telecomunicaciones y seguridad. Se desarrollará una topología en anillo y redundante con acceso de fibra óptica en todas las estaciones, talleres y depósito y Puesto de Control Central.

A nivel de estaciones, talleres y depósito y Puesto de Control Central se procederá a la implantación de un sistema de cableado estructurado que permita la conexión de todos los dispositivos electrónicos a la red de área local de datos.

- Medio de Transmisión de Datos

Este subsistema que consiste en una Red de Multiservicios, proporcionará conectividad a los diversos subsistemas, brindando una alta disponibilidad, redundancia y confiabilidad.

Esta red será la encargada de interconectar todos los subsistemas y elementos que requieran contar con un flujo de datos, voz o video dentro de la línea del Tren Toluca – Valle de México.

#### **4.6. Talleres y Depósito**

Las tareas de mantenimiento menor y mayor de trenes así como el estacionamiento de la flota de trenes y vehículos de mantenimiento de vías se realizan en los Talleres y Depósito. Se prevé la construcción de unos Talleres y Depósitos, cuyo emplazamiento está pendiente de determinación, aunque preferentemente se plantea su ubicación en

uno de los dos extremos de la línea. Los Talleres y Depósitos funcionalmente se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

- **Patio de vías:** El peine de vías da acceso a los trenes a las naves y zonas de depósito. Es el sitio donde se distribuyen y se desarrollan las diferentes maniobras de la operación de los talleres, de acuerdo al proyecto operativo.
- **Torre de maniobras:** Es el área donde se controla el movimiento de los trenes en la zona de peines a los Talleres y Depósitos, deberá tener una cobertura visual total, deberá contar con un local técnico, un tablero de Control óptico, una cabina de control, baños y área para vestidores, considerando que es un área desde la cual se controla la operación de trenes en el peine y las naves deberá contar con los diseños del mobiliario que se necesite, dependiendo del equipo que se instale, asimismo será importante que el diseño de los espacios considere las áreas ergonómicamente diseñadas.
- **Depósito:** Es el área donde se estacionan los trenes cuando están fuera de servicio y debe contar con los siguientes elementos: andadores para los conductores, con las dimensiones adecuadas para que tengan seguridad, pasos de emergencia, para vehículos de bomberos o ambulancias, ligados a las vialidades circundantes y locales de aseo para la limpieza profunda de los trenes que tendrán espacio suficiente para dos tarjas cada uno y un local para guardar productos de limpieza y contará además con cajas de arena como tope de vías, una en cada vía.
- **Nave de Mantenimiento Menor:** Es la nave donde se le da mantenimiento a los trenes en forma periódica. Deberá contar con Fosas de Revisión para los trenes, el número y dimensiones de cada una de ellas, dependerá del Proyecto Operativo, andadores con las dimensiones adecuadas para que circule de forma segura el personal y el equipo (montacargas, equipo de montaje y desmontaje de pantógrafos) y contará con una vía de lavado, Fosa de Sopleteado, Locales Técnicos, Oficinas Administrativas, almacenes de refacciones, baños y todos los demás requerimientos que fijen los programas de mantenimiento y que serán diseñados basados en las dimensiones adecuadas de acuerdo a la ergonomía del personal.
- **Vía de lavado de trenes y máquina lavadora:** Es la Zona donde se hace el Lavado exterior de los Trenes. Contiene la maquina lavadora y su local de controles y planta de recuperación de agua. En esta vía se ubicará la máquina de lavado de trenes, a la entrada de la nave de mantenimiento menor, donde estará ubicada la máquina de lavado de trenes.
- **Vía de sopleteado:** Vía donde estará ubicada la cámara de sopleteado cuyo trabajo será eliminar el polvo adherido a las partes bajas de los trenes.
- **Nave de Mantenimiento Mayor:** Es el área donde se presenta mantenimiento general y total a los trenes y se integra por cuatro zonas, que son: Zona de Cajas, de Bogies, de Reserva, Oficinas Administrativas y

Locales Técnicos, almacén y baños, deberá contar con grúas viajeras polipastos, cuya capacidad la definirá el peso que tenga el equipo más pesado del material rodante. Sus áreas estarán dimensionadas con los espacios adecuados para que el equipo y el personal trabajen con seguridad.

- **Taller de Vías y Nave de Vehículos Auxiliares:** Es el área donde se estacionan y reparan los vehículos que sirven para proporcionar un mantenimiento programado de las vías.

