



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD FERROVIARIA EN EL
SISTEMA MEXICANO**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. DANIEL MOLINA GARCÍA

**DIRECTO DE TESINA: M. EN C. ALEJANDRO ÁLVAREZ REYES
RETANA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.

MARZO 2020

*A las personas que fueron, son y serán en
mi vida. En especial a mis padres, que con
su enseñanza, me permitieron ser...*

Agradecimientos

P.S.:

Porque el tiempo perfecto es el aquí y el
ahora.

Porque la enseñanza está en la respuesta
del *para qué* y no en el *por qué*... ¡Gracias!

A mi familia:

Pilar de mis pilares. Por su eterno e
incondicional consejo, apoyo, amor y
enseñanza. ¡Gracias!

Sofía Rodríguez:

Por tantos años de trabajo compartido.
¡Gracias!

A mis amigos:

Por estar en las buenas y en las malas; por
ser red de apoyo. ¡Gracias!

A mis profesores:

Por guiarme en este camino. En especial al
M. en C. Alejandro Álvarez Reyes Retana,
por permitirme aventurarme en este
camino bajo su tutoría. ¡Gracias a todos!

**A mi alma máter, la Universidad Nacional
Autónoma de México:**

Por permitirme los medios, tangibles e
intangibles, para lograr mi objetivo de ser
parte de la comunidad de egresados de la
Facultad de Ingeniería. ¡Gracias!

Daniel Molina García.

“La sabiduría es la habilidad de ver con mucha anticipación las consecuencias de las acciones actuales, la voluntad de sacrificar las ganancias a plazo corto, a cambio de mayores beneficios a largo plazo y la habilidad de controlar lo que es controlable y de no inquietarse por lo que no lo es.”

Russell L. Ackoff

Contenido

RESUMEN.....	1
SUMMARY	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
General	4
Específicos.....	4
MARCO TEÓRICO.....	5
Planteamiento del problema	5
Hipótesis	5
Aproximación del tema desde la perspectiva del concepto de redes.....	5
Antecedentes	6
Macroentorno en el cual se desarrolla el tema de estudio	6
La Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) como órgano promotor de la seguridad ferroviaria en México	9
MARCO METODOLÓGICO.....	12
Generalidades.....	12
Diseño de la investigación	12
Enfoque de la investigación	12
Población	13
Técnicas de recolección de datos.....	13
Instrumentos de recolección de datos	14
CAPÍTULO I: RESEÑA HISTÓRICA	16
Reseña histórica de los ferrocarriles en el mundo	16
La Revolución Industrial y su impacto en los ferrocarriles.....	19
La máquina de vapor.....	20
La locomotora de vapor.....	21
El tema de la seguridad a lo largo de la historia	24
Reseña histórica de los ferrocarriles en México.....	27
Formación y consolidación (1837 a 1940)	28
Modernización, crecimiento y deterioro (1940 a 1980).....	32
Hacia la crisis de Ferrocarriles Nacionales de México (1980 a 1990).....	33
Programa de cambio estructural (1990 a 1995)	34

Proceso de concesión (1995 en adelante)	34
CAPÍTULO II: ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LAS VÍAS FÉRREAS	36
Introducción	36
Funciones primarias de las vías férreas.....	36
Funciones secundarias de las vías férreas	36
Estructura de vía.....	37
Superestructura	38
Rieles	40
Durmientes	40
Fijaciones.....	41
Aparatos de vía.....	41
Cruces ferroviarios.....	42
Subestructura.....	42
Balasto	42
Sub-balasto y sub-base.....	43
Instalaciones de drenaje.....	44
Infraestructura complementaria.....	44
Daños en los elementos de las estructuras de vía férrea.....	44
Aproximación del tema desde una perspectiva analítica	45
Propuesta para el reconocimiento del tipo de daño según el elemento de la vía férrea	45
Análisis.....	45
Interpretación	45
Aplicación.....	47
Resultados	47
Análisis de resultados.....	48
CAPÍTULO III: MATERIAL RODANTE	49
Introducción	49
Características generales del material rodante.....	49
Clasificación del material rodante	50
Material motriz	50
Locomotoras	50
Comentarios respecto a las locomotoras Diésel y Eléctricas	51
Automotores.....	51
Material remolcado	52

Tablas de resumen de datos de material remolcado	53
CAPÍTULO IV: SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO	58
Antecedentes al actual sistema ferroviario.....	58
Proceso de privatización en México	59
Características actuales del Sistema Ferroviario Mexicano.....	61
Características respecto a la infraestructura	61
Características respecto al equipo ferroviario	61
Características administrativas.....	61
Características de la distribución de carga que se realizan en el sistema.....	61
Características de los movimientos que se realizan en el sistema.....	62
Comparación frente a otros modos de transporte.....	65
Ventajas y desventajas competitivas del modo ferroviario.....	66
Importancia del sistema ferroviario nacional	67
CAPÍTULO V: SEGURIDAD FERROVIARIA.....	69
Introducción	69
Conceptos concernientes al tema de la seguridad ferroviaria.....	69
Peligro	69
Amenaza	70
Vulnerabilidad.....	70
Exposición	71
Susceptibilidad	71
Resiliencia	71
Riesgo	71
Factores Generadores de Riesgo (FGR).....	72
Agentes Generadores de Riesgo (AGR)	72
Accidente (siniestro).....	74
Incidente.....	74
Seguridad	74
Seguridad ferroviaria.....	75
Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria	75
Comportamiento del movimiento de productos dentro del SFM (Análisis para 2018).....	76
Prevención y mitigación de riesgos.....	80
Normatividad referente al tema de seguridad ferroviaria	81
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	81

Código Penal Federal y su relación con el Código Federal de Procedimientos Penales	81
Ley Reglamentaria de Servicios Ferroviarios y el Reglamento del Servicio Ferroviario	82
Actividades impulsadas por parte de los involucrados para promover, supervisar y/o mantener la seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano	83
Actividades de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario en materia de seguridad.....	83
Actividades de los principales concesionarios del Sistema Ferroviario Mexicano: Ferromex y Kansas City Southern de México	89
Ferromex.....	90
Kansas City Southern de México	90
Seguridad Operativa.....	91
Tecnología de Seguridad	91
Seguridad Pública	91
Seguridad de los Materiales Peligrosos	92
Seguridad.....	92
Otras acciones tomadas por parte de los concesionarios para garantizar la seguridad en el sistema ferroviario nacional.....	93
Comentarios	93
CAPÍTULO VI: MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS FÉRREAS.....	96
Principios básicos	96
Tipos de mantenimiento.....	96
Mantenimiento Correctivo.....	96
Mantenimiento Preventivo	96
Mantenimiento Predictivo	96
Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo	97
Conservación de los sistemas de transporte	98
Mantenimiento y conservación ferroviaria.....	99
Rieles	100
Durmientes:	101
Balasto	101
Drenaje.....	101
Escantillón	101
Análisis de caso: Siniestro ferroviario ocurrido en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México el 18 de enero de 2018.....	102

Introducción	102
Resumen del siniestro.....	103
Exposición de los hechos relevantes	103
Hallazgos relevantes relacionados con el factor que dio origen al siniestro	107
Análisis.....	108
Líneas de acción aplicables	119
CONCLUSIÓN.....	120
REFERENCIAS	122
ANEXO 1	129
Kilómetros de vía en el mundo	129
ANEXO 2.....	132
HISTORIAL DE LA DEFINICIÓN DE LOS EVENTOS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD FERROVIARIA.....	132

RESUMEN

Esta tesina hace una investigación respecto a qué tan importante es para el sistema ferroviario nacional la implementación de esquemas de seguridad, que incluyen las acciones que involucran al Estado en su papel de Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario y a los concesionarios que operan en lo largo y en lo ancho del sistema ferroviario, con el fin de contrarrestar algunas de las principales incidencias que ocurren en el mismo; para ello, este trabajo se sustenta de los reportes de seguridad en el sistema ferroviario que publica trimestralmente la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, entidad que de la misma manera tiene una gran importancia, desde el 2016, en el sistema pues tiene entre sus asignaciones el ser un órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que promueva un sistema ferroviario seguro, eficiente y competitivo.

SUMMARY

This thesis makes an investigation regarding the importance of implementing safety schemes for the national rail system , which includes actions from the State in its role of “Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF)”, and the concessionaires that operate far and wide the railway system in Mexico to counteract some of the main incidents that occurs in the system. For this purpose, this thesis is based on the reports named “reportesde seguridad en el sistema ferroviario” published by the ARTF quarterly.

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos somos por naturaleza soñadores; han sido estos sueños los que nos han permitido explorar el mundo, buscando así un mejoramiento continuo en todos los ámbitos concernientes a nuestra raza. Un claro ejemplo de ello han sido los transportes, siendo el ferrocarril uno de los casos más notorios puesto que, a más de dos siglos de su invención, hoy en día se sigue desarrollando e innovando, mostrándonos las ventajas que tiene sobre otros modos de transporte.

En nuestro país la historia del ferrocarril comenzó no muy lejos del nacimiento de la primera locomotora de vapor; el desarrollo que ha tenido en nuestra nación ha sido en algunos momentos sostenible, pero en otros períodos no tanto. Actualmente, contamos con servicio tanto de carga como de pasajeros, sistema conformado por vías principales y secundarias concesionadas, auxiliares e inclusive vías particulares que, a decir de paso, sirven para el comercio nacional e internacional, tanto de exportación como de importación.

Uno de los aspectos más relevantes acerca del tema ferroviario analizado por este proyecto es la importancia de este sistema de transporte para el país; de esta manera el tema de la seguridad pasa a no sólo ser relevante, sino también a ser neurálgico porque un sistema que es seguro puede generar la suficiente confianza para ser impulsado y desarrollado en todos sus ámbitos concernientes.

A sabiendas de lo anterior, este proyecto de titulación tiene dos principales enfoques. El primero es documental, enfocado a todos los aspectos teóricos y técnicos que engloban al tema ferroviario y, sobre todo, al tema referente de seguridad en este ámbito. Es de suma importancia conocer estos aspectos, debido a que son ellos la base de implementación de un sistema ferroviario adecuado, eficiente y seguro.

La segunda parte de la cual está conformado este proyecto es el referente al análisis de un caso real, donde se da cuenta de una problemática derivada de la no aplicación adecuada de todos los estatutos analizados en la primera parte mencionada en el párrafo anterior, de tal manera que en base a lo estudiado, se propone la implementación de líneas de acción que, en su caso, pudieran ayudar a la prevención de situaciones similares en el futuro.

JUSTIFICACIÓN

Con la creación de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) se le destinó, a este órgano desconcentrado de la SCT, la atribución de determinar, monitorear y evaluar los indicadores referentes a los servicios, eficiencia operativa, administrativa, atención a usuarios y seguridad en materia ferroviaria y multimodal.

En este contexto, la Agencia comenzó, para el Cuarto Trimestre de 2016, la publicación de los Reportes Trimestrales de Seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano, con el objetivo de dar a conocer información estadística disponible en materia de seguridad para consulta del público en general, así como para aquellos interesados e involucrados en el tema, como son las empresas concesionarias, asignatarias, permisionarias y usuarios del servicio público de transporte ferroviario de carga y pasajeros.

Dentro de estos documentos se realiza una clasificación respecto a los eventos en materia de seguridad que se reportan en el Sistema Ferroviario Mexicano, detectándose que el robo y vandalismo al sistema es un rubro que toma importancia debido a las posibles consecuencias que estos actos pudieran ocasionar en la operación diaria de los trenes a nivel nacional. De hecho, se tiene registro de incidentes ocurridos en los que las causas dictaminadas son el robo de elementos de vía.

De la misma manera, en estos documentos se mencionan las actividades de la ARTF en materia de seguridad, de este tema lo que se desprende es la importancia de las actividades no sólo de supervisión, sino de mantenimiento y conservación, actividad que es responsabilidad de los concesionarios, asignatarios y permisionarios que, con sus equipos, utilizan las vías ferroviarias dentro del sistema nacional.

Por lo antes mencionado es importante conocer de fondo lo que está ocurriendo en el sistema referente al tema de seguridad y mantenimiento, para que con ello sea posible plantear líneas de acción más eficaces, encaminadas a la prevención de este tipo de situaciones, puesto que son situaciones de carácter nacional, que muchas veces, al no ser detectadas o aplicadas a tiempo, tienen como consecuencia víctimas mortales, situación que nunca será aceptable, sobre todo porque como ingenieros tenemos la misión y el compromiso de preservar y salvaguardar siempre la integridad de las personas.

OBJETIVOS

General

El objetivo general de esta tesina es investigar y describir la importancia de la seguridad ferroviaria en el sistema mexicano, a través de un análisis secuencial y sistemático de este modo de transporte.

Específicos

Por cada uno de los capítulos desarrollados, y con la finalidad de poder ser lo más objetivo por cada uno de ellos, se plantean los siguientes seis objetivos específicos:

1. Conocer los antecedentes históricos que dieron como resultado el actual sistema ferroviario mexicano.
2. Identificar los elementos que constituyen una estructura de vía.
3. Tener un acercamiento al tipo de vehículos que transitan sobre las vías en el sistema ferroviario mexicano, con ello conocer qué tipo de carga es la que se transporta a lo largo de las líneas que componen al sistema.
4. Conocer el estado del actual sistema ferroviario en nuestro país, cuáles son las empresas más importantes, así como la importancia del sistema para el país, de tal manera dimensionar las consecuencias que trae consigo el tema de la seguridad ferroviaria.
5. Conocer las fuentes de donde se puede obtener los datos necesarios para estar informados respecto al tema de la seguridad ferroviaria.
6. Conocer la importancia e impacto del mantenimiento para la seguridad ferroviaria.

MARCO TEÓRICO

Planteamiento del problema

¿Qué papel juega la seguridad y el de mantenimiento-conservación dentro del desarrollo de un sistema ferroviario nacional eficiente?

Hipótesis

Si se cuenta con una eficaz promoción, por parte de los actores involucrados, de la seguridad, productividad y la calidad del sistema ferroviario nacional, entonces el sistema puede seguir funcionando en las mejores condiciones posibles.

Aproximación del tema desde la perspectiva del concepto de redes

Dado que esta investigación tiene la finalidad de analizar la importancia de un sistema, para poder abordarlo es necesario estudiarlo desde el punto de vista de redes. A continuación, se establecen los principios de esta rama de análisis.

Desde una perspectiva sistémica, cualquier red está formada por tres componentes básicos:

1. Nodos.
2. Arcos.
3. Flujo o trayectoria.

La agrupación de nodos a través de arcos formando un flujo forma un sistema.

Los nodos se representan por círculos y están unidos por líneas que son los llamados arcos; los arcos pueden ser de dos tipos: **dirigidos** o **no dirigidos**. Un arco dirigido es aquel sobre el cual puede moverse un flujo en una sola dirección (representado por una flecha), y uno no dirigido es aquel sobre el cual puede moverse el flujo en cualquier sentido (representado por una línea).

Respecto a la trayectoria, ésta corresponde a una sucesión de arcos distintos que conectan dos nodos. Cuando algunos -o todos- los arcos de una red son arcos dirigidos, se hace la distinción entre **trayectorias dirigidas** y **trayectorias no dirigidas**. Por ejemplo, una trayectoria dirigida del nodo i al nodo j, es una sucesión de arcos cuya dirección (si la tiene) es hacia el nodo j, de manera que el flujo del nodo i al nodo j, a través de esta trayectoria es factible. Por otro lado, una trayectoria no dirigida del nodo i al nodo j es una sucesión de arcos cuya dirección (si la tienen) puede ser hacia o desde el nodo j. Con frecuencia alguna

trayectoria no dirigida tendrá algunos arcos dirigidos hacia el nodo j y otros desde él (es decir, hacia el nodo i).

Otro de los componentes importantes para poder comprender la teoría de redes es el concepto de red conexas, la cual es una red en la que cada par de nodos está conectado. Se dice que dos nodos están conectados si la red contiene al menos una trayectoria no dirigida entre ellos. Se debe resaltar que no es necesario que la trayectoria sea dirigida aun cuando la red sí lo sea.

Como es posible observar, en una red la característica más importante es que hay una interconexión entre todos y cada uno de los componentes que conforman a la red y visto desde el punto de vista sistémico, cada elemento que conforma al sistema interactúa entre sí, haciendo cada parte de este dependiente entre sí; a su vez, el sistema va a ser dependiente de los factores externos que posiblemente interactúen con éste.

Antecedentes

Macroentorno en el cual se desarrolla el tema de estudio

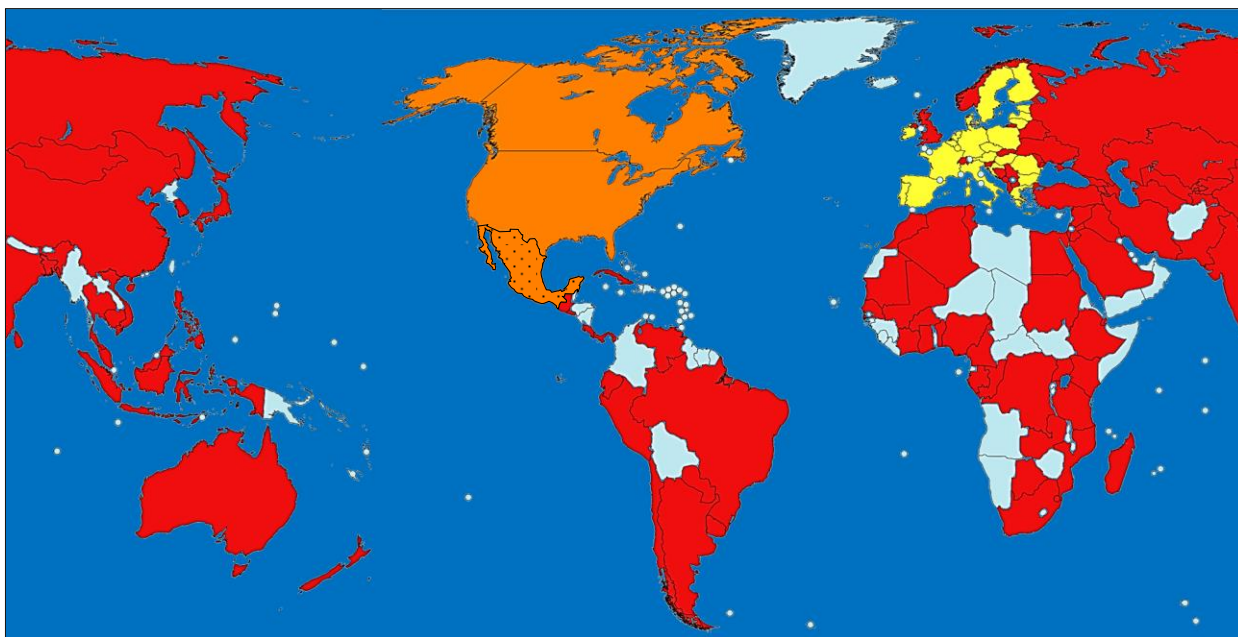


Ilustración 1. Mapamundi: Macroentorno en el cual se desarrolla el tema de estudio. Elaboración propia (18/03/2020)

Si lo vemos tal como lo presentan algunos mapas (véase *Ilustración 1*), geográficamente nuestro país es un territorio que se encuentra en la mitad del globo terráqueo, lo que representa un punto estratégico dentro de los movimientos de carga, mercancía y personas en el mundo. El Plan Nacional de Desarrollo 2013 – 2018 hizo alusión a esta característica geográfica mencionando que “el país tiene la oportunidad de servir de plataforma logística

y de negocios entre el norte y el sur del continente americano”; pero no sólo para el continente americano, sino para el resto de los continentes. Para lograr este objetivo el PND 2013 – 2018 hablaba acerca de impulsar el libre comercio y la integración regional. El proceso de apertura comercial en el país comenzó en 1986 con nuestra incorporación al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT), desde 1995 a la Organización Mundial del Comercio (OMC) y que fue profundizado con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994.

Es precisamente en 1987 cuando México decide ser una economía abierta (globalización) donde se establece una fuerte competencia en la producción de bienes y servicios, en el que se crean negocios en los que el empresario es el usufructuario de su construcción y el que se aprovecha del rendimiento de la prestación de su servicio. (Bonnín, et al, 2013)

Dentro de este proceso los transportes juegan un papel sumamente importante. La ampliación y la globalización de los mercados suma fuerzas en la medida en la cual los sistemas de transporte se desarrollan.

El modelo productivo, las estructuras territoriales y los procesos de urbanización (como consecuencia del proceso de la globalización) tienen en los sistemas de transporte uno de los elementos centrales que garantiza su funcionamiento. Y al mismo tiempo, la creación de dicho sistema de transporte incentiva los procesos de globalización, urbanización y extensión de la movilidad motorizada. (Fernández, 1999)

La decisión de entrar en una economía abierta condujo a que el país entrara a una red global donde muy difícilmente se puede analizar la situación desde un solo punto de vista y análisis; la visión integradora ahora requiere necesariamente una visión holística, es decir, *ver las cosas enteras, en su totalidad, en su conjunto, en su complejidad, como un sistema, entendiendo por sistema una agrupación de partes entre las que se establece alguna forma de relación que las articule en la unidad que es precisamente el sistema* (Gay, s.f.) pues de esta forma se pueden apreciar interacciones, particularidades y procesos que por lo regular no se perciben si se estudian los aspectos que conforman el todo, por separado. (Barrera, s.f.)






En el año 2018 se contabilizaron, a nivel mundial, un total de **1,186,516 kilómetros¹** de vías férreas, de este total, **191,189 kilómetros**, es decir, el 16.1% están localizadas sólo en la

¹ Investigación elaborada personalmente en base a la información recolectada, principalmente, en Railisa UIC Statistics. Para una profundización del tema ir al Anexo 1 de este proyecto (véase página 129).

Unión Europea. **663,908 kilómetros**, que representan el 56.0% se distribuyen a lo largo del mundo y el 27.9% restante (lo que significan **331,419 kilómetros** de vías) están concentrados en América del Norte (78% en Estados Unidos, 15% en Canadá y el 7% en México), lo que quiere decir que un poco más del cuarto del total de kilómetros de todas las líneas férreas del mundo están localizadas en una sola zona territorial.

El 7% del que se habla en el párrafo anterior representa un total de **23,389 kilómetros** de vía operada y **87,959 millones de toneladas por kilómetro**. Para entender un poco mejor este dato, es necesario realizar una comparativa para poner bajo un marco de referencia la información antes mencionada. Nuestro país tiene una superficie en kilómetros cuadrados de **1,964,375**. Datos proporcionados por el Banco Mundial, para el 2018 el P.I.B. anual en nuestro país fue de aproximadamente **1.222 billones de dólares**. Con estos datos, se rastrearon países con un P.I.B. similar para ese año y sólo como referencia su superficie en kilómetros cuadrados. A continuación, se presenta la *Tabla 1*, con los resultados obtenidos.

Tabla 1. Total de kilómetros de vía operada en México y 4 países para realizar una comparación. Elaboración propia (26/06/2020). Fuente: Banco Mundial: <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>

País	Superficie (km ²)	P.I.B. Anual (billones de dólares)	Total km (vía operada)	Millones Ton-km
 MEX	1 964 375	1.222	23 389	87 959
 IDN	1 904 569	1.042	8 357	S/D
 ESP	505 990	1.419	15 618	6 361
 ITA	301 338	2.084	16 866	9 478
 KOR	100 210	1.619	4 192	7 878

Como es posible observar, el país con mayor semejanza en cuanto a su superficie y el Producto Interno Bruto Anual es Indonesia (IDN); sin embargo, en cuanto a la comparación respecto al total de vías operadas, este país está muy por debajo de lo que tiene México. Con respecto a los demás países, los cuales sirven para tener el marco de referencia, ninguno de ellos, a pesar de que su Producto Interno Bruto Anual es mayor, ninguno se acerca a la cantidad de vías operadas que tiene México; haciendo notar que la superficie de éstos está muy por debajo del total de kilómetros cuadrados que posee México.

Dado que un sistema como el que se pretende analizar no está aislado, sino todo lo contrario, es importante que para lograr los objetivos deseados de este trabajo se puedan

analizar los elementos bajo un enfoque sistémico, ya que a través de ello se podrá tener un acercamiento más directo para comprender de una mejor manera la situación que se está viviendo actualmente en el sistema ferroviario y con ello entender las características de este y por ende su importancia para el país.

La Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) como órgano promotor de la seguridad ferroviaria en México

El 26 de enero de 2015 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario (Ley), para crear la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), como órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte. En el artículo segundo del Decreto se establece que la ARTF tendrá los siguientes objetivos:

1. Regular, promover, vigilar y verificar:
 - a. La construcción.
 - b. La operación.
 - c. La explotación.
 - d. La conservación.
 - e. El mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.
 - f. La prestación del servicio público de transporte ferroviario y de sus servicios auxiliares.
2. Garantizar la interconexión en las vías férreas cuando sean vías generales de comunicación.
3. Fomentar la interrelación de las terminales ferroviarias con la operación multimodal.
4. Imponer sanciones.

Para el cumplimiento de su objeto, además de las atribuciones establecidas en la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario tendrá las atribuciones siguientes:

- I. Integrar el Registro Ferroviario Mexicano.
- II. Participar, en el ámbito de su competencia, en las negociaciones para la celebración o revisión de los tratados y convenios internacionales, así como en sus relaciones con otras dependencias y entidades, e intervenir en el proceso de homologación de normas técnicas en materia ferroviaria.

-
- III. Auxiliar al Titular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en las actividades relativas a la elaboración de las políticas y programas de desarrollo, regulación, supervisión y logística del sistema ferroviario y de su operación multimodal.
 - IV. Emitir opinión técnica, previa solicitud de la Secretaría respecto de los proyectos ejecutivos y demás documentos relacionados con las obras que pretendan ejecutarse;
 - V. Promover la expansión y el uso de la red ferroviaria, incluidos los proyectos de transporte ferroviario de pasajeros suburbanos, interurbanos y turísticos en aquellas zonas donde existan condiciones técnicas, económicas y sociales que justifiquen su desarrollo, así como en las comunidades aisladas que no cuenten con otro medio de transporte público.
 - VI. Coordinar las acciones de carácter técnico que se requieran para determinar, las especificaciones relativas a la construcción, conservación, ampliación, protección, mejora y uso de una vía general de comunicación ferroviaria, en colaboración con las autoridades competentes.
 - VII. Emitir opinión técnica y operativa, a solicitud de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, respecto de la imposición de modalidades en la operación y explotación de las vías férreas y en la prestación del servicio público del transporte ferroviario para atender necesidades de caso fortuito o fuerza mayor, en términos de disposiciones aplicables.
 - VIII. Asignar la matrícula que se integre con la inicial y número que deberá portar el equipo tractivo y de arrastre que transite por las vías generales de comunicación ferroviaria.
 - IX. Expedir, revalidar, suspender y cancelar la licencia federal ferroviaria, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables.
 - X. Recibir por parte de los concesionarios y permisionarios sus programas para la atención de posibles contingencias o siniestros que se presenten, así como los informes técnicos que elaboren y los elementos que les hayan permitido determinar las causas y circunstancias que los motivaron y, en su caso, iniciar las investigaciones que correspondan en términos de las disposiciones jurídicas aplicables.
 - XI. Fomentar el desarrollo de infraestructura multimodal, para incrementar la accesibilidad al transporte de carga en el país.
 - XII. Determinar, monitorear y evaluar los indicadores referentes a los servicios, eficiencia operativa, administrativa, atención a los usuarios y seguridad en materia ferroviaria y multimodal, para verificar y dar seguimiento al desempeño de la infraestructura y de la

logística que se desarrolle en el país. Los indicadores considerarán los principios que sean reconocidos internacionalmente para tal efecto.

- XIII. Promover la expansión y uso de los servicios e infraestructura ferroviaria, incluyendo aquellas para el desarrollo de cadenas logísticas que eleven la competitividad del sistema ferroviario en el país y su vinculación con el extranjero.
- XIV. Ejercer las atribuciones respecto de las tarifas y precios en el servicio público del transporte ferroviario, sus servicios auxiliares y demás actividades relacionadas con el servicio ferroviario, así como la operación multimodal en material ferroviaria y en el servicio de maniobras en zonas federales terrestres ferroviarias, de conformidad con la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, su reglamento y demás disposiciones aplicables.
- XV. Coordinar el Fondo Nacional de Seguridad para Cruces Viales Ferroviarios de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables.
- XVI. Sancionar las conductas que contravengan las disposiciones jurídicas aplicables.
- XVII. Dirimir cualquier controversia entre los usuarios y los concesionarios como prestadores del servicio ferroviario, en los términos que señalan la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario y el Reglamento del Servicio Ferroviario.

De la misma manera, la visión de la Agencia queda plasmada a través de las siguientes palabras:

Constituirse como una agencia especializada de alto nivel técnico ferroviario, que funcione como agente de cambio en el país, mediante la promoción y regulación de más y mejores servicios e infraestructura ferroviaria, convirtiéndose en una entidad líder en la coordinación entre los distintos niveles de gobierno, autoridades, prestadores de servicio y usuarios del transporte ferroviario de carga o pasajeros, para la conformación de cadenas de suministro de clase mundial, mediante una gestión ágil, eficiente y transparente. (ARTF, 2020)

MARCO METODOLÓGICO

Generalidades

Definido por Nieto (2010), el marco metodológico “indica la manera como el investigador realizará la investigación y describe la forma detallada cómo se llevará a cabo el estudio”. Es decir, es la descripción detallada y sistemática que permite la interpretación de los resultados obtenidos en función del problema que se investiga.

Diseño de la investigación

Dado que el objetivo de estudio será investigar y describir la importancia de la seguridad ferroviario en el sistema mexicano, se recurrió a un diseño no experimental que se aplicará de manera transversal, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente, se procedió a realizar una investigación de tipo descriptivo para conocer a detalle la importancia de la seguridad ferroviaria en el sistema mexicano.

De acuerdo con Hernández, *et al* (2003) la investigación no experimental “es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se dan en un contexto natural, para después analizarlos”. Estos mismos autores señalan que los diseños de investigación transversales “recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado”.

Enfoque de la investigación

El presente trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cualitativo, puesto que éste es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

El enfoque cualitativo pretende comprender la realidad que se investiga, por tanto, en ésta no se prueban hipótesis; al contrario, se examina diversas realidades subjetivas que dependen de cada sujeto de estudio. De la misma manera, este enfoque aplica técnicas de recolección de datos no estandarizados, no se basa en la estadística y por tanto los resultados no se generalizan de forma probabilística.

Del enfoque cualitativo se tomará la técnica de investigación documental, que consistirá en la comparación de distintas fuentes de información, de la misma manera se pretende realizar el análisis de un caso que funja como un problema de aplicación con el objetivo de poder

aplicar todo el conocimiento adquirido no sólo a lo largo de la realización de esta tesina, sino a lo largo de la especialización en Vías Terrestres, de tal manera que se pueda mostrar en este análisis la capacidad de análisis que se ha adquirido y que es de suma importancia tenerla como ingeniero y más aún como especialista.

Población

La población se define como “un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones” (Levin, *et al*, 1996).

La población de estudio estará conformada por el análisis documental que se pueda realizar acerca de la seguridad ferroviaria y su aplicación al sistema ferroviario nacional.

Técnicas de recolección de datos

Falcón, *et al* (2005) se refieren a la técnica de recolección de datos como “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información (...) la aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser resguardada mediante un instrumento de recolección de datos”.

La técnica de recolección de datos que se utilizará en la presente investigación será la investigación documental y el análisis de un caso que fungirá como un problema de aplicación. La investigación documental se basará en tres ejes rectores, los cuales son:

1. Antecedentes
2. Aspectos teóricos
3. Aspectos técnicos

Con los antecedentes se busca el poder recolectar toda aquella información que pueda servir como base para entender los hechos que se suscitaron posteriormente y que han dado como resultado el sistema ferroviario actual. Por otro lado, los aspectos teóricos buscan el dar un sustento real y comprobable de los hechos que se estén mencionando. Finalmente, los aspectos teóricos se basarán en la normatividad vigente y se podrá ver totalmente aplicada en el caso de estudio.

Nieto (2010) define a la investigación documental como “el proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresa, audiovisual o electrónicas.”.

Por otro lado, Díaz (2013) definen a la entrevista como “una conversación que se propone con un fin determinado distinto al simple hecho de conversar. Es un instrumento técnico de gran utilidad en la investigación cualitativa, para recabar datos”.

Instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de recolección de datos es en principio lo que define Sabino (1992) como “cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que correspondan a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados”.

El instrumento será una investigación documental basada en fuentes de información confiables, buscando que éstas correspondan a artículos de divulgación abalados por instituciones de prestigio, así como tesis que puedan sustentar el tema de investigación, de tal manera que se puedan obtener información de varias fuentes y poder alcanzar el objetivo general planteado desde un comienzo. Planteándose desde un comienzo, también se recurrirá a fuentes de consulta directamente de los involucrados en el tema; en este caso de los recursos que puedan aportar la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario.

Una vez que se cuenten con los elementos teóricos suficientes se podrá proseguir a la parte más importante de la tesina, la cual consiste en aplicar los conocimientos adquiridos a partir de la investigación realizada en este trabajo, pero sobre todo, de la capacidad de análisis, detección, sensibilidad y visión ingenieril que se ha adquirido a lo largo de la especialización en Vías Terrestres. Recordando un poco la misión del Programa Único de Especializaciones de Ingeniería (PUEI) es *formar especialistas de la ingeniería altamente capacitados con mayores destrezas y habilidades prácticas en los diferentes campos del conocimiento, para que se incorporen al sector productivo con la capacidad de resolver problemas de alto nivel técnico en su área*. Tal enunciado establece el objetivo de demostrar la capacidad que se ha adquirido. La manera de lograr este objetivo se basará en recurrir a un caso que represente una demostración del tema central de esta tesina, el cual es la seguridad ferroviaria.

Como parte de sus labores, la ARTF ante un siniestro ferroviario donde se vean afectados terceros, inicia una investigación para poder determinar el factor y en su caso, esclarecer las circunstancias en la que el siniestro se produjo, este análisis queda contenido en un

dictamen que se hace público y que se realizar vía una comisión, conocida como la “Comisión Investigadora del Siniestro Ferroviario (CISF)”. Para el caso de esta tesina, se elegirá un siniestro ferroviario y se procederá hacer un análisis de la información que esté contenida en el dictamen. Se buscará que en este análisis se pueda demostrar el objetivo que se estaba mencionando con anterioridad, el cual es demostrar la capacidad de análisis adquirida, más allá de juzgar el documento en sí.

