



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**La normativa de aplicación
para trenes de pasajeros en
el proyecto del Tren Maya**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Víctor Hugo Alarcón Rodríguez

ASESORA DE INFORME

Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Índice

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO	5
1 PANORAMA GENERAL	5
2 DESCRIPCIÓN	6
3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	7
4 FUNCIONAMIENTO	9
4.1 Vía troncal y estaciones	9
4.2 Talleres y cocheras	10
4.3 Base de mantenimiento	10
5 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN	11
5.1 Vía en placa	11
5.2 Vía en balasto	12
5.3 Elementos de la vía del Tren Maya	13
5.3.1 Balasto	13
5.3.2 Escantillón	14
5.3.3 Riel	14
5.3.4 Durmientes	15
5.3.5 Fijaciones	17
5.3.6 Aparatos cambio de vía	19
5.3.7 Aparatos de dilatación	20
5.3.8 Elementos elásticos	22
5.3.9 Toperas	24
5.3.10 Descarriladores	25
5.3.11 Soldaduras	26
5.4 Métodos de construcción	27
5.4.1 Método tradicional	27
5.4.2 Método por escaleras	30
5.5 Liberación de tensiones	31
5.5.1 Medición de la temperatura	31
5.5.2 Métodos de liberación de tensiones	33
6 DERECHO DE VÍA	33

7	MATERIAL RODANTE	34
7.1	Perfil de rueda	35
8	PLAN OPERATIVO.	36
9	NORMATIVA DE APLICACIÓN	37
9.1	Normas Mexicanas	37
9.2	Normas de ferrocarriles de carga	38
9.3	Normas europeas de ferrocarriles de pasajeros	38
10	ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA NUEVAS NORMATIVAS MEXICANAS DE PASAJEROS.....	41
11	CONCLUSIONES	46
11.1	Conclusiones generales	46
11.2	Conclusiones particulares.....	48

INTRODUCCIÓN

En México, el sector ferroviario de pasajeros tiene poco impacto en el campo de la ingeniería civil, teniendo solo ferrocarriles de carga y los pocos transportes de pasajeros que hay se limitan a sistemas metropolitanos tales como el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México, MiTren del Sistema Metropolitano de Transporte de Guadalajara y el Metrorrey de Monterrey.

Hay otros sistemas de transporte ferroviarios aislados, tales como el Tren Ligero de los Servicios de Transportes Eléctricos, el cual es un tranvía de acuerdo con las clasificaciones de los ferrocarriles y solo se tiene una línea en operación.

Ferrocarriles Suburbanos, es un sistema de transporte de pasajeros cuyo sistema opera con una única línea desde Buenavista a Cuautitlán, De acuerdo a las tipologías de los ferrocarriles, este sistema se cataloga como tren de cercanías. Este sistema actualmente se encuentra en proceso de expansión, construyéndose un ramal en el sistema uno, partiendo de la estación Lechería al Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA), y con el inicio de operaciones del Tren México-Toluca como el sistema 2.

Así mismo, hay servicios de pasajeros operados por las actuales concesionarias que utilizan las vías férreas de los extintos Ferrocarriles Nacionales de México, como el Tequila Express y el Chepe (Ferromex), o el servicio turístico del tren El Mexica (CPKC México).

Con este breve panorama sobre el sector ferroviario de pasajeros en el país, se constata que son pocos los sistemas en operación y, en consecuencia, el poco conocimiento sobre la anatomía de dichos sistemas, en especial, la normativa que se puede aplicar para el diseño y operación de estos sistemas ferroviarios.

En años anteriores, a mitad del siglo XX, se tenía un amplio conocimiento en sistemas de transporte ferroviarios de pasajeros, debido a que era el principal medio de transporte de personas por todo el territorio nacional. Se contaba con normativa mexicana vigente que se aplicaba a la red ferroviaria de los antiguos FNM.

En el presente documento, se expone la estructura, procedimiento, normas y códigos que se han aplicado durante todo el proyecto del Tren Maya. Este proyecto es el más grande en materia ferroviaria que se está ejecutando actualmente en los últimos 100 años en México y en América Latina.

Se hace especial énfasis en la normativa de aplicación con la que cuenta el proyecto, esto con el fin de exponer la mezcla que se tiene entre normas de ferrocarriles de carga, normas mexicanas que aún quedan vigentes en materia ferroviaria y normas europeas de ferrocarriles de pasajeros, así como la importancia de iniciar con la redacción de nuevas normas de ferrocarriles de pasajeros que sean 100% aplicables en México a través del procedimiento de construcción que se está llevando a cabo en las vías del Tren Maya.

OBJETIVO

Los objetivos generales del presente documento son:

- Exponer la implementación de las diferentes normativas en el proyecto del Tren Maya mediante el procedimiento constructivo de las vías férreas de dicho proyecto.
- Mostrar los tipos de normativas que se han utilizado de acuerdo con los elementos que conforman a las vías férreas (normativas de ferrocarriles de carga y de ferrocarriles de pasajeros).
- Explicar la importancia y oportunidad que actualmente se tiene en el sector ferroviario para la redacción de nuevas normativas de ferrocarriles de pasajeros.
- Describir como se debe iniciar la redacción de un nuevo marco normativo para la construcción de vías de ferrocarriles de pasajeros para poder tener una actualización en cuanto a avances tecnológicos y nuevas técnicas de construcción y mantenimiento.

Mientras que, los objetivos particulares son:

- Exponer este trabajo como evidencia de la experiencia profesional que se ha adquirido en el sector ferroviario dentro del proyecto del Tren Maya en el área de construcción de vías de ferrocarril.
- Obtener la aprobación del presente documento para obtener el título de Ingeniero civil mediante la modalidad de experiencia profesional.

1 PANORAMA GENERAL

Durante más de 100 años, el principal medio de transporte para personas en México fue el ferrocarril. Todo inició con la línea de ferrocarril México-Veracruz operada con capital inglés en el año de 1873, siendo la primera línea ferroviaria para transportar las mercancías que provenían de Europa y que llegaban al puerto de Veracruz hacia la Ciudad de México, así como el principal medio de transporte de personas.

A partir de ahí, varias rutas más se construyeron. Por cada línea construida se conformaba una nueva empresa de transporte, teniendo como resultado cientos de empresas que operaban toda la red de ferrocarriles. Fue hasta 100 años después, el 23 de junio de 1937, cuando el presidente Lázaro Cárdenas decretó la nacionalización de los ferrocarriles creando la empresa paraestatal Ferrocarriles Nacionales de México (N de M hasta 1982, después FNM).



Figura 1.1. Evolución de la imagen de Ferrocarriles Nacionales de México (1937-2001). Adaptado de: Grupo de Facebook. Imagen de FNM. FNM (Ferrocarriles Nacionales de Mexico. Facebook. doi: <https://www.facebook.com/groups/216879915152834/?ref=share&mibextid=NSMWBT>

El fin de operaciones de esta empresa paraestatal ocurrió a finales de la década de los noventa, disolviendo y fragmentando la red ferroviaria nacional y ofertando esos fragmentos de vías a empresas privadas para su operación de carga, creando concesiones.

La principal oferta de Ferrocarriles Nacionales de México fue el transporte de pasajeros por más de 60 años, fue hasta en el año 1998 cuando se realizó el último viaje de pasajeros en la Ciudad de México, de la estación Buenavista a Cuernavaca, y en el año 2001, en la línea del sur de Oaxaca a Tehuacán, Puebla.

20 años después, los trenes de pasajeros vuelven con fuerza a México con el proyecto del Tren Maya, apostando al renacimiento de los trenes de pasajeros en México dándole la modernidad y la evolución tecnológica que se adapte a la época actual.

2 DESCRIPCIÓN

El Tren Maya es la obra ferroviaria más grande de los últimos 100 años en México, pues además de ser un proyecto de infraestructura del transporte, es un proyecto de ordenamiento territorial e impulso económico de la zona.

Será un tren de funcionamiento mixto, con 90% para transporte de pasajeros y 10% para transporte de carga, considerando en su diseño la circulación de material rodante de pasajeros y de carga.

Los trenes utilizados serán de rodadura férrea, trenes constituidos de 7 vagones para servicio regular y 4 vagones para el servicio de lujo.



Figura 3.1 Estructura de ejecución del proyecto en fase de supervisión, proyecto ejecutivo y acompañamiento técnico.

El organismo público encargado de la obra es el Fondo Nacional de Turismo (FONATUR), con asistencia de la Secretaría de Comunicaciones, Infraestructura y Transportes (SICT), mientras que la operadora del Tren Maya será la Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA), mediante la empresa Tren Maya S.A de C.V.



Figura 3.2 Organismo a cargo del proyecto del Tren Maya 3 Adaptado de: Gobierno de México. Tren Maya. (julio, 2023). doi: <https://www.gob.mx/trenmaya>.

4 FUNCIONAMIENTO

El Tren Maya tendrá un funcionamiento mixto (transporte de pasajeros y transporte de carga a fábricas e industrias de la región), siendo el transporte de pasajeros el que será priorizado, teniendo un 90% de circulaciones al día, mientras que, para el transporte de carga será de un 10% de circulaciones.

Se refiere a que será mixto dado a que el material rodante que circulará por las vías del Tren Maya será de dos clases:

- Material rodante de pasajeros de alta velocidad (velocidad de diseño: 160 km/h).
- Material rodante de vagones de carga y locomotoras de alto poder de arrastre. (velocidad de diseño: 100 km/h)

Estos dos tipos de material rodante son imperantes en el diseño del sistema de vías, pues la geometría de las ruedas entre uno y otro varía mucho de acuerdo con las cargas que se transmiten a través de las ruedas sobre las vías, el confort, la seguridad y la velocidad de diseño.

Cada uno de los tramos está integrado por tres elementos que pertenecen a la infraestructura del Tren Maya.

- Vía troncal y estaciones
- Talleres y cocheras
- Bases de mantenimiento

4.1 Vía troncal y estaciones

La vía troncal es el trazo principal del Tren Maya. Aquí es en donde se dará el servicio a los pasajeros y el transporte de carga. La vía troncal discurre principalmente sobre terraplén, sin embargo, debido a los estudios hidrológicos y geotécnicos, el tren discurre sobre viaductos en zonas inundables y en el caso del tramo 5 (Cancún, Puerto Morelos, Villas del Sol, Playa del Carmen, Xel-Ha, Puerto Aventuras y Tulum), en donde hay cenotes y cavernas de grandes dimensiones, así como protección ambiental de estas estructuras geológicas, también discurre sobre solución de viaducto.