#### 4.7. Sistema de boletaje

La tecnología que se considera utilizar para el subsistema de boletaje es la basada en la utilización de tarjetas sin contacto que permita a los usuarios adquirir fácilmente los títulos de transporte, validar el viaje y trasladarse a su destino pagando solo el importe de este viaje; así como el equipamiento considerado en las estaciones como son los torniquetes bidireccionales de entrada y de salida con validadores de tarjetas, los cuales validarán el viaje y en base al recorrido que hagan los usuario se podrá descontar el costo del recorrido desde las tarjetas sin contacto. Así mismo se considera la utilización de barreras de acceso para minusválidos para entrada y salida de las estaciones y bajo el mismo principio de funcionalidad que los torniquetes.

Se dispondrá de terminales de venta de tarjetas y recarga en taquilla, máquinas exclusivamente para la recarga de tarjetas, máquinas de venta de tarjetas y recarga de las mismas, terminales portátiles para recarga de tarjetas, validación y cancelación, así como la expedición de los comprobantes impresos de cada transacción realizada.

Las tarifas de los títulos de transporte deberán estar a la vista de los usuarios en los accesos de las estaciones y en las terminales, tanto en las taquillas como en los puntos de venta con máquinas automáticas.

Dentro de la arquitectura del subsistema de boletaje, se contempla un sistema de administración central de control, gestión y supervisión, concentradores de estación, redes de comunicación local del propio subsistema, interconexión con la red de multiservicios de la línea del Tren Toluca – Valle de México y un sistema de respaldo de energía eléctrica.

El sistema tendrá suficiente flexibilidad para permitir la creación de distintas modalidades de tarifa, como por ejemplo sistemas Cerrado-Abierto o Cerrado-Cerrado o Tarifa Diferencial. Se analizará la posibilidad de integrar el sistema tarifario de la línea con otros sistemas de transporte, a fin de permitir la integración tarifaria.

## 5. MATERIAL RODANTE

Se indican a continuación las características y dimensiones generales que deberá cumplir el material rodante para la línea Toluca-México: La flota inicial será de 20 trenes, conformadas por Unidades Múltiples Eléctricas de 3 0 más carros,

### Ejemplos de trenes

Las unidades permitirán una alta adaptabilidad y modularidad con el fin de adaptarse con precisión a las necesidades de los operadores y de los pasajeros.



## **6. VIABILIDAD TÉCNICA**

En este apartado se analiza la viabilidad técnica de las principales actividades que nos encontramos en el proyecto, tanto desde el punto de vista de dificultad tecnológica como desde el punto de vista de volumen de obra y capacidad productiva en el plazo de obra.

Las citadas actividades son:

- Viaductos prefabricados y Viaductos especiales
- Túnel
- Sistema de electrificación
- Sistemas de señalización y comunicación

### **6.1. Viaductos prefabricados y viaductos especiales**

El proyecto del tren interurbano México-Toluca cuenta viaductos prefabricados

Para el proyecto del tren interurbano México-Toluca se desarrollará una solución semejante a la del proyecto bicentenario pero con algunas variantes. En este aspecto, el país cuenta con grandes constructoras (ICA, OHL, TRADECO, CARSO, etc.) con capacidad técnica, organizativa y financiera suficiente para acometer esta obra.

Además, la república cuenta con subcontratistas muy especializados en prefabricación y en pretensado (Mexpresa, Freyssinet, VSL, TECSA, etc...) que disponen de los medios auxiliares necesarios ya sean grúas móviles o vigas lanzadoras.

La capacidad técnica de las empresas constructoras y de los subcontratistas especializados ha quedado probada en obras de renombre mundial como es el viaducto Baluarte.

Para los viaductos especiales se emplearán con toda probabilidad dos tipologías de puentes muy conocidas en el mundo:

- Puentes de doble voladizo para claros.
- Puente continuo, construido vano a vano sobre cimbra autolanzable.

No se han diseñado demasiados puentes construidos con cimbra autolanzable (MSS Movable Scaffolding System) en México pero son de amplio uso en líneas de ferrocarril en Europa.

## 6.2. Túnel y túnel artificial

En el proyecto del tren interurbano Ciudad de México-Toluca está prevista la ejecución de un túnel que permita atravesar la Sierra de Las Cruces.