CAPÍTULO I: RESEÑA HISTÓRICA

Reseña histórica de los ferrocarriles en el mundo

Una buena práctica para comprender el estado del arte del transporte ferroviario es conocer los antecedentes históricos que, directa o indirectamente, han determinado el rumbo de este. Hablar acerca de los antecedentes del ferrocarril abarca un extenso marco de referencia iniciando con la aparición del ser humano y su necesidad para movilizarse de un lugar a otro; de esta manera comenzó a utilizar el único medio que mejor conocía para ese entonces: su cuerpo. Posteriormente, el hombre comenzó un largo proceso para encontrar los medios más convenientes para llevar a cabo la *acción de transportar*, a consecuencia de que al mismo tiempo que iba evolucionando, también lo hacían sus necesidades y con ello aumentaban sus requerimientos en cuanto al volumen y cantidad de elementos transportados, así como la imperante necesidad de hacerlo de una manera rápida y eficiente; claro está, bajo las limitantes técnicas y tecnológicas que se tenían para entonces. Consecuentemente, el recurso que el humano halló como solución a la problemática de su poca capacidad de carga con respecto a su propia masa, fue la domesticación de animales que pudieran cargar una mayor cantidad de objetos en distancias relativamente mayores de lo que ellos podían. Este hito sucedió aproximadamente 3,000 a.n.e.

Sin ahondar mucho en el tema, el transporte marítimo ha sido desde la prehistoria de gran importancia para el desarrollo de las civilizaciones. Arango y Breñas (s.f.) remarcan que casi desde la aparición del hombre los barcos han estado a su servicio como medio de transporte de mercancías y pasajeros. Esta idea tiene un gran sentido si se pone de manifiesto que las primeras balsas surgieron aproximadamente 20,000 a.n.e. tal como se muestra en la reseña histórica realizada por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (2007), en comparación con la aparición de los primeros vehículos que poseían ruedas rudimentarias hace 4,000 a.n.e. tal como lo muestra la misma publicación del IMT.

La suma de los factores antes mencionados dio como resultado, en cierto punto de la historia de la humanidad, la invención de modos de transporte cada vez más sofisticados y con mayor capacidad de arrastre. Estrada (s.f.), en su proyecto final de licenciatura, menciona, sin dar mayor detalle, que los indicios más antiguos del ferrocarril se remontan a la civilización egipcia; sin embargo, el rastreo en las fuentes de consulta realizada arroja que el antecedente más antiguo del ferrocarril se encuentra en el istmo de Corinto, donde los griegos construyeron el **Diolkos**, esto a principios del siglo VII a.n.e., el cual era un

camino con aproximadamente 7 km de extensión, guiado por surcos labrados sobre piedra que conectaba el Golfo de Corinto con el Golfo Sarónico; al respecto, García (2017) en el artículo que escribe acerca de este tema, define al Diolkos como el *Petrocarril*, palabra cuya transcripción literal es: *riel de piedra*. La función básica para la cual fue construido este camino surcado era el transporte de bienes y barcos, tanto para el servicio civil como militar.

Situándonos un poco más cerca de nuestra era, existe en la actual ciudad romana, *Cerveteri*, tal como lo indica Kerr, unos surcos forjados sobre el suelo, obra atribuida a los *Etruscos* hace aproximadamente 2,400 años. Posteriormente, con la consolidación del Imperio Romano, fueron estos últimos quienes construyeron este tipo de obras de ingeniería para poder unir las distintas provincias del imperio. El principio básico de los surcos era poder movilizar de una manera más suave, rápida y con menor intervención humana los vehículos por medio de los cuales se transportaban las mercancías y cargamentos.

Hasta este punto los primeros indicios de un incipiente sistema de transporte terrestre guiado fueron opacados por el transporte marítimo, debido a la falta de tecnología conveniente para la época. Dadas las condiciones apreciables para aquel entonces, el transporte marítimo fue utilizado intensivamente para el transporte de grandes cantidades de mercancías en largas distancias. Fue hasta la mitad del siglo XVI que, dadas las condiciones que imperaban en ese momento, se aprovechó la fuerza bruta de los caballos complementándolo con el uso de rieles de madera en las minas de Alemania para el transporte de vagones, siendo éste el primer acontecimiento que marcó el advenimiento y orígenes del actual sistema ferroviario. Este sistema utilizaba un tipo de guía rudimentario basado en una especie de pasador que se movía a través de una guía ranurada a lo largo de los rieles de madera.

Conforme se acercaba el inicio de la Revolución Industrial los sistemas de transporte vía rieles se iban mejorando; fueron varios los personajes de la época que hicieron su aporte para poder tener un sistema más cómodo, resistente y seguro; siendo evidente que para los empresarios era más rentable tener un buen sistema a no tenerlo. De esta manera, para 1630 se diseñó una vía de madera cuya característica principal fue el uso de contraríeles a cada seis pies de los rieles para poder asegurar el mantener el ancho a lo largo de la vía.

Dadas las condiciones naturales de la madera, se observó que ésta se iba desgastando poco a poco; se le dio la solución de reforzar la superficie superior de los rieles con tablas

de madera. Poco después, para reducir aún más el posible desgaste, se sujetó a los rieles de madera correas de metal dando los primeros pasos a un sistema que utilizaba metal sobre en alguna de las secciones del riel.

En 1767 se dio una innovación importante en la construcción de las vías de ferrocarril, al adicionarse a los rieles de madera, una guía de rieles de hierro fundido, los cuales estaban contruidos de tal manera que su superficie estaba surcada con el fin de dar guía a la rueda del vagón que pasaba sobre ellos. Cada uno de los rieles estaba ranurado con tres agujeros para que sobre éstos se pudieran enclavar los contraríeles de madera para conservar el ancho de vía. Sin lugar a duda, esta innovación tuvo grandes repercusiones en el mundo ferroviario, debido a que se observó que, con el uso de este tipo de rieles, existía una menor resistencia al movimiento de los vagones.

La siguiente innovación que se dio en el ámbito tuvo que ver propiamente con el diseño de la sección transversal del riel, comenzando por el uso de una sección en forma de “L” en vez de una superficie con un surco, lo que en su momento derivó en el análisis de *¿a cada cuánto debía estar sujeto el riel?* y, por otro lado, *el calibre de la sección transversal*. El primer análisis se estableció después de que se observó que el riel de madera que iba por debajo del de hierro sufría un desgaste más rápido que el primero, lo que condujo a revisar qué otro tipo de materiales podrían utilizarse y si era necesario que éste corriera a lo largo del mismo y si no, a cada cuánto debía colocarse. El segundo análisis mencionado surgió precisamente del primero; hubo un momento en que el tema de la separación de las bases de apoyo de los rieles de hierro fundido derivó en la propuesta de que las bases podrían colocarse solamente en los extremos de los rieles de hierro, mientras no se superara la coincidencia de la resistencia del riel con la del peso del vagón, en cuyo caso, el calibre del riel debía incrementarse para poder soportar las cargas.

El proceso que antecedió al actual sistema de vías se caracterizó por tener una visión con tintes más analíticos e ingenieriles de como se venía dando el desarrollo del sistema. Tal fue el caso del intento de aumentar la resistencia a la flexión de las vías aumentando la altura de la pestaña del riel hacía el centro de esta, con el objetivo de seguir la línea del momento de flexión máxima causado por la carga generada por la rueda en movimiento sobre el riel simplemente apoyado en sus extremos.

Hasta este momento, tal como es posible observar, todo el sistema de guía de los vagones dependía en su totalidad de los rieles. Fue hasta 1789 que el ingeniero inglés William Jessop introdujo el sistema de riel con borde y rueda con pestaña, elaboradas de hierro fundido, sistema utilizado hasta nuestros días. Un dato interesante por resaltar es que antes de la introducción de este sistema, dadas las características de este, un vehículo podía hacer un recorrido tanto sobre las vías como en un camino carretero, mientras el eje de las llantas fuera compatible con el ancho de vía; sin embargo, con el sistema propuesto y adoptado por Jessop, esto ya no era posible, dando lugar a la exclusividad del modo de transporte carretero y ferroviario.

Para poder comprender de mejor manera el proceso histórico por el cual transitó el ferrocarril, es necesario desarrollar un tema histórico que ha sido relevante no sólo en el tema ferroviario sino en todos los sentidos posibles, debido a que fue un parteaguas en la historia moderna de la humanidad. A continuación, se presenta una muy breve reseña histórica de la Revolución Industrial, causa que dio origen a un amplió desarrollo para el ferrocarril debido a que, como se mencionará, sentó los principios mecánicos de la locomoción con la aparición de la máquina de vapor.

La Revolución Industrial y su impacto en los ferrocarriles

Sin lugar a duda hay una estrecha relación entre el avance tecnológico que se ha tenido con el desarrollo de la humanidad. Tal como lo dice Galeano (2011), en su ensayo **El hombre y la tecnología: del hombre moderno al hombre primitivo** “el hombre ha evolucionado potencialmente a través de los años”, su desarrollo ha sido constante, siendo este desarrollo de suma importancia para que estemos donde estamos en la actualidad. Y prosigue al mencionar que “el tamaño del cerebro fue aumentando y en la misma proporción aumentaron sus habilidades sociales, mentales y prácticas”. Uno de estos eslabones en el desarrollo ha sido la *Revolución Industrial*, la cual, tal como lo menciona el CIDEAD (s.f.) “es un proceso que se inició en el siglo XVIII en Inglaterra, por el cual la humanidad pasó de un estilo de vida tradicional basada en la agricultura, ganadería y la producción artesanal, a otro estilo de vida fundamentado en la producción industrial y la mecanización”. Consecuentemente, se inició una transformación en un sinnúmero de aspectos de la vida humana, siendo uno de ellos el transporte. En el período anterior a la primera Revolución Industrial, tal como se venía contando en párrafos anteriores, el transporte era incipiente y estaba desbalanceado porque se le daba una mayor importancia al marítimo para el

transporte de carga. Sin embargo, se quiera o no, el desarrollo que se tuvo hasta los inicios de la Revolución Industrial sirvió como base para el desarrollo de sistemas más eficientes y competentes para los requerimientos de la época.

En su artículo **El ferrocarril en la Revolución Industrial**, Barrio (s.f.) realiza un análisis respecto a las consecuencias que sobrevinieron para el ferrocarril a partir de la Revolución Industrial. Explica, por ejemplo, que el transporte *prerrevolucionario* se caracterizaba por ser lo que se podría llamar **bidireccional simple**, en palabras de Barrio “el comercio de la época estaba caracterizado por ser del campo a las ciudades y viceversa dentro de los países, vías, caminos o, en su caso, de un país a otro principalmente por vía marítima”; sin embargo, conforme el proceso revolucionario siguió su camino, la industria pasó de ser una incipiente actividad que producía para las propias naciones a ser una actividad donde la capacidad de producción aumentó dadas las consecuencias de la utilización de máquinas que sobrepasaban la capacidad de la fuerza humana, por ende se generaron más productos de los que la gente de los países podían consumir, lo que trajo la necesidad de que esos excedentes se vendieran de una u otra forma, para ello fue preciso lograr el movimiento de modos con mayor capacidad, más veloces y, sobre todo, económicos.

La máquina de vapor

Tal como lo mencionan Moreno y López (2012) en su artículo acerca de la **Breve historia de la máquina de vapor**, explican cómo la labor de ingenieros como *Denis Papin, Thomas Newcomen, Joseph Black, James Watt y Sadi Carnot*, fue el estudio de las formas de producir enormes fuerzas a partir del fuego, dando como resultado la máquina de vapor la cual, según los recursos proporcionados por el Plan Ceibal (s.f.), “la máquina de vapor fue fundamental para la Revolución Industrial debido a que se trata de una máquina que funciona sin la intervención de energía humana o animal, sino gracias a la fuerza del vapor de agua.”.

A pesar de que se habla mucho de la máquina de vapor de James Watt, ésta no fue la primera que se inventó. La primera máquina de vapor exitosa la inventó Thomas Newcomen, cuyo principio básico estaba basado en la generación de vapor de agua a partir del calor producido por la combustión de carbón o madera, siendo su principal defecto que se enfriaba demasiado rápido, por lo que no generaba la cantidad suficiente de energía mecánica y requería mucha cantidad de combustible.

Moreno y López (2012) comentan en su artículo cómo fue que Thomas Watt se le dio la tarea de reparar un modelo reducido de la máquina de Newcomen, hecho que a la larga se convirtió en el antecedente para que construyera una máquina mucho más eficiente que la primera mencionada. Esta máquina innovada generaba vapor por la combustión de carbón o madera sin grandes desperdicios de calor y cuyas tres etapas son siguientes presentadas por Barrio (s.f.) en la página 10 de su artículo:

1. *El vapor caliente procede de la caldera entre el cilindro a través de una válvula de entrada.*
2. *Luego el vapor se expande y cede parte de su energía al émbolo o pistón situado en el interior del cilindro.*
3. *Por último, el vapor enfriado es expulsado a través de la válvula de salida con una presión menor que la que tenía al entrar al cilindro. Este vapor puede ser finalmente expulsado a la atmósfera o reutilizado, introduciéndolo por una tubería en un condensador por donde puede pasar de nuevo al estado líquido y ser dirigido otra vez a la caldera para comenzar otro ciclo.*

Barrio (s.f.)

Como es posible observar, este sistema es bastante simple en su funcionamiento y con grandes posibilidades de utilización no sólo en los transportes (para hacer más fácil la movilización de carga y pasajeros), sino también en la aplicación en la industria para el ahorro de mano de obra y, sobre todo, tiempo de producción.

La locomotora de vapor

Es en este punto de la historia que podemos ver las consecuencias directas que tuvo la Revolución Industrial dentro de los ferrocarriles. Con los primeros modelos de la máquina de vapor los interesados en los avances tecnológicos se dieron cuenta de las ventajas que traía consigo el sistema y su posible implementación en sistemas más complejos, como es el caso de los transportes, siendo este el caso del ingeniero inglés especialista en minas Richard Trevithick quien en 1802 supo construir un sistema de transporte terrestre al cual se le implementó una máquina de vapor para poder movilizarse sobre rieles de hierro sin la necesidad de utilizar caballos para su arrastre. Las características mecánicas de esta primera locomotora eran la utilización de un solo cilindro, contaba con un volante de inercia y la transmisión de fuerza a las ruedas se realizaba por engranajes, logrando arrastrar diez toneladas de hierro y setenta personas a unos ocho kilómetros por hora. El único inconveniente que tuvo esta máquina fue su peso, el cual provocó que los rieles se dañaran debido a que no había antecedentes de este tipo de máquinas sobre los rieles.

Ante la inesperada eventualidad suscitada por el peso de la locomotora recién creada, la única solución práctica y económica en ese momento fue seguir utilizando fuerza animal para el arrastre de los vagones, hasta que la escasez de caballos y sus altos costos a consecuencia de las guerras napoleónicas obligó a volver la mirada otra vez a sistemas como los contruidos por Trevithick. En 1811, el ingeniero inglés John Blenkinsop patentó el sistema de cremallera para las locomotoras. Un año después de esto, el fabricante Matthew Murray diseñó y construyó la primera locomotora de vapor comercialmente viable, la “Salamanca”. Era de dos cilindros y montaba el sistema de cremallera patentado por Blenkinsop, solucionando así el problema del peso de la máquina, problema que sigue el siguiente principio: si la locomotora es demasiado ligera no tiene suficiente adherencia, por tanto, sus ruedas patinan y no consiguen arrastrar la carga; si la máquina pesa demasiado, mejora la adherencia, pero daña los rieles. La “Salamanca” solucionaba estos inconvenientes al contar con dos ruedas dentadas que engranaban con los dientes de la vía.

Poco tiempo después, entre 1814 y 1829 el ingeniero inglés George Stephenson diseñó varios modelos de locomotoras siendo la nombrada como “Rocket” la que logró alcanzar una velocidad media de 24 kilómetros por hora y 40 caballos de vapor, siendo para la gran mayoría la verdadera primera locomotora viable jamás construida. Hasta este punto se había logrado la integración de un vehículo con la máquina de vapor, pero aún existía un problema y tenía que ver con la vía y el vehículo. Para este tiempo el sistema propuesto por Jessop tenía la problemática de que cuando la locomotora transitaba por una curva, las ruedas se subían sobre los rieles, dándole como solución -mucho tiempo después- la necesidad de las ruedas de quedar holgadas sobre los rieles. Por otro lado, el sistema de frenado también tenía ciertos inconvenientes que debían detallarse para que fueran seguros y de fácil manejo.

En 1825 fue abierto al público el primer ferrocarril a vapor: un conjunto de vagones arrastrados por una locomotora que cubrió trece kilómetros entre las ciudades inglesas de Stockton y Darlington. Posteriormente, en 1830 se inauguró la línea Liverpool-Manchester. El éxito de esta línea eliminó los obstáculos que se oponían al desarrollo de esta nueva forma de transporte.

Tal como se mencionó al principio de este subtema, uno de los principales problemas para este sistema fue su excesivo peso para la fragilidad de los rieles de hierro colado que se

utilizaban en aquella época. Esta problemática fue resuelta con la manufactura de rieles de hierro forjado y, más adelante, del uso de acero. En cuanto a la velocidad, de los veintiocho kilómetros por hora del tren Manchester-Liverpool se pasó, en la década de 1850, a alcanzar casi los cien kilómetros por hora.

Tal como lo menciona el IMT en palabras de Moreno Quintero *et al* (2014):

En el siglo XIX, el transporte ferroviario fue una innovación tecnológica fundamental para el desarrollo de la Revolución Industrial en Europa y los Estados Unidos. La posibilidad física y económica de trasladar volúmenes masivos de materias primas permitió la expansión de la economía mundial capitalista hacía el interior de los espacios continentales y el abastecimiento de los mercados requeridos por la producción de mercancías a gran escala.

Moreno Quintero *et al* (2014)

A mediados del siglo XIX se construyeron muchos kilómetros de vía férrea, y en torno a 1850 el ferrocarril de vapor llegó a todos los continentes. Pero para ello la construcción de ferrocarriles necesitó de grandes inversiones de capital, iniciando la revolución en la forma de viajar y transportar mercancías en todo el mundo

El triunfo del ferrocarril se basó en que abarató notablemente el transporte, facilitó las comunicaciones y, como consecuencia, contribuyó a modificar los hábitos de las personas al convertir el viaje de un punto “A” a un punto “B” en algo asequible no sólo económicamente hablando, sino desde el punto de vista del tiempo. Además de un aspecto de comodidad, el ferrocarril ayudó a la seguridad en el transporte de carga y pasajeros. Un claro ejemplo de esto es el que expone Armstrong, el cual dice que antes de la guerra civil estadounidense, el transporte transcontinental en ese país consistía en una diligencia o un viaje en carreta por el Camino de Santa Fe, que requería un verano completo. Tal viaje por tierra se consideró aún más peligroso que el viaje por el océano alrededor del Cabo de Hornos, considerada la zona más austral del mundo, que requiere cinco semanas. De esta manera, transportar una carga pesada cualquier distancia consumía tanto tiempo como costo, enfrentándose muchas veces a problemas de forajidos que robaban las mercancías que se estaban transportando.

Tal como lo enumera Barrio (s.f.), algunas otras consecuencias que se tuvieron con la implementación del sistema férreo fueron:

1. *Permitió a las ciudades alimentarse sin crisis de abastecimiento.*
2. *Facilitó la posibilidad de colocar los excedentes en mercados lejanos a precios bajos, lo que originó una especialización de regiones enteras y, por consiguiente, se incrementó la producción total de todo tipo de bienes de equipo.*

Barrio (s.f.)

Lo que en síntesis se puede decir que fueron consecuencias que directamente elevaron el estatus de las naciones y, con ello, el estatus de la población de la misma manera, incrementando aspectos esenciales como lo son la esperanza de vida, ofertas laborales, mejor acceso al sistema de salud, entre otros aspectos.

Tanto la Primera como la Segunda Guerra Mundial fueron acontecimientos históricos que se desarrollaron a lo largo del siglo XX, siendo un parteaguas en temas importantes para la humanidad; desde la política internacional hasta la economía global que, al mismo tiempo permeaban los temas concernientes al desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas más modernas y eficientes. Concluida la Segunda Guerra Mundial en 1945 se desarrollaron tecnologías base, como los motores que usan petróleo y electricidad, implementándose en vehículos cada vez más pequeños y potentes, lo que consecuentemente trajo consigo la necesidad de construir más caminos para satisfacer la creciente demanda.

El incremento en la adquisición de vehículos particulares por parte de los consumidores trajo consigo que el transporte de pasajeros vía ferrocarril tuviera un decremento; sin embargo, también fue una etapa en la que se supieron aprovechar los avances tecnológicos, siendo el más evidente cambio de esta etapa la transición entre los motores de vapor por aquellos cuya fuerza motriz son los motores Diesel-eléctricos, promovidos indirectamente por el impulso que se le dio durante la guerra mundial a este tipo de sistemas, trayendo consigo que este tipo de locomotoras sean más baratas, potentes y, por ende, más rentables comparadas con el sistema previo que utilizaba el vapor como fuerza motriz.

El tema de la seguridad a lo largo de la historia

Dadas la temática de este trabajo, es pertinente agregar un apartado dentro de este primer capítulo para hacer mención respecto al tema de la seguridad a lo largo de la historia de la humanidad.

Los antecedentes más antiguos que se pudieron rastrear acerca de la seguridad en las actividades laborales en las fuentes consultadas refieren que ya en el año 400 a.n.e. Hipócrates, el padre de la medicina daba recomendaciones a los mineros para evitar la saturación de plomo. Platón y Aristóteles estudiaron ciertas deformaciones físicas producidas por actividades ocupacionales, planteando la necesidad de su prevención. (Ramírez, 2005).

Tal como lo va describiendo a lo largo de las páginas de su libro, Domínguez (2011), hace ver que históricamente el ser humano se ha caracterizado de entre las demás especies por su capacidad para desarrollar ingeniería a partir de la tecnología con la que dispone, en cada período donde esté situado. El ser humano ha sido capaz de construir, desde su aparición, elementos inimaginables; desde grandes murallas hasta ciudades enteras con pirámides cuyos restos aún siguen en pie; a pesar de esta capacidad de ingenio, no siempre se ha tenido el cuidado por preservar la seguridad de quienes realizan las labores más complicadas, como lo son la construcción de las obras. Tal como lo hace ver De Buen (1997), en la antigüedad, más que una preocupación hacía la regulación del trabajo favorable a los trabajadores, los políticos y gobernantes buscaban una regulación a la actividad misma en beneficio, principalmente, del crecimiento de los imperios que en ese momento reinaban.

De una manera un poco más propia y secuencial, Bavaresco (s.f.) presenta en su artículo acerca de la seguridad industrial la identificación de tres fases dentro de la evolución histórica a partir de la revolución industrial. La primera fase se desarrolló en los inicios mismos de la Revolución Industrial por tanto esta etapa estuvo fuertemente marcada por el concepto de cantidad de producción, al cual relegaban otros objetivos, pero nunca la seguridad -afirmando de esta manera lo mencionado por Domínguez (2011) y De Buen (1997)-, pues resultaba primordial asegurar que los nuevos procesos de producción tuvieran capacidad suficiente para rentabilizar las inversiones requeridas.

En la segunda fase del proceso se detecta que el concepto de seguridad adquiere la mayor relevancia, en su doble vertiente de seguridad interna en la fabricación o en los procesos industriales y seguridad externa en el uso de productos o los servicios industriales. El concepto de seguridad aparece ligado a lo que se podría denominar requisitos, que dependen del estado del arte. Aunque la industria haya de seguir satisfaciendo los criterios

de rentabilidad económica para los cuales es necesario la productividad, su optimización no puede en ningún caso contrario los requisitos esenciales de seguridad.

En la tercera fase, que se podría considerar se inicia en el mundo industrializado después de la Segunda Guerra Mundial, cobra importancia decisiva el concepto de calidad, puesto que no basta con asegurar unos mínimos requisitos de seguridad, ni tampoco es suficiente maximizar la productividad a corto plazo o tácticamente, sino que hay que considerar la calidad como valor intrínseco y de carácter estratégico, tanto en relación con los procesos como por la calidad de los productos.

Bavaresco (s.f.) dice lo siguiente respecto de este tema:

Fue hasta la edad media que surgieron algunas asociaciones y agrupaciones de acción positiva de profesionales o gremios. Hasta la primera mitad del siglo XIX son los sentimientos humanitarios los que prevalecen ante el resultado de grandes accidentes laborales y son estos sentimientos los que ponían mayor o menos énfasis en el comportamiento de los trabajadores ante circunstancias parecidas o semejantes. Los trabajadores hacían de su instinto de conservación una plataforma de defensa ante la lesión corporal, lógicamente, eran esfuerzos personales de carácter defensivo y no preventivo.

Bavaresco (s.f.)

Lo antes mencionado por el ingeniero Bavaresco cobra un gran sentido cuando se complementa la información citada con lo antes mencionado en este subtema. Mientras no se busquen mejores condiciones para los trabajadores, quienes están en el campo, arriesgando sus vidas para brindar un servicio en pro de la sociedad, entonces los trabajos realizados estarán destinados al fracaso. La seguridad no debe ser un privilegio ni tampoco un lujo, porque al final la seguridad es un aspecto intrínseco de la vida humana y ésta, en ninguna circunstancia debe estar en juego

Reseña histórica de los ferrocarriles en México

Los antecedentes históricos acontecidos en México abarcan 182 años a partir de 1837 hasta la actualidad (2019). Si nos referimos a la primera parte de este capítulo, en el subtema “La locomotora de vapor” (página 19) podremos recordar que la máquina de vapor de Richard Trevithick fue construida en 1802, lo cual nos da una referencia bastante clara de cuánto tiempo tuvo que transcurrir desde la invención de esta máquina hasta la instauración de esta en México, dándonos cuenta de que no pasó mucho tiempo entre el primer y segundo acontecimiento.

Como una introducción al tema de la reseña histórica de los ferrocarriles en México, se pueden tomar las palabras del IMT a través de Moreno Quintero *et al* (2014) los cuales narran lo siguiente:

En México, el ferrocarril condujo a un proceso importante de industrialización de la economía. Su misión fue la de permitir la exportación de recursos minerales y forestales, abundantes en varias regiones del norte de nuestro país, hacia los Estados Unidos. Por su parte, la ruta de Veracruz mejoró la tradicional, pero declinante, conexión a Europa.

Moreno Quintero *et al* (2014)

Es decir, la implementación del ferrocarril en México tuvo consecuencias a un nivel económico; ayudándose del gran potencial que tiene este modo para la carga masiva de bienes. Pero también, tal como continua Moreno Quintero *et al*, estas consecuencias se vieron a nivel social:

En el orden social, el ferrocarril otorgó mayor movilidad a la población, aunque - naturalmente- en los corredores específicos definidos por la estructura de la red férrea. El nuevo transporte facilitó la migración a mayor escala, especialmente después de la Revolución, y con ello el crecimiento demográfico de algunas ciudades.

Moreno Quintero *et al* (2014)

De la misma manera que se analizaba en el título anterior “Reseña histórica de los ferrocarriles en el Mundo” en México pasó algo muy similar con la implementación de este modo de transporte a nivel social, debido a que ayudó la comunicación entre ciudades y, con ello, que las personas pudieran desplazarse con mayor libertad de un lugar a otro; consecuentemente, ciertas ciudades crecieron más que otras.

Respecto al tema actual respecto al ferrocarril en nuestro país, Moreno Quintero *et al*, mencionan lo siguiente:

Actualmente, en México, la preeminencia del autotransporte sobre el ferrocarril es muy grande. Por diversas razones, a partir de los años treinta del siglo XX, el transporte automotor fue creciendo y dominando las actividades de transporte terrestre de manera sistemática; mientras que el ferrocarril fue perdiendo presencia, hasta alcanzar una situación crítica a principios de los años 90. A partir de esa década, luego de un radical proceso de reestructuración y privatización, la participación del transporte ferroviario ha ido incrementando de manera estable, hasta alcanzar en los últimos años una calidad de oferta competitiva frente al autotransporte, que lo convierten en una opción factible y deseable.

Moreno Quintero *et al* (2014)

Es decir, a pesar de los diferentes bajos que ha tenido el ferrocarril en nuestro país, actualmente se ha sabido posicionar como un medio de transporte competitivo frente al autotransporte.

Los párrafos anteriores nos han dado una idea muy general de la situación del ferrocarril en nuestro país, además de habernos dado un claro ejemplo de cómo el modo ferroviario ha estado presente desde antes del modo del autotransporte, sin embargo, dadas las características de este último, le ganó terreno al ferrocarril durante mucho tiempo, pero actualmente, después de una reestructuración el modo ferroviario ha ido, poco a poco, mejorando; de una manera más profunda, en palabras de Retana (2019) la historia de los ferrocarriles en México se puede analizar dividiendo la misma en cinco períodos, haciendo notar que el último período se analizará en el capítulo IV de este trabajo de una manera más extensa y profunda:

1. Formación y consolidación (1837 a 1940)
2. Modernización, crecimiento y deterioro (1940 a 1980)
3. Hacia la crisis de FNM (1980 a 1990)
4. Programa de cambio estructural (1990 a 1995)
5. Proceso de concesión (1995 en adelante)

Formación y consolidación (1837 a 1940)

Tal como lo exponen Márquez (s.f.), fue un 22 de agosto de 1837 que el entonces presidente de la nación, Anastasio Bustamante otorgó por medio de un decreto al comerciante español Francisco de Arrillaga, residente del puerto de Veracruz que anteriormente se había desempeñado como ministro de hacienda (Colegio de México, s.f.), la tarea de proyectar, en un plazo de doce años, un ferrocarril que transitaría del puerto hasta la ciudad de México. Domínguez (2009) explica que el presidente Bustamante prometió al comerciante español

la posibilidad de explotar el ferrocarril que construiría por treinta años, además de obligarlo a contribuir con la construcción de un ramal que conduciría a la ciudad de Puebla, partiendo del punto que se creyera más conveniente. Sin embargo, debido a la oposición de rivales comerciantes en contra de Arrillaga produjeron que no se concretara obra alguna dentro de ese lapso por lo cual la concesión se declaró sin validez alguna.

Tal como lo explica Martínez (s.f.), el primer tramo ferroviario construido en México se inauguró en 1850 y comunicaba el puerto de Veracruz con el Molino, en las cercanías del río San Juan con una longitud total de once kilómetros. Complementado esta información, Domínguez (2009) explica que esta primera obra ferroviaria en el país fue ordenada vía decreto presidencial por Antonio López de Santa Anna a la Comisión de Acreedores (Mexicana, s.f.). Posteriormente, el mismo presidente otorgó una concesión a favor de John Laurie Rickards para completar la línea de Veracruz a la Ciudad de México. Una tercera concesión en 1856 fue otorgada en este mismo período y por el mismo personaje a la compañía de los hermanos Mosso para construir un ferrocarril de San Juan, Veracruz a Acapulco, pasando por la Ciudad de México y en 1857 se inauguró el tramo del proyecto que iba de Tlatelolco a la Villa de Guadalupe en aproximadamente una longitud total de cinco kilómetros.

Poco tiempo después los Hermanos Mosso tomaron la decisión de vender la concesión al industrial mexicano Antonio de Escandón y Garmendía, al mismo tiempo que compró al gobierno el tramo de Veracruz a río de San Juan y de los tranvías que en aquel tiempo circulaban por la capital; el industrial tomó conciencia de la importancia de las vías de comunicación, en particular del ferrocarril. Para agosto de 1857 se le otorgó una nueva concesión a Escandón para la construcción de un ferrocarril de Veracruz a la costa del Pacífico que para 1861 se extendió una concesión por parte del entonces presidente Benito Juárez para que a esa misma ruta se le agregara un ramal a Puebla.

A pesar de los conflictos políticos que se desarrollaron durante la segunda intervención francesa entre 1862 a 1867 (Secretaría de la Defensa Nacional, 2015), Maximiliano de Habsburgo impulsó la construcción de un ferrocarril de La Soledad al Monte del Chiquihuite, tramo que más tarde formaría parte de la línea hacia México. Para 1867, cuando Napoleón III retiró su apoyo al imperio de Maximiliano de Habsburgo dando fin al imperio, se habían construido 76 kilómetros hasta Paso del Macho, en Veracruz y el tramo de la Villa de Guadalupe se prolongó hasta Apizaco en el kilómetro 139. Una vez restaurada la República,

el presidente Benito Juárez inauguró el tramo México a Apizaco, de 139 kilómetros y el ramal de Apizaco a Puebla de 47 kilómetros. De esta manera por fin se logró unir la ciudad de Puebla con la capital de la República, tal como se había buscado desde años atrás. Poco a poco se fueron abriendo al público los tramos del Paso del Macho a Atoyac, de Atoyac a Fortín y para 1872 ya estaban conectadas Veracruz y Orizaba.

Durante el mandato presidencial de Porfirio Díaz hubo una gran promoción por la construcción ferroviaria por medio de concesiones a los gobiernos de los estados y a particulares mexicanos, además de las administradas en forma directa por el Estado.

Bajo concesión a los gobiernos de los estados se construyeron las líneas:

1. Celaya a León.
2. Omestuco a Tulancingo.
3. Zacatecas a Guadalupe.
4. Alvarado a Veracruz.
5. Puebla a Izúcar de Matamoros.
6. Mérida a Peto.

Bajo concesión a particulares mexicanos destacan las líneas:

1. Ferrocarril de Hidalgo.
2. Líneas de Yucatán.

Por administración directa del Estado destacan:

1. Ferrocarril Nacional Esperanza a Tehuacán.
2. Ferrocarril Nacional Puebla a San Sebastián Texmelucan.
3. Ferrocarril Nacional de Tehuantepec.