Las estaciones forman parte de la vía troncal, sin embargo, algunas de ellas tendrán una intermodalidad con transporte local, regional e incluso, internacional, tal es el caso de la estación Cancún, que tendrá conexión directa al aeropuerto de Cancún. Asimismo, las estaciones prestarán otro tipo de servicios como hotelería, restaurantes y servicios turísticos.



Figura 4.1 Construcción de la estación Cancún en Tramo 4 Adaptado de: Noticaribe Información y análisis desde la península maya (febrero. 2023). TREN MAYA: Cancún, sede del del edificio técnico operativo de la mega obra. Noticaribe peninsular. doi: <https://noticaribepeninsular.com.mx/tren-maya-cancun-sede-del-edificio-tecnico-operativo-de-la-megaobra/>

4.2 Talleres y cocheras

Los talleres y cocheras serán de uso exclusivo de los trenes de pasajeros, pues en estas instalaciones se hará el resguardo de los trenes que no estén prestando servicio, así como el mantenimiento preventivo y correctivo de los mismos. Se tiene previsto construir y tener en operación al menos una de estas instalaciones en cada tramo de todo el trazo del tren.

4.3 Bases de mantenimiento

Las bases de mantenimiento serán las instalaciones en donde se dispondrá de materiales de reserva, así como maquinaria para el mantenimiento de la vía férrea. Dentro de esta instalación se tendrán vías especiales para acopio y carga de balasto y rieles, una vía para el mantenimiento de los vehículos de mantenimiento y el resguardo de estos, tales como bateadoras, dresinas, perfiladoras de balasto, etc.

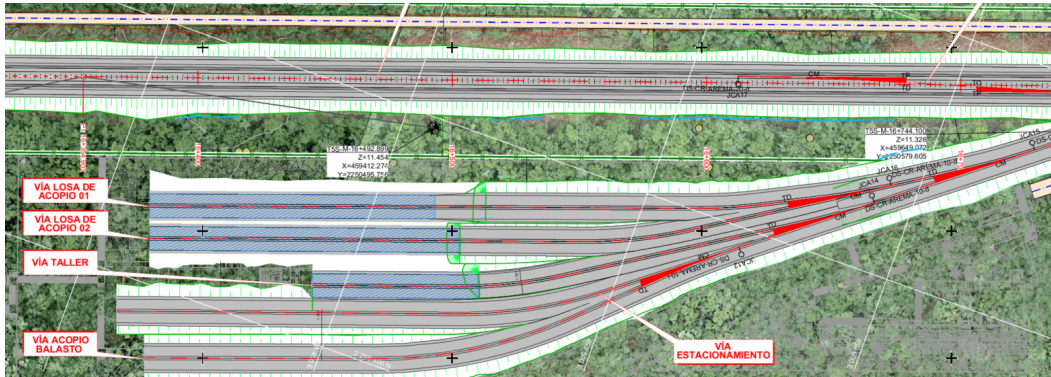


Figura 4.2 Planta general de la base de mantenimiento del Tramo 5 Sur. Adaptado de: Marco Antonio Sanchez. (31, mayo, 2023). Trazo y Geometría. [Planta Perfil km 16+000 al 17+000]. Tramo 5 Sur km=0+000 al 67+700 (P0M10187-A-00-030100-IFR-DRW-0028_04, 02_P0M10187-A-00-030100-IFR-WPK-0016). Control y archivo documental del proyecto ejecutivo del Tramo 5 Sur del Tren Maya.

5 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

El procedimiento constructivo que se lleva a cabo en el proyecto fue definido mediante un análisis y evaluación de los dos principales sistemas de vía:

- Vía en placa
- Vía sobre balasto

5.1 Vía en placa

La vía en placa se caracteriza por discurrir sobre una plataforma rígida de concreto, pues durante el colado de la losa de concreto, se deja la preparación para la instalación de las fijaciones y el ancho estándar de la vía, que es de 1435 mm

El costo de construcción es muy elevado, sin embargo, los costos de mantenimiento son mínimos, ya que la vía se mantendrá fija durante todo el tiempo de operación y no corre el riesgo de que sufra contaminación o desajustes como sucede con la vía sobre balasto.



Figura 5.1 Vía en placa en viaducto y terraplén del tren México-Toluca a la entrada del Bi-túnel, dirección Zinacantepec. (agosto 2023).

5.2 Vía en balasto

La vía sobre balasto, o vía sobre plataforma convencional es un sistema de vía, constituido por varias capas de material de alta calidad, balasto y durmientes que le dan estabilidad a la vía.

Los costos de construcción son menores, mientras que los de mantenimiento son mayores en comparación con la vía en placa, sin embargo, este procedimiento es más común de emplear dado que la disponibilidad de materiales es mayor.



Figura 5.2 Tendido de vía sobre lecho de balasto en Tramo 1 (Procedimiento constructivo por el método de escaleras). (octubre, 2023).

5.3 Elementos de la vía del Tren Maya

Al tratarse de una vía sobre balasto, los elementos que están considerados para el sistema de vía del Tren Maya son los siguientes:

5.3.1 Balasto

El balasto es el material granular pétreo de origen volcánico seleccionado que se coloca sobre la corona de la terracería, debajo y entre los durmientes. Su función es distribuir uniformemente las cargas transmitidas por el tren a las terracerías, estabilizar vertical, longitudinal y lateralmente a la vía y permitir mantener la calidad geométrica de la vía, mediante la nivelación y alineamiento, así como facilitar el drenaje.

De acuerdo con las especificaciones, el balasto deberá tener una granulometría que pase la malla de 76 mm (3 in) y deberá ser de origen volcánico, pues la dureza del material debe ser adecuada para soportar las vibraciones y cargas que se transmiten y que el desgaste del balasto sea mínimo.

Estos materiales se obtienen de bancos de materiales que son seleccionados mediante estudios geológicos y geotécnicos y en base a esos estudios se determina si la calidad del

material en estado natural es adecuada para su función, en este caso, que el material en estado natural sea de origen volcánico, que no haya sufrido meteorización y que sea adecuado para su trituración.

5.3.2 Escantillón

Es la distancia entre caras activas o internas de los hongos de los rieles. Se utiliza el ancho estándar internacional de $56 \frac{1}{2}$ in (1435 mm).

5.3.3 Riel

Perfiles metálicos que fungen como pista de rodamiento y direccionamiento del material rodante. Este deberá tener una geometría definida por la nomenclatura del perfil de riel, un peso por unidad de longitud y una dureza definida para que no se tengan desgastes prematuros.

La selección del riel se basa principalmente en el análisis de resistencia ante acciones que transmiten las ruedas de los ferrocarriles, así como la dureza que estos aportan para evitar desgaste. La dureza se mide en la Escala de Brinell (HB).

El riel seleccionado para el proyecto del Tren Maya es el riel de perfil 115 RE (115 lb/yd), de acero al carbón y de dureza Brinell 350 HB.

Cada perfil de riel tiene una longitud de fábrica de 80 pies (24.384 m), como longitud estándar de taller.



Figura 5.3. Perfil de riel 115 RE con mediciones de variación de perfil en teórico vs perfil real. Tramo 4 del Tren Maya (octubre, 2022).

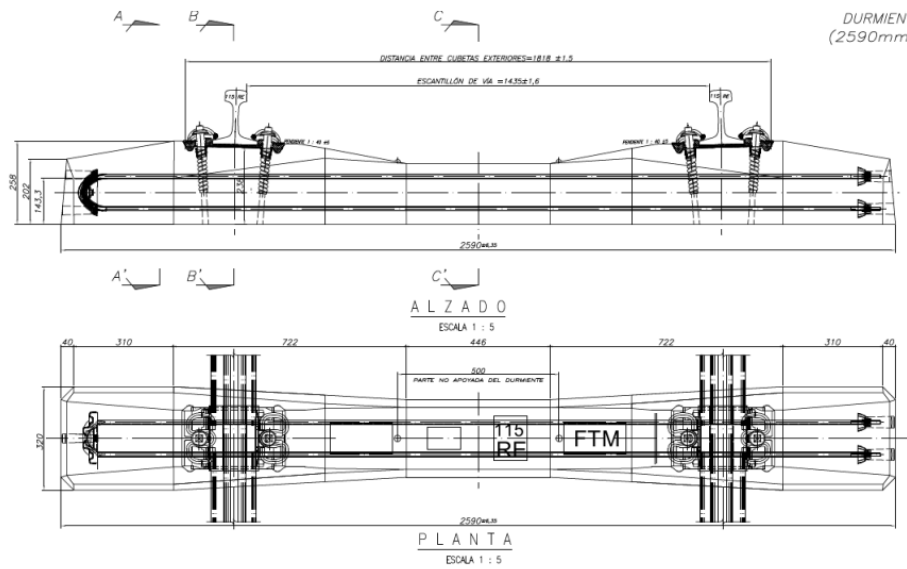


Figura 5.5 Detalle y geometría de durmientes de concreto monolítico postensados a utilizarse en vías del Tren Maya. Adaptado de: Jorge Cruz. (26, enero, 2023). Plataforma y vía. [Planta Detalle Durmiente con Suela Bajo Durmiente]. Tramo 2 Libramiento Ferroviario Campeche (TMPELFC-2-VA-VIA-PLA-1204 E00). Control y archivo documental del proyecto ejecutivo del Libramiento Ferroviario de Campeche del Tramo 2 del Tren Maya.

Los durmientes por utilizar en el Tren Maya son de concreto reforzado con acero de refuerzo pretensado o postensado. Serán de colado monolítico y deberán tener una geometría de tal forma que sean capaces de resistir las fuerzas actuantes por los rieles, los cuales son momentos actuantes y fuerzas cortantes.