La rigidez de un trazado ferroviario exige que en terrenos montañosos se recurra a la construcción de túneles en un grado mucho mayor que otras infraestructuras de transporte. De esta forma, este tipo de solución mediante túnel es la más habitual para atravesar las zonas de orografía complicada a lo largo del trazado de un ferrocarril.

La longitud del túnel supone que pueda diseñarse tanto con sección bitubo de vía única como con sección monotubo con vía doble. Por motivos de seguridad, para túneles de una longitud mayor de 5.000 metros suele recurrirse a secciones bitubo de vía única con galerías de conexión entre ambos cada 200 ó 300 m, dependiendo de las normativas. Este tipo de diseño permite impedir choques causados por descarrilamiento o cargas desplazadas, facilita la evacuación y actuación de los equipos de intervención a través del tubo no incidentado y favorece la ventilación longitudinal.

De cualquier manera, la longitud del túnel proyectado también permite estudiar la posibilidad de una solución monotubo con vía doble y salidas de emergencia al exterior cada 750 m.

La construcción de túneles ferroviarios de estas características es, por tanto, muy frecuente y existen numerosas empresas constructoras con capacidad para poder ejecutar la obra proyectada con garantías de éxito.

### **6.3. Sistema de electrificación**

Desde el punto de vista de electrificación, el proyecto es totalmente viable, debido a las siguientes razones:

1.- La electrificación de la línea será a una tensión normalizada por las normas vigentes, en concreto, la norma CEI 60850, Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de sistemas de tracción. De esta manera se garantiza la compatibilidad con el material rodante existente en el mercado, y con los equipos de tracción necesarios en instalaciones fijas: transformadores de tracción, rectificadores, etc.

2.- Un punto importante a tener en cuenta es la factibilidad de servicio para las nuevas acometidas necesarias para la electrificación, y en particular, para las subestaciones de tracción. Desde este punto de vista, conviene recordar que el trazado une las ciudades de Toluca y México DF, zonas densamente pobladas, y que a lo largo del trazado existen 4 estaciones próximas a núcleos urbanos. En consecuencia, la red eléctrica en los alrededores del trazado se encuentra suficientemente desarrollada, de forma que la factibilidad de servicio puede considerarse garantizada. Además, existen infraestructura eléctrica de muy alta tensión que discurre paralelo al trazado propuesto.

3.- En cuanto a los suministros eléctricos a estaciones, al encontrarse en núcleos urbanos, su suministro eléctrico será factible desde la red de media tensión existente. Únicamente para el caso del túnel, que se encuentra alejado de los cascos urbanos, su suministro eléctrico puede requerir acometidas en media tensión algo más largas, pero que en ningún momento puedan comprometer, ni por su coste ni por su dificultad técnica, la viabilidad del proyecto.

4.- Analizando el conjunto de la línea, y desde el punto de electrificación, visto el material rodante que circulará y los intervalos máximos entre trenes la demanda total de potencia en hora pico se encuentra dentro de los márgenes normales para una línea de esta longitud (60 km).

5.- Por último, el objetivo del proyecto es contratar el suministro eléctrico en alta tensión, con el objeto de minimizar los costes de operación (facturación eléctrica), lo cual es un aspecto más que contribuye a la viabilidad del proyecto.

#### **6.4. Sistemas de señalización y comunicaciones**

En lo que a los sistemas de comunicaciones se refiere, las distancias entre estaciones hacen completamente viable una red de transporte de comunicaciones soportada sobre una infraestructura de fibra óptica que discurrirá por el propio viaducto y el túnel, con tecnologías IP puras o MPLS. Los demás sistemas de comunicaciones fijas se transportaran por dicha red.

La red radio para los sistemas de banda estrecha, banda ancha y señalización podrá necesitar de algunos emplazamientos específicos fuera de las estaciones, en los tramos inter-estación más largos, para ubicar estaciones base que se proyectarán también a lo largo del trazo de la línea.

#### **6.5. Sistemas electromecánicos de emergencia**

Los sistemas electromecánicos de emergencia, básicamente ventilación en túnel, no comportan ningún problema y se pueden resolver con tecnologías convencionales dadas las cortas longitudes de los túneles previstos.

Existen experiencias de líneas de similares características en España, Francia, Reino Unido, Alemania, Italia, China o Japón, por enumerar algunos países.