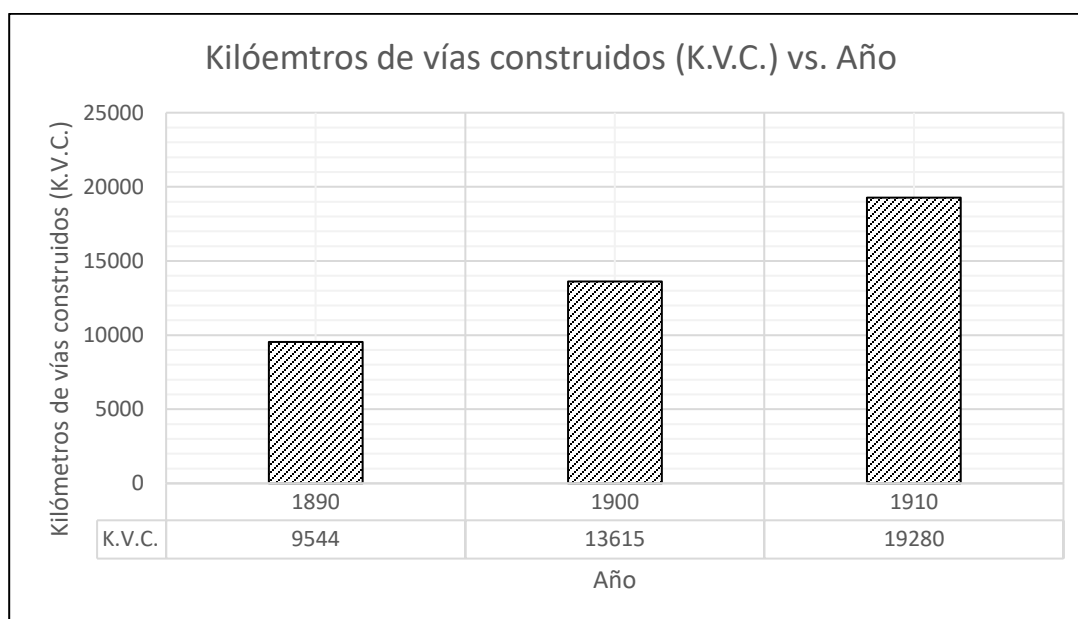
Más tarde, la mayoría de estas líneas formarían parte de los grandes ferrocarriles de capital extranjero o se unirían a los Ferrocarriles Nacionales de México en un período posterior.

En 1880 se otorgaron tres importantes concesiones ferroviarias a inversionistas norteamericanos, con toda clase de facilidades para la construcción e importación de material y equipo rodante, que dieron origen al **Ferrocarril Central**, al **Ferrocarril Nacional** y al **Ferrocarril Internacional**. Al concluir el primer período de gobierno de Díaz, en 1880, la red de vías férreas de jurisdicción federal contaba con 1,073.5 kilómetros de vía.

Posteriormente, durante los cuatro años de gobierno de Manuel González se agregaron a la red 4,658 kilómetros. El Ferrocarril Central concluyó su tramo hasta Nuevo Laredo en 1884 y el Ferrocarril Nacional avanzó en sus tramos del norte al centro y viceversa. En ese año la red contaba con 5,731 kilómetros de vía.

El retorno de Porfirio Díaz y su permanencia en el poder de 1884 a 1910 consolidaron la expansión ferroviaria y las facilidades a la inversión extranjera. Tal como se muestra en la *Gráfica 1*, durante el período de 1890 a 1910 hubo un incremento significativo en la cantidad de kilómetros de vías construidos en el país; de 9544 kilómetros

para 1890 pasó a 13615 kilómetros en 1900 y diez años después la cantidad se posicionó en 119 280 kilómetros de vía construidos.



Gráfica 1. Kilómetros de vías construidos en 1890, 1900 y 1910. Fuente: Domínguez (2009). Elaboración propia: 10/09/2019.

Tal como lo explica Márquez (s.f.) los primeros años del siglo XX vieron una transformación en la estructura ferroviaria de este siglo al fusionarse las dos empresas ferroviarias más importantes del país: el **Ferrocarril Central** y el **Ferrocarril Nacional**. Esta situación provocó que el Estado interviniera como accionista para evitar que el capital extranjero tuviera el dominio sobre esos sistemas ferroviarios.

Por ello, el 29 de febrero de 1908 se firmó el convenio entre el Gobierno Federal y las empresas fusionadas, creándose así los **Ferrocarriles Nacionales de México**, cuyo accionista mayoritario sería el Estado mexicano. En esta nueva empresa fueron

incorporados también el **Ferrocarril Internacional**, el Hidalgo y Nordeste, y otros, cuyas acciones se hallaban en poder del Ferrocarril Nacional. Más tarde ingresaría el **Ferrocarril Interoceánico**.

La lucha revolucionaria que dio inicio en 1910 dejó serios estragos en la red ferroviaria nacional. En el punto álgido de la lucha revolucionaria, los carrancistas incautaron las líneas que se encontraban en las áreas que tenían bajo su control militar para formar los Ferrocarriles Constitucionalistas. Al término de la lucha, la infraestructura ferroviaria necesitó de grandes inversiones para su reconstrucción, misma que vendrían del exterior.

La deuda ferroviaria (que fue resultado de la incautación de 1908 y las inversiones para la reconstrucción después de la Revolución) se elevó considerablemente después de 1920, por lo que el gobierno se vio en la necesidad de llegar a un acuerdo con los acreedores (enmienda Pani), lo que derivó en que los ferrocarriles fueran entregados de nueva cuenta a manos privadas en 1926.

En 1930 las condiciones políticas y económicas dieron otro viraje para los ferrocarriles. En 1937 el gobierno cardenista expropió los ferrocarriles y, un año después, fue creada la Administración Obrera de los Ferrocarriles Nacionales de México, con lo que la administración quedó en manos de los trabajadores; sin embargo, esta situación sólo pudo mantenerse dos años, pues los problemas internos se agudizaron.

Tal como lo describe Medina (2013) comenta que durante la época que duró la expropiación el sistema ferroviario fue subsidiado, pero no modernizado, lo que en el largo plazo generó estructuras productivas ineficientes difíciles de modificar; mientras que los ferrocarriles alrededor del mundo redujeron significativamente su fuerza de trabajo, los Ferrocarriles Nacionales de México la aumentó en un 25%. Otra situación característica de este período fue que la administración de los Ferrocarriles Nacionales de México se regía por criterios políticos, no técnicos ni administrativos.

Modernización, crecimiento y deterioro (1940 a 1980)

En 1940, con la intención de tener un control directo sobre los ferrocarriles, el gobierno tomó nuevamente su administración. En los años siguientes se incorporaron a Ferrocarriles Nacionales de México otras empresas ferroviarias que habían sido administradas en forma independiente. En 1951, el Ferrocarril Sudpacífico de México pasó a manos de la nación mediante un pago, creándose al año siguiente el denominado Ferrocarril Pacífico. Tal como

lo comenta el maestro Álvarez Reyes Retana (2019), el período comprendido entre 1940 y 1952 se caracterizó porque se llevó a cabo en el país la transición a vía angosta, así como la transición del sistema a locomotoras diésel. El Ferrocarril Mexicano continuó como empresa independiente hasta 1960. Una década después el Ferrocarril de Coahuila y Zacatecas se incorporó a los Nacionales de México.

Hacia la crisis de Ferrocarriles Nacionales de México (1980 a 1990)

Durante este período se tenía un exceso de personal y equipo dentro de los Ferrocarriles Nacionales de México, así como que se contaba con demasiados clientes gubernamentales, circunstancia que peleaba con el mantenimiento que se les daba a los trenes. Para este período era evidente la crisis que se vivía en empresa ferrocarrilera pese al aumento significativo de los subsidios. Andalón y López-Calva (2003) señalan: “Los principales problemas que Ferrocarriles Nacionales de México enfrentaron a principios de la década de 1990 fueron una estructura tarifaria anacrónica, estrategias de operación obsoleta, y un exceso de trabajadores. La inercia organizativa y el poder político del sindicato frustraron varios intentos por reestructurar la compañía”. El círculo vicioso que vivía la paraestatal se resume en el siguiente diagrama (véase *Diagrama 1*) presentado por Álvarez (2019).

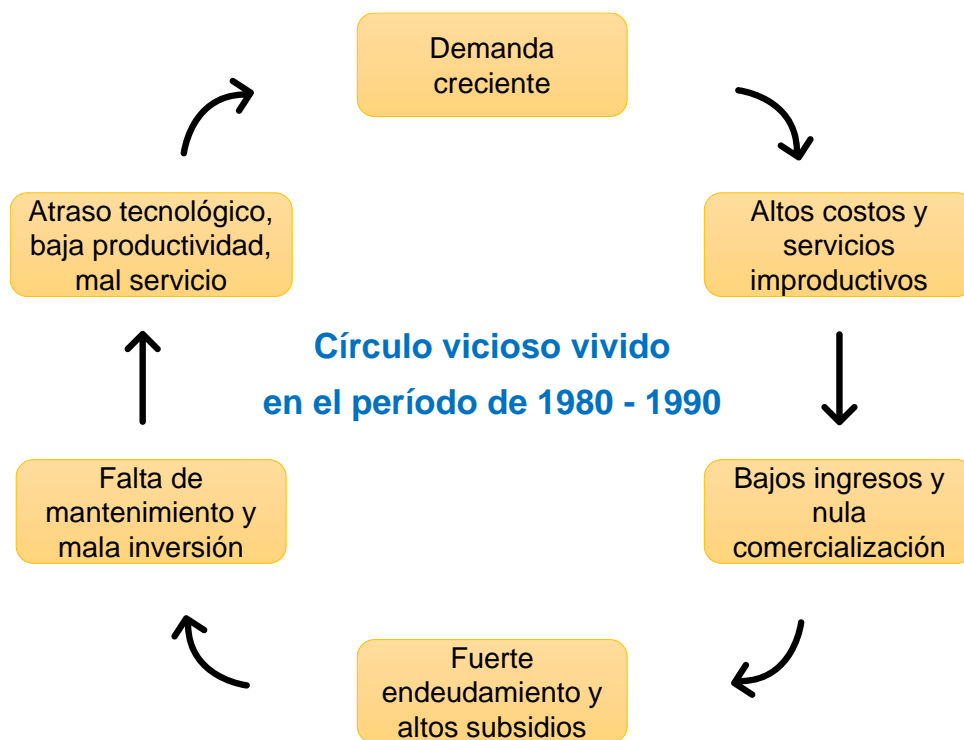


Diagrama 1. Círculo vicioso vivido en el período de 1980 - 1990. Fuente: Álvarez (2019). Elaboración: propia (12/10/2019).

La gota que derramó el vaso fue el apoyo que el presidente Carlos Salinas de Gortari le dio a la paraestatal para la construcción del Tren Eléctrico de Pasajeros México-Querétaro; sin embargo, este ferrocarril fue un proyecto fallido en toda la extensión de la palabra.

Programa de cambio estructural (1990 a 1995)

Debido a la situación descrita y a un cambio de enfoque en las políticas económicas gubernamentales, se tomaron las siguientes medidas:

1. Programa de retiro voluntario, entre 1991 y 1996, reduciendo aproximadamente el 47% de la plantilla, pasando de unos 83 mil a 44 mil empleados.
2. Externalización (outsourcing) de servicios de talleres y mantenimiento de vía
3. Eliminación de servicios de pasajeros
4. Últimos cambios previos a la privatización: sistema de despacho y señales
5. División en 5 empresas paraestatales:
 - a. Ferrocarril Sureste
 - b. Ferrocarril Noreste
 - c. Ferrocarril Pacífico Noreste
 - d. Ferrocarril Chihuahua Pacífico
 - e. Terminal Ferroviaria del Valle de México

Proceso de concesión (1995 en adelante)

En 1995 se decidió privatizar los ferrocarriles en México, mediante la figura de concesión. El cambio de enfoque económico es bien conocido: se pasó de un gobierno que privilegiaba la intervención en el mercado a uno que intervendría de manera mínima, pues se consideraba que así la economía mexicana se desarrollaría de forma más adecuada, con mayor competitividad y velocidad.

Los fines que perseguía la privatización del sistema ferroviario, bajo la nueva óptica económica, eran el saneamiento de las finanzas públicas y modernizar, logrando la eficiencia del sistema ferroviario, proceso a cargo de agentes privados, ya que se consideraba que el gobierno no podría realizar semejante empresa.

Desde un principio se evitó remplazar un monopolio público por uno privado -como en el caso de Telmex-, por lo que Ferrocarril Nacional de México se dividió en diversas compañías para su privatización. Cada una de éstas conformaría un monopolio regional y todas se integrarían de forma vertical para mantener un sistema ferroviario nacional. Además,

durante el proceso de privatización se estableció un sistema regulatorio de competencia, basado en la propiedad del Estado, consistente en un sistema de derechos de paso para que los ferrocarriles de diferentes compañías pudiesen transitar por la infraestructura de otro concesionario.

Este cambio conformó una nueva estructura de propiedad, que dio lugar a las siete compañías actuales del sistema: Kansas City Southern de México, Ferrocarril Mexicano, Ferrosur, Línea Coahuila-Durango, Ferrocarril y Terminal del Valle de México, Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec y Administradora de la Vía Corta Tijuana-Tecate.

En el capítulo IV: Sistema ferroviario mexicano se aborda de una vez más el tema de la concesión ferroviaria en México, con el fin de poder dar una continuidad al tema y poder desarrollar el tema central de ese capítulo.

CAPÍTULO II: ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LAS VÍAS FÉRREAS

Introducción

Cuando en la vida cotidiana se habla acerca de los “caminos”, inmediatamente asoma a nuestra mente las calles y carreteras, que son las vías asociadas con el modo urbano y carretero, respectivamente; sin embargo, si nos referenciamos a un diccionario y buscamos la palabra camino, nos toparemos con que una la palabra se refiere a una *franja de terreno utilizada o dispuesta para caminar o ir de un lugar a otro*. Por tanto, si hablamos de ferrocarriles, la palabra para referirnos al *componente camino*, es -propiamente- la palabra **ferrovías**. La etimología de esta palabra proviene del latín *ferros* cuyo significado es *hierro* y *vía* que significa, precisamente, *camino*. Por tanto, cuando hablamos de las ferrovías, estamos hablando, literalmente, de las vías de hierro, por donde pueden transitar el componente vehículo, ferrocarril.

El estudio de las funciones de las vías férreas se puede estudiar dividiéndolas en dos grandes grupos: las funciones primarias y secundarias. A continuación, se menciona cada una de estas funciones:

Funciones primarias de las vías férreas

Las funciones primarias de las vías férreas son (*véase Ilustración 2 – página 37*):

1. Guiar al material rodante que circula sobre ellas, asegurando en la medida de lo posible su no descarrilamiento.
2. Soportar, distribuir y transmitir a las capas inferiores de la estructura de vía los esfuerzos verticales, horizontales y longitudinales que ejercen los trenes a su paso por éstas.
3. Proveer adhesión en la interfaz rueda-riel.
4. Facilitar el drenaje.
5. Proveer una superficie estable de rodamiento, garantizando una confiabilidad en la circulación de los trenes.

Funciones secundarias de las vías férreas

Por otro lado, dentro de las funciones secundarias de las vías férreas se mencionan las siguientes:

1. Transmitir las señales en los circuitos de la señalización.
2. Detección de rieles rotos.
3. Tierra de retorno en tracción eléctrica.

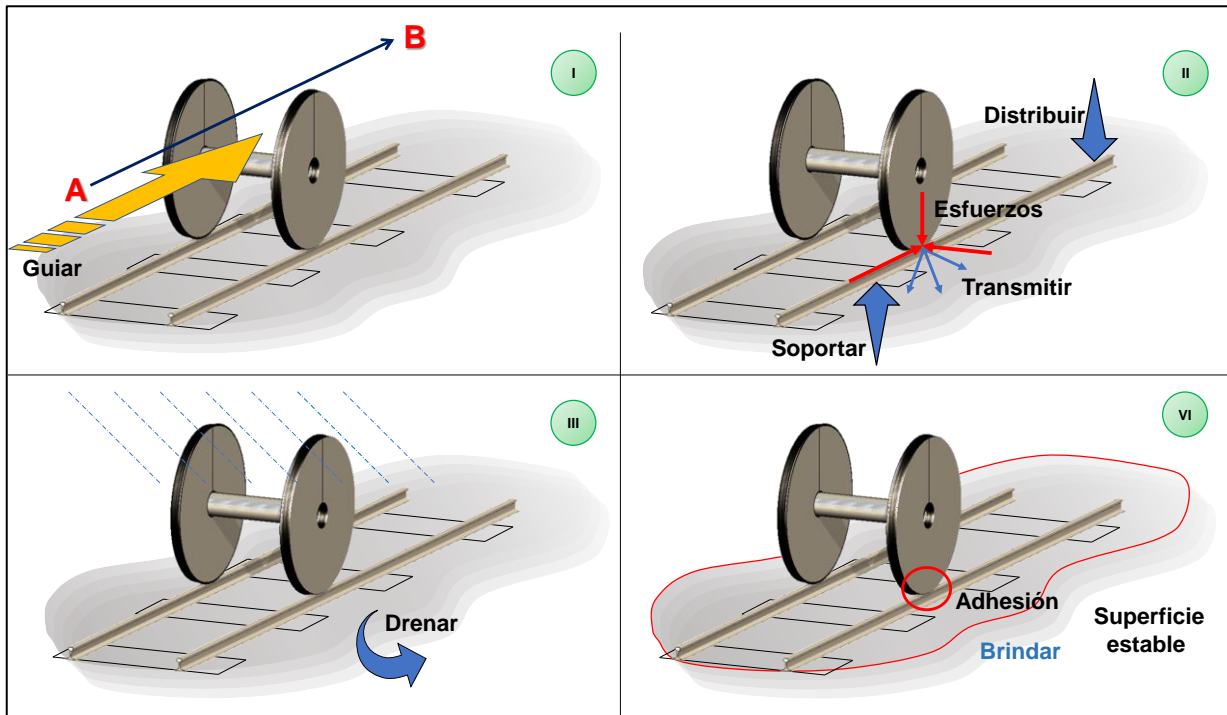


Ilustración 2. Las funciones principales de las vías férreas: Guiar (I). Distribuir, soportar y transmitir esfuerzos (II). Drenar (III). Brindar adhesión en el contacto rueda-riel y superficie estable (IV). Elaboración propia (23/03/2020).

Estructura de vía

Tal como lo indica Álvarez (2019) en sus notas de clase **Vías férreas y sus elementos**, una vía férrea está conformada por dos estructuras principales y una complementaria, tal como es posible observar en el *Diagrama 2*.

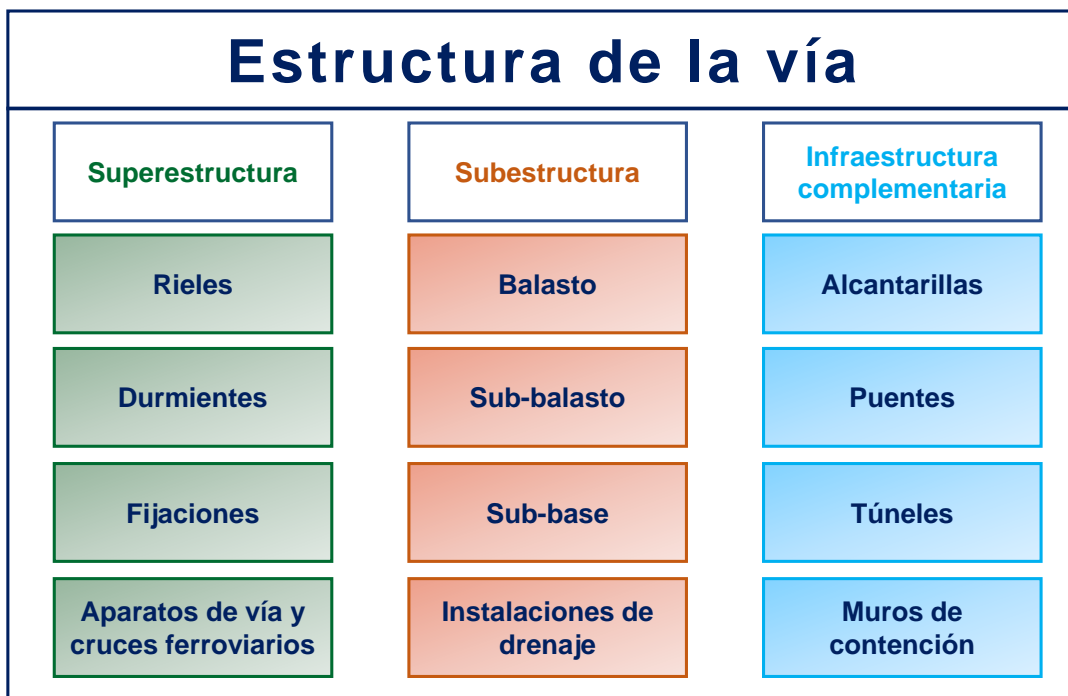


Diagrama 2. Estructura de la vía. Fuente: Álvarez (2019). Elaboración: propia (10/11/2019)

Superestructura

La superestructura está constituida por los elementos de vía que van por encima del suelo compactado (véase *Ilustraciones 3, 4 y 5 - páginas 38 y 39, respectivamente*), es decir, por los rieles, durmientes, fijaciones, aparatos de vía y cruces ferroviarios (Financiera de Desarrollo Nacional, 2016) y que tienen la función general de permitir la operación de los trenes.

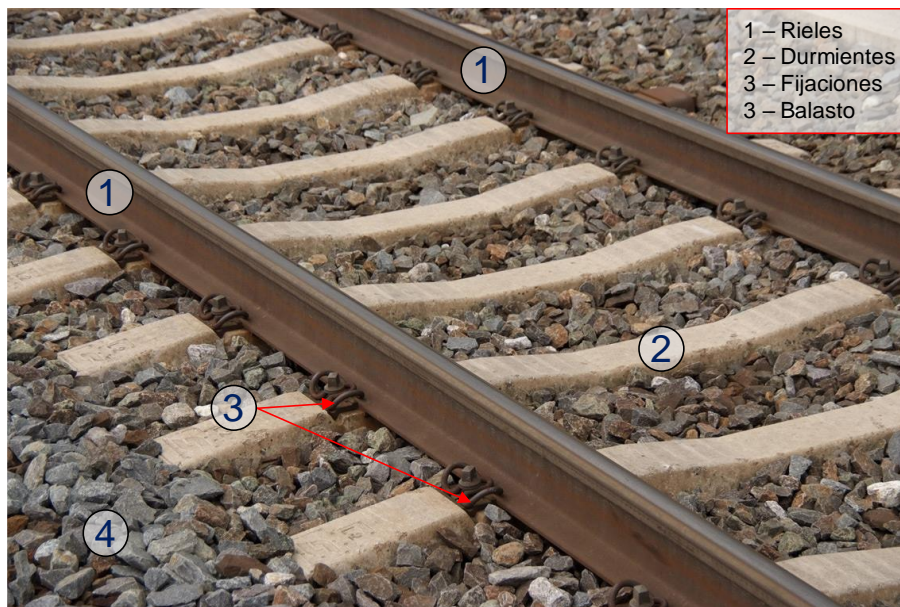


Ilustración 3. Elementos constituyentes de la superestructura. Fuente: Tinn (2019). Recuperado de: www.tinn.ir Modificación propia (06/04/2019).

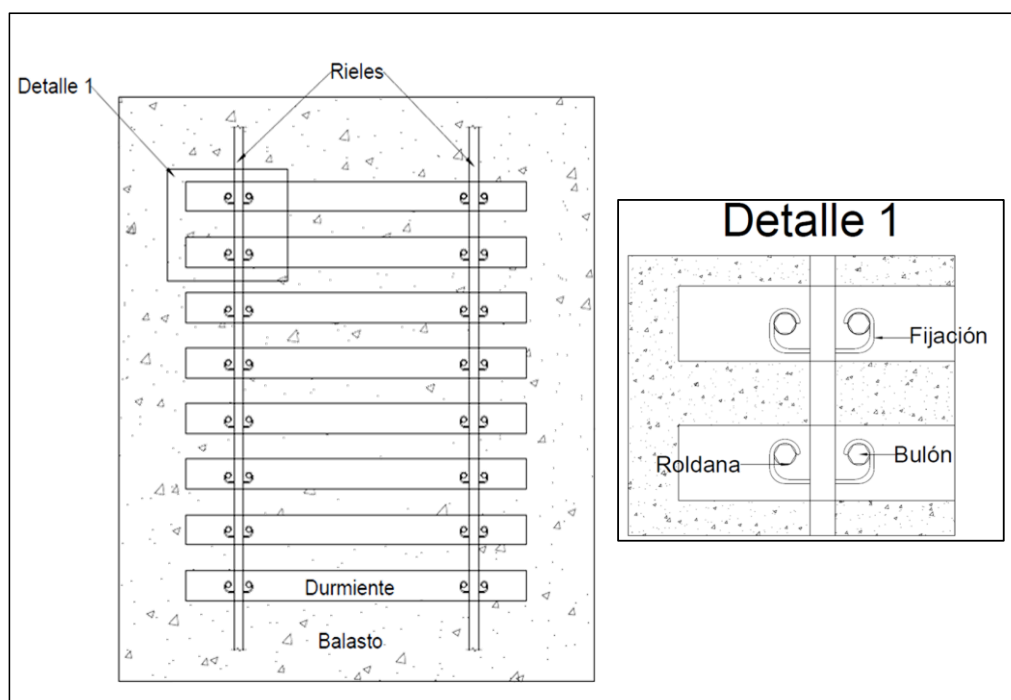


Ilustración 4. Vista en planta de la superestructura ferroviaria. Fuente: Elaboración propia. (10/04/2019).

Perfil Transversal Tipo de una Vía Férrea Simple

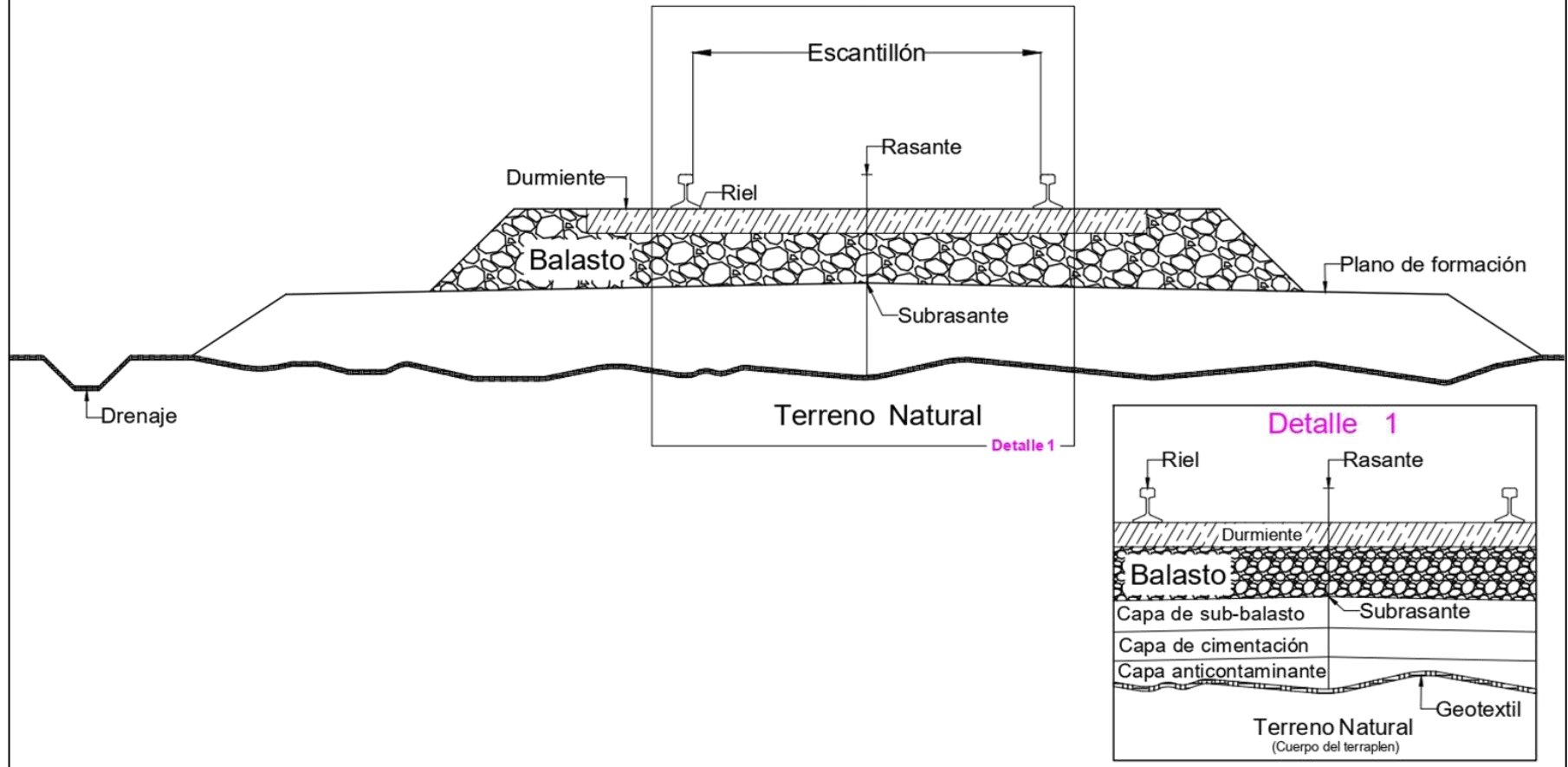
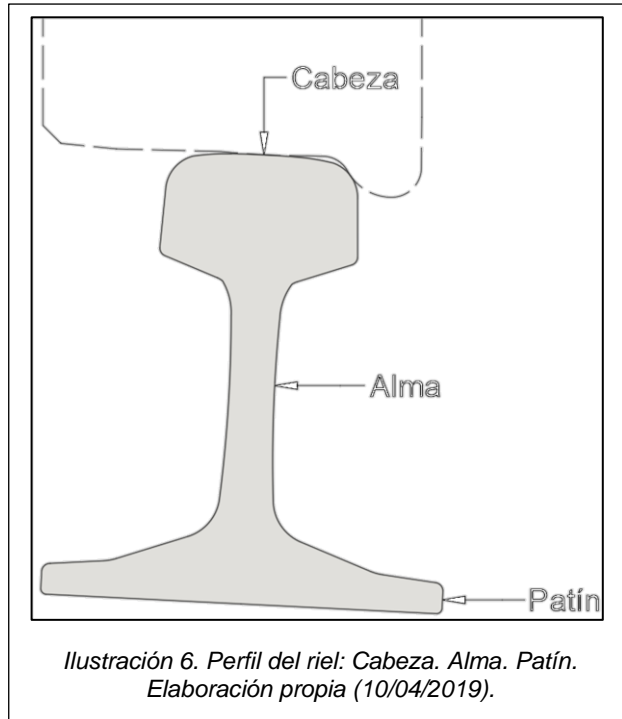


Ilustración 5. Perfil transversal tipo de una vía férrea simple. Elaboración: propia (04/04/2019).

Rieles

FDN (2016) define a los rieles como el “elemento sustentador del material rodante, actuando como dispositivo para su guiado”. IFE (2018) hace mención acerca del perfil de riel utilizado, el cual es el conocido como Vignole, que está constituido por tres partes (véase Ilustración 5), las cuales son:



1. Hongo o cabeza
2. Alma
3. Patín

Acerca de la primera parte del riel, el hongo, Tognó (1982) menciona que éste “representa la superficie de rodamiento”; IFE (2018) complementa mencionando que esta parte es la que está expuesta a los mayores esfuerzos y por ello sufre el mayor desgaste del elemento. Por otro lado, el alma es la parte del riel que une la cabeza con el patín, “asegurando la transmisión de las cargas desde el hongo al patín”.

(IFE, 2018) Por último, el patín es la base del riel, que permite el apoyo de toda la estructura con los durmientes, distribuyendo las cargas a éste.

Dado que el riel es el elemento que tiene el primer contacto con el tren, debe soportar, en primera instancia, con las exigencias a las cuales están sometidas durante el paso del tren y más aún cuando este tránsito se hace de una manera repetida. Entre las exigencias que deben resistir los rieles se pueden mencionar:

1. Compresión.
2. Fatiga.
3. Desgaste.
4. Deformación.
5. Rotura.

Durmientes

Los durmientes son los elementos que se colocan distribuidos uniformemente de una manera transversal a la vía sobre el balasto para proporcionar a los rieles un soporte

adecuado, de tal manera que ayudan a conservar con seguridad la distancia del escantillón. En palabras de NCA (2014), además de ayudar a mantener el escantillón, las funciones de los durmientes son las siguientes:

1. *Distribución de las cargas recibidas por ambos rieles al balasto.*
2. *No ceder ni deformarse ante los esfuerzos recibidos.*
3. *Disminuir el impacto acústico.*
4. *Soportar las fijaciones sin dañar el entorno de la madera.*

Nuevo Centro Argentino, S.A. (NCA) (2014)

Tal como lo menciona Álvarez (2019), los durmientes pueden ser de distintos materiales, como lo son:

1. Madera.
2. Concreto.
3. Material compuesto (plástico).
4. Bi – Block.
5. Metálico.

Fijaciones

La NCA (2014) define a las fijaciones como el “material que se usa para la fijación de los rieles a los durmientes”. Sin ser tan redundantes, se puede decir que estos elementos aseguran los durmientes a los rieles. De la misma manera el mismo autor que nos proporciona la definición respecto a las fijaciones, menciona que las funciones de las fijaciones son las siguientes:

1. Asegurar la invariabilidad del escantillón.
2. Facilitar la transferencia de los esfuerzos a la subestructura.
3. Poseer resistencia mecánica y elástica constante a lo largo de la vida útil de la fijación.
4. Asegurar el buen aislamiento eléctrico entre ambos rieles.

Tal como lo menciona Álvarez (2019), los tipos de fijaciones son:

1. Clavos y placa.
2. Pandrol e-clip.
3. Clip a presión.

Aparatos de vía

De una manera breve y concisa la Universidad Politécnica de Cartagena (s.f.) define a los aparatos de vía como el “conjunto de dispositivos que tiene por misión asegurar la

continuidad de la vía en los cruces y bifurcaciones”. Dadas las características propias de los trenes, en la construcción de las líneas ferroviarias es necesario la utilización de este tipo de elementos para asegurar una correcta operabilidad de los trenes en su tránsito por las vías.