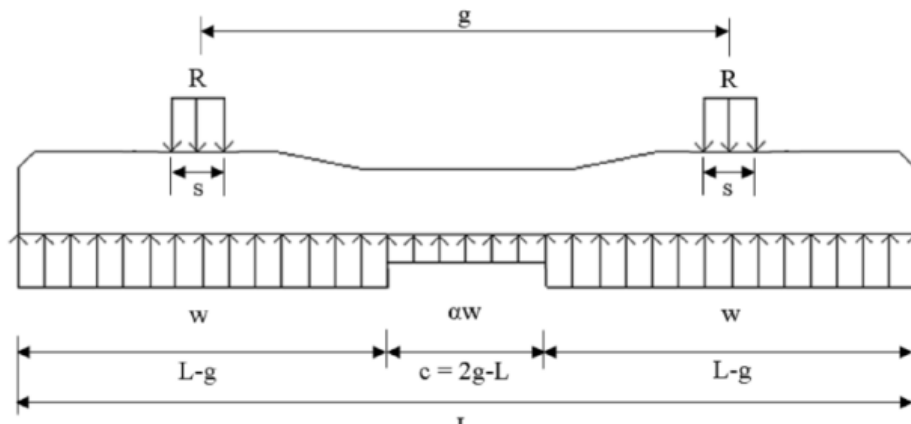


Figura 5.6 Fuerzas actuantes sobre el durmiente de concreto reforzado para su diseño, calculo y dimensionamiento. Adaptado de: Stephan Freudenstein Fasanenweg. (29, octubre, 2020). Plataforma y vía. [Dimensionamiento de los durmientes de conformidad con la especificación del durmiente TM-ICA para el <<Tren Maya>>]. Tramo 4 (2022-05-11_PE). Control y archivo documental de la supervisión del proyecto ejecutivo del Tramo 4 del Tren Maya.

Estos elementos, deberán tener en el área de descanso del patín del riel una pendiente del 2.5 % (1/40), ya que esto contrarresta las fuerzas que provocan que los rieles se salgan de su lugar y el escantillón se altere a lo largo de la traza.

Los durmientes se dispondrán en una distancia de 60 cm a partir de los ejes de simetría, esto con el objetivo de que el riel no tenga una deflexión. De acuerdo con el manual de la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA 2019), establece que se deberá permitir una deflexión mínima de 3 mm y máxima de 6 mm, esto se establece en base al análisis del riel como una viga simplemente apoyada, siendo los durmientes los apoyos.

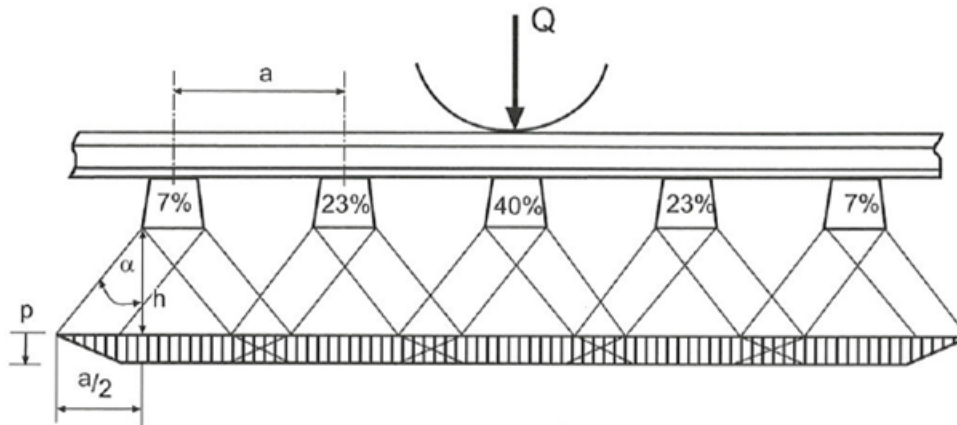


Figura 5.7 Análisis de cargas transmitidas a la superestructura de vía. Adaptado de: Miguel Angel Domínguez Sierra. (17, diciembre, 2021). Plataforma y vía. [Proyecto Ejecutivo de vía férrea. Plataforma y Vía. Avance de Memoria]. Tramo 5 Sur (TMPE-5S-VA-VIA-MEM-PVF-1100 Rev.06). Control y archivo documental de la supervisión del proyecto ejecutivo del Tramo 5 Sur del Tren Maya.

5.3.5 Fijaciones

Las fijaciones son conjuntos que, como su nombre lo indica, fijan el riel a los durmientes o a la superficie en donde se encontrará la vía, en el caso de la vía en placa, impidiendo que los rieles se salgan de su lugar alterando el escantillón y resistan las fuerzas producidas por el paso de los trenes.

Anteriormente, se usaban placas con clavos, cuando se trataban de durmientes de madera, posteriormente, se dio la evolución de tornillos roscados llamados tirafondos. Cuando los durmientes comenzaron a usarse de concreto, las fijaciones comenzaron a usar un elemento elástico debajo del riel y las fijaciones, evolucionaron usando un sistema de agarre, entre el riel y el durmiente, denominadas como sistema Nabla. Estas fijaciones son fijaciones del tipo rígidas.



Figura 5.8. Sistemas de fijación convencionales, a la derecha, clavos con placas y durmientes de madera, a la izquierda, fijación Nabla. Patios de maniobras de Ferrovial, Tlalnepantla, EdoMex (septiembre 2022).

Actualmente, son muy utilizadas las fijaciones elásticas, que son características por utilizar un clip de sujeción. Estas fijaciones son denominadas SKL tipo Vossloh. Estas fijaciones hacen que las cargas permitan que el riel tenga elasticidad, permitiendo más elasticidad al sistema global de la vía y se tenga menos desgaste por la rigidez. Las fijaciones antes descritas, rigidizaban demasiado la vía, por lo que provocaba que estos elementos necesitaran su remplazo constante y un mantenimiento en mayor frecuencia.

Las fijaciones empleadas para el Tren Maya son del tipo elásticas, pues estas fijaciones tienen la función de fijar el riel al durmiente, impidiendo que el riel se desplace transversalmente, así como darle elasticidad a la vía, permitiendo las deflexiones que se establecen en la AREMA en el rango de 3 - 6 mm.



Figura 5.9 Sistema de fijación elástica que se usa en la vía del Tren Maya. Tramo 1 Tren Maya, Tenosique, Tabasco (noviembre 2023)

5.3.6 Aparatos cambio de vía

Los aparatos cambio de vía tienen la función de dirigir al material rodante de una vía a otra, teniendo una configuración de sus componentes compleja para su funcionamiento.

Se clasifican en 3 tipos:

- Tipo 10
- Tipo 15
- Tipo 20

La principal diferencia entre estos aparatos es la longitud y el radio de curvatura. Estos aparatos son diseñados bajo normas europeas de ferrocarriles de pasajeros tales como Adif, UIC y UNE.

Para la vía troncal, se usarán aparatos tipo 15 y 20, ya que estos aparatos son diseñados para altas velocidades, mientras que, para los talleres, cocheras y base de mantenimiento, se usaran los aparatos tipo 10.

Los aparatos tipo 10 tienen un caso particular, pues dependiendo del uso que se les dará, es el diseño que estos tendrán. Si los aparatos son para talleres y cocheras, los aparatos serán regidos bajo diseño de la Adif y la UIC, ya que aquí circularan los trenes de pasajeros y cuya compatibilidad entre las ruedas y los aparatos es más adecuada, mientras que los aparatos para la base de mantenimiento serán diseñados bajo tecnología AREMA, esto dado que las ruedas que circularan en esa parte de la infraestructura serán de diferente configuración y geometría.

Se hace esta distinción en los aparatos tipo 10, ya que la diferencia entre un diseño y otro es el tipo de aplicación que se dará, pues si en un aparato circulara un tren de pasajeros, el tipo de uniones en el aparato deberán ser mediante soldadura y los parámetros de diseño deberán ser específicamente para material rodante de pasajeros, en cambio, si el aparato será para un material rodante de carga y vehículos de mantenimiento a la vía, el tipo de uniones será con tornillos y los parámetros de diseño, serán diferentes a los aparatos de transporte de pasajeros.



Figura 16. Aparato tipo 15 en fábrica de Mieres Rail en las pruebas e inspección de las pruebas FAT (Factory Accept Tests), Asturias, España. Fotografía de Adán M. Calvillo (noviembre, 2022). Documento 2022-11-23_Resultados pruebas FAT aparatos 15 y 20. Archivo documental de la supervisión del Tramo 2 del Tren Maya.

5.3.7 Aparatos de dilatación

Los aparatos de dilatación son dispositivos en el sistema de vía que se colocan en viaductos de gran longitud o a la entrada de estos mismos, pues su función es evitar que la vía se deforme por el movimiento que se genera por el sistema de apoyos que tenga el viaducto, teniendo un movimiento telescópico. Se conforma mediante un sistema de agujas y forjado de rieles de la vía general teniendo una libertad de movimiento longitudinal. Este movimiento se genera debido a que los rieles tienen un comportamiento similar al del concreto por el cambio de temperatura.

Cuando los rieles están sometidos a una temperatura alta el acero se expande, mientras que a temperaturas bajas el acero se contrae, teniendo una diferencia de longitudes en los perfiles. Este movimiento puede provocar que la vía se deforme lateralmente, así como un desalineamiento causado por fuerzas de compresión excesivas por el incremento de la temperatura en el riel y el movimiento antes explicado en la diferencia de temperaturas. Este fenómeno es conocido como chicoteo, ya que el movimiento que el riel hace es similar al de un chicote de los jinetes a caballo.



Figura 5.10 Chicoteo de vía producido por diferencia de temperaturas entre la unión de rieles y exceso de esfuerzos de compresión a los que está sometido el riel. Tren Maya Tramo 5. Playa del Carmen, Quintana Roo (febrero 2024)

Este elemento previene este movimiento y asegurando que la vía se tenga en buenas condiciones y con un alineamiento bien definido.



Figura 5.11 Aparato de dilatación tipo Martinet a la salida de un puente en vía sobre balasto. Adaptado de: Aparatos de Dilatación Tipo Martinet (25, septiembre, 2013). Aparatos de Dilatación: Tipos y Criterios Generales de Aplicación. Jose Abadía Almolda. Datos sobre Montaje y Mantenimiento de Vías. pagina. doi: <https://hablandodevias.wordpress.com/2013/09/25/aparatos-de-dilatacion-tipo-martinet/>

5.3.8 Elementos elásticos

Se tienen dos tipos de elementos elásticos que se usan en la superestructura de la vía.

Las suelas bajo durmiente son uno de ellos y son elementos tipo mantas que van pegadas en los durmientes. Son láminas de caucho que su función es que la vía evite tener deflexiones y hundimientos diferenciales. Este fenómeno ocurre cuando la vía pasa de estar sobre un terraplén y entra a un viaducto, este tramo es llamado aproche o transición de rigideces de terraplén. De otra forma, la rigidez en un terraplén es menor que en un viaducto, es por ello que, con el paso del tiempo la vía puede sufrir hundimientos con el paso del tren, pasando de una estructura rígida, como un viaducto, a un terraplén.

Las suelas bajo durmiente hacen que se tenga un área de contacto mayor entre el balasto y el durmiente, teniendo un mayor soporte y haciendo que la vía se compense entre una plataforma y otra.