Cruces ferroviarios

Los cruces ferroviarios son el entrecruzamiento de dos vías en donde una de éstas es una vía férrea, ya sea a nivel, por debajo o por encima de la otra. La norma N.PRY.CAR.6.01.001/01 menciona dentro de sus definiciones a los pasos superiores de ferrocarril (PSF) y a los pasos inferiores de ferrocarril (PIF). Los primeros los define como las estructuras que se construyen en un “cruce de la carretera de referencia por encima de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y la vía”. Los segundos los define como las estructuras que se construyen en un “cruce de la carretera por debajo de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de la vía”.

Por otro lado, la Norma Oficial Mexicana NOM-050-SCT2-2017, Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas, en su apartado número 4 define a los cruces a nivel como el “lugar donde existe una intersección entre un camino, calle o carretera con una vía férrea”.

Subestructura

La subestructura es uno de los elementos más importantes de la estructura ferroviaria, pues tiene la función de soportar, distribuir y transmitir los esfuerzos que provienen desde la superestructura a consecuencia de su propio funcionamiento. Una de las características más importantes que debe tener la subestructura es su capacidad de no deformarse; para lograr este objetivo cada una de las capas constituyentes deben estar bien dispuestas y en su caso, estar bien compactadas.

Balasto

En palabras de IFE (2018), el balasto es la “capa de material rocoso que se coloca sobre el plano de formación, debajo de los durmientes, con el fin de proporcionar un buen apoyo a la estructura de vía”. Tal como lo menciona ANI (s.f.) el balasto puede ser piedra triturada, grava, escoria o hasta incluso cenizas.

En palabras del ingeniero Togno (1982), las funciones del balasto son las siguientes:

1. *Confina los durmientes, oponiéndose a sus desplazamientos longitudinal y transversal, originados por el frenado o la tracción del equipo, por el cabeceo, por las fuerzas centrífugas o por sobrelevación excesiva en las curvas y, en las vías soldadas, por los considerables esfuerzos que se desarrollan con los cambios de temperatura.*
2. *Transmite las presiones a la subestructura.*
3. *Drena las vías.*
4. *Sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante.*

Togno (1982)

Como es posible observar, el balasto cumple con funciones muy específicas, por tal motivo sus especificaciones y calidad deben ser monitoreadas de manera constante con el fin de que no sobrevengam inconvenientes derivados de un mal funcionamiento por mala conservación del material.

Sub-balasto y sub-base

De la misma manera, en palabras del ingeniero Togno (1982), expresa lo siguiente acerca del sub – balasto

La capa de sub – balasto está constituida por materiales procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. Esta capa constituye la superficie que limita a la subestructura, y su perfil, que será una línea paralela a la rasante. Entre sus funciones se encuentran:

1. *Estructurales.*
2. *Drenaje.*
3. *Impide la incrustación del balasto.*
4. *Afinar terracerías.*
5. *Sirve para detener los lodos provenientes de las capas inferiores.*

Togno (1982)

La capa sub – base cumple con funciones de dar un soporte a las capas que están dispuestas sobre la misma; aunque suene que esta capa no tiene una función tan importante, es todo lo contrario, debido a que esta capa es la que deberá soportar a todas las demás, por tal motivo es imperante que, en la construcción de la estructura de vía, se le ponga una especial atención a esta capa.

Como es posible observar a partir de todo lo que hasta ahora se ha comentado y en especial de los elementos que constituyen a la subestructura, éstos tienen la finalidad de distribuir los esfuerzos generados. De la misma manera que en las carreteras, tanto la calidad como

las especificaciones de las capas van disminuyendo conforme se va descendiendo sobre las mismas, de tal manera que analizar el espesor final de la subestructura se tendrá un elemento adecuado y conveniente para soportar el paso del tren y con ello contribuir al cumplimiento de las funciones primarias de las vías férreas.

Instalaciones de drenaje

En palabras de Ferromex (s.f.), las instalaciones de drenaje son uno de los conceptos de gran importancia debido a que éstos contribuyen a evitar el estancamiento del agua bajo el balasto o encharcamientos paralelos a las mismas.

Infraestructura complementaria

Tal como se describe en el documento publicado por la entidad pública empresarial Adif (s.f.), la estructura complementaria está compuesta por las obras de defensa y las obras de fábrica. Las primeras son obras como los muros de contención o las alcantarillas; mientras que las segundas son “aquellas que se realizan para salvar los obstáculos naturales del terreno”.

Daños en los elementos de las estructuras de vía férrea

De una manera simple y sencilla, un daño se puede definir como él o los efectos que pueden causar el deterioro de algo. De una manera muy general, con forme a la visión que toma este proyecto de investigación, se plantean dos tipos de daño visibles en las estructuras de vía:

1. Daño derivado de los procesos de operación en el sistema de estudio.
2. Daño producido por un agente externo.

Dentro del primer tipo de daño entran todos los efectos que son producto de la operación normal y repetida en el sistema y que impactan directamente en los elementos a lo largo de la vida útil de los mismos; por tanto, bajo una perspectiva que analice los elementos con el fin de conservarlos, pudieran ser observados y, por tanto, advertidos estos daños. En contraste, dentro de los daños producidos por un agente externo, entran aquellas posibles causas que no son posibles considerar dentro de la primera clasificación, debido a que muchas veces no se tiene la certeza si pudieran llegar a producirse en un lapso dado; un ejemplo que entraría en esta clasificación serían los desastres naturales o, inclusive, el robo o vandalismo que produzca daños directamente en la correcta operatividad de la línea férrea.

Aproximación del tema desde una perspectiva analítica

Propuesta para el reconocimiento del tipo de daño según el elemento de la vía férrea

A manera de ejemplo y tratando de darle una aproximación analítica al tema que se está estudiando en este capítulo, se pensó en la manera en la cual se pudiera distinguir en qué clasificación entra cada uno de los elementos que componen a una estructura de vía, es decir, el objetivo de este punto es encontrar a qué tipo de daño es más propenso cada uno de los elementos ferroviarios; en ningún momento se excluye la idea de que el otro daño también pueda ocurrir, pues la probabilidad de que los dos eventos ocurran, independientemente el uno del otro, existe y está latente, por tal motivo sólo se busca hacer una identificación, más no una definición de cada uno de los elementos de vía, en base a la definición de daño antes mencionada.

Análisis

El análisis que se realiza se basa en que, por cada uno de los elementos que se analicen, se le asigna un puntaje (en una escala del 1 al 100) a partir de la respuesta afirmativa a las preguntas presentadas en la *Tabla 2*:

Tabla 2. Análisis para el reconocimiento del tipo de daño según el elemento de la vía férrea

No.	Pregunta	Puntaje
1	Dadas las dimensiones, peso, características del material analizado y su rapidez para ser desmontado, ¿el elemento tiene la facilidad de ser robado?	60
2	¿El elemento tiene el potencial atractivo para venderse por volumen como, por ejemplo, fierro viejo, o ser utilizado con otro fin para el que está destinado?	30
3	¿La profundidad a la cual el elemento está colocado facilita su rápido desmonte?	10

Interpretación

Tratando de basar esta propuesta en un sentido lógico-analítico y no meramente intuitivo, para este análisis se parte, como es posible observar, de tres preguntas base, las cuales tienen cierto puntaje; importante decir que este puntaje se encuentra medido en una escala del 1 al 100. Si se observan las tres preguntas, éstas tienen como base el corroborar, a través del puntaje dado, que el daño del elemento analizado es del tipo agente externo. Como se presenta en la primera pregunta, se parte de que el elemento de análisis tiene que

ser fácil² de desmontar, lo que le hace tener el puntaje más alto, ya que, aunque fuera un elemento con un atractivo para venderse, si se requiere de gran cantidad de tiempo y esfuerzo para realizar el acto ilícito, el elemento pierde el atractivo.

Ahora bien, el segundo aspecto a analizar es qué tanto atractivo posee el elemento para venderlo o, en su defecto, para utilizarlo para otro fin para el que está colocado en el sistema. Intuitivamente, este aspecto tiene mucho que ver con el tipo de material del que está constituido el elemento que se está analizando y, aunque este es un factor importante, para esta propuesta no es del todo el aspecto más importante, es por eso la segunda pregunta, que corresponde precisamente a este tema, tiene el puntaje que se puede observar Finalmente, para el tercer cuestionamiento propuesto, es importante también analizar la profundidad a la cual está colocado el elemento; entre más profundo, menos fácil sería en este caso el poder desmontar el elemento.

Tal como ya se ha mencionado, la escala de referencia va de 1 al 100; esta escala, como un parámetro de contraste y comparación; haciendo un símil³ a una probabilidad de ocurrencia nos indicaría que un valor total más cercano a 100, nos indicaría que el elemento estudiando tiende a ser más propenso⁴ al daño causa por un agente externo. Se propone, entonces, que para que un elemento tienda a ser más propenso a un daño por agente externo, el mínimo total obtenido sea un valor de 60 puntos en la escala ya mencionada; valores por debajo de ese valor, serían, por ende, indicativos de que el elemento es más propenso a un daño por la operación.

² Para este caso la palabra fácil se refiere a la rapidez para desmontar el elemento analizado sin el uso de maquinaria o equipo de tales dimensiones que sería poco factible realizar el desmonte del elemento en un sentido logístico.

³ De manera rigurosa no se podría utilizar la palabra **probabilidad**, porque no se han realizado cálculos; sin embargo, por esta razón, acompañada de la palabra antes resaltada, se agrega la palabra similar, dando a entender que esto es una mera propuesta realizada; claro está, tomando siempre como referencia la escala numérica especificada.

⁴ Notar que no se utiliza la palabra "probable".

Aplicación

Se propone analizar, bajo el estudio planteado con anterioridad, los elementos estudiados a lo largo de este capítulo, que componen a la vía férrea, los cuales son los que se presentan en la *Tabla 3*:

Tabla 3. Categorización de los elementos de vía en base a la clasificación establecida en el Diagrama 2 (véase página 37). Elaboración propia (24/06/2020)

Categoría	Elemento	Material
Superestructura	Rieles	Acero
	Durmientes	Madera
		Concreto
		Plástico
		Bi-Block
		Metálico
	Fijaciones	Acero
	Aparatos de vía	Acero
Cruces ferroviarios	Acero	
Subestructura	Balasto	Piedra triturada
		Grava
		Escoria
		Cenizas
	Sub-balasto	Materiales procedentes de suelos
		Depósitos naturales
		Rocas alteradas
Sub-base	Suelo	
Instalaciones de drenaje	N/a	
Estructura complementaria	Alcantarillas	N/a
	Puentes	N/a
	Túneles	N/a
	Muros de contención	N/a

Se propone analizar los elementos de la superestructura y la subestructura, dejando las estructuras complementarias y las instalaciones de drenaje, debido a que son elementos que no tienen injerencia directa sobre la operación de los trenes, sino que son elementos que, como su nombre lo indica, complementan a la estructura de vía para que la operación se pueda llevar a cabo de manera eficiente y correcta.

Resultados

Se aplicó el cuestionario propuesto a cada uno de los elementos que se acordó en el apartado anterior de este tema, en base a la *Tabla 2* (véase página 45). A continuación, en la *Tabla 4* (véase página 48), se presenta una tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la aplicación de la propuesta planteada. Elaboración propia (24/06/2020).

Categoría	Elemento	Material	Pregunta			Resultado
			1	2	3	
Superestructura	Rieles	Acero	0	0	10	Operación
	Durmientes	Madera	0	0	10	Operación
		Concreto	0	30	10	Operación
		Plástico	0	0	10	Operación
		Bi-Block	0	30	10	Operación
		Metálico	0	30	10	Operación
	Fijaciones	Acero	60	30	10	Agente Externo
	Aparatos de vía	Acero	0	30	10	Operación
	Cruces ferroviarios	Acero	0	0	10	Operación
Subestructura	Balasto	Piedra triturada	60	30	10	Agente Externo
		Grava	60	30	10	Agente Externo
		Escoria	60	0	10	Agente Externo
		Cenizas	60	0	10	Agente Externo
	Sub-balasto	Materiales procedentes de suelos	0	0	0	Operación
		Depósitos naturales	0	0	0	Operación
		Rocas alteradas	0	0	0	Operación
	Sub-base	Suelo	0	0	0	Operación

Análisis de resultados

Los resultados mostrados en la Tabla 4 muestran concordancia con lo que intuitivamente ocurriría; es decir, si se analiza, por ejemplo, entre una fijación y un riel, se tendría una respuesta más coherente si nos preguntásemos que es más fácil de robar, un riel o una fijación, a lo que la respuesta intuitiva sería que una fijación; en la columna de resultados muestra esta concordancia lógica al cuestionamiento realizado desde un principio.

Por tanto, este análisis aplicado a manera de ejemplo y para darle un sentido analítico al tema que se trató en este capítulo, nos muestra que las acciones deben de ir encaminadas a la identificación de aquellos daños ocasionados en los elementos de vía ocasionados por todos aquellos agentes externos, debido a que aquellos derivados de la operación, pudieran ser más fácilmente identificados en la medida en la cual los responsables de las vías implementen acciones preventivas y predictivas; sin embargo, con aquellos daños ocasionados por agentes externos a la operación, se vuelve más complicado, debido a su comportamiento dentro de la dinámica operacional de las líneas férreas.

CAPÍTULO III: MATERIAL RODANTE

Introducción

Ahora que ya se ha presentado toda la información más relevante respecto a las ferrovías, es hora de conocer los elementos que transitan por estas vías y son precisamente éstos los que hacen del sistema ferroviario lo que es; sus características les permiten competir con cualquier otro modo de transporte, con la gran ventaja de que es un elemento que tiene la capacidad de transportar una gran cantidad de toneladas, a grandes distancias, contaminando menos que otros modos.

Berbey *et al* (2013) definen al material rodante como “todos los tipos de vehículos dotados de ruedas capaces de circular sobre una vía férrea cuyo principal objetivo es transportar diferentes tipos de cargas”.

Características generales del material rodante

Algunas de las características que presentan tanto el material rodante como el material remolcado son las siguientes (véase *Ilustración 7*):

1. Cuentan con ruedas caladas y de geometría troncocónicas.
2. Las ruedas cuentan con pestañas interiores que permite el guiado del tren.
3. Las cargas soportadas se encuentran aplicadas sobre la parte exterior de las ruedas, lo que aumenta la estabilidad de los vehículos
4. Poseen peso suspendido (el que está amortiguado) y no suspendido (el que no está amortiguado). Entre mayor sea el peso no suspendido, más agresivo será éste con la vía. (Berbey, 2013).
5. Las ruedas se encuentran colocadas debajo de las cajas.

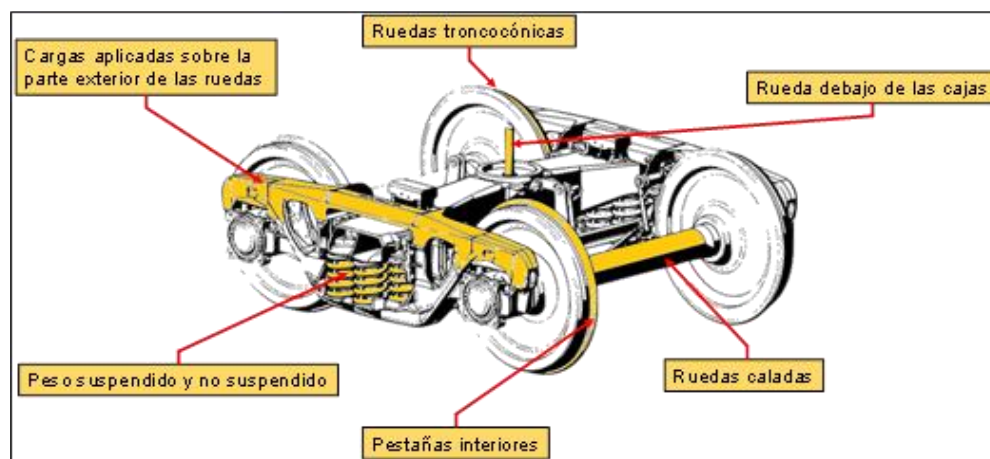


Ilustración 7. Características generales del material rodante. Elaboración propia (04/05/2020).

Clasificación del material rodante

De una manera general, el material rodante puede clasificarse de acuerdo con el uso al cual está designado para operar, de esta manera Berbey *et al* (2013) clasifican al material rodante de la siguiente manera:

1. Material motriz
 - a. Locomotoras.
 - b. Automotores.
2. Material remolcado.

Material motriz

Dentro de la clasificación que describen Berbey *et al* (2013) se encuentra el material motriz, que a su vez tiene una subclasificación, la cual será descrita a continuación; por otro lado, la definición misma del concepto de material motriz se refiere a todo el material rodante que impulsa (tracciona) al tren hacia un rumbo fijo y cuyas características mecánicas le permiten fijar una velocidad para lograr su objetivo.

Locomotoras

En palabras de Agosta (2008), una locomotora “es el vehículo que posee toda la fuerza motriz del tren y desde el cual se practica la <<conducción>>. Es un vehículo sin capacidad de transporte propia, pero con potencia suficiente para mover un tren”. De una manera general se puede hacer una clasificación de las locomotoras a partir de la manera en la cual logran su tracción, de esta manera se tienen los siguientes tipos de locomotoras, cuyas definiciones son aportadas íntegramente para este trabajo por Shehadeh *et al* (s.f.):

1. **Vapor:** es una máquina que mediante la combustión de un elemento (carbón) en una caldera externa, calienta agua y el vapor resultante de la ebullición de ésta genera presión y mueve pistones que impulsan ruedas.
2. **Diesel:** es el tipo de locomotora que tiene en su interior un motor de combustión interna acoplado a un generador que suministra la corriente eléctrica a los motores de tracción y a los ventiladores.
3. **Eléctricas:** es un tipo de locomotora que transforma la electricidad en movimiento destinado a tirar o empujar trenes.
4. **Diesel – eléctricas:** consisten básicamente en dos componentes: un motor diésel que mueve un generador eléctrico, y varios motores eléctricos que comunican a las ruedas.

Shehadeh *et al* (s.f.)

En contraste, los recursos de información proporcionados por el grupo EADIC (2016), difieren un poco de los presentados por Shehadeh *et al* (s.f.), al tomar a las locomotoras Diesel-eléctricas como una clasificación de las Diésel, dejando entonces una clasificación principal de tres elementos de la tracción que se puede tener en las locomotoras: Vapor, Diésel y eléctrica.

Comentarios respecto a las locomotoras Diésel y Eléctricas

A manera de complemento de la información anterior, se puede mencionar que, para las locomotoras de tipo Diésel, como lo mencionan Agosta *et al* (2013), se tiene una clasificación dependiendo de “la forma en que la energía de tracción es transmitida a los ejes”. En las mismas palabras de Agosta:

Diesel mecánica: el motor diésel acciona directamente los ejes motores a través de una caja de velocidades.

Similar a la caja de cambios de automoción. Se utilizaba en los antiguos automotores térmicos cuya potencia era muy reducida, y también en algunos trenes diésel actuales (grupo EADIC, 2016).

Diesel hidráulica: el motor diésel acciona los ejes a través de un convertidor par, dispositivo que trabaja con aceite.

Se compone de acoplamientos y convertidores de par hidráulicos. Se utiliza actualmente en la mayoría de los trenes diésel, con potencias medias. Una variante poco utilizada ha sido la transmisión hidromecánica (grupo EADIC, 2016).

Diesel eléctrica: es el sistema de transmisión dominante cuando se trata de trenes que requieren potencias elevadas, superiores a los 1500 HP.

Agosta *et al* (2013)

Por otro lado, para las locomotoras de tipo eléctricas, grupo EADIC (2016), menciona que en la tracción eléctrica la fuente de energía es externa (catenaria, tercer riel) y alimenta directamente o mediante transformadores o convertidores a los motores de tracción eléctricos. Respecto al tipo de corriente que pueden utilizar los motores eléctricos, Agosta *et al* (2008) mencionan la existencia de las locomotoras de corriente continua (DC) y las de corriente alterna (CA); Berbey *et al* (2013) complementa y amplía la información expuesta, realizando una clasificación aún más precisa que Agosta.

Automotores

En palabras de Berbey *et al* (2013), los automotores se caracterizan porque en ellos la “tracción se incorpora en los mismos vagones o coches (...) los automotores se utilizan sobre todo para transporte de viajeros (...)”, por otro lado, Agosta *et al* (2008) complementa esta información mencionando que para los automotores “sólo operan los coches motor

diésel y los eléctricos”. Los primeros se caracterizan porque la transmisión de la fuerza motriz a los ejes se puede realizar de forma mecánica o hidráulica y para los segundos, la fuerza motriz la proveen motores eléctricos ubicados en los bogies.

Material remolcado

Tal como lo mencionan Berbey et al (2013), “los coches con ausencia de tracción se llaman remolques”. Cuando se refiere al transporte de carga, el material remolcado se denomina vagones, y si se refiere al transporte de personas, se denomina coches. Los alcances de este trabajo se delimitan al transporte ferroviario de carga, por tanto, todo lo referente al material remolcado será respecto a los trenes de carga.

Dadas las características físicas y mecánicas del transporte ferroviario éste ha sido, por muchos años, el más utilizado para el transporte de mercancías. Es importante resaltar que a lo largo del tiempo han cambiado los tipos de vagones para el transporte de mercancías, buscando la innovación para lograr una mayor protección del producto que se va a transportar. Debido a la gran cantidad de material remolcado que se puede encontrar en el mercado, se tomó la decisión para este trabajo de tratar de hacer un compendio del material remolcado con el que se opera dentro de Norteamérica; para ello se analizó el material remolcado que poseen cinco empresas ferroviarias que además son parte de la categoría de clase 1 para ferrocarriles (véase *Tabla 5*).

Tabla 5. Compañías de Norteamérica. Fuente: Investigación propia.

País	Empresa	ID
Canadá	Canadian National Railway	CN
Estados Unidos de América	CSX	CSX
	Union Pacific	UP
EUA - México	Kansas City Southern Lines	KCS
México	Ferromex	FXE

A continuación, en la *Tabla 6* (véase *páginas 53 - 56*), se muestra el resumen técnico de la investigación realizada de los tipos de equipo que posee cada empresa antes mencionada, posteriormente, en la *Tabla 7* (véase *página 57*) se presenta de manera precisa qué compañías de las mencionadas en la *Tabla 5* tienen cada uno de los modelos mencionados en la *Tabla 6*.

Tablas de resumen de datos de material remolcado

Tabla 6. Maquinaria utilizada por operadores de América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México).
Fuente: Elaboración Propia (17/09/2019).

Equipo	Información Técnica	Imagen
Plataforma	Este tipo de equipo tiene la capacidad de mover material suelto, tal es el caso de troncos o bloques de cierto material.	
Bulkhead	Este tipo de carros poseen una lámina de refuerzo en cada uno de los lados de la plataforma, con la finalidad de poder protección y sujeción de carga adicional. Este tipo de vehículo sirve para transportar acero, troncos y materiales de construcción.	
Centerbeam	Este tipo de vehículo de plataforma tiene la característica de tener un lomo central, lo que lo hace ideal para transportar madera, paneles y otros productos de construcción	
CT 43'	Este tipo de vehículos son utilizados para el envío de líquidos a granel (sosa cáustica, amoníaco, combustóleo, aceites, ácido sulfúrico, entre otras sustancias). Los carros tanques deben tener revestimientos, accesorios de carga y descarga, así como distintos dispositivos de seguridad.	
Ga Simple	Este tipo de vagones son vehículos abiertos en su extremo superior, con fondo plano que se utilizan para transportar una amplia gama de productos que soportan las inclemencias del clima (Coque, áridos, grava, entre otros). Las dimensiones de los vehículos varían en longitud hasta los 65', con los lados que van desde 4 a 8 pies de altura.	
Ga Multiusos	Este tipo de vehículos es una variante de las góndolas simples, con la única diferencia que el peso neto sin carga del mismo es mayor que el simple. Es decir, tiene mayor capacidad.	
Ga Cubierta	Este tipo de góndola está diseñado especialmente, de tal manera que se encuentra acondicionado con cuneros y tapas para la carga de rollos de lámina rolada y caliente para la industria automotriz.	

Tabla6. Maquinaria utilizada por operadores de América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México).
Fuente: Elaboración Propia (17/09/2019). (Continuación)

Equipo	Información Técnica	Imagen
Ga Corta	Los carros tipo góndola son carros con la parte superior abierta y laterales fijos, extremos fijos o de volteo y superficies inferiores sólidas. Los carros tipo góndola equipados tienen características especiales diseñadas para transportar productos específicos que varían desde los agregados y minerales hasta los metales y desechos. La diferencia entre las góndolas cortas y largas es la longitud interior y la carga bruta sobre la vía.	
Ga Larga		
Ga Bobina	Este tipo de vehículos pueden estar cubiertos o descubiertos, equipados con miembros transversales ajustables y expandibles, lo que brinda mayor seguridad. Este tipo de vehículos se utiliza exclusivamente para manipular chapa de acero enrollada.	
Ga Giratoria	Los vehículos de góndola giratorios tienen la capacidad de poder ser cargados y descargados en minutos sin la necesidad de desacoplarse. La capacidad ronda entre 101 y 116 toneladas. Se utiliza sobre todo para el transporte de carbón y del coque del petróleo	
CI 20'	El equipo intermodal otorga a los embarcaderos la capacidad para transportar carga por ferrocarril, camión o barco, utilizando el mismo contenedor de envío. Habitualmente los contenedores intermodales se utilizan para transportar materiales pesados o mercancías paletizadas. Se utilizan para proteger la carga transportada de los golpes y las malas condiciones climatológicas, así como mantener intactos los productos almacenados. En función del tipo de producto que vaya a ser enviado, los contenedores pueden variar en dimensiones, estructura y material.	
CI 40'		
CI45'		
CI 53'		

Tabla 6. Maquinaria utilizada por operadores de América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México).
Fuente: Elaboración Propia (17/09/2019). (Continuación)

Equipo	Información Técnica	Imagen
PI Maxi Stack III	Este equipo tiene la función de mover los contenedores intermodales. De todas las empresas investigadas, Ferromex es la única empresa que lo anuncia, para los contenedores de 20, 40 o 53 pies.	
To Granelera	Este tipo de tolvas poseen un techo equipado con escotillas para cargar material en 2, 3 o 4 compartimientos. La sección inferior de cada compartimiento tiene una puerta para la descarga. Este tipo de vehículo está diseñado para productos a granel que requieren protección contra contaminantes.	
To Granelera Jumbo	La tolva granelera se utiliza para transportar sobre todo granos y también fertilizantes. Por otro lado, la Jumbo se utiliza principalmente para el transporte de productos agrícolas.	
To Abierta	Este tipo de tolvas se utilizan para manejar productos a granel que son impermeables a las condiciones climáticas. La sección inferior consta de tolvas divididas (3 o 4 compartimientos) con puertas. Los productos que transportan son: carbón, coque, áridos, arena, entre otros.	
To Cementera	Tal como su nombre lo indica, en este tipo de equipos se mueve cemento a granel.	
CA Automax	Como se ha comentado a lo largo de todo este trabajo, una de las principales características que posee el ferrocarril es la capacidad de poder transportar grandes volúmenes de carga a menor costo, comparado con el transporte carretero o aéreo. Muchas fábricas y manufactureras aprovechan esta oportunidad para enviar sus productos a través de este medio de transporte. Este es el caso de la rama automotriz	
CA Uninivel	Este tipo de tolvas se utilizan para manejar productos a granel que son impermeables a las condiciones climáticas. La sección inferior consta de tolvas divididas (3 o 4 compartimientos) con puertas. Los productos que transportan son: carbón, coque, áridos, arena, entre otros.	

Tabla 6. Maquinaria utilizada por operadores de América del Norte (Canadá, Estados Unidos de América, México).
Fuente: Elaboración Propia (17/09/2019). (Continuación)



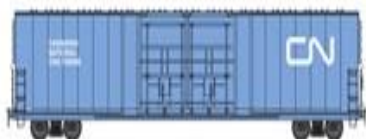
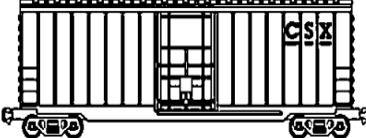
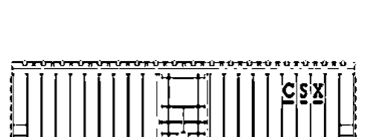
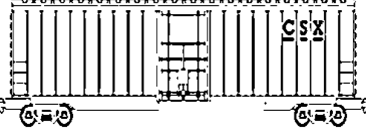
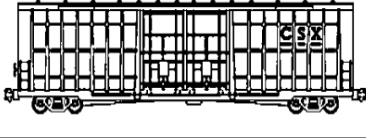

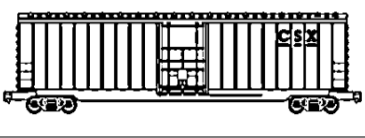
Equipo	Información Técnica	Imagen
CA Binivel	A lo largo del tiempo se han diseñado contenedores con mayor capacidad de carga.	
CA Trinivel	Por ejemplo, el vagón tipo Automax posee la característica de que se puede configurar y ajustar variablemente entre una configuración binivel o trinivel. El vagón Automax tiene la capacidad de cargar hasta 25 vehículos.	
CA Autopartes	Por otro lado, los biniveles sirven para la carga de autos, SUV y camionetas. Por otro lado, los triniveles tienen la capacidad de cargar hasta 24 unidades. Para este tipo de elementos, el prefijo antes de la palabra nivel, se refiere a la cantidad de niveles que posee y, por ende, la capacidad de este. Finalmente, los vagones de autopartes están creados específicamente para poder cargar parte de automóviles	
FN 50'	Los furgones son un tipo de vagón muy común dentro del mundo del ferrocarril, debido a su capacidad de poder mover todo tipo de carga. Sus características constructivas han logrado hacerlo lo suficientemente resistente para transportar grandes cargas a través de largas distancias.	
FN 60'	Son diferentes los modelos de furgones; cada uno de ellos posee sus propias características de funcionalidad.	
FN 60' con amplia capacidad volumétrica	Por ejemplo, los furgones de 50' se mueve mover todo tipo de carga, como lo son autopartes, bebidas, alimentos y hasta electrodomésticos. En los furgones de 60' se suele mover productos terminados, láminas de triplay, bote de aluminio y hasta papel higiénico.	
FN 86'	Los furgones de 86' han sido especialmente manufacturados para la carga de partes de automóviles.	
FN 50' de techo alto	Y cómo es posible visualizar, existen más versiones del mismo tipo de furgones, con la única variación de que tienen una mayor capacidad.	
FN 60' de techo alto		

Tabla 7. Equipos tipo, utilizados por las compañías de ferrocarriles (tipo A) en Norteamérica. Fuente: Investigación propia (17/09/2019)

abr	Equipo		Modelo						
	Español	Inglés							
P	Carro Plataforma	Flat Car	Plataforma	Bulkhead	Centerbeam				
	Empresa(s)		FXE/KCS/CSX/CN	CSX/CN	CSX/CN	•	•	•	•
CT	Carro Tanque	Tankcar	CT 43'						
	Empresa(s)		FXE/KCS/CSX	•	•	•	•	•	•
Ga	Carro tipo Góndola	Góndola	Ga Simple	Ga Multiusos	Ga Cubierta	Ga Corta	Ga Larga	Ga Bobina	Ga Giratoria
	Empresa(s)		FXE/CSX/CN	FXE	FXE/CN	KCS	KCS	CSX	CN
CI	Contenedor Intermodal	Intermodal Container	CI 20'	CI 40'	CI 45'	CI 53'			
	Empresa(s)		FXE/CN	FXE/CN	KCS	FXE/CN	•	•	•
PI	Plataforma Intermodal	Intermodal Platform	Maxi Stack III						
	Empresa(s)		FXE	•	•	•	•	•	•
To	Tolva	Hopper	To Granelera	To Granelera Jumbo	To Abierta	To Cementera			
	Empresa(s)		FXE/KCS/CSX	FXE	FXE/CSX/CN	FXE	•	•	•
CA	Carros Automotrices	Automotive Car	Automax	Binivel	Trinivel	Uninivel	Autopartes		
	Empresa(s)		FXE/KCS/UP	FXE/KCS/UP/CSX/CN	FXE/KCS/UP/CSX/CN	UP	CN	•	•
FN	Furgón	Boxcar	FN 50'	FN 60'	FN 60' ACV	FN 86'	FN 50' TA	FN 60' TA	FN DP
	Empresa(s)		FXE/KCS/CSX	FXE/KCS/CSX	KCS	KCS/CSX	CSX	CSX	CN

CAPÍTULO IV: SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO

Antecedentes al actual sistema ferroviario

Tal como se mencionó en la última parte del primer capítulo, en este cuarto capítulo se retomará lo que se comentó en aquel capítulo acerca de la historia de los ferrocarriles en nuestro país. Los antecedentes más antiguos se reservan para el primer capítulo. Recordando, tal como se planteó desde un principio en este trabajo, en el período comprendido entre 1980 (año a partir del cual se puntualizará respecto al primer capítulo), hasta la actualidad, han existido tres períodos de análisis que se mencionaron anteriormente y son: **Hacia la crisis de FNM** (1980 – 1990); **Programa de cambio estructural** (1990 – 1995); **Proceso de concesión** (1996 – a la actualidad)

La característica principal que marcó la década de los años ochenta dentro del sistema ferroviario mexicano fue la de tener un exceso de personal laborando para el sistema, enfrascándose en un círculo vicioso tal como se presentó en el capítulo 1 en el Diagrama 1 (ver página 29). En palabras de González (2018) “entre 1986 y 1991, comienza a evidenciarse una grave crisis operativa del sistema ferroviario en nuestro país, que iba de la mano con las severas dificultades económicas en que se encontraba México en ese período”. Por otro lado, para complementar esta información el IMT (2009) menciona:

A mediados de la década de 1980, cuando se inició la apertura al comercio internacional en México, diversos actores financieros y políticos pospusieron la reforma del SFM (entre ellos la reducción de la inflación a través del control de precios de diversos servicios y productos, incluyendo el transporte ferroviario); a la vez que se creaba una creciente demanda de transporte derivada del aumento del comercio exterior que implicó una mayor presión por la reforma del ferrocarril.

En 1989, la operación ferroviaria fue impactada por el creciente flujo del comercio exterior, iniciado en 1989; por ello, diversas políticas del anterior régimen fueron adaptadas al nuevo mercado, incluyendo los subsidios a través de las tarifas de carga. En 1992, fue formalizada la reestructuración del servicio ferroviario, iniciando una incipiente participación de capital privado en algunas actividades del SFM, principalmente a la construcción de terminales especializadas, y al mantenimiento de vías y equipo; siendo el preámbulo de la concesión del servicio del transporte por ferrocarril.

IMT (2019)

Lo anterior citado es parte de lo sucedido en el período del **programa de cambio estructural** y nos da una clara muestra del contexto político y económico que se vivía en aquel entonces y que fue, progresivamente, llevando al sistema ferroviario mexicano a entrar en un nuevo esquema donde se le da entrada, de a poco y sólo en ciertos aspectos

(servicios de talleres y mantenimiento de vía) a un sector que, a partir de la decisión del entonces presidente Lázaro Cárdenas de expropiar el sistema, había sido desplazado. Sin embargo, pareciera ser que el capital privado llegó al sistema ferroviario mexicano para dar un nuevo aire al mismo y poder, de alguna manera, estar a la altura de la situación imperante por aquel momento.

De esta manera, tal como lo señala Álvarez (2019), el sistema preparado para que éste se dividiera en cinco empresas paraestatales, las cuales a los años se convirtieron en las empresas que se pueden observar en la *Tabla 8*:

1. Ferrocarril del Noreste.
2. Ferrocarril del Pacífico Norte.
3. Ferrocarril del Sureste.
4. Ferrocarril Chihuahua Pacífico.
5. Terminal Ferroviaria del Valle de México.

Tabla 8. Concesionarios de las líneas férreas en México. Fuente: Elaboración propia (10/12/2019).

Inicios	Cronología de concesión		
Ferrocarril del Noreste	Transportación Marítima Mexicana + Kansas City Southern Lines	Transportación Ferroviaria Mexicana	Kansas City Southern de México
Ferrocarril del Pacífico Norte	Grupo México + Union Pacific + Ingenieros Civiles Asociados	Ferrocarril Mexicano	Ferromex Grupo México
Ferrocarril del Sureste	Grupo Tribasa + Grupo Carso	Ferrosur	Ferrosur Grupo México
Terminal Ferroviaria del Valle de México	Kansas City Southern de México + Ferromex Grupo México + Ferrosur Grupo México + Secretaria de Comunicaciones y Transportes		

Proceso de privatización en México

En 1995 se tomó la decisión de privatizar los ferrocarriles en el país mediante la figura de concesión, considerando “que así la economía mexicana se desarrollaría de forma más adecuada, con mayor competitividad y velocidad”. (Medina, 2013).

En el proceso de privatización del servicio ferroviario, el Gobierno argumentó las siguientes premisas”:

1. *Preservar la soberanía nacional.*
2. *Fortalecer la rectoría del Estado para asegurar el respeto de los derechos de los trabajadores.*
3. *Proveer al país con un servicio ferroviario seguro, competitivo y eficiente.*
4. *Promover un proceso de concesión vigoroso y transparente.*

González (2018)

Es decir, las En 1995 se tomó la decisión de privatizar los ferrocarriles en el país mediante la figura de concesión, considerando “que así la economía mexicana se desarrollaría de forma más adecuada, con mayor competitividad y velocidad”. (Medina, 2013). Según González (2018), “premisas propuestas por el gobierno por aquellos años fueron ideológicamente contrapuestas a la privatización de Teléfonos de México. Al parecer el Gobierno tenía bien claro que no quería caer en la misma situación de convertir un proceso de privatización en la antesala de un monopolio, por tal motivo se buscó que el proceso fuera lo más equitativo posible. En este sentido Medina (2013) afirma que para lograr mantener un sistema ferroviario nacional desde un principio se pensó en dividir el sistema que ya se tenía “en diversas compañías para su privatización. Cada una de éstas conformarían un monopolio regional y todas se integrarían de forma vertical” para poder cumplir con el objetivo de tener un sistema nacional seguro, competitivo y eficiente, preservando la soberanía nacional.

De manera general, el IMT (2009) presenta la cronología del proceso de concesión en nuestro país, proceso que como se puede observar abarca los tres períodos mencionados con los que se ha estado desarrollado este cuarto capítulo, lo que viene a dar mayor validez a lo descrito con anterioridad:

1. Primera aproximación, a través de una mayor participación de equipo de arrastre privado, durante la creciente demanda de transporte de carga por el comercio exterior (1988 – 1991). (**Hacia la crisis de FNM**).
2. Reestructuración del SFM y privatización de algunos servicios auxiliares, acompañado de políticas enfocadas a la apertura comercial y al saneamiento de finanzas (1992 – 1994). (**Programa de cambio estructural**).
3. Concesión del servicio de transporte, se adapta la legislación a la participación de capital privado en el servicio ferroviario de transporte. (1995 – 1999). (**Proceso de concesión**).

IMT (2009)

Como es posible observar, el proceso de concesionamiento, tal como lo presenta el IMT, se desarrolló en un período largo de tiempo, lo que permitió ir adaptando e ir generando las mejores bases para que, tal como lo menciona el IMT (1999):

En mayo de 1995, el Diario Oficial de la Federación publicó la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, señalando los medio y reglas a seguir en el proceso de privatización del servicio ferroviario mexicano, y para el 6 de diciembre de 1996 se concretó la primera concesión del sistema: el Ferrocarril del Noreste”.

IMT (2009)

Características actuales del Sistema Ferroviario Mexicano

En palabras de Álvarez (2019) y de la ARTF (2018), actualmente el Sistema Ferroviario Mexicano cuenta con las siguientes características:

Características respecto a la infraestructura

Respecto al tema de la infraestructura existente, se menciona que en el país existen 23 389 kilómetros totales de vía operada y 3 525 kilómetros de vía principal y secundaria fuera de operación. Respecto a los kilómetros de vía operada, 17 360 kilómetros (74.22%) representan vía principal y secundaria que se encuentra concesionada, 4 474 kilómetros (19.13%) de vías auxiliares (patios y laderos) y, finalmente, se cuenta con 1 555 kilómetros (6.65%) de vías particulares.

Características respecto al equipo ferroviario

Respecto a las características principales respecto al equipo ferroviario que transita por el sistema ferroviario mexicano, se menciona que corren 1 274 locomotoras y 32 286 carros, compuestos de la siguiente manera: 9 914 góndolas (30.71%), 8 535 tolvas (26.44%), 4 957 autoracks (15.35%), 4 768 furgones (14.77%), 2 150 tanques (6.66%), 1 444 plataformas y piggy back (4.47%) y 518 tipos de carro que entran dentro de la categoría de “otros” (1.60%).

Características administrativas

Respecto a la administración del sistema, se resalta el hecho de que se cuenta con 2 operados principales: Ferromex y Kansas City Southern de México. Es importante mencionar que Grupo México, dueña de Ferromex, también es dueña de Ferrosur. Por otro lado, se cuenta con 5 operadores regionales/líneas cortas: Coahuila-Durando, Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec (FIT), Chiapas-Mayab, Terminal Ferroviaria del Valle de México (TFVM) y la línea Tijuana-Tecate (ADMICARGA). En conjunto, Ferromex y Kansas City Southern de México concentran, respectivamente, el 82.4% y 89% de las toneladas por kilómetro del total de carga remitida en el sistema.

En total se tiene registro de un total de 15 700 empleados que laboran en el sistema ferroviario mexicano.

Características de la distribución de carga que se realizan en el sistema

Respecto al tipo de carga que se moviliza en el sistema, los datos muestran que, con un 74.7%, Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec; Kansas City Southern de México con un

56.6%; Ferrosur con un 49.2%, y Ferromex, en su vía Pacífico Norte, con un 40.0%, transportan principalmente productos industriales.

Por otro lado, Ferromex (en la vía Ojinaba-Topolobampo) y ADMICARGA, movilizan mayormente productos agrícolas, representando el 71.8% y 60.3% del total de carga transportada para esas líneas.

Respecto a las líneas correspondientes a Ferromex en la vía Nacozari y la Línea Coahuila-Durango, éstas se concentran primordialmente en productos minerales, representando el 64.5% y 60.6% de los fletes remitidos.

Finalmente, respecto a este tema, la Terminal Ferroviaria del Valle de México es el principal distribuidor de productos inorgánicos, siendo el 91.5% de sus cargas transportadas en 2018.

Características de los movimientos que se realizan en el sistema

En 2018 se transportaron 128 millones de toneladas de diversos productos a través de la red ferroviaria del país, de las cuales 91.5 millones de toneladas (71.5%) corresponden con tráfico de comercio exterior (el cual de 2008 a 2018 ha tenido un aumento del 58.1%), mientras que las restantes 36.5 millones de toneladas (28.5%) incumben al tráfico local. Las entidades con mayor volumen de carga transportadas son Tamaulipas, Coahuila y, en menor medida, Sonora, Chihuahua, Veracruz, Guanajuato y Colima.

Del total de tráfico de comercio exterior, 67.2 millones de toneladas (73.7%) corresponden con movimientos de importación, mientras que 24.3 millones de toneladas (26.6%) provienen de movimientos de exportación.

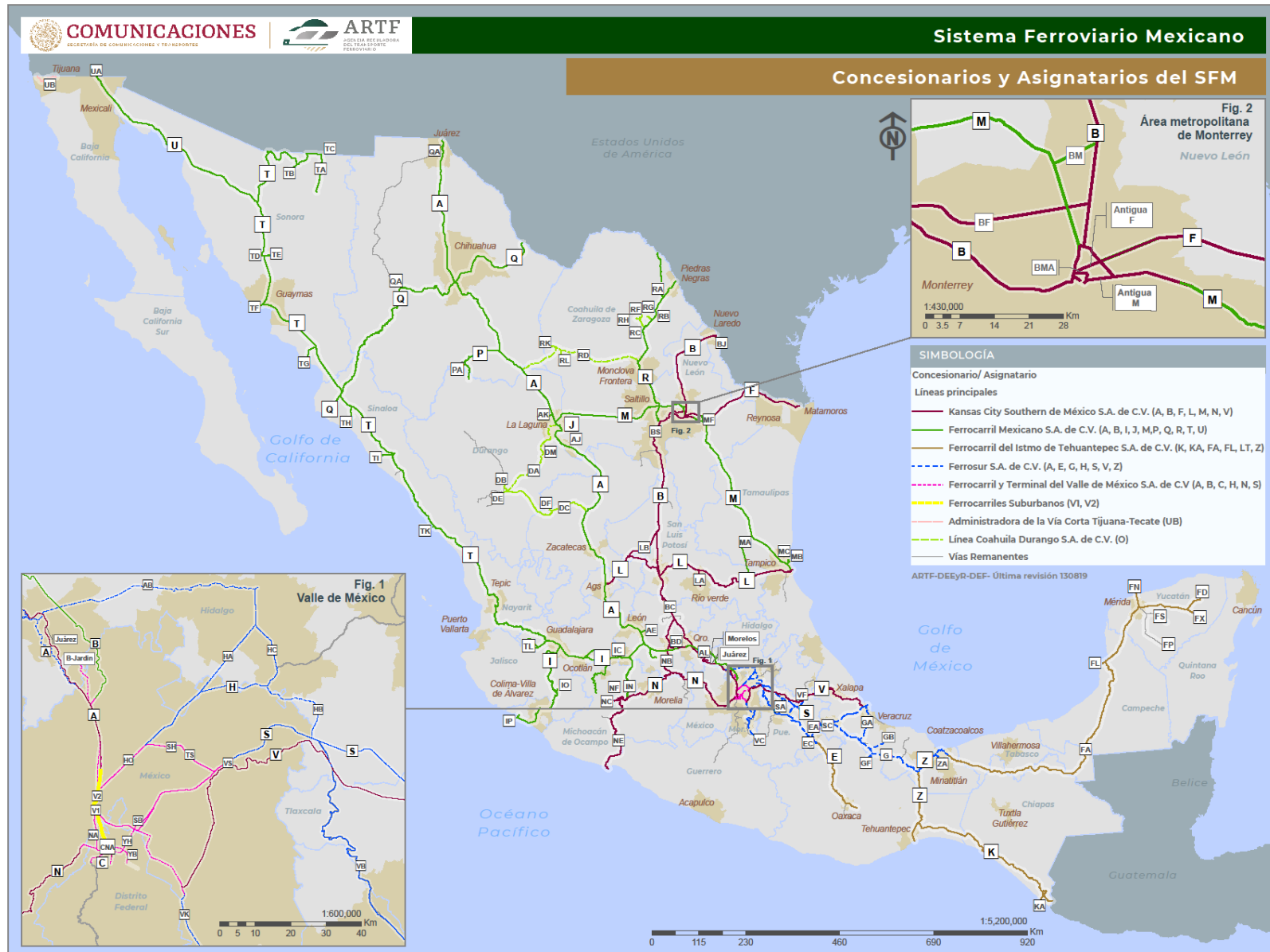
El 68.7% (62.9 millones de toneladas) del comercio exterior se da por fronteras, mientras que el restante 31.3% (28.6 millones de toneladas), se da por puertos. Respecto a las importaciones, más de dos terceras partes (70.3%) transportadas en ferrocarril en 2018 se llevó a cabo a través de las fronteras terrestres (las fronteras con mayor participación en 2018 respecto al ámbito de comercio exterior de importaciones fueron Nuevo Laredo, Piedras Negras y Matamoros con 43.2%, 34.9% y 8.2%, respectivamente), mientras que poco menos de la tercera parte (29.7%) llegó a territorio nacional por puertos (los puertos más importantes en 2018 en materia de importaciones son Veracruz, Manzanillo y Altamira con 39.1%, 26.6% y 18.1%, respectivamente).

Las principales mercancías de importación que ingresaron vía puerto en ese año fueron el trigo (Veracruz, con 1.8 millones de toneladas), mineral de hierro (Manzanillo, con 1.7

millones de toneladas) y otros productos industriales (Manzanillo, con cerca de 2.0 millones de toneladas). En contraste, los principales productos importados por frontera para ese año fueron el maíz (Nuevo Laredo y Piedras Negras, 8.9 millones de toneladas), láminas de hierro y acero (Matamoros, 2.7 millones de toneladas), frijol de soya (Piedras Negras, 2.3 millones de toneladas), carbón mineral (2.1 millones de toneladas) y contenedores (1.6 millones de toneladas).

Respecto a los movimientos de exportación vía puertos, los tipos de productos que dominan este rubro son el mineral de hierro (Guaymas, 1.3 millones de toneladas), líquido inflamable no especificado (Lázaro Cárdenas, 1.2 millones de toneladas) y el carbón mineral (Guaymas con casi 1.0 millones de toneladas). En contraste, el principal producto que dominó las exportaciones vía frontera para ese año fueron los vehículos automotores armados con 4.9 millones de toneladas movilizadas, de las cuales 77.6% abandonó el territorio nacional por las fronteras de Nuevo Laredo y Piedras Negras.

Facilitado por Álvarez (2019), en la siguiente página se presenta el mapa del Sistema Ferroviario Mexicano (*Mapa 1*), en el podemos ver plasmadas las características antes señaladas, además de que nos sirve de referencia para poder desarrollar la importancia del sistema ferroviario nacional y su integración del sistema ferroviario con el sistema de transporte nacional.



Mapa 1. Sistema Ferroviario Mexicano. Concesionarios y Asignatarios del SFM. Fuente: ARTF (13/08/2019)

Comparación frente a otros modos de transporte

Una vez que se conocen las características más importantes del Sistema Ferroviario Nacional, es bueno el poder tener un marco de referencia contra el cual poder comparar este modo de transporte y poder obtener conclusiones más claras, certeras y precisas. En este mismo sentido, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), tiene publicada por año, hasta el 2018, en su portal lo que ellos le conocen como Estadística Básica. Para el 2018, las estadísticas muestran los siguientes datos presentados en la *Tabla 9* para la movilización de carga por modo de transporte:

Tabla 9. Movilización de la Carga por Modo de Transporte (2018). Datos: Millones de Toneladas (%). Fuente: SCT (2018) <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2018/>

Año	Modos de transporte				Total
	Autotransporte de Carga	Transporte por Ferrocarril	Transporte por Agua	Transporte Aéreo	
2018	556 (55.5%)	128 (12.8%)	317 (31.6%)	0.8 (0.1%)	1 002 (100%)

Históricamente, los datos mostrados por la SCT son los presentados en la *Tabla 10*, que son la continuación de la tabla presentada con anterioridad:

Tabla 10. Movilización de la Carga por Modo de Transporte (Histórico). Datos: Millones de Toneladas (%). Fuente: SCT (2018) <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2018/>

Año	Modos de transporte				Total
	Autotransporte de Carga	Transporte por Ferrocarril	Transporte por Agua	Transporte Aéreo	
2017	547 (55.6%)	127 (12.9%)	308 (31.4%)	0.7 (0.1%)	982 (100%)
2016	536 (56.1%)	122 (12.8%)	297 (31.1%)	0.7 (0.1%)	955 (100%)
2015	523 (55.9%)	120 (12.8%)	293 (31.3%)	0.7 (0.1%)	936 (100%)
2014	511 (55.8%)	117 (12.8%)	287 (31.3%)	0.6 (0.1%)	916 (100%)
2013	502 (55.6%)	112 (12.4%)	289 (32.0%)	0.6 (0.1%)	903 (100%)
2012	498 (55.7%)	112 (12.5%)	283 (31.7%)	0.6 (0.1%)	894 (100%)
2011	486 (55.3%)	108 (12.4%)	283 (32.2%)	0.6 (0.1%)	877 (100%)
2010	470 (55.4%)	105 (12.3%)	273 (32.2%)	0.6 (0.1%)	848 (100%)
2009	451 (57.5%)	90 (11.5%)	242 (30.9%)	0.5 (0.1%)	784 (100%)
2008	484 (57.0%)	100 (11.7%)	265 (31.2%)	0.5 (0.1%)	849 (100%)
2007	474 (55.9%)	100 (11.8%)	273 (32.2%)	0.6 (0.1%)	847 (100%)
2006	445 (53.7%)	96 (11.5%)	287 (34.7%)	0.5 (0.1%)	829 (100%)
2005	436 (53.8%)	90 (11.1%)	284 (35.0%)	0.5 (0.1%)	810 (100%)
2004	426 (54.6%)	88 (11.3%)	266 (34.1%)	0.5 (0.1%)	781 (100%)
2003	416 (54.3%)	85 (11.1%)	265 (34.5%)	0.4 (0.1%)	766 (100%)
2002	411 (55.2%)	80 (10.8%)	253 (34.0%)	0.4 (0.1%)	745 (100%)
2001	409 (56.0%)	76 (10.4%)	244 (33.5%)	0.4 (0.0%)	730 (100%)
2000	413 (56.2%)	77 (10.5%)	244 (33.2%)	0.4 (0.1%)	735 (100%)
1999	394 (56.1%)	77 (11.0%)	231 (32.9%)	0.4 (0.1%)	703 (100%)

Tabla 10. Movilización de la Carga por Modo de Transporte (Histórico). Datos: Millones de Toneladas (%). Fuente: SCT (2018) <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadística/2018/> (Continuación)

Año	Modos de transporte				Total
	Autotransporte de Carga	Transporte por Ferrocarril	Transporte por Agua	Transporte Aéreo	
1998	381 (54.8%)	76 (10.9%)	237 (34.2%)	0.4 (0.1%)	695 (100%)
1997	332 (54.1%)	62 (10.0%)	220 (35.8%)	0.3 (0.1%)	614 (100%)
1996	383 (58.9%)	59 (9.0%)	209 (32.1%)	0.3 (0.0%)	651 (100%)
1995	367 (60.6%)	52 (8.7%)	186 (30.7%)	0.3 (0.0%)	606 (100%)

Como es posible observar en la Evolución de la movilización de carga por modo de transporte, desde 1995 hasta 2018, el transporte de carga vía autotransporte ha estado siempre al frente en el tonelaje transportado; sin embargo, también es posible observar que, con el pasar de los años, los demás modos de transporte también han tenido un incremento, a excepción del transporte aéreo, probablemente por los costos que este transporte tiene, con respecto a las distancias recorridas. Para el caso del transporte férreo, podemos observar que se encuentra por debajo, inclusive, del transporte marítimo, además de que su incremento se ha mantenido a lo años de una manera sostenible, se pudiera decir.

Ventajas y desventajas competitivas del modo ferroviario

Para poder terminar de desarrollar el tema respecto a la comparación con otros modos de transporte, se tomó la decisión de contrastar los datos relacionados con el modo ferroviario con el de otro modo, en este caso se tomó la decisión de compararlo con el modo automotor, principalmente porque este modo, al igual que el ferroviario es terrestre. Los resultados de esta comparación se muestran en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Ventajas y Desventajas del ferrocarril comparado con el autotransporte. Fuente: Elaboración propia (01/07/2020).

Ventajas	Desventajas
Menor esfuerzo mecánico para desplazar carga y menor resistencia aerodinámica.	Altos costos de adquisición y mantenimiento de la infraestructura y equipo.
Menor consumo energético, menores emisiones contaminantes, menores costos de operación.	Dificultad para ingresar a la actividad, tanto en el aspecto económico, técnico, administrativo, comercial y regulatorio.
Dadas sus características, permite economías de escala.	Se requiere de cuantiosas cantidades de carga para operar en un rango competitivo.
Uso de vehículos de arrastre con mayor capacidad.	Se requiere de mayores habilidades de gestión.

Tabla 11. Ventajas y Desventajas del ferrocarril comparado con el autotransporte. Fuente: Elaboración propia (01/07/2020). (Continuación)

Ventajas	Desventajas
Capacidad de movilizar grandes cantidades de carga en un solo movimiento.	Se requiere de complicados procesos de consolidación de trenes en los patios.
Facilidad para mover varios carros acoplados.	Mayores tiempos de entrega (velocidad comercial menor).
Baja competitividad: ventajas en la negociación y servicios con clientes y los organismos reguladores.	La posibilidad de pérdidas y/o daños del producto son de moderadas a altas; teniendo una confiabilidad moderada.

Como es posible observar en la tabla anterior, de una manera clara y objetiva, se tienen ventajas y desventajas acerca del uso del modo ferroviario; eso no quita el hecho de que en México, tal como se está estudiando en este tema y se evidencia en el apartado de las Características del SFM (véase página 61) este sistema se utiliza para el transporte de mercancías, además de que es un medio de transporte que ayuda al movimiento de carga hacia y desde el país, es decir, los procesos de importación y exportación, respectivamente.

Para concluir el tema que se está disertando, en el siguiente título se integra la importancia del sistema ferroviario nacional.

Importancia del sistema ferroviario nacional

En palabras de Ugarte (2018), economista senior de BBVA Research México:

El sector transporte representa 6.4% del Producto Interno Bruto (PIB) (...) esto es un reflejo de la importancia del desplazamiento de las personas y las mercancías entre localidades del país y con diferentes regiones del mundo, ya sea por vía carretera, aérea, ferroviaria o marítima, lo que está estrechamente relacionado con la manufactura y el comercio, tanto interior como exterior

Ugarte (2018)

Tal como se hizo mención en el marco teórico, una red está formada necesariamente por nodos que, al intercomunicarse por medio de arcos inician un flujo, el cual es consecuencia intrínseca de la unión de nodos. Dentro de los sistemas de transporte una red es la que propiamente hace que exista físicamente el sistema, sin embargo, no tiene un verdadero funcionamiento hasta que los transportes comienzan a intercomunicarse por medio de los arcos para comenzar a generar un flujo, es este flujo el que permite el movimiento de personas y carga, consecuentemente se puede generar el proceso del transporte. De esta manera se puede comprender la idea expresada por el economista citado con anterioridad,

dándole sustento a su argumento acerca de la importancia del sector transporte. No hay que olvidar las funciones intrínsecas del transporte, las cuales son económicas, políticas y sociales, que son las que precisamente generan consecuencias positivas y negativas en todo sistema de transporte.

En palabras del Dr. Alemán (s.f.) como parte de su conferencia magistral en el **XVIII Foro Nacional del Transporte de Mercancías** mencionó que:

Con la Reforma al Sistema Ferroviario, el tráfico de mercancías por ferrocarril se convirtió en un factor clave para el desarrollo económico de México. Desde 1997, la Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) del tráfico de carga (millones de ton-km) muestra un desempeño por encima del PIB.2.

También desde 1995, el ferrocarril ha incrementado su participación en el transporte terrestre de carga. En 22 años pasó de 18.8% a 25.2% respecto al autotransporte de carga debido a las fortalezas que favorecen su competitividad, las cuales son:

- 1. Bajo costo.*
- 2. Capacidad de arrastre o acarreo.*
- 3. Conectividad intermodal.*

Dr. Alemán (s.f.)

Como bien lo menciona el Dr. Alemán, la verdadera importancia del sistema ferroviario nacional radica en el hecho de que a través de la red que ya se tiene se ha generado toda una red de intercomunicación, sobre todo con los puertos y los nodos fronterizos (puertos y nodos comentados ya en el apartado de las **Características actuales del Sistema Ferroviario Mexicano**, véase página 61).

Lo que ha ayudado de una manera importante al desarrollo de la economía nacional. Con respecto a su integración con el transporte carretero, es aquí donde hay un choque y, hasta cierto punto llega a representar esta relación una de las grandes problemáticas que existen en el país respecto a los sistemas de transporte es que, tal como lo describe la CMIC (s.f.) la inversión se ha centrado en el desarrollo carretero y no se han aprovechado las ventajas del resto de subsectores. Esta misma Cámara cita un estudio realizado por el Colegio de Ingenieros de México (CICM) donde plantean que la inversión por subsectores deberá cambiar de proporción, favoreciendo al subsector ferroviario en los próximos años.

CAPÍTULO V: SEGURIDAD FERROVIARIA

Introducción

Hasta este momento, a lo largo de este trabajo, se han desarrollado aspectos importantes para el mismo; sin embargo, el tema central de este documento, como se comentó en su momento, es acerca de la seguridad ferroviaria y su importancia dentro del sistema ferroviario nacional. Como se comentó desde el primer capítulo, para poder entender el estado del arte del tema es importante dar ciertos principios, los cuales para este trabajo ya se han presentado: desde los antecedentes históricos, pasando por los principios básicos dentro del tema ferroviario, hasta llegar a un tema neural como lo es el panorama actual del sistema ferroviario en México. En este quinto capítulo se tratará de desarrollar de manera sintética el tema de la seguridad ferroviaria y, con ello, conjugar todo lo anterior descrito y comprender la importancia de este tema.

Conceptos concernientes al tema de la seguridad ferroviaria

A continuación, se presentan los conceptos que, de una manera u otra, corresponden a los conceptos básicos que engloban el concepto de seguridad:

Peligro

El CENAPRED (2014) define al peligro como “la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto período de tiempo y en un sitio dado”.

Respecto al mismo concepto, Reyes Rivero *et al* (2017), definen a la peligrosidad como “el potencial de amenaza de cualquier fenómeno adverso, por ello, mientras más información se tenga sobre éste, mayores posibilidades hay de predecir su ocurrencia en aquellos casos donde la predicción es posible”.

Teniendo una tercera referencia, de una manera más apegada al concepto de peligros naturales, pero sirviendo de referencia, dentro del Atlas de Peligros Naturales (2008-2011), el H. Ayuntamiento del Municipio de Puebla define al peligro como “un evento raro o extremo en el ambiente humano o natural, que afecta adversamente a la vida humana o sus actividades a tal grado de causar un desastre”.

Amenaza

Una amenaza queda definida por el Ministerio de Justicia de Colombia (EPN) (s.f.) como el “potencial de ocurrencia de un hecho que pueda manifestarse en un lugar específico, con una duración e intensidad determinadas.”, por tanto, las amenazas pueden ser consideradas como la materialización del riesgo. El CIIFEN (s.f.) establece que “la amenaza se determina en fusión de la intensidad y la frecuencia”.

Por otro lado, en el Atlas de Peligros Naturales definen al concepto de amenaza como “la probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual una comunidad es vulnerable”.

Como es posible observar, las definiciones presentadas tanto para el concepto de peligro como para el de amenaza son prácticamente las mismas. De hecho, en un boletín publicado por el Servicio Geológico Mexicano titulado “Peligros y riesgos por fenómenos naturales” (s.f.) presentan como sinónimos ambos conceptos. Para este trabajo de investigación, de la misma manera, se toman ambos términos como sinónimos el uno del otro.

Vulnerabilidad

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) (s.f.), la vulnerabilidad “son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia”. Por otro lado, Reyes Rivero *et al* (2017) hacen mención de que la vulnerabilidad es una “situación en la que se encuentra la población, características o atributos existentes en la misma, que le permiten o le imposibilitan enfrentar un fenómeno imprevisto”.

Para poder entender de una mejor manera el concepto de vulnerabilidad, se presenta una expresión propuesta por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres en la “Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres” (2009):

$$V = \frac{E \cdot S}{R_e} \dots (\text{Expresión 1})$$

donde:

$V \rightarrow$ vulnerabilidad

$E \rightarrow$ exposición

$S \rightarrow$ susceptibilidad

$R_e \rightarrow$ resiliencia

Se hace notar, por tanto, que la vulnerabilidad depende de qué tan resiliente sea el sistema; entre más resiliente, menos vulnerable el sistema.

Exposición

El concepto de exposición está definido por el CIIFEN (s.f.) como “la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo”.

La exposición, en palabras de Reyes Rivero *et al* (2017), se refiere a “las construcciones materiales y a la distribución de la población, puesta de manifiesto en las precarias edificaciones, carencia de servicios, construcciones inestables, que en conjunto constituyen la combinación de elementos materiales, infraestructura y población potencialmente afectadas ante un evento adverso”.

Susceptibilidad

La susceptibilidad es, en palabras de Soldano (2009), “la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico”.

En palabras del CIIFEN (s.f.) la vulnerabilidad “es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso”.

Resiliencia

Tal como lo describe el CENAPRED (s.f.) el concepto de resiliencia proviene de la física, pero fue adoptado en cierto punto de la historia para referirse a “la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesto a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básica” (CIIFEN, s.f.).

Riesgo

El Instituto Internacional de Enseñanza (IIL, por sus siglas en inglés) (2007) define al riesgo de una manera sintética como “una medida de incertidumbre”. Para comprender de una mejor manera este concepto es importante identificar qué es la incertidumbre; para ello es de nueva cuenta el IIL (2007) quien menciona que la incertidumbre es la “ausencia de información para predecir eventos futuros. Grado en el cual los datos son confiables y/o están disponibles para ayudar a predecir eventos futuros”.

Por otro lado, de nueva cuenta dentro del Atlas de Peligros Naturales citado en la definición anterior, se hace mención acerca del concepto de riesgo, es cual se menciona que éste “es una función del peligro y la vulnerabilidad”. Complementando la información antes citada, la misma fuente menciona que “el riesgo es la probabilidad de que sucedan diversos efectos nocivos a una sociedad o parte de ella. En general se acepta como la probabilidad de que algo malo suceda”.

De nueva cuenta, para este concepto, la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres en la “Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres” (2009) nos proporciona la siguiente expresión:

$$R_i = A \cdot V \dots (\text{Expresión 2})$$

$R_i \rightarrow$ riesgo

$A \rightarrow$ amenaza

$V \rightarrow$ vulnerabilidad

Como se observaba en la expresión presentada para el concepto de vulnerabilidad, entre más resiliente sea el sistema, menos vulnerable el sistema y, por tanto, el riesgo para el sistema será menor, comparado, claro está, con un sistema menos resiliente.

Aunado a este concepto se agregan dos más, los cuales los define (EPN) (s.f.) estos conceptos son los siguientes:

Factores Generadores de Riesgo (FGR)

Los factores generadores de riesgo “son aquellas situaciones que contribuyen a crear, mantener e incrementar a los elementos de riesgo”.

Agentes Generadores de Riesgo (AGR)

Los agentes generadores de riesgo “son aquellos individuos, grupos u organizaciones que, con su actuar, materializan el riesgo de ocurrencia de un accidente”.

Similarmente, este concepto se pudiera aplicar a todos aquellos materiales y/o sustancias que por su composición fisicoquímica representan una vía para materializar el riesgo de ocurrencia de un accidente, sin importar el grado del mismo. Recordando que siempre se antepondrán las consecuencias en los seres humanos, sobre bienes materiales.

De esta manera un ejemplo para poder comprender de una mejor manera estos dos últimos conceptos pudiera ser el almacenamiento masivo de nitrato de amonio. En este ejemplo el

FGR sería el almacenamiento de un producto químico altamente explosivo. El AGR pudiera ser, por tanto, el nitrato de amonio.

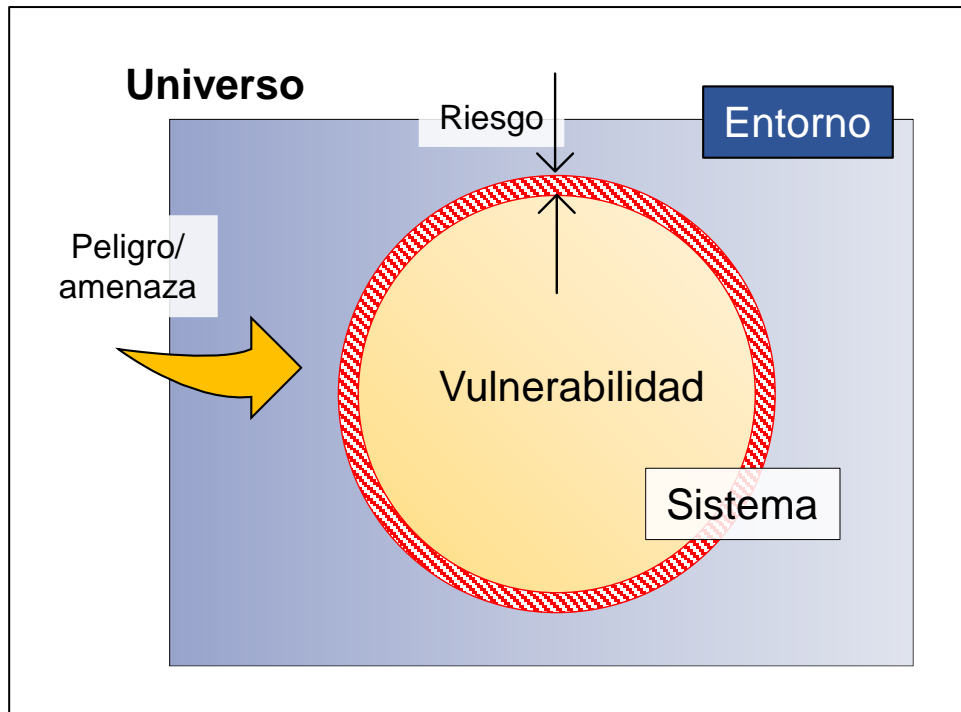


Ilustración 8. Representación de los conceptos: Peligro/amenaza. Riesgo. Vulnerabilidad. Elaboración propia (28/06/2020).