Figura 5.12. Durmientes con suela bajo durmiente usados en viaducto. Tren Maya Tramo 1. Tenosique, Tabasco (noviembre 2023)

La distribución de estos durmientes con suelas, se hacen de acuerdo con la norma NAV 3.4.3-0 de la Administración de Infraestructura Ferroviaria de España (Adif), y hay diferentes rigideces o durezas, siguiendo la distribución de dicha norma.

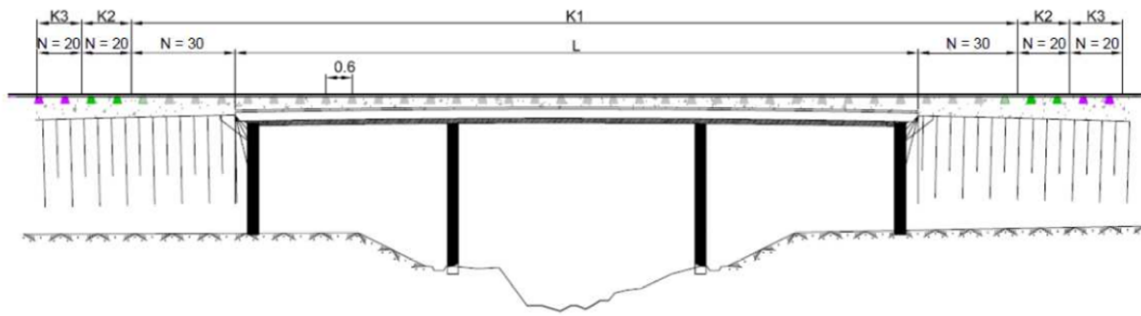


Figura 5.13 Distribución de suelas bajo durmiente en viaductos donde discurran vías sobre balasto, según la NAV 3.4.3-0. Adaptado de: Norma ADIF VIA Montaje de Vía en Balasto Para Obra Nueva, 1° Edición § 3-4-3.0 (2015).

Otro elemento que se utiliza son las mantas bajo balasto y estas mantas tienen una función similar.

Pueden ser sustituidas por suelas bajo durmiente respetando la distribución y las durezas que marca la norma, siguiendo el principio de contrarrestar los hundimientos que puede tener la vía.

Otro uso de las mantas es para la reducción de ruido y vibraciones. Este uso se emplea cuando se quiere que el paso del tren sea imperceptible en caso de que se tengan estructuras frágiles cercanas o poblaciones aledañas.

Para el caso del Tren Maya, hay dos razones para el uso de las mantas. La primera razón es el tipo de suelo que se tiene, pues al tratarse de un suelo kárstico, la capacidad de carga es muy pobre e inestable, por lo que el uso de las mantas hace que el paso del tren sea reducido provocando muy pocas vibraciones.

Otra razón del uso de las mantas es porque, hay muchos centros arqueológicos cercanos al derecho de vía, siendo un riesgo de que las antiguas estructuras sean dañadas, entonces con estos elementos se reducen las vibraciones, salvaguardando la integridad de los restos arqueológicos.

Adicionalmente, se usa para que el ruido no sea molesto para habitantes que viven cerca del paso del tren.

La implementación de estos elementos se da en base a un estudio de acústica y vibraciones, el cual, hacen una simulación con la velocidad de diseño y las propiedades del suelo.

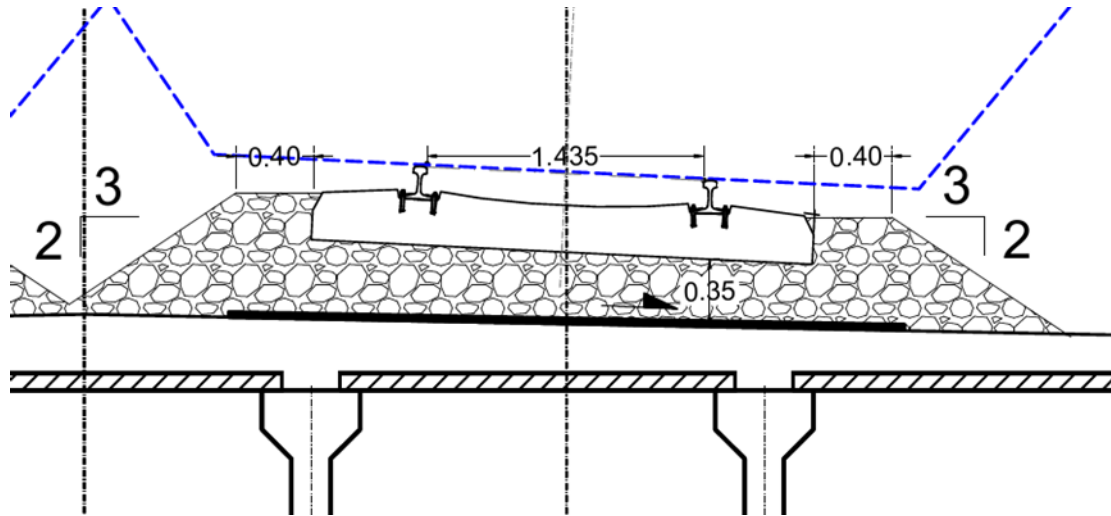


Figura 5.14 Sección de vía con implementación de manta bajo balasto en viaductos del Tramo 5 Sur del Tren Maya. Adaptado de: Jorge Cruz. (13, junio, 2023). Plataforma y vía. [Sección Tipo en Estructuras (Viaducto)]. Tramo 5 Sur (POM10187-C-47-030400-IFR-DRW-0004_03, POM10187-C-47-030400-IFR-WPK-0050). Control y archivo documental del proyecto ejecutivo del Tramo 5 Sur del Tren Maya.

5.3.9 Toperas

Las toperas son instaladas en los fines de vía, diseñadas con parámetros tales como:

- Peso del tren.
- Tipo de material rodante.
- Desaceleración
- Velocidad de impacto
- Zona de instalaciones

Dependiendo de donde se va a instalar, se determina el tipo de topera. Para efectos del proyecto, se instalarán tres tipos

- Toperas fijas
- Toperas deslizantes
- Calces de fricción

El uso de estos dispositivos es de seguridad, previniendo que, si un tren no alcanza a frenar a tiempo antes de llegar al fin de vía, no se ocasione un accidente y una colisión, teniendo daños a la infraestructura y al material rodante.



Figura 5.15 Topera deslizante a instalar en fines de vía del tramo 4.

5.3.10 Descarriladores

Al igual que las toperas, los descarriladores son dispositivos de seguridad y son utilizados únicamente en puntos donde puede interferir el servicio de pasajeros. Su uso es destinado cuando un tren de carga o un equipo de mantenimiento de vía este haciendo maniobras en horas de servicio de pasajeros, no se ponga en peligro la operación, evitando la posibilidad de que se invada la vía troncal en servicio de los trenes de pasajeros y ocasionar un accidente.

Los tipos de descarriladores empleados son:

- Calces descarriladores
- Aparatos cambio de vía con cama de arena.



Figura 5.16 Tipos de descarriladores, a la derecha, calce descarrilador con accionamiento automático, a la izquierda, descarrilador de doble aguja con accionamiento mixto (manual y automático). Adaptado de: FONATUR Tren Maya Especificación Técnica Para el Suministro e Instalación de Descarriladores, Edición 00 § ET-XXX-FTM-Rev.00 (2020).

5.3.11 Soldaduras

Las soldaduras es la forma de unión de los rieles y hay dos tipos de soldadura que se ejecutan en el armado de vía:

- Soldadura eléctrica
- Soldadura aluminotérmica.

La soldadura eléctrica es el procedimiento mediante el cual, el soldeo se hace mediante choques eléctricos y esta se utiliza para la formación de barras Largas de rieles.



Figura 5.17 Equipo de soldadura eléctrica realizando trabajos de soldeo en rieles del Tramo 4. Nuevo Xcan, Yucatán. (octubre 2022).

Por otro lado, la soldadura aluminotérmica es el procedimiento de unión de rieles mediante la fundición de material de aporte llamado carga aluminotérmica, el cual es una combinación de aluminio, hierro, silicio, fósforo, azufre, etc., creando una reacción química exotérmica, creando una unión con un material de dureza igual o mayor a la de los rieles.

Este tipo de soldadura se emplea para la instalación de aparatos cambio de vía y los rieles en donde se hace una liberación de tensiones para que no suceda el fenómeno de chicoteo.



Figura 5.18 Trabajos de soldadura aluminotérmica en proceso de colado de material de aporte después de liberación de tensiones en el Tren Interurbano Mexico-Toluca, interestación Zinacantepec-Pino Suarez. Este procedimiento se llevará a cabo de la misma manera en las vías del Tren Maya (mayo, 2023).

5.4 Métodos de construcción

Ya definidos todos estos elementos que conforman a la vía, existen dos tipos de procedimientos constructivos, los cuales, son.

- Método tradicional
- Método de escaleras

5.4.1 Método tradicional

Una vez que se hicieron todos los procedimientos de terracerías y la conformación de la plataforma de terraplén, se instalará la primera capa de balasto de un espesor aproximado

de 10 a 15 cm, un ancho mínimo de 2.8 metros y un surco en la zona central del durmiente para evitar daños en los mismos.

La distribución se podrá realizar por medio de una extendedora de balasto, una moto conformadora o con recurso a una tolva de distribución de balasto que se acoplará a los camiones.

Esta capa de balasto tiene como finalidad recibir el tendido de vía y no requerirá de controles geométricos o dimensionales más allá de una verificación visual para verificar que no existan zonas altas en la zona central en que apoyará el durmiente.



Figura 5.19 Almacenaje y transporte de balasto mediante tolvas balasteras en Tramo 4. Valladolid, Yucatán (octubre 2022).

Posteriormente, se colocan los durmientes a cada 60 cm sobre la cama de balasto mediante una excavadora sobre orugas, posicionándolos de tal manera que tenga alineamiento longitudinal para la colocación de los rieles.



Figura 5.20 Posicionado de durmientes para armado de vía en Tramo 1. Tenosique, Tabasco (noviembre 2023).

Se procederá a limpiar el área del asiento de los rieles, así como las vainas de los durmientes en donde se fijarán los tirafondos de los sets de fijación, dejándolos libres de polvo y basura que se pudiera encontrar ahí. Posteriormente, se procederá a colocar los rieles junto con las placas de asiento en los durmientes posicionados y se apretarán al 75% del apriete final

Posteriormente, se inundará de balasto la vía pre-armada hasta el hongo del riel. Esto se hace con el objetivo de realizar levantamientos de la vía a cada 5 - 7 cm hasta llegar al nivel de rasante geométrico.