Para entender de mejor manera los conceptos descritos anteriormente, se presenta la Ilustración 8, en la cual se observa un sistema, el cual se encuentra dentro de un entorno y a su vez éste se contextualiza en un universo dado. Tal como se estudió anteriormente, la vulnerabilidad del sistema está en función de tres aspectos: Exposición, Susceptibilidad y la Resiliencia, siendo este último uno de los conceptos más importantes para poder comprender los demás conceptos, esto debido a que, de una manera más general, sustituyendo la Expresión 1 en la Expresión 2, tenemos:

$$R = \frac{A \cdot E \cdot S}{R_e} \dots (\text{Expresión 3})$$

donde:

$R \rightarrow$ riesgo

$A \rightarrow$ Amenaza

$E \rightarrow$ Exposición

$S \rightarrow$ Susceptibilidad

$R_e \rightarrow$ Resiliencia

Como es posible observar en la Expresión 3, la resistencia está en función de la vulnerabilidad y en Ilustración 8 (véase *página 73*) está representada por el espesor de la frontera⁵ del sistema; entre menos resiliencia tenga el sistema, el espesor de la frontera será menor y, por ende, mayor el riesgo de que el peligro/amenaza penetre al sistema. Este análisis nos muestra la importancia de que, para que el sistema tenga una probabilidad pequeña de riesgo, es necesario que el sistema tenga bastante resiliencia.

Accidente (siniestro)

En palabras de Saari (s.f.) los accidentes se definen como “sucesos imprevistos que producen lesiones, muertes, pérdidas de producción y daños en bienes y propiedades. Es muy difícil prevenirlos si no se comprenden sus causas”.

Incidente

En palabras de Botta (2010), un incidente se refiere a “un accidente que podría haber dado por resultado un daño”; es decir, un incidente no involucra las lesiones, muertes, pérdidas de producción y daños en bienes o propiedades como es que se define al accidente.

Seguridad

La EPN (s.f.) hace mención del concepto de seguridad como el “conjunto de sistemas, medios organizativos, medios humanos y acciones dispuestas para eliminar, reducir o controlar los riesgos y amenazas que puedan afectar a una persona, entidad, instancia u objeto. La seguridad proporciona las condiciones para afrontar el peligro”.

Es importante mencionar que cuando se habla de seguridad como un concepto aplicado, no se puede improvisar o dejar al azar tareas en las que están en juego inversiones, bienes materiales y, sobre todos los aspectos materiales y/o monetarios, cuando está en juego la vida de personas; tal situación exige que los componentes de la seguridad estén preparados para actuar dentro de las normas y leyes previamente establecidas, sin dejar a un lado que parte importante, como ya se estudió en párrafos anteriores, de que un peligro/amenaza se materialice radica en la resiliencia que el sistema de estudio tenga; entre más capacidad para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos negativos, en caso de que el peligro/amenaza se han materializado ya, de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas. Es decir, la seguridad

⁵ La frontera es definida por Jaramillo (2007), como “la envoltura imaginaria que encierra un sistema y lo separa de sus inmediaciones (entorno)”.

es, en palabras simples, es un eje rector que permite gestionar todos los aspectos relacionados con el riesgo (cada uno de los conceptos vistos a lo largo de este capítulo), manteniéndolo a raya para que éste se materialice y tenga consecuencias negativas en el sistema de estudio

Seguridad ferroviaria

De los conceptos analizados con anterioridad se puede decir que la seguridad ferroviaria es el conjunto de sistemas (técnicos y humanos) cuyo objetivo es eliminar, reducir o controlar los riesgos y amenazas que puedan afectar al modo ferroviario. La seguridad proporciona las condiciones para afrontar el peligro

Sin lugar a duda, la seguridad ferroviaria, como concepto aplicado debe asegurar en todo momento y lugar el análisis y detección de la vulnerabilidad, susceptibilidad y posibles exposiciones del sistema para alinearse con los objetivos del concepto mismo; además, debe tomar en cuenta los sistemas que, directa o indirectamente interactúan con éste y su posible intervención sobre la seguridad del sistema.

En palabras de Álvarez (2019), la seguridad ferroviaria es el “principio más importante que rige la operación del ferrocarril y por lo tanto es un tema que se trata de forma integral”.

Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria

La Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), como órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), promueve un sistema ferroviario seguro, eficiente y competitivo; aunque tiene diferentes actividades que tienen por objetivo el hacer cumplir esta responsabilidad, una de esas actividades es la publicación trimestral de los Reportes de Seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano (RSSFM). Desde el cuarto trimestre de 2016 la ARTF ha publicado estos reportes; cada nueva publicación, tal como la Agencia misma lo menciona, es “un esfuerzo por incrementar la calidad de la información incluida en los reportes” (ARTF, 2T-2018).

De una manera muy general, la ARTF ha clasificado, desde la primera publicación del RSSFM, los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria en dos grandes grupos:

1. Eventos relacionados con la seguridad operativa.
2. Eventos relacionados con la seguridad pública.

Es en el RSSFM correspondiente al primer trimestre de 2017, la ARTF presenta una subclasificación propiamente dicha para cada uno de los dos grupos presentados anteriormente:

1. Eventos relacionados con la seguridad operativa:
 - a. Siniestros ferroviarios.
 - b. Siniestros con causales ajenas al ferrocarril (SCAF).
 - c. Incidentes.
2. Eventos relacionados con la seguridad pública:
 - a. Robo.
 - b. Vandalismo.

En la Tabla 17 (ver página 80) se puede apreciar la clasificación que ha realizado la ARTF y que a lo largo de los Reportes de Seguridad (RSSFM) ha ido ampliando y mejorando, razón por la cual en la tabla mencionada entre paréntesis se presenta en qué trimestre y año apareció esa clasificación, siendo la última información entre paréntesis la más actualizada. Hay algunos casos en los cuales se aprecia que cierta información de la clasificación se encuentra tachada, esto porque la clasificación sufrió alguna modificación, siendo el trimestre de la modificación la última mostrada entre paréntesis para esa clasificación.

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, la ARTF ha realizado un arduo trabajo, con el fin de tener una base de eventos relacionados con la seguridad ferroviaria amplia y concisa; es decir, que puedan demostrar lo que realmente está sucediendo día tras día en campo. Si se observa atentamente, la mayoría de los eventos dispuestos en la *Tabla 12* (véase *página 77*) se han planteado desde el primer trimestre de 2017, siendo la única observación (que se puede corroborar con el Anexo 2, véase *página 132*) es que, para la clasificación Incidentes, hay un evento nombrado como “Manifestaciones”, el cual nunca ha tenido un evento por contabilizar.

Comportamiento del movimiento de productos dentro del SFM (Análisis para 2018)

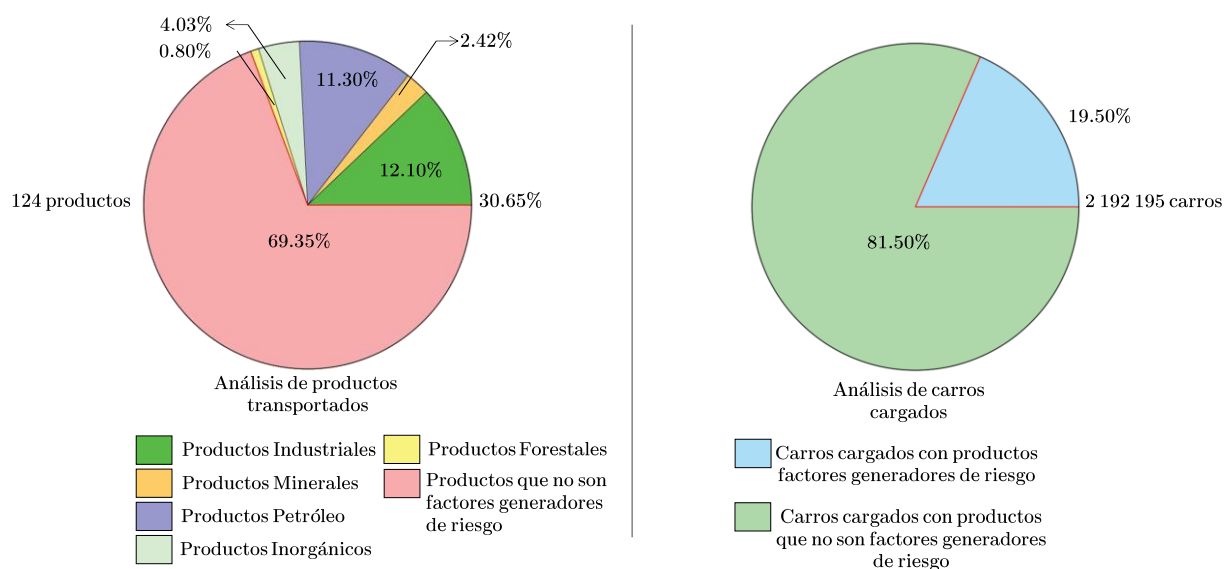
Como parte de la investigación, se planteó la realización de un ejercicio, el cual consiste en conocer, en base a la definición planteada acerca del concepto “Agente Generador de Riesgo”, el porcentaje de productos transportados en el Sistema Ferroviario Mexicano que cumplen con esta definición.

Tabla 12. Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria en México (ARTF). Elaboración propia (14/07/2020)

Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria (ARTF)						
Seguridad Operativa	Siniestros ferroviarios	Accidente personal ferroviario (1T-2018)	Robo	Robo a tren	Cable (1T-2017)	
		Alcance de tren (1T-2017) (1T-2018)			Componentes de unidades de arrastre (3T-2017)	
		Choque de trenes (1T-2017) (1T-2018)			Diésel (Combustible) (1T-2017) (1T-2018)	
		Descarrilamiento (1T-2017)			Intermodal (1T-2017)	
		Rozamiento (1T-2017)			Material rodante (2T-2018)	
	SCAF	Arrollamiento de vehículo (1T-2017)		Robo a vía	Producto/carga (1T-2017)	
		Impacto a tren (1T-2017)			Componente de vía (1T-2017)	
		Persona arrollada (1T-2017)			Componentes de señales (1T-2017)	
	Incidentes	Accidente personal ferroviario (4T-2019)		Vandalismo	Vandalismo al tren	Apertura de unidades (1T-2017)
		Afectación al paso de trenes por cables de CFE (1T-2020)				Cierre de angulares (1T-2017)
		Artefacto explosivo (1T-2020)	Componentes de frenos (1T-2017)			
		Asentamiento/terraplén (1T-2018)	Componentes de unidades de arrastre (1T-2017)			
		Cadáver sobre la vía (/derecho de vía) (1T-2017) (4T-2018)	Material rodante (1T-2018)			
		Cambio trillado (4T-2017)	Personas ajenas (1T-2017)			
		Choque entre equipo ferroviario (3T-2017)	Tren dividido (1T-2017)			
		Choque técnico (3T-2018)	Vidrios rotos (1T-2017)			
		Confinamiento dañado (1T-2018)	Vandalismo en vía			Aparatos de vía (1T-2017)
		Daños a instalaciones de industria (3T-2018)				Componentes de señales (1T-2017)
		Desacoplamiento de manguera (de aire) (3T-2018) (4T-2018)		Componentes de vía (1T-2018)		
		Deslave/derrumbe (2T-2017)		Equipo sobre la vía (1T-2017)		
		Desplazamiento de equipo (2T-2018)		Manipulación de señales (1T-2017)		
		Equipo en mal estado (2T-2017)		Obstrucción de vía (1T-2017)		
		Faltas al reglamento interno de transporte (1T-2018)				
		Fuga (o derrame)(1T-2017) (1T-2018)				
		Fuga de material peligroso (4T-2018)				
		Incendio (1T-2017)				
		Inundación (2T-2017)				
		Manifestación (1T-2017*)				
	Objetos sobre la vía (1T-2017)					
	Pérdida de potencial (1T-2020)					
	Pérdida de energía (2T-2018)					
	Pérdida de potencial en subestación (3T-2019)					
	Pérdida de tensión en catenaria (4T-2017)					
Vía en mal estado (1T-2017)						
Vía obstruida (1T-2017)						

Para este propósito se recurrió al análisis de los Anuarios Estadísticos⁶ publicados por la ART, siendo la información contenida en éstos veraz y avalada por un Órgano regulador en el tema.

Para este ejercicio se tomaron los datos referentes a los publicados por la ART en el Anuario Estadístico Ferroviario correspondiente al 2018 y se identificaron, por medio de la Norma NFPA 704, aquellas sustancias que presentan algún riesgo para la salud, sin importar el grado de este riesgo. De esta manera, los resultados de esta clasificación se presentan en la *Tabla 13* (véase *página 79*). Los productos sombreados de color oro son aquellos productos que, después de analizarlos bajo la Norma NFPA 704, resultaron siendo los productos que se ajustan de una mejor forma a la definición de Agente Generador de Riesgo. Por otro lado, estos productos representan en movimiento de carros 405 669 carros, del total de 2 192 195 que se movilizaron en el 2018. Por tanto, de los 124 productos transportados en el SFM, el 30.65% representa algún tipo de AGR. En términos de carros movilizados, del total de carros movilizados en 2018, el 19.5% transportó algún producto que representa un AGR, sin importar en qué tipo de clasificación se encuentre, tal como se muestra en la *Gráfica 2*.



Gráfica 2. Análisis del tipo de productos transportados en el SFM para el 2018. Elaboración propia (07/05/2020)

⁶ Al momento de realizar el análisis mencionado se tenía únicamente a disposición el Anuario Estadístico correspondiente al 2018. Realizando un análisis posterior se observó que el tipo de productos que se transportan año con año son los mismos, el único dato variable es la cantidad de carros cargados.

Tabla 13. Distribución de la carga transportada en el SFM. Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario 2018. Elaboración propia

Productos Industriales	Ruedas no especificadas	Mineral de bauxita
Cemento	Polvo del equipo de control de emisiones	Otros productos minerales ³
Láminas y planchas de fierro y acero	Abarrotes no especificados	Petróleo y sus Derivados
Vehículos automotores armados	Grasas no especificadas, no comestibles	Diésel
Contenedores	Cantera o lozas para piso o pavimentado	Combustóleo, aceite
Cerveza	Carbonato de calcio	Gasolina
Fierro para construcción	Hoja de aluminio	Coke de petróleo
Desperdicio de fierro	Plásticos, hojuelas gránulos, no expandido	Líquido inflamable no especificado
Polietileno	Harina de gluten	Gas para combustible
Productos químicos industriales	Desperdicio de vidrio	Aceite, grasas y lubricantes
Carbonato de sodio	Alcohol no especificado	Líquido temperatura elevada no especificado
Jarabe de maíz	Conservas alimenticias vegetales	Alquilato de Petróleo
Polipropileno	Láminas de madera y/o viruta comprimida	Propileno
Ácido sulfúrico	Molduras de madera	Isobutano
Clinker	Barras de plomo	Otros derivados del petróleo ⁴
Ácidos no especificados	Miel de caña	Productos Inorgánicos
Celulosa	Jabón en polvo	Arena sílica
Material de ensamble de vehículos automotores	Envases vacíos nuevos, botes de hojalata	Piedra caliza
Aceite y grasas vegetales	Otros productos industriales ¹	Arena y grava
Desperdicio de papel y cartón	Productos Agrícolas	Sulfato de sodio en bruto
Fertilizantes no especificados	Maíz	Dolomita y magnesita
Harinas no especificadas	Trigo	Arcilla o barro
Vehículos automotores desarmados	Frijol de soya	Sal
Cloro líquido	Forrajes pastas y semillas oleaginosas	Caolín
Azúcar	Semilla de nabo	Azufre
Cartón	Puré de destilados no completamente granos	Bentonita cruda
Papel y papelería no especificados	Arroz	Cal
Cloruro de vinilo	Grano gastado, seco no especificado	Dióxido de carbono
Sosa cáustica	Malta	Otros productos inorgánicos ⁵
Resina o adhesivo plástico	Avena en grano	Productos Forestales
Tereftalato de polietileno	Frijol	Madera de pulpa
Productos de sodio no especificados	Semillas de sorgo	Madera corriente en bruto
Fertilizante amoniaco	Cebada	Otros productos forestales ⁶
Billets de aluminio	Legumbres y verduras frescas no especificadas	Animales y sus Productos
Aparatos para uso doméstico	Alpiste	Sebo y grasas no especificadas
Óxido de etileno	Pulpa de remolacha	Otros productos animales ⁷
Productos lácteos	Otros productos agrícolas ²	1. Escoria de cobre, cantera y lozas, desperdicio de fierro, biodiésel, etc.
Harina de trigo	Productos Minerales	2. Lentejas secas, salvado de arroz, lisina, etc.
Lingote de zinc	Mineral de fierro	3. Mineral de synter, briquetas, carburo de silicio, ilmenita, etc.
Durmientes de concreto	Carbón mineral	4. Asfalto líquido, ciclohexano, ácido anhídrido ftálico, etc.
Alimentos preparados para animales	Coke	5. Talco molido, talco crudo, desperdicio de granito.
Panel de yeso	Mineral y concentrados de cobre	6. Líquido inflamable, etc.
Almidón de maíz	Espato flúor, fluorita	7. Desperdicio de carne, envasada, harina de pescado, etc.
Vinos y licores	Mineral de celestita	
Botellas de vidrio vacías nuevas	Mineral de grafito	

Prevención y mitigación de riesgos

Con información de Febles (2006) la prevención se refiere a todas aquellas acciones “para asegurar que no sucedan siniestros” o, si llegan a suceder, que éstos “no perjudiquen con toda la intensidad que podrían hacerlo”, a través de la mitigación riesgos.

Complementando la información presentada por Melania Febles, la asociación Ingenieros Sin Fronteras (s.f.), comentan la siguiente información respecto al tema de prevención y mitigación de riesgos, haciendo el comentario acerca de que ellos introducen un concepto más al tema, llamado **la preparación**:

La prevención corresponde a las actividades destinadas a proporcionar protección permanente frente a los siniestros (eliminación del riesgo). La mitigación se refiere a las medidas que tienen como objetivo reducir el impacto del siniestro/desastre en la sociedad y en el medio ambiente, actuando sobre los factores que lo definen (peligro y vulnerabilidad). Es decir, la mitigación persigue la reducción del impacto a través de la reducción o disminución del riesgo. La mitigación parte del supuesto de que no es posible controlar totalmente el riesgo, pero es posible disminuirlo incidiendo sobre los factores que lo definen. Constituyen acciones de mitigación todas aquellas que tienen por objetivo:

1. La alteración y/o reducción del peligro.
 2. La reducción de la vulnerabilidad de los elementos de riesgo.
 3. El aumento de las capacidades de la población y de las autoridades responsables.
- Por último, la preparación es la capacidad para predecir, responder y afrontar los efectos de un siniestro, incidiendo sobre los efectos que provoca.

La preparación comienza con la creación de diversos mecanismos que permitan tanto la predicción de las catástrofes como una respuesta rápida y efectiva cuando éstas se desencadenan, de forma que se pueda minimizar la pérdida de vidas humanas, así como los daños materiales, económicos y medioambientales, facilitando además las posteriores intervenciones de rehabilitación.

Ingenieros sin fronteras (s.f.)

Por tanto, la prevención se refiere a las acciones que van encaminadas a evitar los impactos que tienen los siniestros sobre el sistema; por otro lado, la mitigación se refiere a todas las acciones que pretenden disminuir la intensidad y la extensión del impacto del siniestro sobre el sistema.

Para poder llevar acabo las acciones de mitigación y prevención, es importante:

1. Conocer cuáles son las amenazas y el riesgo que éstas conllevan dentro del sistema que se está analizando.

2. Una vez que se conoce esta información, es necesario planificar con el fin de poder disminuir el riesgo que se tiene a que se la amenaza se materialice y, si es posible, buscar maneras directas de cortar la entrada a esas amenazas.
3. No es suficiente hablar sobre el asunto, es importante actuar, es decir, llevar a cabo todas las acciones necesarias planteadas en el plan.

Normatividad referente al tema de seguridad ferroviaria

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Yendo de una forma jerárquica y siendo para este título un eje rector importante del mismo, se tiene, en primer lugar, los artículos relacionados al tema de los ferrocarriles contenidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los cuales son el 25 y 28 párrafo cuarto, los cuales mencionan que el ferrocarril es un área prioritaria para el desarrollo nacional y el Estado, al ejercer en ella su rectoría, protegerá la seguridad y la soberanía Nacional.

Código Penal Federal y su relación con el Código Federal de Procedimientos Penales

Por otro lado, tenemos el Código Penal Federal, el cual se aplica a toda la República Mexicana para los delitos del orden federal; para el caso de las vías férreas, el Código contempla en los artículos 167, 170, 286 y 381. El primer artículo establece la sanción para quienes quiten o modifiquen sin debida autorización los elementos de vía (ferroviaria). Por otro lado, los siguientes dos artículos establecen el castigo para aquellos quienes se apoderen o ejerzan control de un tren y para el uso de violencia en contra de los ocupantes del tren, respectivamente. Finalmente, en el artículo 381 se establece el castigo para todas aquellas personas que se apoderen de vías, partes o equipos ferroviarios, los bienes, valores o mercancías que se transporten por este medio.

La relación que existe entre el Código Penal Federal y el Código Federal de Procedimientos Penales (básicamente este Código establece las diligencias legalmente necesarias para que el Ministerio Público pueda resolver si ejercita o no la acción penal); en este sentido, en el Artículo 194 de este Código contempla, entre otros hechos, como delito grave el artículo 381 del Código Penal Federal mencionado con anterioridad.

Ley Reglamentaria de Servicios Ferroviarios y el Reglamento del Servicio Ferroviario

De una manera general, la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario tiene la finalidad de garantizar la seguridad en el sistema ferroviario nacional, a través de la regulación en la construcción, operación, explotación, conservación, mantenimiento y la garantía de las interconexiones en las vías férreas cuando sean vías generales de comunicación.

Por otro lado, tal como todo reglamento, el Reglamento del Servicio Ferroviario tiene como finalidad establecer y definir las formas, de manera concreta, de la forma en que se materializará el precepto legal contenido, en este caso, en la Ley Reglamentaria de Servicios Ferroviarios. En este sentido se puede mencionar el Artículo 45, el cual habla acerca del deber por parte de los concesionarios de adoptar de forma inmediata las medidas correctivas necesarias, cuando se detecten defectos en las vías férreas, las señales y de las instalaciones y sistemas de telecomunicaciones.

De la misma manera, en el Artículo 49 se hace mención acerca de la obligación de los permisionarios y autorizados de mantener en buen estado las obras e instalaciones correspondientes, así como adoptar medidas que garanticen la seguridad de aquéllas.

Como es posible observar, este Reglamento tiene una relevancia importante en poder garantizar la seguridad en el sistema, tan es así que dentro del Título tercero: De los servicios ferroviario, en el Capítulo II: Del equipo ferroviario, en la sección primera del mismo se establecen las condiciones de seguridad del equipo tractivo y de arrastre, en la segunda sección se establecen los lineamientos respecto a la inspección y las pruebas que se tienen que realizar al equipo ferroviario.

Por otro lado, en el Título cuarto: De las responsabilidades, contingencias y siniestros, se hace mención del Capítulo I, en el cual se tiene la sección sexta se habla acerca de los sistemas de vigilancia. Por otro lado, para ese mismo Título, en el Capítulo II, se habla acerca de las contingencias y siniestros, cuyos Artículos, del 200 al 203 mencionan, en resumen, lo siguiente:

1. El deber de los concesionarios y permisionarios de contar con un programa para hacer frente a las contingencias o siniestros que se presenten.
2. Las acciones que deben realizar el personal ferroviario que se encuentre en el lugar de un siniestro, mismas que van encaminadas a salvaguardar la integridad de las personas

y, en la medida de lo posible, de los bienes. De la misma manera, en caso de un accidente ferroviario, se menciona la integración de una Comisión a fin de efectuar la investigación de dicho accidente, sin perjuicio de las atribuciones que tengas otras autoridades. Dicha investigación tiene como propósito determinar el factor que dio origen al mismo.

3. La obligación, por parte de los concesionarios, de prestar auxilio, apoyo técnico y operativo a su alcance a otros concesionarios o permisionarios que hayan sufrido un siniestro, para salvaguardar vidas y bienes, así como para apoyar el restablecimiento y la continuidad en la presentación del servicio público de transporte ferroviario.

Actividades impulsadas por parte de los involucrados para promover, supervisar y/o mantener la seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano

Actividades de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario en materia de seguridad

Tal como se mencionó en párrafos anteriores, la ARTF ha mantenido vigente el compromiso por brindar al Sistema Ferroviario Mexicano seguridad y eficiencia; lo ha demostrado, entre tantas actividades, con la publicación de los Reportes de Seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano, los cuales trimestre tras trimestre han ido evolucionando a pasos grandes y coordinados. De una manera muy general, tal como se puede apreciar en el *Diagrama 3*, la ARTF tiene tres ejes centrales que marcan las actividades que realizan en materia de seguridad.

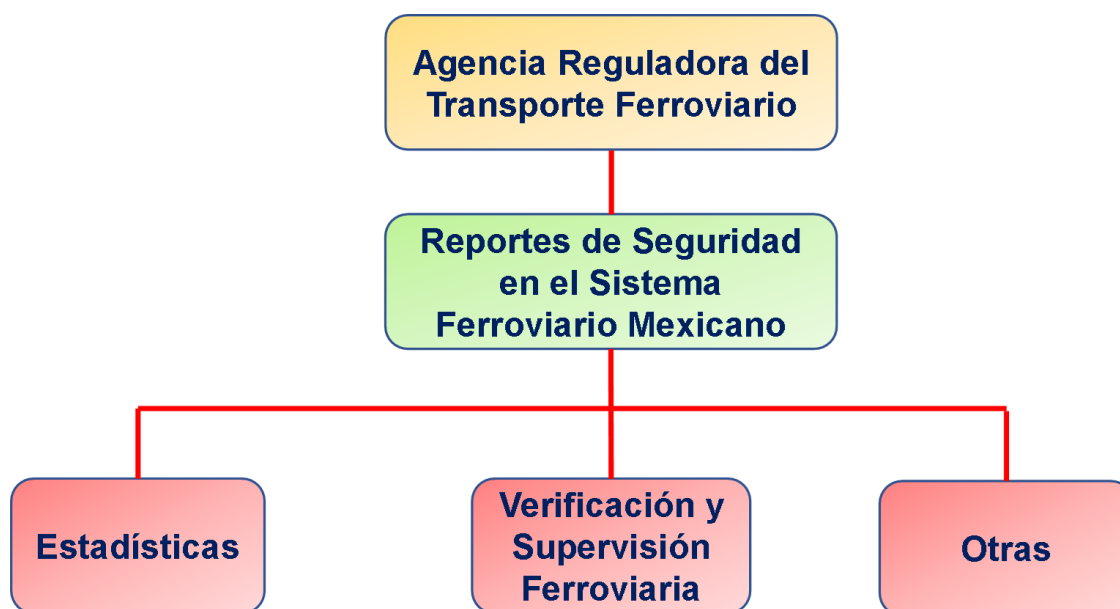


Diagrama 3. Actividades que realiza la ARTF para mantener, promover y/o preservar la seguridad ferroviaria en el sistema mexicano. Elaboración propia (17/07/2020)

En primer lugar, tal como se puede apreciar en el *Diagrama 3* (véase página 83), una de las actividades que realiza la ARTF en pro de la seguridad ferroviaria en el sistema mexicano es a través de los reportes que presenta la Agencia por medio de los RSSFM cada trimestre, de tal manera que, a través de estos reportes, tal como lo menciona la misma ARTF en el primer reporte publicado, correspondiente al cuarto trimestre de 2016:

Se da a conocer información estadística disponible en materia de seguridad en el SFM para consulta del público en general, así como para aquellos interesados e involucrados en el tema, como lo son las empresas concesionarias, asignatarios, permisionarias y usuarios del servicio público de transporte ferroviario de carga y pasajeros.

ARTF (2016)

De una manera más actualizada, en el reporte correspondiente al primer trimestre de 2020, la ARTF hace la siguiente mención:

Una de las atribuciones de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) es la publicación trimestral del Reporte de Seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano, con el objetivo de dar a conocer los reportes relacionados con la seguridad tanto operativa (Siniestros) como pública (Robo y Vandalismo); lo anterior, para informar a la nación sobre las presuntas afectaciones al servicio público de transporte de carga y pasajeros.

[...] este documento sirve como complemento a las actividades realizadas para la prevención del robo en el SFM, como resultado de la cooperación intersectorial que viene realizando durante el último año la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (SSPC) y la ARF

ARTF (2020)

Es decir, la información que presenta la ARTF en sus reportes, pasó de ser meramente de carácter informativo, a ser un instrumento de cooperación con las autoridades competentes para la prevención y atención del delito en México.

Continuando con la información presentada en el *Diagrama 3*, otra de las actividades que realiza la Agencia con el fin de garantizar la seguridad en el sistema nacional es a través de la supervisión y verificación ferroviaria, todo esto se realiza a través del **Programa Integral de Supervisión y Verificación al Servicio Público de Transporte Ferroviario (PIV)**.

Para poder comprender este tema, es necesario retroceder un par de años, hasta el último trimestre de 2016, cuando se publicó el primer RSSFM, dentro de esta publicación se hacía referencia por vez primera al Programa de Verificación Integral (PIV), el cual era presentado de la siguiente manera:

Respecto a los siniestros ferroviarios, a través del Programa de Verificación Integral en las diversas áreas de ferrocarril, se lleva a cabo una vigilancia continua del cumplimiento del marco normativo aplicable por parte de las empresas concesionarias y asignatarias del servicio público de transporte ferroviario, buscando que:

- 1. Lleven a cabo los programas de inspección, conservación y mantenimiento a las vías férreas; señalización; sistemas de telecomunicaciones; e infraestructura complementaria;*
- 2. Cuenten con inspectores y personal calificado para el cumplimiento y atención de cada uno de los programas señalados en el punto anterior; y*
- 3. Den atención a las medidas de seguridad dictadas por el personal verificador de la ARTF.*

ARTF (2016)

Para el siguiente trimestre, se hacía pública el inicio de la aplicación del Programa Integral de Supervisión y Verificación al Servicio Público de Transporte Ferroviario (PIV) correspondiente para ese año y que ha mantenido su nombre hasta el último Reporte al cual se tuvo acceso, correspondiente al primer trimestre de 2020, en el Reporte correspondiente al primer trimestre de 2017 se mencionaba que el objetivo principal de este Programa es:

(...) vigilar de manera integral y coordinada con personal técnico la operación, explotación y tarifas del servicio ferroviario y sus servicios auxiliares, así como la seguridad, eficiencia y competitividad del ferrocarril.

ARTF (2017)

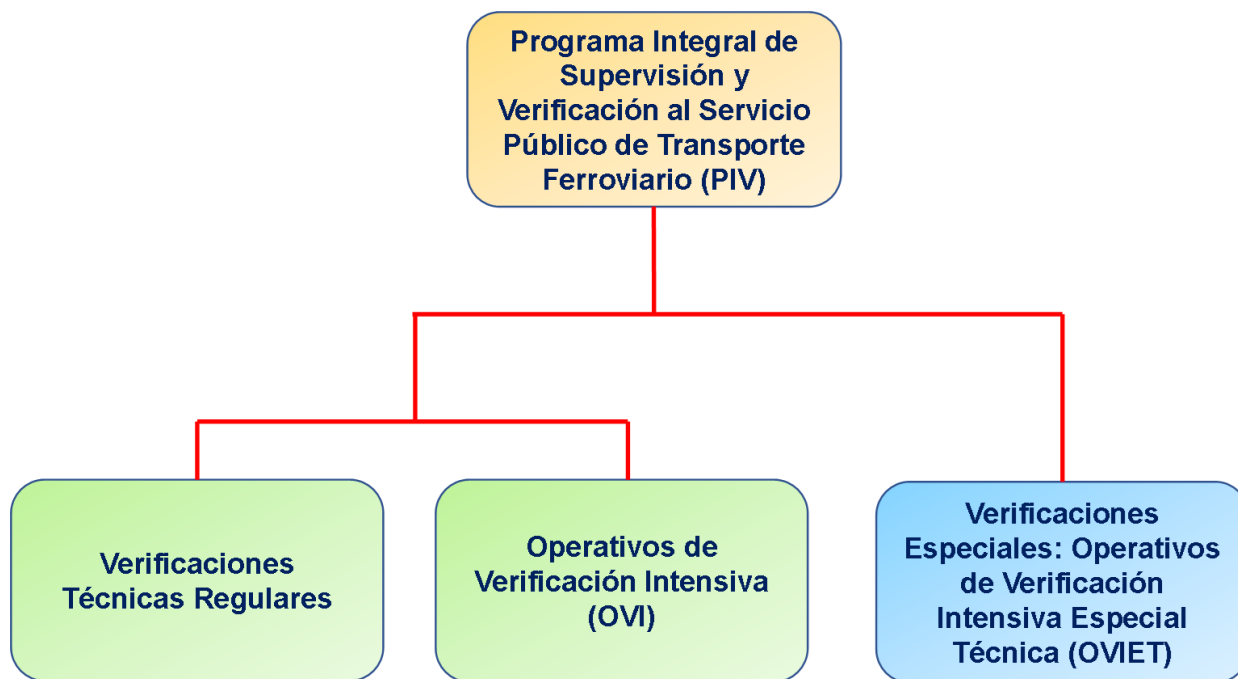
Como es posible observar, para el primer trimestre de 2017, es decir, sólo un reporte posterior a la primera publicación, se dio un gran paso, en el sentido de que se le dio un objetivo bastante claro a este programa. Básicamente, el cumplimiento de este Programa se lleva a cabo a través de dos tipos de verificaciones, una técnica y la otra es llamada especial, de la misma manera, en el primer tipo de verificación existe una subclasificación, tal como se puede ver en el *Diagrama 4 (véase página 86)*, las verificaciones técnicas se realizan a través de dos tipos de verificación, la primera es la **Verificación Técnica Regular** y la segunda es el **Operativo de Verificación Intensiva (OVI)**.

Respecto a las Verificaciones Técnicas Regulares, la ARTF habla acerca de que éstas se realizan a través de dos componentes:

1. Infraestructura.
2. Operación/Equipo en tránsito; equipo antes de salida; servicios auxiliares.

El primer componente tiene como objetivo el vigilar la conservación y mantenimiento de la vía férrea, sus estructuras, señales y, en su caso, las instalaciones y los sistemas de

telecomunicaciones. Por otro lado, el segundo componente tiene por objetivo el vigilar la prestación de los servicios públicos de transporte ferroviario y sus servicios auxiliares (RSSFM, 1T-2018).



*Diagrama 4. Programa Integral de Supervisión y Verificación al Servicio Público de Transporte Ferroviario (PIV).
Elaboración propia (17/07/2020).*

Por otro lado, respecto a las Operativos de Verificación Intensiva, éstos tienen por objetivo supervisar de una vez el área de infraestructura; operación/equipo antes de salida y servicios auxiliares, con el objetivo de vigilar la conservación y mantenimiento de la vía férrea, sus estructuras, señales; en su caso instalaciones y sistemas de telecomunicaciones; así como la prestación de los servicios públicos de transporte ferroviario y sus servicios auxiliares (RSSFM, 2T-2018).

Por último, se cuenta también con la entidad correspondiente a las Verificaciones Especiales: Operativos de Verificación Intensiva Especial Técnica (OVIET), que tienen por objetivo el supervisar de manera integral aspectos técnicos, jurídicos y administrativos, que incluyan el personal técnico y de servicio ferroviario (RSSFM, 3T-208).

Con base en los resultados de los actos de verificación ejecutados en cada período de análisis, se dictan Medidas de Seguridad (MS), las cuales tienen el objetivo de proteger la seguridad operativa en la prestación del servicio público de transporte ferroviario. Dichas

acciones permiten brindar de una manera integral y coordinada el cumplimiento al reforzamiento de la vigilancia al modo ferroviario.

De esta manera, se da cuenta de que la Agencia mantiene una constante vigilancia y supervisión en el sistema ferroviario mexicano con el fin de mantener la seguridad y la eficacia en el sistema.

El tercer eje rector de las actividades que se han ejecutado a lo largo de la existencia de la Agencia, para ayudar a garantizar la seguridad en el sistema ferroviario está categorizado como Otras, debido a que son diversas éstas, las cuales se enumeran a continuación:

1. La ARTF ha impulsado, a lo largo de su existencia, campañas de comunicación en conjunto con las empresas concesionarias, las cuales han buscado reforzar la prevención entre los usuarios de los cruces, así como la concientización sobre la importancia de respetar la reglamentación de tránsito y vialidad, a través de cursos como “Operación Salvavidas” y “Cuidado con el Tren” (RSSFM, 1T-2016).
2. La conformación del Fondo Nacional de Seguridad en Cruces Viales Ferroviarios, cuya finalidad ha sido, desde antes de su conformación, el apoyo financiero en la construcción, mantenimiento y operación de la señalización, sistemas de alerta y obstrucción de tráfico automotor y peatonal en aquellos cruces viales ferroviarios localizados en zonas urbanas o centros de población; así como la elaboración de estudios y proyectos, así como la elaboración de propuestas en el marco normativo, estándares de señalización y seguridad (RSSFM, 4T-2016) (RSSFM, 4T-2017).
3. Con respecto al robo y vandalismo, la Agencia desde sus inicios ha cooperado con autoridades de seguridad pública, gobiernos estatales y municipales, concesionarios y usuarios del SFM, para identificar la problemática y ejecutar acciones efectivas que permitan disminuir situaciones de inseguridad que afecten el servicio público de transporte ferroviario. Un ejemplo de estas acciones ha sido el Operativo Ferrocarriles Seguros, implementado en el Bajío por la Comisión Nacional de Seguridad a través de lo que fue la Policía Federal (RSSFM, 1T-2016).
4. La cooperación mencionada en el punto anterior no sólo ha sido con las autoridades de seguridad pública, gobiernos estatales y municipales, concesionarios y usuarios del SFM, sino también con otras instituciones de gobierno como lo es la Dirección General de Protección y Medicina Preventiva, para la ejecución de exámenes médicos al personal operativo de conducción del transporte público ferroviario de pasajeros, con el

propósito de evaluar su estado de salud físico y determinar su aptitud para el desarrollo de sus actividades en el modo ferroviario (RSSFM, 1T-2017).

5. Gestión en el reconocimiento de cursos de capacitación ferroviaria para personal técnico ferroviario, cursos dirigidos, entre otras cosas, a la formación, revalidación de conocimientos y para ascensos del personal de Ferrocarriles Suburbanos; así como la capacitación y adiestramiento del personal técnico ferroviario del Ferrocarril Terminal del Valle de México. (RSSFM, 1T-2019).

Para el Reporte presentado en el primer trimestre de 2020 estas son las actividades en materia de seguridad categorizadas como Otras, presentadas por la ARTF:

1. La ARTF trabaja en la elaboración de los “Lineamiento Generales aplicables para la instrucción, capacitación y adiestramiento mínimos que debe poseer el personal técnico ferroviario”, con la finalidad de que los concesionarios, asignatarios y permisionarios de las vías generales de comunicación ferroviaria cuenten con las directrices necesarias para realizar la instrucción, capacitación y/o adiestramiento del personal técnico ferroviario y personal de servicio ferroviario, toda vez que es de vital importancia el garantizar la seguridad y eficiencia de los servicios que se prestan en las vías generales de comunicación.
2. Se encuentran en proceso de desarrollo los “Lineamiento en materia de seguridad y vigilancia de la vía general de comunicación ferroviaria del servicio público de transporte ferroviario de pasajeros y carga en el SFM” con el objetivo de establecer los principios a los que deben sujetarse los concesionarios, asignatarios y permisionarios para instaurar reglas generales en materia de seguridad en la operación de los trenes, la inspección del equipo ferroviario, así como las funciones y responsabilidades del personal técnico ferroviario y personal de servicio ferroviario.
3. Se han impartido seis cursos de capacitación dirigidos al personal de la ARFT y de los Centros SCT de la Secretaría de Comunicación y Transportes con sede en cada Entidad Federativa del país en los que se cuenta con Red del SFM, con la finalidad de ampliar los conocimientos técnicos de los participantes en las áreas de Infraestructura, Operación, Equipo y Servicios Auxiliares del SFM, también se realizaron dos prácticas de campo con el objetivo de reforzar e inducir la aplicación de los conocimientos adquiridos por el personal que realiza las verificaciones técnicas al SFM.

4. La ARFT ha dado seguimiento a los Comités de Seguridad para los cruces viales ferroviarios instaurados (Aguascalientes, Jalisco, Ver, NL.), con los miembros que los integran, con la finalidad de avanzar en temas que pondrán a consideración del pleno de los Comités mencionados, algunos de los temas tratados son:
- Colaboración en el análisis e identificación de cruces a nivel susceptibles de intervención en zonas urbanas.
 - Ejercicio de manera conjunta de la integración de las propuestas de seguridad y desarrollo urbano, elaboradas con anterioridad por las autoridades competentes.
 - Estudio de los recursos disponibles de las partes involucradas, con la finalidad de conocer la cantidad de cruces a nivel con posibilidad de ser intervenidos.

Actividades de los principales concesionarios del Sistema Ferroviario Mexicano: Ferromex y Kansas City Southern de México

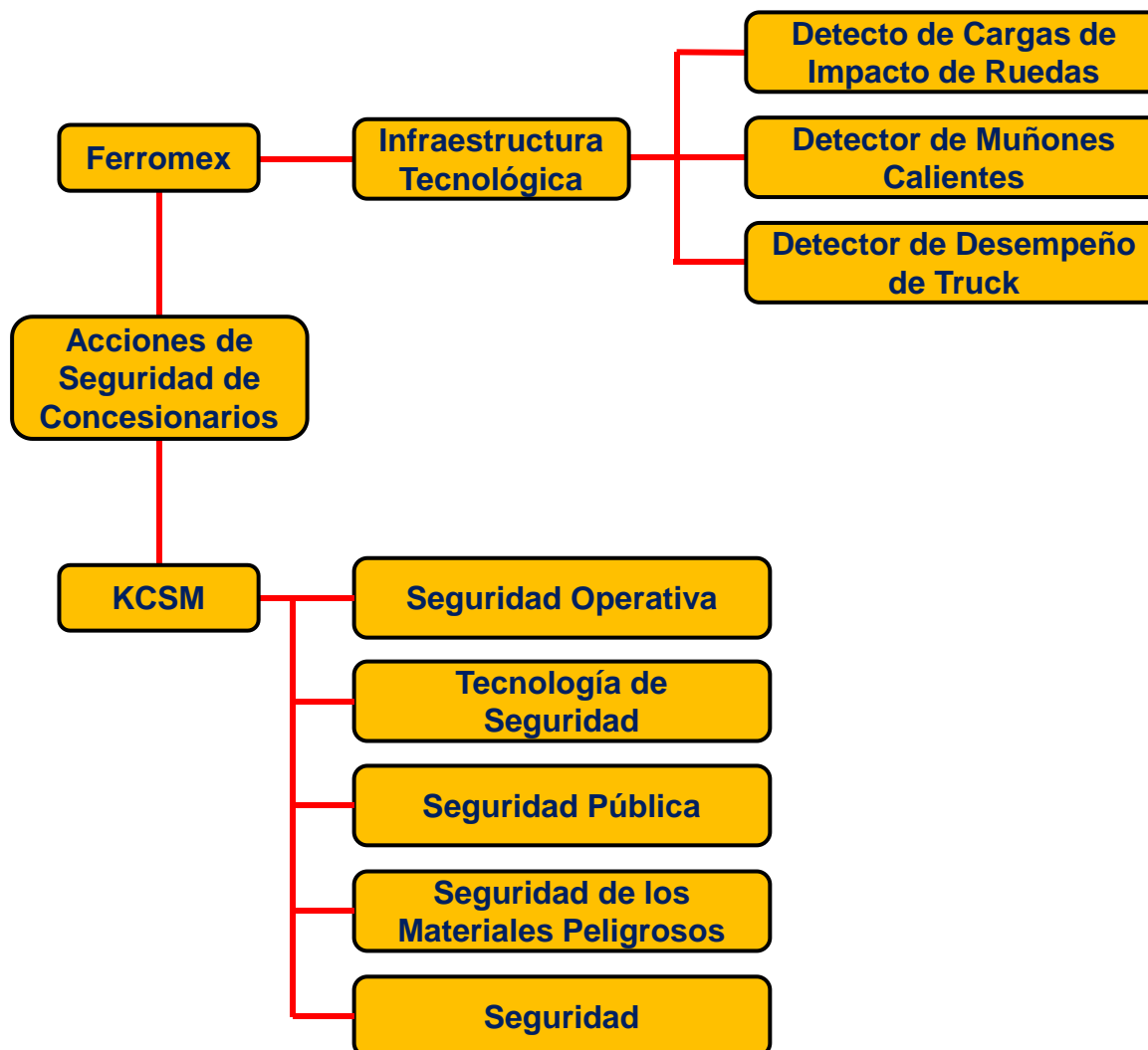


Diagrama 5. Acciones de Seguridad que realizan los concesionarios en el SFM para promover, supervisar y/o mantener la seguridad. Elaboración propia (04/07/2020).

De forma esquemática, en el *Diagrama 5* (véase página 89) se presenta la información respecto a las acciones que se llevan a cabo por parte de Ferromex y Kansas City Southern de México para promover, supervisar y/o mantener la seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano.

Ferromex

De una forma muy breve y concisa, este concesionario menciona algunas tecnologías que utiliza con el fin de que a lo largo de las líneas que opera se garantice la seguridad ferroviaria. Como es posible observar en el Diagrama 3, esto lo garantizan a través del uso de tres detectores distintos, los cuales son descritos de la siguiente manera por el mismo concesionario:

Los detectores de cargas de impacto de rueda tienen la función de revisar, al paso del tren, las ruedas tanto de los carros como de las locomotoras. Si hay sobrepeso o cargas mal distribuidas en los carros o ruedas con aplanaduras, esta tecnología avisa de la falla detectada para poder evitar descarrilamientos, reducir el consumo de combustible y el desgaste de componentes del equipo de arrastre, los rieles y otros elementos de vía.

Por otro lado, los detectores de muñones calientes son dispositivos cuya función principal es alertar al personal y tripulación de despacho de trenes, cuando se detectan baleros defectuosos u objetos arrastrados por el tren. Esto es posible a través de transductores colocados sobre el riel y la medición de la energía infrarroja emitidos por éstos.

Finalmente, los detectores de desempeño de truck son dispositivos que permiten alertar cuando se identifican fallas de algún truck en los carros, esto es gracias a la medición de cargas aplicadas al riel. Esto permite evitar accidentes, incrementar la vida útil de la infraestructura y de los carros, así como disminuir tanto las interrupciones de tráfico como el consumo de combustible.

Ferromex (s.f.)

De la misma manera, Ferromex cuenta también con las siguientes tecnologías, que le permiten, entre otras cosas, la reducción de tiempos, consumo de combustible y, con ello, las emisiones contaminantes (situación que entra dentro de la seguridad ambiental):

1. Cambios automáticos.
2. Sistema automático de encendido y apagado de locomotoras.

Kansas City Southern de México

Como es posible observar en el *Diagrama 5* (véase página 89), Kansas City Southern de México, en comparación con Ferromex, hace una clasificación respecto a las acciones que lleva a cabo para garantizar la seguridad en el sistema ferroviario nacional.

Seguridad Operativa

Para Kansas City Southern, el criterio de seguridad en la operación de los ferrocarriles a lo sus líneas, se basa en el cumplimiento de la reglamentación correspondiente al tema de seguridad. Para ellos, inculcar en sus trabajadores una cultura de seguridad es la base para poder garantizar la misma en sus operaciones, esto lo tratan de lograr a través de capacitaciones tanto en el lugar de trabajo como a través de la instrucción en las aulas.

Tecnología de Seguridad

De la misma manera que Ferromex lo hace, Kansas City Southern presenta las tecnologías que aplica en su red para poder garantizar la seguridad en sus operaciones. De una manera muy explícita mencionan que para su división en México tienen implementadas las siguientes acciones tecnológicas:

Equipos de inspección avanzados: Desde equipos que inspeccionan las vías para encontrar defectos en la geometría de la vía, hasta radares de penetración terrestre, la implementación de tecnologías láser y, así como en Ferromex, la implementación de detectores para monitorear en todo momento las condiciones de la vía al paso del ferrocarril. En resumen, estas tecnologías buscan programar el mantenimiento de una manera segura, oportuna y rentable.

Tecnología Spillx: Se menciona la implementación en el puerto de Lázaro Cárdenas del sistema de alimentación de combustible Spillx, el cual evita las filtraciones, fugas o robo del combustible de las locomotoras.

Seguridad Pública

Respecto al tema de seguridad pública, Kansas City Southern tiene dos vertientes; la primera de ellas es la relacionada con la relación entre el concesionario y la comunidad y, por otro lado, la segunda vertiente es la relación que tiene el concesionario con el personal de respuesta ante emergencias. Estas dos vertientes las aplican a través de cinco acciones muy concretas aplicadas a la división México de la compañía:

1. **Capacitación en respuesta ante emergencias:** se colabora en las capacitaciones que se da al personal de respuesta ante emergencias, empleados ferroviarios y clientes.
2. **Intercambio de información:** se brinda información sobre materiales peligrosos y como responder ante una emergencia para esos materiales a los servicios de emergencia locales, controladores de tráfico ferroviario y las cuadrillas.

3. **Planificación de la respuesta de la comunidad:** se participa activamente en los comités de planificación de emergencias, así como en conferencias de organismos sobre las respuestas ante emergencias. De la misma manera, se trabaja con las comunidades para desarrollar y evaluar sus propios planes de respuesta ante emergencias.
4. **Disponibilidad y almacenamiento provisional de equipos:** se invierte en equipos para capacitar al personal de respuesta ante emergencias y responder a los accidentes en los que intervienen materiales peligrosos.
5. **Respuesta y recuperación ante accidentes:** ante un accidente, se implementan los planes de respuesta, así como un trabajo coordinado con los servicios de primera respuesta para ayudar a reducir al mínimo las víctimas y los daños materiales causados por el accidente.

Seguridad de los Materiales Peligrosos

En base a lo que menciona el concesionario, de una manera conjunta, Kansas City Southern, los expedidores de materiales peligrosos, las compañías de suministros ferroviarios y el gobierno federal trabajan para poder desarrollar iniciativas especializadas, reglamentaciones y normas que garanticen que todos los productos, sobre todo, aquellos materiales peligrosos, se transporten con seguridad a lo largo del sistema.

Otra de las acciones que el concesionario aplica como una medida para garantizar la seguridad en la red que opera es la capacitación que se le da a sus trabajadores, logrando así que todo ellos sepan qué hacer ante una situación de emergencia.

Seguridad

En palabras del mismo concesionario, se menciona respecto a este tema que:

En México, empleamos un proceso de seguridad de varias capas, que incluye una amplia red de agentes a tiempo completo y por contrato; unidades caninas; y un puesto de seguridad las 24 horas, todos los días, para llevar un seguimiento de información y tendencias que también actúa como nodo de comunicación.

Otros procesos de seguridad en México incluyen: monitoreo de todos los trenes de KCSM de origen a destino a través de múltiples filtros de seguridad, lo que nos permite mantenernos al tanto del estado de las cargas; el paso de los trenes a través del sistema de escaneo del VACIS (Vehicle and Cargo Inspection System) en la entrada de Laredo/Nuevo Laredo y el puerto Lázaro Cárdenas; el envío de trenes que llegan a Saltillo y San Luis Potosí a través de un sistema de imágenes digitales de alta velocidad; la supervisión de los equipos ferroviarios a lo largo de la ruta mediante portales de inspección ferroviaria; y la documentación del estado de las cargas y sus sellos a la entrega.

Kansas City Southern de México (s.f.)

Es decir, en este sentido, el concesionario hace notar que se destinan recursos humanos y tecnológicos a poder garantizar la seguridad en su red, a través de acciones que no sólo vayan encaminadas a la atención de accidentes, sino a su prevención, así como a la mitigación de los riesgos, en caso de que se materialice.

Otras acciones tomadas por parte de los concesionarios para garantizar la seguridad en el sistema ferroviario nacional

Dado que la información que presenta Ferromex acerca de algunas de las acciones que está llevando a cabo para poder garantizar la seguridad en su red, se investigó en otras fuentes para poder obtener una respuesta más concreta a esta cuestión. Respecto al tema, la revista especializada en transportes T21 publicó una nota⁷ firmada por Enrique Duarte el 11 de julio de 2016 titulada “¿Qué hace Ferromex para evitar más robos de carga?”; la respuesta a este cuestionamiento está plasmada en la siguiente cita de la nota electrónica:

Tras experimentar un crecimiento en el robo de carga ferroviaria, Ferromex ha instalado “planes estratégicos” como operativos con la policía federal

Enrique Duarte (2016)

De la misma manera, la nota cita las palabras de Rogelio Vélez, quien fuera director general de Ferromex en el momento en que se publicó la nota:

Tenemos grupos coordinados, compartimos mucha información de inteligencia, para poder atacar a las bandas y el desmantelamiento de los grupos.

Es así como se han creado dos unidades de reacción, llamadas Base Operativa Mixta (BOM), que la maneja tanto el ejército como la policía federal, instaladas en Querétaro y Guanajuato.

Además, en el centro de control de operaciones en Guadalajara se ha inyectado inversiones importantes para monitorear a la carga y a sus locomotoras, para detectar así cualquier detención no programada.

A su vez, se ha invertido alrededor de 50 millones de pesos mensuales (o 1.5% de sus ganancias) en personal privado para que custodie la carga de principio a fin de su traslado.”

Rogelio Vélez (2016)

Comentarios

En el momento en que se escribió la nota citaba en los párrafos anteriores, aún existía la Policía Federal; entre su jurisdicción territorial se encontraban las vías férreas. El 1 de octubre de 2019, la Policía Federal inició su liquidación con la publicación en el Diario Oficial

⁷ Se puede consultar la nota en la siguiente dirección electrónica: <http://t21.com.mx/ferroviario/2016/07/11/que-hace-ferromex-evitar-mas-robos-carga> (última vista: 05/07/2020).

de la Federación del acuerdo por el que se emitieron lineamientos para la transferencia de los recursos humanos, materiales y financieros que tenía asignado la Policía Federal a la Guardia Nacional, que pasó a ser la institución encargada de las encomiendas de la Policía Federal. En la Ley de la Guardia Nacional, capítulo III “Atribuciones y Obligaciones de la Guardia Nacional”, artículo 9, fracción II, inciso a se hace mención acerca de que la Guardia Nacional tiene las atribuciones y obligaciones de:

- II. *Salvaguardar la integridad de las personas y de su patrimonio; garantizar, mantener el orden y la paz social, así como prevenir la comisión del delito en:*
 - a. *Las zonas fronterizas y en la tierra firme de los litorales, la parte perteneciente al país de los pasos y puentes limítrofes, aduanas, recintos fiscales, con excepción de los marítimos; secciones aduaneras, garitas, puntos de revisión aduaneros, los centros de supervisión y control migratorio, las carreteras federales, las vías férreas, los aeropuertos, el espacio aéreo y los medios de transporte que operen en las vías generales de comunicación, así como sus servicios auxiliares (...)*

Ley de la Guardia Nacional

En este sentido, buscando información respecto a lo expuesto con anterioridad, se encontró una nota periodística⁸ publicada el 27 de febrero de 2020 por José de Jesús Guadarrama en el diario Excelsior titulada “Con Guardia Nacional se desarticulaban 6 bandas que asaltaban al ferrocarril”; algunas de las citas importantes del artículo se presentan a continuación:

La industria ferroviaria y en especial Ferromex, que en 2019 invirtió 900 millones de pesos en seguridad, experimenta una de las etapas en la que se ha reducido de manera muy importante el ataque de la delincuencia, lo que ha permitido tener mejor velocidad, elevando la eficiencia (...)

José Guadarrama

De la misma manera, el artículo cita las palabras de Lourdes Adame, directora de relaciones gubernamentales y comunicaciones de Grupo México:

Comentó que gracias a una mejor coordinación entre autoridades federales, estatales y municipales y, con la intervención de la Guardia Nacional, a partir del segundo semestre de 2019, se logró la desarticulación de 6 bandas que operaban en Tlaxcala, Puebla y Veracruz

Explicó [Lourdes Adame] que la clave ha sido la coordinación entre las diversas fuerzas de seguridad, como es el caso de la Secretaría de la Defensa Nacional, la Guardia Nacional y las policías estatales y municipales, además de los sistemas de seguridad de la empresa (...)

Lourdes Adame (2020)

⁸ Se puede consultar la nota periodística en la siguiente dirección electrónica: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/con-guardia-nacional-se-desarticulaban-6-bandas-que-asaltaban-al-ferrocarril/1366727> (última vista: 05/07/2020).

Finalmente, la directora de relaciones gubernamentales y comunicaciones de Grupo México mencionó lo siguiente:

Comentó que existe preocupación en la parte del Pacífico, donde más que el robo de carga es el de pedazos de vía, lo cual es muy peligroso, dado que se pueden causar accidentes. Por lo anterior, los 900 millones de pesos que Ferromex invirtió en seguridad, abarca el salario de elementos de seguridad privada, drones, sistemas de video y un centro de control muy sofisticado, entre otros.

Lourdes Adame (2020)

Ante toda esta información, es importante hacer mención respecto al trabajo en conjunto con todos los actores involucrados, que se lleva a cabo para poder mantener la seguridad en el sistema ferroviario nacional, tomando en cuenta que, como se menciona en las notas por parte de gente especializada en el tema, el tema de seguridad es muy importante para que el sistema funcione de una manera eficiente y con los menos contratiempos posibles. Además del trabajo en conjunto, como es posible leer en las notas, uno de los aspectos relevantes para poder garantizar la seguridad en el sistema es la inversión que se le da a este rubro.

Respecto a lo que se mencionaba en el párrafo anterior acerca de la importancia del trabajo en conjunto con los actores involucrados en el tema, se hace una mención especial a las campañas de concientización; ya se veía en las acciones que lleva a cabo Kansas City Southern respecto a este tipo de acciones, pero más allá de las acciones de este concesionario, se hace mención acerca de la campaña, “Cuidado con el tren”, impulsada por la Asociación Mexicana de Ferrocarriles (AMF), los principales concesionarios y la Cruz Roja con el principal objetivo de poder reducir los arrollamientos a carros y peatones.

Finalmente, como último comentario, se menciona que tanto Ferromex como Kansas City Southern de México, en sus sitios web respectivos tienen a la vista los números de emergencia en caso de que se genere algún siniestro ferroviario.

CAPÍTULO VI: MANTENIMIENTO DE LAS VÍAS FÉRREAS

Principios básicos

Definido por Alarcón (2004) el mantenimiento se define como “la disciplina cuya finalidad consiste en mantener las máquinas y el equipo en un estado de operación, lo que incluye servicio, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción.”. Reforzando la idea de Alarcón, Doniz (2011) agrega que el mantenimiento es la “función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo (...). El mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo”.

Tipos de mantenimiento

A pesar de que autores hablan de tipos más o tipos menos, dentro de la acción de mantenimiento existen básicamente tres tipos principales de mantenimiento, éstos son los siguientes:

Mantenimiento Correctivo

En palabras de Medina (2009) el mantenimiento correctivo es la “acción de carácter puntual a raíz del uso, agotamiento de la vida útil u otros factores externos, de componentes, partes, piezas, materiales y en general, de elementos que constituyen la infraestructura o planta física, permitiendo su recuperación, restauración o renovación, sin agregarle valor al establecimiento”.

Mantenimiento Preventivo

Según Sánchez (2017) el mantenimiento preventivo se refiere a una “serie de intervenciones que se realizan a la máquina con el fin de optimizar su funcionamiento y evitar paros de la máquina”.

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo, según Sanzol (2010) “es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad”.

Por tanto, para que un sistema que opera cierta actividad o servicio sea funcional es indispensable que se lleven a cabo acciones de mantenimiento sobre el sistema. Existen

tres tipos principales de mantenimiento que se pueden llevar a cabo sobre el sistema; cuando los trabajos de mantenimiento se ponen en marcha una vez que ocurre el fallo en el sistema, entonces se está implementando un mantenimiento correctivo. Dentro de un horizonte de visión este tipo de mantenimiento podría decirse que es el que menos visión da, porque no ve más allá de acciones que permitan evitar el fallo y consecuentemente los elevados costos que éste conlleva. Por otro lado, en un panorama con una mayor visión se encuentra el mantenimiento preventivo, el cual básicamente consiste en que, antes de que se produzca un fallo en el sistema, se llevan a cabo una serie de intervenciones en el sistema con el fin de prevenir la falla inminente en el sistema; es decir, “este tipo de mantenimiento tiene la finalidad de poder reducir las acciones correctivas por medio de una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados” (Ministerio de Fomento, s.f.). Finalmente, el mantenimiento predictivo tiene una visión global del sistema y consiste básicamente en la predicción del comportamiento del sistema en base al monitoreo del comportamiento y características del sistema con el fin de evitar llegar a un estado crítico del mismo.

Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo

Tabla 14. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Elaboración propia (03/01/2020).

Tipos	Ventajas	Desventajas
Correctivo	<ul style="list-style-type: none"> • Si el sistema está preparado la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo. • No se necesita una infraestructura excesiva, sólo un grupo de operarios competentes será suficiente, por lo tanto, el costo de mano de obra será mínimo; será más prioritaria la experiencia y pericia de los operarios, que la capacidad de análisis o de estudio del tipo de problema que se produzca. • Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea en el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Al no tener una visión de largo alcance, las fallas en el sistema se dan de manera inesperada, lo que afecta el comportamiento y operación del sistema. • Se suele producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención, y a la prioridad de reponer antes que reparar definitivamente, por lo que produce un hábito a trabajar defectuosamente, sensación de insatisfacción e impotencia, ya que este tipo de intervenciones a menudo generan otras al cabo del tiempo por mala reparación.

Tabla 14. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Elaboración propia (03/01/2020). (continuación).

Tipo	Ventajas	Desventajas
Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> • Si se hace correctamente, ayudará en gran medida a controlar el sistema. • El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora continua. • Ahorros sustanciales comparado con el mantenimiento correctivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representa una inversión inicial alta en infraestructura y mano de obra. • El desarrollo de planes de mantenimiento preventivo debe ser realizada por técnicos especializados. • Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad. • Los trabajos rutinarios, cuando se prolongan en el tiempo, producen falta de motivación en el personal.
Predictivo	<ul style="list-style-type: none"> • Se apega a un método científico de trabajo riguroso y objetivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • De la misma manera se debe destinar un personal a realizar la lectura periódica de datos. Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que genera el sistema y tomar conclusiones en base a ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.

Como es posible darse cuenta, cada uno de los tipos de mantenimiento tienen sus ventajas y desventajas; la importancia de tener una clasificación en este tema radica en el hecho de que el sistema siempre debe estar en óptimo funcionamiento y más si se tratan de sistemas donde se lleven a cabo procesos o servicios donde se atienda a una cantidad importante de clientes.

Conservación de los sistemas de transporte

De manera general, durante la operación cotidiana de los sistemas de transporte, en ellos inciden diversos factores que afectan su desempeño y paulatinamente van disminuyendo

sus niveles de operación para los que fueron proyectados. Generalizando para los sistemas de transporte los principales factores que afectan la operatividad antes señalada son:

1. Tipo de vehículo y su peso.
2. Fenómenos meteorológicos.
3. Tipo y calidad de materiales utilizados en la construcción de las vías.
4. Geología y orografía de las zonas por donde cruzan las vías

La conservación tiene como propósito preservar en las mejores posibles de operación las vías por donde transitan los modos de transporte, de tal manera que los costos derivados de la operación de estos puedan mantenerse en niveles aceptables y no se presenten incrementos notables en los mismos que afecten el tiempo y la economía de los usuarios. Para que la conservación surta un efecto consolidado se requiere que los trabajos de conservación estén realizados bajo un sistema de gestión de la calidad, con el fin de asegurar que los trabajos que se estén realizando tengan la calidad y cumplan con los requerimientos establecidos por normatividad.

Mantenimiento y conservación ferroviaria

Dada la importancia y relevancia de los sistemas ferroviarios, no se puede permitir que éstos fallen, por tal motivo es importante que periódicamente se esté monitoreando e inspeccionando minuciosamente el sistema en búsqueda de situaciones que pudieran producir accidentes o incidentes dentro del sistema o en su caso, como lo menciona IFE (2018) “evitar esfuerzos excesivos sobre la vía, o una fatiga excesiva de sus elementos constitutivos que conduciría a una degradación exageradamente rápida e irreversible”. Tal como lo menciona Grupo AZVI (s.f.) el mantenimiento y conservación ferroviaria debe consistir “básicamente en tratamientos puntuales en infraestructura y vía de daños y deterioros para garantizar la seguridad de la circulación ferroviaria”, así como la conservación de las estructuras en la superestructura, subestructura y en las obras complementarias.

Según IFE (2018), los trabajos de mantenimiento comprenden:

Trabajos de conservación propiamente dichos, cuya responsabilidad corresponde normalmente a la cuadrilla de vía.

Trabajos especiales, que son aquellos que se alejan de los trabajos normales de las cuadrillas de vía:

1. *Remplazos importantes de rieles.*
2. *Renovación de durmientes.*
3. *Depurado y aporte de balasto.*
4. *Saneamiento de plataformas.*
5. *Mejoramiento intensivo de vía.*
6. *Renovación de vía.*

IFE (2018)

En este mismo sentido IFE (2018) continúa mencionando que “los trabajos especiales consisten en intervenciones que superan a la conservación y son generalmente realizados por contratistas que aplican técnicas orientadas a mejorar los rendimientos y abaratar precios”.

Una actividad indispensable en los trabajos de mantenimiento y conservación de las vías férreas son las actividades de inspección del sistema, según el PROY-NOM-003-ARTF-2018 (documento en el cual se establecen los requerimientos básicos para la inspección de vía; es un documento donde se establece de manera muy minuciosa qué se debe de inspeccionar de la estructura de vía para que, en caso de que no se cumpla con lo establecido, se puedan tomar las acciones necesarias para mantener y conservar la estructura en las mejores condiciones posibles) las inspecciones se “deben realizar a pie o viajando sobre la vía en un vehículo a una velocidad que permita a la persona que hace la inspección observar visualmente que la estructura de la vía cumpla con esta sección”. Este mismo proyecto de norma menciona que, respecto al grado de mantenimiento, éste “está determinado por los requisitos de seguridad que debe cumplir la vía, considerando la geometría y el estado físico de los componentes de la vía”. Respecto al estado físico de los componentes es importante puntualizar respecto a los siguientes componentes que se mencionan en este proyecto de norma antes citado:

Rieles

Respecto a los rieles es importante mencionar que existen dos categorías principales de defectos de riel: transversales y longitudinales. Los primeros son generalmente encontrados por los carros detectores. Los inspectores deben buscar evidencias que demuestren posibles indicios o desarrollos de defectos, con base en los siguientes puntos:

1. Apariencia inusual en la banda de rodamiento del riel.
2. Sangrado y decoloración abajo del hongo del riel.

Para estos elementos, los defectos pueden ser internos, los cuales son visibles solamente después que llegan al hongo, alma o patín. Tales defectos progresan con el tráfico y aumentan su tamaño con mayor número de toneladas transportadas. La mayoría de los defectos internos sólo son detectados a través de un estudio ultrasónico. Por otro lado, los defectos externos de los rieles son aquellos visibles, permitiendo observar el acompañamiento de su degradación a lo largo del tiempo.