Figura 5.21 Vertido de cama de balasto sobre plataforma de terracerías para el posterior posicionado de durmientes. Tren Maya Tramo 1. Balancán, Tabasco (octubre 2023)

Ya que se tenga el nivel de rasante deseado respecto al hogo del riel, se deberá verificar que el espesor de balasto debe ser de 30 cm medidos a partir de la cara inferior del durmiente.

Ya verificado este dato, se deberá hacer el procedimiento de liberación de tensiones, definiendo las calas de liberación y las longitudes de los rieles.

Una vez hecha la liberación de tensiones, se deberá hacer un bateo y una estabilización de balasto, de tal forma que deberá tenerse la sección de balasto definida con las dimensiones establecidas.

5.4.2 Método por escaleras

El método por escaleras es muy similar al método tradicional, con la única variante de que no se forman barras largas soldadas, sino que se arman escaleras del largo de los perfiles del riel en taller. Se hace el almacenaje de las escaleras y se transportan hasta la zona de montaje. Ya en la zona de montaje, se siguen los mismos procedimientos descritos en el método tradicional.



Figura 5.22 Izaje de escaleras sobre cama de balasto. Tren Maya Tramo 1. Balancán, Tabasco (octubre 2023)

5.5 Liberación de tensiones

El objeto de la liberación de tensiones es conseguir que la temperatura de fijación de los rieles a lo largo de la barra larga definitiva sea igual o muy parecida y que dicha temperatura quede situada entre ciertos límites para lograr que tanto los esfuerzos de compresión con temperaturas máximas, como los de tracción con temperaturas mínimas sean admisibles.

5.5.1 Medición de la temperatura

Se medirá con termómetros validados y su manejo se hará siguiendo las instrucciones suministradas por el fabricante de los mismos. Se deberá tener presente que, en las medidas con sol, se reduce la precisión cuando la temperatura del riel está variando, más cuando las variaciones de temperatura sean mayores, por ejemplo, en un día con muchas nubes. Sus magnitudes más elevadas se dan en cambios de sol y nubes con viento y en las mañanas de días soleados.

El conocer la evolución térmica del riel a lo largo de las 24 horas del día y dependiendo de la época del año, aporta importantes ventajas operativas para programar las neutralizaciones en cualquier área.

Los termómetros de contacto se colocarán en el alma del riel durante un tiempo mínimo, especificado por el fabricante, antes de tomar la lectura. Debe evitarse que reciban directamente la radiación solar, tanto el termómetro como la superficie del riel donde se coloque.



Figura 5.23 Medición de temperatura de riel para ejecutar los trabajos de liberación de tensiones.
Tren Mexico-Toluca, Lerma, Estado de Mexico (septiembre 2022)

Los termómetros de cupón de riel (pedazos de riel), son electrónicos. En ellos, la sonda de medida se encuentra centrada en el interior de la cabeza del riel en un taladro practicado al efecto. Para realizar la medida se colocarán en medio de la vía y paralelamente al riel cuya temperatura se desea medir. Son los más recomendables en cuanto a precisión. Sin embargo, son lentos en la operación y pesados para su traslado.

Los infrarrojos necesitan precauciones especiales y buen conocimiento de la técnica para su manejo y se debe a las diferencias puntuales de emisión de temperatura de la superficie del riel, muy baja en la zona de rodadura y elevada en el resto.

Para la liberación de tensiones, se deberá definir la temperatura de neutralización, la cual, es la temperatura a la que se liberaran las tensiones del riel en la vía. Es totalmente independiente de la instalación de la vía, únicamente depende de las condiciones meteorológicas extremas de la zona. Constituye el concepto con el que se determina la longitud que ha de alcanzar el riel a neutralizar. Se determina por la expresión:

$$T_n = \frac{T_{Amax} + T_{Amin}}{2} + 15^{\circ}C$$

Siendo:

T_n Temperatura de neutralización
 T_{Amax} Temperatura ambiente máxima
 T_{Amin} Temperatura ambiente mínima

La obtención de las temperaturas ambiente máxima y mínima extremas, se definirán mediante la medición de las temperaturas extremas de los últimos 10 años de la localidad en donde se encuentre la vía.

5.5.2 Métodos de liberación de tensiones

La liberación de Tensiones se puede efectuar por medio de tensores hidráulicos o calentadores del riel de acuerdo con las normas de conformación de los Rieles largos soldados. La misma se realiza una vez que la vía se encuentre en posición plani-altimétrica definitiva. Se efectuarán dispositivos de aproximadamente 800 metros de longitud procediéndose sobre ambos rieles al mismo tiempo. Se ejecutará la soldadura Aluminotérmica correspondiente una vez aplicada la tensión de tracción sobre los Rieles y verificando el correcto desplazamiento de este.



Figura 5.24 Liberación de tensiones mediante el uso de gatos hidráulicos. Tren Interurbano México-Toluca, interestación Zinacantepec-Pino Suárez (septiembre 2022).

6 DERECHO DE VÍA

El tema del derecho de vía del trazo del Tren Maya fue un tema crucial en la elaboración de la ingeniería básica, pues la definición del trazado de los 3 de los 7 tramos se hizo en el

derecho de vía del antiguo ferrocarril maya que pertenecía a Nacionales de México y en los tramos restantes, se tuvo que hacer la adquisición de nuevo derecho de vía. En el procedimiento de liberación de derecho de vía, en algunos tramos se debía de despalmar el antiguo derecho de vía, retirando maleza y midiendo los límites del derecho de vía.

Al igual, en algunos tramos, el trazo corre por avenidas y vialidades importantes. Es el caso del tramo 4, en donde se aprovechó el derecho de vía de la autopista Mérida - Cancún, pues esta vialidad se reconvirtió creando un cuerpo en autopista y en otro cuerpo, las vías del Tren Maya.

En resumen, la totalidad del trazo del Tren Maya corre por antiguos derechos de vías de ferrocarril y derechos de vía existentes, sobre o al lado de vialidades existentes.

7 MATERIAL RODANTE

Los trenes por usar para el servicio de pasajeros serán de rodadura férrea dado el sistema de vía seleccionado.

La marca ganadora de la licitación para definir al fabricante de los trenes es la firma francesa Alstom, con planta localizada en Ciudad Sahagún, Hidalgo. Su propuesta fue la ganadora debido a que, dada la cercanía de su planta de fabricación, se ajustaba a los tiempos previstos del proyecto integral, el cual, esos tiempos consideran la inspección de calidad, pruebas estáticas y dinámicas, pruebas de comunicación e interfases, así como la disponibilidad de la flota completa para su puesta en servicio.

Se ofrecerán 3 tipos de servicio, ordenado del más sencillo al más lujoso:

Servicio Xiinbal, (caminar en Maya), será un servicio de tren de cercanías, que hará parada en todas las estaciones y paraderos del trazo del Tren Maya y su objetivo es transportar a los pasajeros de las regiones hacia sus centros de trabajo, educativos y de recreación. La configuración de estos trenes será de 7 vagones y una distribución de asientos doble, teniendo numeración de ventanilla y pasillo, para recorridos cortos.

Servicio Janal (comer en Maya), será un servicio de medianas distancias, equipado con restaurante y cocina para tener una degustación de platillos típicos de la región. La configuración de este tren será de 7 vagones, siendo uno ocupado por cocina y otro como bodega de almacenamiento de alimentos.

Servicio Pa'tal (quedarse en Maya), será un servicio de largas distancias, el cual, contará con itinerarios fijos de origen-destino, similar a un servicio directo. Este servicio contará con camarotes diurnos y nocturnos, haciendo que la larga distancia no sea cansada para el pasajero y la experiencia de viaje sea buena.

Todos estos servicios serán fabricados en el modelo de tren de cercanías de Alstom, el X'trapolis, siendo el modelo ideal para el proyecto.

Estos trenes fueron diseñados bajo especificaciones técnicas requeridas por el cliente, pues se deben tener diseños y pruebas de calidad en los siguientes rubros:

- Distribución del peso entre trenes
- Tracción y estabilidad dinámica
- Primeros auxilios y emergencia
- Acciones contra siniestros
- Pruebas de pintura
- Materiales de interiores
- Pruebas de simulación de lluvia
- Pruebas de contacto con catenaria y pantógrafo
- Estudios de capacidad de transporte
- Distribución de personas en el tren
- Dimensiones
- Galibo horizontal y vertical

El sistema de tracción de este tren será híbrido, pues en unos tramos, se tendrá el mecanismo de motor a diésel, mientras que, en otros tramos, se tendrá el sistema de electrificación por medio de catenaria.

7.1 Perfil de rueda

Este es una particularidad del material rodante, pues se tiene un perfil de rueda, el cual fue fundamental para el sistema de vía.

Especialmente en el diseño de los aparatos de vía la rueda es muy delgada, del orden de 127 mm, en comparación con el ancho de ruedas de los trenes de carga, que son de 156 mm (datos tomados del patio de Ferrovalle en Tlalnepantla).

Esto incidió dado que el ancho de ruedas provocaría un desgaste acelerado sobre los aparatos cambio de vía, especialmente en el cruzamiento que es la parte central de un aparato.

Como se trata de un tren de circulación mixta, se debe garantizar el confort y la seguridad de los pasajeros, poniendo en segundo plano la velocidad.

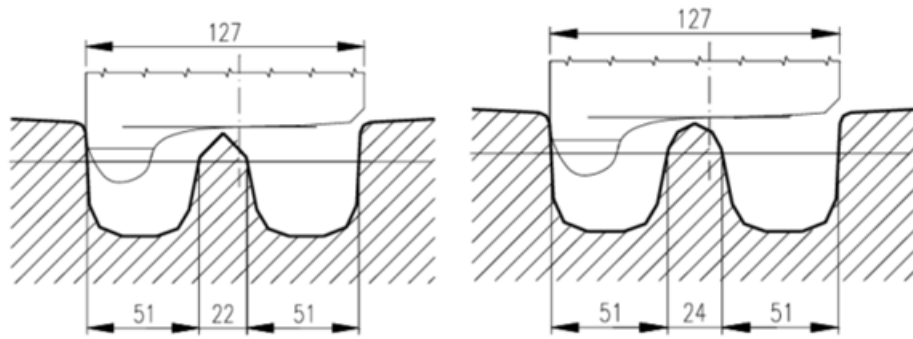


Figura 7.1 Perfil de rueda en su paso por el cruzamiento de los aparatos cambio de vía en estudio de interacción rueda-riel. Adaptado de: Chen Fei. (enero, 2023). Plataforma y vía. [PROYECTO EJECUTIVO INGENIERIA TREN MAYA Tipo 15 CAMBIOS DE VIA]. Tramo 1 (TMPE-1-VA-VIA-PLA-CDV15-0005-E07). Control y archivo documental de la supervisión del proyecto ejecutivo del Tramo 1 del Tren Maya.

8 PLAN OPERATIVO

Al tratarse de un tren de circulación mixta y ya definidas las partes que integrarán la infraestructura de la vía, el plan operativo, será el siguiente:

A lo largo de la vía troncal, circularán trenes de pasajeros y trenes de carga, teniendo una circulación de 90% de pasajeros y un 10% de operaciones de carga.

Hablando de transporte de carga por la línea del Tren Maya, las operaciones que se podrán efectuar serán por los tramos 1, 2, parcialmente el 3 y el tramo 7 operando durante la noche. Estos tramos tendrán la operación de tren de carga debido a que se tendrá una conexión con el ferrocarril del Istmo de Tehuantepec y también porque no se tendrá infraestructura de electrificación para los trenes de pasajeros (catenaria).

Los servicios de carga no pueden operar en tramos donde se tiene catenaria, debido a que los gálibos verticales y horizontales no permiten que los vagones de carga operen con libertad.

En caso de que se tenga una operación por parte de una concesionaria, se hará el uso de laderos para el resguardo de los trenes de pasajeros que se encuentren en circulación por la vía troncal. Los laderos son diseñados para que se tenga un punto de libraje suficiente para la longitud de los trenes de pasajeros, llamados piquetes de vía o punto de piquetaje.

En caso de que un tren de carga se encuentre en un ladero o en un punto de acceso a la vía troncal y este accede a la vía troncal, se hará uso de los descarriladores, poniendo en prioridad el servicio de pasajeros.

En cambio, para los trenes de pasajeros, se tendrá una operación en los tres servicios que se explicaron anteriormente, bajo modalidades de directo, servicio ordinario y servicio regional.

La diferencia entre el servicio directo, el servicio regional y ordinario impera en que el servicio directo, tendrá un itinerario establecido entre un origen y un destino, mientras que el servicio regional y ordinario, hará paradas en paraderos y estaciones intermedias.

Para los elementos complementarios a la vía troncal que son los Talleres y Cocheras y las Bases de Mantenimiento, sirven para el mantenimiento del sistema del Tren Maya, sin embargo, hay una distinción, pues los Talleres y Cocheras serán para mantenimiento exclusivo de los vagones de pasajeros, pues sus elementos de vía, tales como toperas y aparatos cambio de vía, son diseñados bajo las características del material rodante de pasajeros. Dentro de estas instalaciones, se efectuarán los trabajos de mantenimiento y resguardo de los trenes de pasajeros, cuando el Tren Maya entre en operación.

Mientras que, en la Base de mantenimiento, se tendrá el acopio de todos los insumos para que se de mantenimiento a la vía férrea, tales como Balasto, rieles y maquinaria. Los elementos de vía de estas instalaciones son diseñados para material rodante pesado, pues los elementos empleados, tales como toperas y aparatos cambio de vía, son los mismos que se emplean en las vías de ferrocarril de carga.

9 NORMATIVA DE APLICACIÓN

El uso de normativa en un proyecto es muy importante, pues su uso, además de garantizar calidad y durabilidad en el proyecto, define los aspectos y las características del sistema. Así mismo, la normativa establece los lineamientos de mantenimiento y operación del sistema, pues al igual que un ser vivo, un sistema requiere de atención y vigilancia cuando está en explotación y operación.

Para efectos del Tren Maya, se usaron como base, las normas que se aplican para ferrocarriles en México, que casi en su totalidad, son de carga y algunas de ellas, de origen mexicano, sin embargo, para el proyecto se buscaron empresas y constructores con experiencia en ferrocarriles de pasajeros de alta velocidad, por lo que, en su mayoría, se utilizó normativa extranjera en donde se tengan trenes de alta velocidad en operación.

En este proyecto se tuvo el reto de cual normativa debía aplicarse, dado que, en México, la normativa de pasajeros aplicable es casi nula o fuera de vigencia, ya que era la usada cuando existía FNM, por lo que, en este apartado, se describirá el dossier normativo que se empleó para definir las características del Tren Maya.

9.1 Normas Mexicanas

En ciertos elementos que se usaran en la superestructura de vía, se emplean normas mexicanas de vías férreas que se utilizan actualmente en las concesionarias de carga. Las normas que se emplean para el diseño del Tren Maya son:

- Reglamento del servicio ferroviario.
- Reglamento de conservación de vías y estructuras para los ferrocarriles mexicanos.

- NOM-056-SCT2-2016, para durmientes de madera.
- NOM-055-SCT2-2016, Unión de rieles para vía continua mecánicos mediante soldadura.
- Normas de construcción en acero y concreto para la infraestructura de transporte de la Secretaria de Comunicaciones, Infraestructura y Transporte.
- NOM-001-ARTF-2019, Especificaciones y métodos de prueba para durmientes monolíticos de concreto. Sistema Ferroviario e Infraestructura.
- Normas para construcción e instalaciones vías férreas SCT.
- NMX-8-116 Métodos de obtención de dureza Brinell en productos de acero.
- NMX-8-119 Métodos de obtención de dureza Rockwell en productos de acero.
- NMX-8-172 Métodos de pruebas mecánicas para productos de acero.
- NMX-B-001 Método de análisis químico para determinar la composición de aceros y hierros. Métodos de prueba.
- NMX-B-124 Guía para la inspección con partículas magnéticas-especificaciones
- NMX-B-133 Industria siderúrgica, especificaciones para la inspección con líquidos penetrantes.
- NMX-B-331 Método de prueba de macroataque para productos de acero.
- NMX-B-465 Inspección ultrasónica por el método de contacto pulso-eco-haz recto

9.2 Normas de ferrocarriles de carga

- Manual of Railway Engineering de la American Railway Engineering and Maintenance of way Association (AREMA)
- ASTM A370

9.3 Normas europeas de ferrocarriles de pasajeros

Como se ha mencionado, a pesar de ser un proyecto en donde va a circular trenes de carga y de pasajeros, siendo el tránsito de trenes de pasajeros el que más frecuencia de paso tendrá, los parámetros y características tienen que ser estrictos, debido a que el factor de la seguridad es vital por el transporte de vidas humanas y la velocidad de diseño proyectada.

Las normativas que actualmente se tienen sobre ferrocarriles en general, son las pocas normativas que persisten de las antiguas líneas de ferrocarril que operaban en México.

Particularmente, para el proyecto del Tren Maya, se han utilizado normas de aplicación europeas para efectos de trenes de pasajeros, pues estas al tener un grado de seguridad más estricto son las que se mantienen vigentes en la actualidad en las líneas de trenes de alta velocidad que se encuentran en operación (por ejemplo, la Alta Velocidad Española AVE).

Se tomaron como referencias de diseño dos normativas de dos instituciones europeas que rigen sobre los trenes de pasajeros: ADIF y la AENOR.

La Administración de Infraestructura de Ferrocarriles (ADIF), es la institución que rige la operación de la red de ferrocarriles de pasajeros en España. La normatividad de esta entidad se encuentra disponible y gratuita en su página de internet y su aplicación incluye metodologías científicas que toman en cuenta muchos factores internos y externos que afectan a la vía.

La otra entidad de donde se está tomando la normativa de aplicación es la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), es la entidad de certificación y normalización de los sectores industriales y de servicios de España, de las cuales, sus normas aplican internacionalmente para todos los países de Europa y de otros continentes que quieran adoptarlas.

Como dato de estas normas, la nomenclatura de las normas utilizadas de ADIF es NAV (Normas Adif Vía), en cambio, utilizar normas de AENOR, la nomenclatura que se emplea es la UNE (Uso Normativo Europeo), estas normas son de aplicación más internacional, pues como ya se mencionó, se aplican en varias líneas de ferrocarriles de pasajeros.

Para efectos del Tren Maya, se han empleado en su mayoría, normas de estas dos entidades, siendo más de 60% normas europeas, 35% normas mexicanas y 5% normas de ferrocarriles de carga (AREMA).

A su vez, se han empleado otras normas, tales como la RIS-7016-INS, que es usada para efectos de dispositivos de seguridad y esta norma se aplica a las toperas de impacto en fines de vía, pues al ser un dispositivo que implica destrucción y coalición, se deben tener parámetros de seguridad, al tratarse de un posible daño material. Esta normativa es de origen británico, pues en las islas británicas, se tienen diversos medios de transporte sobre vías férreas, de diferentes clases y clasificaciones.

Para efectos de la vía del Tren Maya, las normas europeas usadas para el diseño y la proyección de la superestructura son las siguientes:

Normas europeas de ferrocarriles de pasajeros usadas en la construcción de la vía del Tren Maya		
Elemento	Normas	Título
Aparatos cambio de vía	UNE-EN-13481	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Requisitos de funcionamiento para los conjuntos de fijación
	UNE-EN-14730-2018	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Soldeo aluminotérmico de rieles.
	UNE-EN-14587-2018	Aplicaciones ferroviarias. Infraestructura. Soldeo de nuevos rieles a tope por chispa.
	UNE-EN 13232-2005	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Aparatos de vía.
	UNE-EN-13803-2018	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435 mm y mayores.
Armado de vía	UNE-EN-13848-5-2018	Calidad de geometría ferroviaria
	NAV 3-4-3.0	Montaje de vía en balasto para obra nueva
	NAV 3-0-5.2	Parámetros de geometría de vía

	NAV 7-1-5.1	Clasificación y requisitos de las bateadoras
	NAV 7-1-5.2	Estabilización dinámica de la vía
	NAV 7-1-4.1	Neutralización y homogenización de tensiones del carril en las vías sin juntas
Balasto	UNE-EN-932	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos.
	UNE-EN-933	Determinación de la distribución del tamaño de las partículas.
	UNE-EN-1097	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos.
	UNE-EN-1368	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de meteorización de los áridos.
	UNE-EN-14690	Control de producción de los áridos.
	NRV 3-4-0.1	Balasto. Homologación de canteras suministradoras.
	NRV 3-4-0.2	Control de calidad. Toma de muestras y ensayos.
Fijaciones	NAV 3-2-2.0	Sujeciones de carriles. Sujeción elástica HM
Rieles	NRV 3-0-0.0	Carriles. Barras elementales
	NRV 3-0-1.0	Carriles. Barras largas.
	UIC 860-0	Especificación técnica para el suministro de carriles.
Durmientes	NRV 3-1-1.0	Durmientes. Durmientes de hormigón armado.
	UNE-EN-13674	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Carriles y vignoles de 46 kg/m y superiores
	NAV 3-3-2.1	Soldadura aluminotérmica de carriles. Ejecución y recepción de las soldaduras.
	NAV 3-3-2.6	Soldadura eléctrica y neutralización de tensiones
	NAV 3-0-5.1	Auscultación mediante ultrasonidos
Suelas Bajo Durmientes	UNE-EN-16730:2017	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Durmientes en plena vía y aparatos de hormigón con suelas bajo durmiente.
	NAV 3-4-3.0	Montaje de vía en balasto para obra nueva
Toperas	RIS-4019-INS lss 1.1	Interface between station patforms, track, trains and buffer stops.
	UNE-EN-1461-2009	Protección contra la corrosión para acero galvanizado en caliente.
Descarriladores	UNE-EN/IEC 61508	Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables.

Tabla 9.1. Relación de la clasificación de normativa europea de ferrocarriles aplicada en los elementos de vía¹ en el proyecto del Tren Maya

La tabla anterior presenta todas las normativas europeas de ferrocarriles de pasajeros que se han utilizado para el diseño y la construcción de las vías del Tren Maya. Como se puede ver, hay algunas normas que son de uso para más de un elemento, tales como los rieles, las soldaduras y las fijaciones.

Algo importante que hay que destacar es que, el uso de estas normas ya considera nuevas tecnologías y técnicas de instalación, pues el producto final, que es cuando la vía ya se encuentra en estado de recepción, se debe contar con un certificado de calidad que, para el caso de este proyecto, se debe tener la ISO 9001.

También, que la mayoría de la normativa europea aplicable es de origen español pues se ha constatado que la red de ferrocarriles de España son de las redes que mayor grado de calidad tienen en operabilidad y seguridad y también, porque el Tren Maya tiene características similares a los ferrocarriles españoles, es por ello que se ha optado por utilizar normativa de este país.

10 ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA NUEVAS NORMATIVAS MEXICANAS DE PASAJEROS

La alta velocidad de España (AVE), fue inaugurada el 21 de abril de 1992, con la ruta Madrid-Sevilla cuya velocidad de operación es de 310 km/h y formaría parte de la Red Nacional de Ferrocarriles de España (RENFE). Esta línea de alta velocidad nació a raíz del contrato denominado “el contrato del siglo” en 1988. Este contrato pretendía hacer un reordenamiento de la red de ferrocarriles, haciendo la red de España más competitiva y compatible con el resto de Europa, pues anterior a este año, se tenían vías de ferrocarril de un ancho de vía diferente, el cual, no se podían hacer cruces internacionales con Francia o Portugal e intercambios de sistemas ferroviario-europeos, principalmente con el Train à Grande Vitesse (TGV), de Francia.



Figura 10.1 Tren de la red AVE (Alta Velocidad de España). Adaptado de: Eurail (mayo, 2023). Tren de Alta Velocidad AVE em Zaragoza, España. Eurail. doi: <https://www.eurail.com/es/get-inspired/trains-europe/high-speed-trains/ave>

Adicional a esto, con este reordenamiento también se modernizaría la actual flota vehicular en ese entonces, adquiriendo 75 locomotoras de gran potencia para la movilización de

mercancías y pasajeros por el territorio español, además de 24 trenes de alta velocidad para el AVE.

A su vez, se hizo la actualización, homologación y fácil acceso a las normativas de diseño y construcción de la infraestructura ferroviaria de España, dando apertura a la normativa ADIF, que se especializa en trenes de pasajeros de alta velocidad.

Dentro de la normativa que se actualizó y homologó para la construcción, explotación y mantenimiento de RENFE, se han hecho actualizaciones y constantes modificaciones de acuerdo a como se ha dado la operación de los ferrocarriles, sin embargo, esta norma se ha ampliado no solo a elementos de vía, sino también a temas de trazado ferroviario, interfases, elementos como la catenaria, la arquitectura e incluso, cuestiones de material rodante como inspección y mantenimiento de la flota de material rodante.



Figura 10.2 Entidades de administración de vías férreas de España. Adaptado de: Unió General de Treballadors I Treballadors de Catalunya. Xavier Rivada (10, abril, 2019). Constituidos los Comités Generales de Empresa de ADIF y el Grupo RENFE. UGT Sector Ferroviari. doi: <http://www.ugtcatalunya.cat/ferroviaris/blog/2019/04/10/constituidos-los-comites-generales-de-empresa-de-adif-y-el-grupo-renfe/>

Esta breve síntesis de lo que sucedió en España a finales de la década de los 80's y principios de los 90's, es de gran importancia, pues es algo que está sucediendo actualmente con la red ferroviaria de México, iniciando con las nuevas alianzas con empresas norteamericanas de transporte ferroviario que operan en México, con la rehabilitación y modernización de líneas estratégicas, tal como el ferrocarril del Istmo de Tehuantepec y la conexión con el actual proyecto del Tren Maya, pero la joya de la corona es sin dudas, la construcción de Tren Maya.

Anteriormente, la red de ferrocarriles de pasajeros era vasta, pues en la época de FNM, además de pasajeros, se movía carga procedente de las empresas paraestatales propiedad del estado mexicano, pero estas empresas fueron desapareciendo pasando a propiedad de capital privado por lo que el servicio de pasajeros se volvió poco rentable y así como el servicio de pasajeros se disolvió, la normativa que se solía emplear para la explotación, mantenimiento y construcción de vías de ferrocarril quedo en el olvido.

Cabe aclarar que, toda la normativa que se usaba antes para los trenes de pasajeros era ligada a la AREMA, pues antes, la configuración de trenes de pasajeros era mixta, con una locomotora al frente, un par de vagones de pasajeros enseguida de vagones de carga. Esta configuración permitía una facilidad en el diseño de las vías férreas, dado que la geometría de los boogies, las ruedas y los elementos de los vehículos eran de ferrocarriles de carga, incluyendo los vagones de pasajeros que eran provenientes de Estados Unidos y sus características de ruedas eran de trenes de carga. Actualmente, la única vigencia de normativa de trenes de pasajeros que quedo de FNM es el Reglamento de Conservación de Vía y Estructuras para los Ferrocarriles Mexicanos (1 de septiembre de 1966), el cual, marca las pautas para el diseño de la superestructura de vía, sin embargo, su obsolescencia es muy notoria dado que aún se menciona el uso de durmientes de madera o el uso de unión de rieles mediante las planchuelas de acero, por dar unos ejemplos.



Figura 10.3 Vagón de manufactura estadounidense en el antiguo ferrocarril de Mérida. Adaptado de: Grupo de Facebook. Imagen de FNM. FNM (Ferrocarriles Nacionales de Mexico. Facebook. doi: <https://www.facebook.com/groups/216879915152834/?ref=share&mibextid=NSMWBT>

Con todos los hitos que están sucediendo actualmente en materia de ferrocarriles, especialmente con la construcción del Tren Maya, se tiene una gran apertura para la

generación de normativa de trenes de pasajeros, en primer lugar, por el gran estancamiento que se ha tenido en materia de tecnología de vías férreas para pasajeros y por la gran cantidad de información que se puede adoptar a las necesidades de México. Adicionalmente debido a que se están empezando a estudiar y proyectar nuevas líneas de trenes de pasajeros, como el Tren del Bajío (México-Guanajuato), o el nuevo México-Veracruz, además de que, se va a requerir el conocimiento del mantenimiento de la vía del Tren Maya, dada la tecnología usada y para el futuro mantenimiento.

Es por ello que se está viviendo una situación similar a la que sucedió en España con el reordenamiento de la red ferroviaria nacional, a diferencia de que aquí en México, se está impulsando el renacimiento de los trenes de Pasajeros, siendo el Tren Maya el precursor para que eso suceda y adicionalmente, el tren México Toluca, que también fue diseñado bajo normas europeas, y la ampliación del Tren Suburbano al Aeropuerto Felipe Angeles, ambos siendo trenes de cercanías y de mediana velocidad.

Lo que se deberá hacer para que sea creado un nuevo dossier de normativas de construcción y mantenimiento de vías férreas, pero, todo dividido de acuerdo con lo que se requiera.

Si se crea un nuevo marco normativo, se deberán considerar esta serie de clasificaciones:

- Dividir en dos áreas: Mantenimiento y Operación
- Cada una de esas áreas, deberá dividirse en Trazado ferroviario, terracerías, y plataforma y vía.
- La sección de trazado ferroviario deberá contar con normativas por separado de:
 - Trazado de ruta
 - Terracerías y movimiento de tierras
 - Cuñas de transición y diseño de la sección de la plataforma
 - Diseño y operaciones de esquemas de vías
 - Señalamiento ferroviario
 - Diseño de gálibos
 - Diseño de pasos ferroviarios a nivel de calle
- Por otro lado, la sección de plataforma y vía deberá contener una norma por cada punto de los que se enlistan a continuación
 - Construcción de vía en balasto
 - Construcción de vía en placa
 - Diseño de vías para mantenimiento e inspección (talleres)
 - Manual de conservación e inspección de vía en operación
 - Características que deberán tener cada uno de los elementos de la superestructura de vía
 - Rieles
 - Durmientes
 - Fijaciones
 - Balasto
 - Aparatos cambio de vía

- Toperas y finales de vía
- Descarriladores
- Balasto
- Un manual de conservación y mantenimiento de cada uno de estos elementos que conforman a la superestructura de vía.
- Procedimiento de soldaduras en unión de rieles.
- Procedimiento de liberación de tensiones en vía nueva
- Manual de auscultación para la recepción de la vía nueva.
- Procedimiento de integración de varios tramos de vía férrea nueva.
- Que la normativa sea de acceso público para fines educativos y de formación de ingenieros en vías férreas.
- Regulación y constante actualización por parte de las dependencias correspondientes.

A continuación, se presenta un análisis FODA de las áreas de oportunidad para la redacción de nueva normativa técnica para la construcción, explotación y mantenimiento de ferrocarriles de pasajeros en Mexico.

Fortalezas

- innovación
- Evolución tecnológica
- Fortalecimiento de la red de transporte nacional
- Tecnologías adoptadas al territorio nacional
- Modernidad

Debilidades

- Pérdida de la experiencia en construcción de ferrocarriles de pasajeros
- Acceso a información limitada
- Prueba y error
- Joven experiencia por retraso tecnológico

Oportunidades

- Nuevos conocimientos
- Normas aplicables a las necesidades del país
- Guía para futuros proyectos
- Nuevas especialidades
- Fortalecimiento de la infraestructura, la comunicación y la economía



Amenazas

- Restricción de la información
- Adopción de tecnicismos
- Patentes
- Estructura del dossier normativo
- Factores políticos

Figura 10.4 Análisis FODA basado a la forma en la que se ha llevado el proyecto del Tren Maya, así como las áreas de oportunidad que se presentan para poder iniciar un marco normativo en materia de ferrocarriles de pasajeros y los factores que se involucrarían en su realización.

Esta serie de puntos deberán ser fundamentales para que se tenga un buen marco normativo para el diseño y la construcción de vías férreas no solo de pasajeros, si no de carga también

Tal como se ve en la figura 10.4, se tienen grandes oportunidades para la creación de un marco normativo, en donde se tendrían las fortalezas de la innovación, darle paso a la modernidad y a las nuevas tecnologías, la creación de nuevas aptitudes académicas y campos de investigación y haciéndole frente a las debilidades y amenazas que estas puedan tener, tal como se ve en dicha figura.

En caso de que se iniciara con la redacción de nuevas normas y se concrete una nueva antología, estas nuevas normas serán de mucha utilidad, ya que, además de que se está construyendo el Tren Maya actualmente, se tienen previstos futuros proyectos ferroviarios y estas normas podrán ser de utilidad para la construcción y su mantenimiento. También, estas normas serán de utilidad para el mantenimiento de las vías que actualmente están en operación y las problemáticas que vayan surgiendo con el tiempo, permitirá que se mantengan actualizadas constantemente.

A su vez, las nuevas normas podrán ser un área de oportunidad para la creación de nuevos campos de investigación, académicos y de aprendizaje, dado que son conocimientos que pueden impartirse en carreras universitarias y, en su defecto, crear nuevas carreras afines al sector ferroviario, creando más oportunidades de empleo y teniendo un campo de aplicación propio y exclusivo en México, sin necesitar la consulta y adaptación de normas extranjeras, como ha sucedido con el Tren Maya

11 CONCLUSIONES

11.1 Conclusiones generales

El servicio ferroviario mexicano nunca ha dejado de operar en México. Aunque de forma coloquial se cree que los trenes dejaron de circular en el país, esto se debe a la no circulación de estos, pero con fines de transporte de pasajeros y este era el principal medio de transporte debido a su precio tan económico y cómodo para los bolsillos de las familias.

La infraestructura ferroviaria solía ser el principal medio de transporte en México, así como vasta y abundante, sin embargo, como se mencionó en el capítulo anterior, se tenían normas por parte de la SCT que era la entidad que gobernaba sobre FNM. estas normas quedaron obsoletas tras la liquidación de Ferrocarriles Nacionales de México, varias normas fueron canceladas debido a que la operación pasaría a capital privado con empresas como Ferromex Grupo México, Kansas City Southern de México y, más recientemente, Canadian Pacific. Todas estas empresas de transporte de carga que son las que actualmente operan en la red ferroviaria del país, usan como normativa el manual AREMA, o incluso, su propia normativa. Por ejemplo, KCSM utiliza normativa de BNSF, que es otra empresa de transporte ferroviario de carga que opera en Estados Unidos.

Con esto, se ha dejado en extrema obsolescencia la normativa ferroviaria mexicana y por esta razón se han tenido dificultades con la construcción de infraestructura ferroviaria nueva e incluso, con la proyección de nueva infraestructura.

Se reflexiona al respecto:

- Todas las líneas del metro de la Ciudad de México de rodadura neumática se han construido a base de normativas francesas (NF) y europeas (UIC), sin embargo, los libros naranjas (que son las guías de construcción de líneas de metro en la Ciudad de México), fueron hechos a base de experiencia adquirida y las normas europeas que se mencionaron, en cambio las líneas de rodadura férrea se han hecho en base a la normativa española de RENFE sobre ferrocarriles urbanos.
- El tren suburbano sistema 1 (Buenavista-Cuautitlán) en un principio se utilizó normativa AREMA, que se especializa en ferrocarriles de carga, sin embargo, con la velocidad de operación y el tipo de rodadura del material rodante, los elementos de vía se desgastaron aceleradamente a los tres años de operación, teniendo como consecuencia la sustitución de esos elementos prematuramente.
- Para el tren interurbano México Toluca, se utilizó normativa UIC, que es normativa de aplicación para la red de ferrocarriles de toda Europa y como dato relevante, se utilizó un perfil de riel europeo: el UIC 60.
- Actualmente, el Tren Maya se está construyendo con una velocidad de diseño de 160 km/h, que será el tren más rápido de toda América Latina. Para este proyecto, se ha utilizado normativa que en su mayoría ha sido europea, tal como la española (ADIF, EN y UIC), que son normativas que también se especializan en trenes para velocidades altas y de pasajeros.

Con estas cuatro experiencias en construcción de infraestructura ferroviaria que se han ejecutado en México, se da por demostrado que es necesario que se tengan normativas de infraestructura de vías férreas en México, esto con la finalidad de que se tenga información disponible y de fácil acceso para la construcción, explotación y mantenimiento.

Se debe tomar el ejemplo que sucedió en España en 1992 con el contrato del siglo (ver apartado 10), pues actualmente está sucediendo con el Tren Maya y la intención de reactivar el servicio de trenes de pasajeros en el país.

Por último, la inversión en este tipo de información y dependencias traen numerosos beneficios ya que donde se implanta un ferrocarril, se genera desarrollo social y económico. Un ejemplo de ello y como se describió al inicio de este documento, la dependencia encargada de la construcción del Tren Maya es FONATUR, dado que se pretende dar un ordenamiento territorial, así como el impulso del turismo con el ferrocarril. Ahora, con la creación en un dossier normativo, se dará la facilidad y la experiencia de incrementar la red de ferrocarriles diseñados 100% por creatividad mexicana.

Es una gran oportunidad de crear una enciclopedia normativa, pues a raíz de ello, puede desencadenar el descubrimiento de nuevos métodos, nuevos procesos, nuevos conocimientos y áreas de oportunidad a nivel profesional y técnico.

11.2 Conclusiones particulares

A través de este trabajo, se pretendió demostrar la importancia de tener normativa ferroviaria acorde a las necesidades actuales, tal como se expuso en el procedimiento constructivo que se está llevando a cabo en el proyecto del Tren Maya. Las técnicas empleadas son utilizadas en Europa, siendo en estos territorios la vanguardia en el transporte de trenes de pasajeros creando y perfeccionando técnicas de construcción y de conservación.

Actualmente, se observan dificultades para encontrar suficiente información para el diseño de vías y ferrocarriles y la poca información disponible es obsoleta y muy antigua.

Es por ello que el proyecto del Tren Maya es un hito en la ingeniería mexicana, creando nuevas oportunidades económicas, sociales, pero especialmente, un referente en la ingeniería. Principalmente, se considera que debe propiciarse un parteaguas para que la normativa ferroviaria en materia de transporte de pasajeros sea renovada totalmente, pues a lo largo de este proyecto, se han empleado del total de normas una proporción del 60% de origen europeo.

El motivo de que las normas que se han utilizado sean de origen europeo es debido a que los lineamientos de estas son más estrictos en seguridad, procesos, tecnología y, sobre todo, que se mantienen constantemente actualizados.

Otras de las demostraciones que se tuvieron durante el proyecto en cuanto a normativas a emplear es que inicialmente se planteaba utilizar normativa ferroviaria de carga debido a que actualmente las concesionarias que operan en la red nacional tienen sus propios códigos y normas de diseño (por la misma razón de que la normativa mexicana se ha quedado desactualizada), y esas normas son la que actualmente se tiene más familiarización técnica y constructiva, sin embargo, las características y parámetros de diseño no eran compatibles con los datos de partida del proyecto y las necesidades, principalmente en temas de seguridad.

En base a lo expuesto a lo largo de este documento, es conveniente que se inicie con una evaluación de los puntos débiles que se tuvieron en la proyección del Tren Maya, el análisis de las dificultades que se dieron a lo largo del proyecto en cuanto al diseño de la infraestructura y al acceso a información técnica para ejecutar los trabajos en campo.

Un ejemplo de ello fue en la etapa de Ingeniería Básica y Proyecto Conceptual. Para el trazado de la ruta del tren, se utilizaron normas de trazado carretero de la SCT con adaptaciones de normas estadounidenses y españolas de trazado ferroviario, a partir de ahí, de utilizaron normas 100% mexicanas de terracerías y conformación de terraplén para el armado de la vía. En cuanto a la superestructura de vía, se hicieron una serie de mezclas entre las pocas normas mexicanas, las normas AREMA (Estados Unidos), y todas las normas UNE y ADIF de Europa, tal como se desglosó en los apartados 9.1, 9.2 y 9.3

Ya que se haya hecho la evaluación y el análisis, se considera adecuado el inicio de una adaptación de las normativas de trazado carretero a trazado ferroviario, para tener las dos

normativas por separado, posteriormente otras adaptaciones a las normativas de la subbase y los terraplenes para infraestructura ferroviaria y por último, redactar nuevas normativas de armado de vía de ferrocarriles de pasajeros, siendo estas las que deben ser prioridad para la redacción “desde cero” y posteriormente, su constante revisión y actualización, pues en este ámbito, es en donde la configuración de la vía, las características y el diseño de los distintos elementos son 100% europeos, principalmente españoles, pues la mayoría de las normas empleadas para el diseño y el armado de la vía son españolas (ADIF); tal como se ve en la tabla 9.1. Considero que de esta manera se puede iniciar con el nuevo marco normativo de ferrocarriles de pasajeros para el diseño, construcción y mantenimiento de ferrocarriles en Mexico.

Finalmente, mediante este trabajo se pretendió explicar la importancia de que se actualice todo el marco normativo de trenes de pasajeros que sean aplicables aquí, pues a partir de este y en adelante, los trenes de pasajeros continuarán con su renacimiento y se seguirán anunciando nuevos proyectos. Si se da la importancia a la creación y redacción de normas actuales, con base a la experiencia que se tuvo en el Tren Maya, serán de mucha utilidad para el diseño en futuros proyectos y consulta de sistemas actuales que estén en operación para su mantenimiento, así como la oportunidad de nuevos campos de investigación, áreas de especialización y aprendizaje en colegios y universidades.