Durmientes:

Revisar que los durmientes cumplan con las características establecidas en los requisitos de seguridad. Respecto a los defectos de los durmientes se puede comentar que un atributo único de los durmientes de concreto es la abrasión que puede ocurrir entre la base del riel y el asiento del riel en el durmiente. Sin embargo, la abrasión desigual o “calzamiento” del asiento del riel puede ser problemática para un entorno operativo de alta velocidad o alto tonelaje que puede causar que las fijaciones del riel se aflojen bajo carga o en los casos extremos causen inclinación o despliegue del riel.

Balasto

Se debe inspeccionar que el volumen existente en los hombros y en los cajones sea el adecuado y que, junto con el drenaje, cumplan con los requisitos necesarios para mantener la nivelación y alineamiento de la vía. Dentro de la inspección, en caso de encontrarse con condiciones de vía con lodo o con agua estancada se debe reportar inmediatamente. Respecto a los defectos más comunes de este componente se habla acerca del balasto contaminado, el cual pudiera ser factor generador de riesgo (FGR) en caso de que esta contaminación involucre las condiciones normales de la geometría de la vía.

Drenaje

Se debe verificar que no existan condiciones que eviten que el agua fluya en la vía.

Escantillón

Se debe verificar que el escantillón no esté abierto, debido a que esta situación es una de las causas de descarrilamiento más frecuentes.

Análisis de caso: Siniestro ferroviario ocurrido en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México el 18 de enero de 2018

Introducción

Considerando que más allá de un simple trabajo escrito este documento es una tesina cuyo objetivo esencial es el demostrar los conocimientos adquiridos a lo largo del tiempo que se estuvo estudiando la especialización en Vías Terrestres, se realizó un análisis donde se pudieran relacionar elementos que se analizaron a lo largo de la investigación y descripción de esta tesina (y en cuyo caso se estudiaron a lo largo de la especialización) con un caso meramente práctico. Con esta premisa se decidió elegir como caso de estudio el siniestro ferroviario ocurrido en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México el 18 de enero de 2018, que lamentablemente tuvo como consecuencia la muerte de cinco personas y un lesionado, sumado a las pérdidas materiales causadas por el descarrilamiento del tren con su posterior choque con las casas que se encuentran construidas sobre el derecho de vía.

Tal como se establece dentro de sus facultades, la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) tiene la siguiente atribución:

[...] recibir por parte de los concesionarios y permisionarios sus programas para la atención de posibles contingencias o siniestros que se presenten, así como los informes técnicos que elaboren y los elementos que les hayan permitido determinar las causas y circunstancias que los motivaron y, en su caso, iniciar las investigaciones que corresponden en términos de las disposiciones jurídicas aplicables.

ARTF

Bajo esta premisa es como ante el siniestro ocurrido a mediados de enero del 2018, la ARTF, a través de una comisión investigadora, se realizó una exhaustiva investigación técnica del siniestro, derivando ésta en un dictamen final, el cual tiene como finalidad determinar el factor y en su caso, esclarecer las circunstancias en la que el siniestro se produjo, con el objeto de dar atención a lo ordenado en el artículo 202 Bis del Reglamento del Servicio Ferroviario el cual menciona lo siguiente:

En caso de que existan siniestros en los que se causen daños a terceros en sus personas, la Agencia podrá integrar una comisión a fin de que efectúe la investigación de dicho siniestro, sin perjuicio de las atribuciones que tenga otras autoridades. La investigación tendrá como propósito determinar el factor que dio origen al mismo, para lo cual emitirá un dictamen.

ARTF

Resumen del siniestro

El 18 de enero de 2018, en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México, específicamente en el kilómetro S-19+900 de la Línea Ferroviaria “S” (véase *Ilustración 9*), ocurrió un descarrilamiento, con reporte de interrupción. No. 201003, 25 carros cargados, 0 carros vacíos, 3222 toneladas y 560 metros de longitud, en el que descarriló la unidad Sec. 24 de extremo “A” y volcó la unidad Sec. 25, ocasionando la muerte de cinco personas y lesiones a una más, así como daños a terceros en sus bienes.

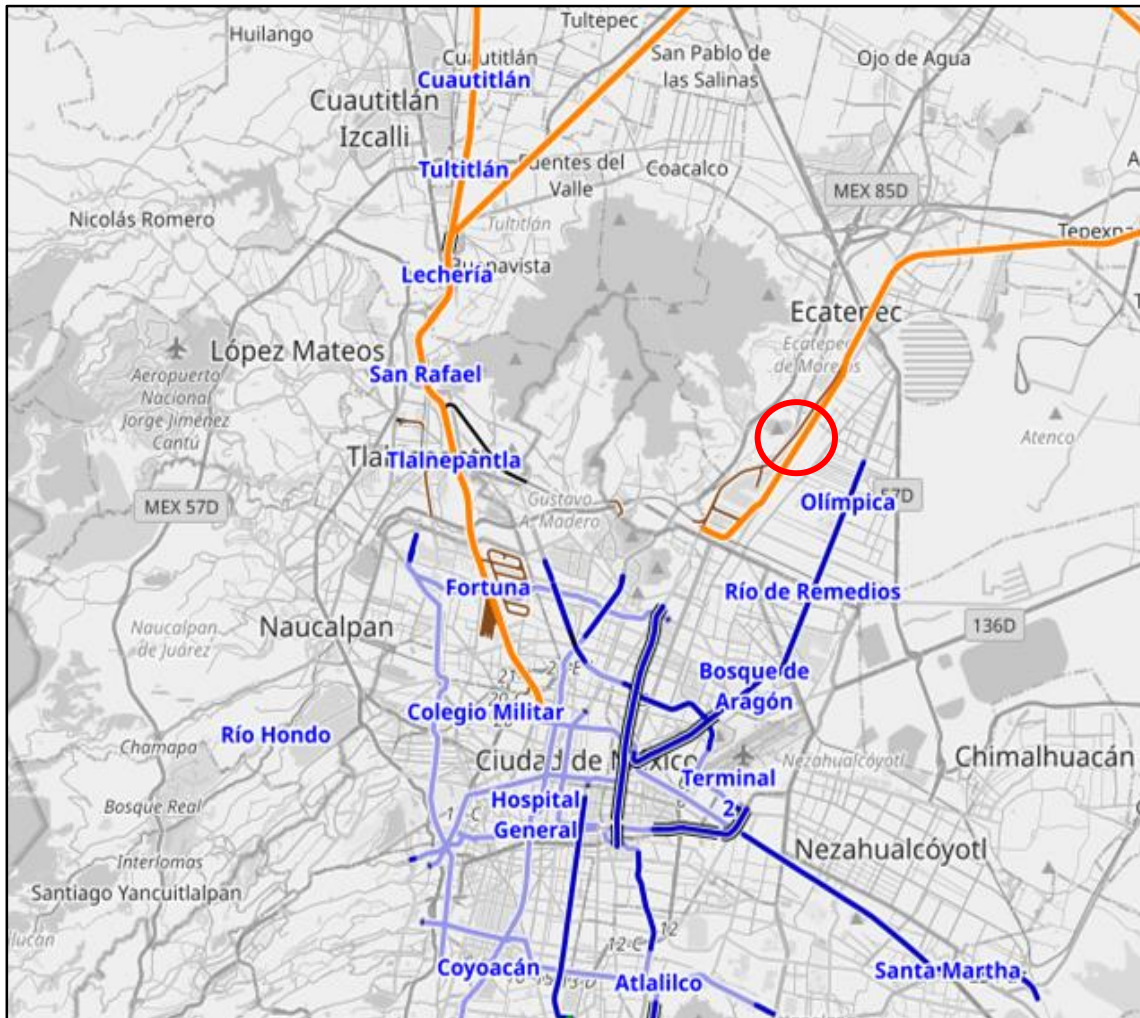


Ilustración 9. Localización (con un círculo rojo) del siniestro analizado. Fuente: Fuente: <https://www.openrailwaymap.org/> (última visita: 11/06/2020)

Exposición de los hechos relevantes

El 18 de enero de 2018, a las 05 horas 00 minutos fue llamado el “Tren Local” con dirección Sur, máquinas “4205-3025” Remolcada “2089”, con 25 carros cargados, 0 carros vacíos, 3222 toneladas y 560 metros de longitud, mediante un derecho de paso.

En cuanto a la infraestructura, del kilómetro (Km) S-19+270 al S-19+922 la vía estaba conformada con riel de calibre 115 libras/yarda RE CC BETH STEELTON 1990 FNM, durmiente de concreto monoblock I-84 para riel de 115 libras/yarda RE 92 NM, fijación RB doblemente elástica y balasto de piedra triturada.

Por lo que respecta a la tripulación, ésta tuvo un descanso previo de 31 horas con 44 minutos, misma que fue integrada por un maquinista de camino, un conductor de trenes, dos garroteros de camino.

Es de resaltar que la tripulación contaba con 50 minutos de servicio al momento de ocurrido el Siniestro, ya que el mismo ocurrió a las 05 horas 50 minutos del 18 de enero de 2018.

La posición, formación y tonelaje del “Tren Local” se presenta a continuación:

- Locomotora tipo SD70ACE “4205”
- Locomotora tipo SD40 “3025”
- Locomotora tipo GP382 “2089”
- En la **posición número uno** Tolva “288329”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número dos** Tolva “310503”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número tres** Tolva “287787”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número cuatro** Tolva “95481”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número cinco** Tolva “525171”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número seis** Tolva “83044”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número siete** Tolva “67412”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número ocho** Tolva “288546”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número nueve** Tolva “310481”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.

- En la **posición número diez** Tolva “710208”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número once** Tolva “880691”; transportando polipropileno, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Xicoténcatl.
- En la **posición número doce** Tolva “881494”; transportando polipropileno, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Xicoténcatl.
- En la **posición número trece** Tolva “713169”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número catorce** Tolva “311193”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número quince** Tolva “73041”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número dieciséis** Tolva “713896”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número diecisiete** Tolva “713235”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número dieciocho** Tolva “353309”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número diecinueve** Tolva “714197”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número veinte** Tolva “447065”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número veintiuno** Tolva “190059”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número veintidós** Tolva “61540”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.

- En la **posición número veintitrés** Tolva “714336”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número veinticuatro** Tolva “714228”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec.
- En la **posición número veinticinco** Tolva “517630”; transportando maíz, con un peso total de 128 toneladas (carga más peso propio del equipo), con destino a la Estación Metepec, con AFT No. 59955 instalado y conectado a la línea de aire de esta unidad.

El tren, desde el inicio del servicio hasta el sitio del siniestro, recorrió aproximadamente 29.711 kilómetros en 50 minutos, 9.811 kilómetros en el Distrito Central y 19.900 en el Distrito Tenayuca, en tramos en que la velocidad máxima autorizada es entre 45 y 50 kph, tramo completo que fue recorrido a una velocidad promedio de 32.41 kph.

El siniestro ocurrió en la línea “S” (vía principal) a las 5:50 horas del 18 de enero de 2018, en el que estuvo involucrado el tren el cual, al ir circulando a la altura del kilómetro S 19+922 al S 20+150 del Distrito Tenayuca, a una velocidad de 38 kph, intempestivamente se aplicó el freno de emergencia, logrando detener su marcha en una distancia de 187 metros después de la citada aplicación del freno.

Al hacer una inspección, la tripulación se percató que la última unidad del Tren (secuencia 25) Tolva “517630” se encontraba descarrilada y volcada, recargada sobre una casa habitación, lo que originó que se abrieran las tapas de la parte superior de la misma y se derramara su contenido (maíz) sobre **la casa habitación asentada fuera de los límites del derecho de vía**. La citada casa habitación fue invadida por el grano, afectando a las personas que se encontraban dentro de la misma, situación que resultó en:

Daños a terceros en sus personas:

- Cinco personas fallecidas.
- Un menor de edad lesionado.

Daños materiales a terceros:

- Daños a cinco casas habitación localizadas fuera del derecho de vía.

Aproximadamente a 187 metros de donde se aplicó la emergencia, estaba descarrilada la penúltima unidad del tren (secuencia 24) Tolva “714228” cargada con maíz (con un peso total de 128 toneladas; carga más peso propio del equipo) del truck extremo “A”, unidad que estaba acoplada a la composición del Tren; el Aparato de Fin de Tren No. 59955 (AFT) se encontró instalado entre las unidades (secuencia 24) “714228” y (secuencia 23) “714336” conectado a la línea de aire en esta última; es de señalar que las locomotoras “4205”, “3025” y “2089” estaban en funcionamiento.

Respecto de la infraestructura en la zona del siniestro, se observó ruptura y viramiento de riel en hilo izquierdo de la vía férrea, durmientes dañados y abanicados, de los cuales existían 110 durmientes marcados con pintura roja. El tren, al correr descarrilado desde la aplicación de la emergencia por aproximadamente 187 metros, dejó atrás la unidad volcada, destruyendo 50 metros de vía al 100% y fracturando durmientes en el resto de la longitud recorrida.

Hallazgos relevantes relacionados con el factor que dio origen al siniestro

Dentro del dictamen, la Comisión concluye que el siniestro en el que estuvo involucrado el “Tren Local”, fue la fatiga del riel que se encontraba instalado en el lugar del siniestro y que falló al paso del tren, lo que ocasionó que descarrilara la unidad Secuencia 24 “714228” de extremo “A” y volcara la unidad Secuencia 25 “517630”, causando la muerte de cinco personas y lesiones a una más, así como daños a terceros en sus bienes.

La Comisión puntualiza que es de resaltar que el defecto era difícil de identificar mediante inspección ocular pero sí había signos externos en el riel, sin embargo, no se aplicó equipo de inspección ultrasónica por parte del Concesionario a efectos de garantizar la correcta inspección.

Además, contribuyeron en el Siniestro las condiciones en que se encontraba la infraestructura de la vía férrea, específicamente en:

- Desconocimiento, por parte del Concesionario al que pertenece al línea donde se produjo el siniestro, del estado físico del riel instalado en el lugar del Siniestro, lo cual confirma con las evidencias que obran en el expediente CISF-001-2018, específicamente en los manifestado en el Informe Técnico presentado por el Concesionario a la Agencia el 09 de febrero de 2018, donde sólo se presentan las evidencias de las inspecciones visuales que se hacen al riel por la empresa contratada

por el Concesionario para la inspección, mantenimiento y conservación de las vías férreas concesionadas, sin que para ello se utilizara un carro de detección de defectos internos de riel mediante ultrasonido e inducción magnética.

- Segmento de vía sin la sección reglamentaria de balasto, lo que propicia nula fuerza de reacción de este material (balasto) para prevenir movimiento lateral de riel y durmientes como consecuencia de los esfuerzos de tracción o fuerzas de compresión y tensión.
- Durmientes en mal estado o con desgaste, del Km-S-19+922 a Km-S-20+000. Los durmientes presentaban marca de color rojo en la cabeza del lado derecho, la cual se presume fue producto de una inspección y recuento de durmiente de concreto, con objeto de programar y ejecutar su cambio.
- Faltas en los elementos de fijación, en algunas ubicaciones del lugar del siniestro se observan distintos tipos de placas o incluso fijación sin cojinete, estas mezclas y pequeñas faltas van sumando un gran todo porque los elementos de fijación metálicos y la elasticidad que deben tener las placas y cojinetes están diseñados para trabajar en conjunto y cuando existen faltantes y “parches” éstos ya no hacen el trabajo de correcta sujeción y elasticidad para lo cual fueron diseñados.
- Evidencia de existencia de Golpe de nivel de vía tipo Aguachinado (asentamiento producido por el estancamiento de agua en el terraplén que conforma la vía férrea) en el lugar del siniestro, lo cual se consta por las marcas de polvo de balasto en el alma y en el patín del riel, el cual provocó huecos entre la superficie de asiento de los durmientes y la cama de balasto, provocando golpe dinámico de vía.

Análisis

El siniestro que se está analizando es sólo uno de los tantos que han ocurrido, no sólo en nuestro país, sino en todo el mundo; algunos de ellos han tenido como consecuencia sólo pérdidas económicas pero la consecuencia más grave, sin lugar a dudas, es cuando estas pérdidas sobrepasan la barrera económica para costar vidas humanas, lo que bajo cualquier circunstancia debería ser imperdonable y más a estas alturas del desarrollo de la humanidad, en la cual no sólo se tienen avances técnicos, sino también tecnológicos y normativos que, se supondría, deberían eliminar la incidencia de cualquier tipo de siniestro. Sin embargo, no siempre se pueden controlar las variables que están en juego, en gran medida por el simple hecho de que la operación del sistema ferroviario se lleva a cabo en un entorno dinámico y lleno de variables externas que pudieran alterar al sistema sin previo

aviso y modificar todo el esquema de operación que se tiene llegando inclusive a significar la exposición del sistema a la susceptibilidad de que esté se vea afectado por un siniestro.

Este análisis en ningún momento pretende encontrar responsables a los hechos que tuvieron lugar en este incidente, pero sí tiene como finalidad resaltar aquellas acciones que pudieron tener un peso dentro del contexto del servicio-operación para que se presentara el siniestro, siendo algunas de ellas ingredientes que pudieran ser observados en más de un siniestro y, aunque ya se mencionó que nunca se llegará a tener un sistema ferroviario sin un solo siniestro, poder reducir al mínimo la incidencia de éstos. Como se analizó en el capítulo IV de esta tesina, existe una clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria, algunos de ellos tendrían que estar en la punta de la pirámide si se tuviera que hacer una jerarquización de éstos debido a las consecuencias que éstos pudieran tener, pero tampoco esta acción debería demeritar los demás eventos, debido a que, al ser un sistema, cada uno de estos eventos tienen su importancia.

El evento analizado en esta tesina entra dentro de aquellos relacionados con la seguridad operativa llamados siniestros ferroviarios, siendo éste un descarrilamiento cuyas consecuencias directas fueron el daño en la infraestructura por donde transitaba, así como la muerte de cinco personas y una más lesionada. La infraestructura del sistema estaba compuesta por los siguientes elementos:

- Riel de calibre 115 libras/yarda RE CC BETHSTEELTON 1990 FNM;
- Durmiente de concreto monoblock I-84 para riel de 115 libras/yarda RE 92 NM;
- Fijación RN doblemente elástica y,
- Balasto de piedra triturada.

En el capítulo II de esta tesina se analizaron los elementos constituyentes de la vía férrea, una de las conclusiones a la que pude llegar en este capítulo es que la ferrovía es un complejo entramado cuya finalidad principal es permitir el tránsito **seguro** de las locomotoras y los carros que por ésta transitaran. Un símil para poder entender la importancia de la vía férrea pudiera ser la importancia que tienen los caminos para las carreteras y como una mala construcción, mantenimiento o conservación de éstos pueden provocar siniestros, un claro ejemplo para explicar este caso son los socavones, los cuales de forma general suceden por un lavado de finos en las capas inferiores de las secciones del camino, muchas veces estos socavones son producidos por una mala construcción en

los sistemas de drenaje o, en su defecto, por un mal mantenimiento en los mismos. Tal como es posible observar, un camino construido adecuadamente lo es todo para poder brindar un servicio de excelencia y calidad a los usuarios que utilizan éstos. Este mismo principio funciona para el servicio ferroviario. En este punto es importante hacer mención del caso que nos compete; para comenzar, la conclusión realizada por parte de la Comisión Investigadora del Siniestro Ferroviario (CISF) es la siguiente:

Del análisis de la información recabada durante la investigación, esta Comisión concluye que el Siniestro tuvo como origen la fatiga del riel que se encontraba instalado en el lugar del siniestro y que falló al paso del “Tren Local”, lo que ocasionó que descarrilara la unidad Sec. 24 paso “714228” de extremo “A” y volcara la unidad Sec. 25 “517630”, ocasionando la muerte de cinco personas y lesiones a una más, así como daños a terceros en sus bienes.

Contribuyeron en el siniestro las condiciones en que se encontraba la infraestructura de la vía férrea, específicamente:

1. Desconocimiento por parte del Concesionario del estado físico del riel instalado en el lugar del siniestro,
2. Segmento de vía férrea sin la sección reglamentaria de balasto,
3. Durmientes en mal estado o con desgaste (en condiciones de reemplazo),
4. Falta de elementos de fijación en algunas ubicaciones del lugar del siniestro, y
5. Existencia de golpe de nivel de vía tipo aguachinado.

CISF

La conclusión por parte de la CISF es clara y muy contundente respecto a las causa del siniestro, la cual fue la falla de uno de los elementos que componen a la sección de vía; sin embargo, si se analiza a detalle el dictamen realizado por la Comisión se puede constatar que la falla del riel es sólo la punta del iceberg dentro de este siniestro, debido a que existieron más detalles que, tal como lo menciona la CISF, contribuyeron en este evento.

Respecto a los rieles, tal como se mencionó en el capítulo II de esta tesina, este elemento es aquel sustentador del material rodante que debe soportar, en primera instancia, con las exigencias (compresión, fatiga, desgaste, deformación, rotura, entre otras) a las cuales están sometidos durante el paso del tren y más aún cuando este tránsito se hace de manera repetida. Dada la importancia que tiene este elemento sobre la operación del sistema debería ser sumamente claro que éste debería ser inspeccionado constantemente a fin de encontrar lo antes posible fallas que pudieran llevar a estos elementos a la falla. El desconocimiento por parte de la empresa respecto al estado físico del riel pone de manifiesto un factor sumamente importante para que un sistema funcione adecuadamente, éste es la necesidad de tener una comunicación constante y directa entre todos los actores

que conforman al sistema, pero más aún entre los personajes que llevan a cabo las acciones más importantes para el buen funcionamiento del mismo. Una buena comunicación entre el mantenedor y el concesionario pudieran significar, en ciertos casos, la diferencia entre prevenir un siniestro y que esté se materialice.

Cuando se tiene una comunicación constante y directa se pueden detectar, por ejemplo, omisiones en la actuación de ciertos protocolos que se llevan a cabo para la prevención de siniestros. Para el caso que se está analizando es de resaltar los puntos 2 al 5 de la página 110, debido a que son elementos que se deben de inspeccionar en los recorridos que se realizan en busca de anomalías en los elementos de vía, que además de todo son elementos prioritarios por ser parte de la superestructura (recordar que se mencionó en el capítulo concerniente a los elementos constituyentes de la vía férrea que la superestructura tiene la función general de permitir la operación de los trenes). Según el dictamen, la última inspección y resultados se realizaron el 16 de enero del 2018, es decir, sólo dos días antes del siniestro. Entonces la información que nos proporciona la CISF nos hace suponer que existió alguna omisión (o varias) dentro de los protocolos de actuación ante la inspección de los elementos de vía, que hubieran podido ser detectadas bajo una comunicación constante y directa, bajo el supuesto de que ésta no existía. Esta comunicación se hubiera podido generar de una manera más sencilla a través de, por ejemplo, una supervisión del área responsable de la inspección, mantenimiento y conservación de las vías férreas concesionadas dentro de la jurisdicción donde se produjo el siniestro; área que bajo el análisis realizado del dictamen hecho por la CISF es nula; mención sustentada en lo expuesto por la misma Comisión a partir de la comparecencia realizada al Coordinador de Mantenimiento de Vías por esta Comisión, citando:

El Programa Anual de Trabajos de Mantenimiento y Conservación de Vía y Estructuras de la empresa Concesionaria lo presenta la empresa contratada para la inspección, mantenimiento y conservación de las vías férreas concesionadas, que es nuestro mantenedor y nosotros lo revisamos y se valida.

CISF

El Programa se revisa y se valida pero ¿dónde queda la supervisión del mismo? Si bien el mantenedor es un actor externo al concesionario, esto no debería ser impedimento para que se supervisaran sus actividades ya sea por el mismo mantenedor (a través de un área que tenga única y exclusivamente este fin), el concesionario o, en su caso, un tercero que fuera externo a las dos entidades mencionadas anteriormente pero con el mismo objetivo

de realizar la supervisión de las actividades que se realicen y que se supondría están contenidas en el mencionado Programa Anual de Trabajos, encaminadas a la inspección, mantenimiento y conservación de la vía férrea.

Uno de los factores -intangibles- que pueden marcar la diferencia entre obtener los resultados deseados y encontrarse con situaciones adversas, como lo es un siniestro, es el exceso de confianza (seguridad en creer que nada malo pasará) al llevar a cabo los trabajos requeridos. Cuando se habla de realizar inspecciones que involucran el correcto funcionamiento de un sistema, es muy importante el no confiarse de las actividades que se realizan. Este factor pudiera ser analizado desde dos perspectivas diferentes, la primera siendo los actos de omisión y, por otro lado, las consecuencias de la monotonía laboral. Respecto a los actos de omisión dentro de las actividades laborales y, en específico, las inspecciones rutinarias para la detección de anomalías en el cuerpo de vía, éstas son faltas a acciones que se deben realizar pero no se llevan a cabo por diferentes circunstancias; sin embargo, cuando se trata de temas relacionados con la seguridad, nunca debería de existir la omisión, debido a que se deja de hacer algo que se tendría que hacer para evitar un siniestro, en cuyo caso sería imperdonable el hecho de omitir acciones que pudieran evitarlo o reducir su incidencia. Por este motivo debería ser imperante la necesidad de buscar la manera de evitar, en la medida de lo posible, que los actores principales dentro del papel de mantenedor caigan en actos de omisión. En este sentido, al ser cuestionado el Coordinador de Mantenimiento de Vía, acerca del alcance de las inspecciones a vía éste mencionó lo siguiente:

El alcance de las inspecciones a vía realizadas es visual y llamémosle documental porque en su recorrido el inspector va registrando lo que encuentra, se utilizan instrumentos, es flexómetro para checar el escantillón de vía; nivel de vía para revisar la nivelación en las mismas; termómetro de riel para checar la temperatura; speed liner, para checar sobreelevación en curvas y medir magnitud de golpes de nivel; en algunos casos, escantillón rodante, para checar escantillón de vía.

Coordinador de mantenimiento de vía

Como es posible observar, son varias las actividades que se tienen que realizar como parte de las inspecciones de la vía férrea y en la misma medida de la cantidad de actividades también la cantidad de posibles omisiones que se pudieran tener; es decir, entre más actividades se tengan por realizar, la posibilidad de caer en omisiones en cuyo caso no debería de ser atribuible a una omisión consciente por querer trabajar menos, sino una omisión por la cantidad de variables por inspeccionar, en cuyo caso bastaría con analizar el

número de personal que se está utilizando para las inspecciones o, en su defecto, en la organización de las brigadas y, de la misma manera, en la supervisión que se le den a estas brigadas. La necesidad de tener manuales de mantenimiento, inspección y conservación (en caso de no contar con uno), con el fin de ser una guía de cómo hacer las revisiones con el fin de dar al personas una base clara y detallada de lo que se tiene que realizar en campo y, en caso de requerirlo, tener respuestas a posibles preguntas frecuentes, con el fin de hacer que el personas tengas las menos dudas posibles.

Respecto a las consecuencias de la monotonía laboral, este problema podría ser, de hecho, una posible causa de los actos de omisiones por parte del personal encargado de los trabajos, debido a que, cuando una actividad se realiza repetidamente durante largos períodos de tiempo, el ser humano comienza a perder la atención en lo que se está realizando, siendo esta una posible causa de los actos de omisión. Estas consecuencias se pudieran resolver fácilmente con la rotación de las cuadrillas a cada ciertos kilómetros de inspección de vía y, con ello, se podría romper con la pérdida de atención y con ello caer en la monotonía.

Tal como se estudió en el capítulo IV: Sistema Ferroviario Mexicano, la importancia de este sistema está relacionado con la economía de nuestro país, debido a que por este modo de transporte se mueve una cantidad importante de carga tanto de exportación como de importación, sumado a las ventajas que tiene frente al transporte de carga vía carretera. Dentro de un sistema tan dinámico y, sobre todo, con tanta relevancia para la economía nacional se debe reforzar la implementación de acciones de mantenimiento predictivas más allá de las preventivas y más aún de las acciones de mantenimiento correctivas. Las ventajas de utilizar un mantenimiento predictivo se estudiaron en esta tesina en el capítulo VI: Mantenimiento de las vías férreas; en este capítulo se pudo analizar que para poder conservar en las mejores condiciones posibles un sistema de transporte es imperante conocer desde el tipo de vehículos que transitaran por la vía, los fenómenos meteorológicos de la zona y hasta el tipo y calidad de materiales utilizados en la construcción de las vías. Es precisamente aquí donde las empresas deberían seguir apostando para poder brindar una mayor seguridad y priorizar los recursos y esfuerzos porque más allá de que existan vías primarias y secundarias, tanto las primeras como las segundas están construidas en diferentes zonas, por tanto esto puede dar pie a que se realicen estudios para poder zonificar las áreas donde están construidas las ferrovías y con ello crear un mapa de

priorización, donde las zonas con mayor probabilidad de fallos tengan una mayor supervisión que aquellas que no están en zonas tan vulnerables, lo que no quiere decir que estas últimas se desatiendan, sino que se pueda realizar una mejor organización. Dentro de esta zonificación no sólo tendríamos que tomar en cuenta sobre dónde se cimientan las estructuras férreas, sino el contexto urbano, debido a que, por ejemplo, el robo de elementos es una problemática que también causa muchos conflictos dentro del sistema y que, obviamente, está relacionada con la ubicación de las estructuras, localizando aquellas zonas que son más propensas a los efectos adversos que se pudieran tener en dado caso que se localizaran en zonas inestables.

Tener presente la zonificación donde se localizan las vías férreas no sólo pudiera llegar a tener efectos sobre la prevención de los siniestros ferroviarios, sino también en la prevención de las posibles causas que ellos tienen. Recordando un poco el siniestro que se está analizando, hubo un descarrilamiento del tren, el cual impactó contra unas casas que se encontraban construidas prácticamente sobre el derecho de vía. Información proporcionada por la revista especializada T21 menciona que “las cartas de vía que se le entregaron al Concesionario en 1996 identifican que en este tramo la distancia del derecho de vía que existe actualmente es de 6.28 metros, distancia que se encuentra muy por debajo de la distancia reglamentaria que se establece en el Reglamento del Servicio Ferroviario, artículo 29, el cual menciona lo siguiente:

El derecho de vía será determinado por la Secretaría atendiendo a las condiciones de la topografía de la región, a la geometría de la vía y, en su caso, al proceso de construcción que se llevará a cabo, en el entendido que deberá comprender una franja de terreno de por lo menos quince metros de cada lado de la vía férrea, medidos a partir del eje horizontal de la misma, entendiéndose por éste la parte media del escantillón de vía. Únicamente en casos debidamente justificados, se podrá autorizar que sean menos de quince metros.

Reglamento del Servicio Ferroviario

Es precisamente este caso que hace patente lo que se mencionaba en un principio en este análisis acerca de que muchas veces se tienen variables externas al sistema que además de todo, no se pueden controlar; sin embargo, a pesar de que no se pueden controlar, sí se puede hacer algo para que la convivencia entre el sistema y estas variables sean lo más acorde a los objetivos que pretende alcanzar la seguridad ferroviaria. En este mismo sentido se vuelve a poner de manifiesto la imperante necesidad de que, si se sabe que se tienen este tipo de problemáticas (es el caso del derecho de vía invadido) entonces dentro de una

zonificación por prioridades estos puntos deberían tener una mayor prioridad que haría ser un poco más estrictos con la supervisión, así como en el período en que se realizan los mismos. En este ejemplo, de igual manera, se pone de manifiesto la convivencia que tiene el sistema ferroviario con el entorno y la importancia de que ésta sea lo más tranquila y segura posible.

Hay que recordar que en el mantenimiento predictivo, tal como su nombre lo indica, busca predecir el comportamiento del sistema en base al monitoreo del comportamiento y características del sistema con el fin de evitar llegar a un estado crítico del mismo; es decir, este tipo de mantenimiento trasciende la barrera del accionar justo antes de que la falla sea evitada (como lo es en el caso del mantenimiento preventivo) y va aún más allá del esperar que la falla se genere para poder tomar acciones, como es en el caso del mantenimiento correctivo.

En este sentido podemos analizar el caso que nos compete, donde existen dos hechos muy particulares que pudieron haber cambiado el rumbo de los acontecimientos a favor de la seguridad. El primer hecho por analizar tiene que ver con los durmientes, los cuales desde un principio se pone de manifiesto que éstos se encontraban “en mal estado o con desgaste (en condiciones de reemplazo)”, y dadas las condiciones que marca el dictamen, las acciones que se estaban aplicando para estos elementos de vía eran preventivas pudiendo parecer que se estaba tendiendo a las acciones correctivas, es decir, esperar a que estos elementos fallaran. El segundo acontecimiento por analizar desde esta perspectiva es respecto a las condiciones que se tenían del riel en la zona, llegando la CISF a la siguiente conjetura:

De lo anterior, se deduce que el personal de mantenimiento pudo haber colocado un riel más antiguo (1990) para efectuar alguna reparación en el lugar, habiendo quedado un tiempo sujeto con planchuelas y tornillos de vía, lo que se infiere por la ubicación de los taladros en dicha sección del riel. En la práctica es común que cuando sucede algún evento circunstancial, por ejemplo, un riel roto o dañado por otra circunstancia, se coloca riel sin inspeccionar ultrasónicamente, del cual no se conoce su estado físico interno, sino que más bien se juzga por su integridad exterior y porque parece bueno y se coloca para solucionar el problema “provisionalmente”.

CISF

La clave en el párrafo se encuentra en la siguiente parte: (...) *se coloca para solucionar el problema provisionalmente*. Esa palabra hace referencia a una acción que es en su totalidad correctiva y además, la palabra provisionalmente significa que no es algo definitivo y en este

sentido deberíamos preguntarnos ¿hasta cuándo se reparará definitivamente? Y más aún sin que el elemento colocado “provisionalmente” tenga una correcta inspección interna.

La CISF remarca que, tanto las malas condiciones de los durmientes como el estado del riel contribuyeron a que se produjera el siniestro y como se está analizando en esta sección, estas son acciones que, si se hubieran implementado acciones predictivas sobre el sistema, muy probablemente los resultados hubieran sido muy diferentes en el mismo.

Del segundo acontecimiento analizado en los párrafos anteriores se desprende un análisis muy importante, debido a que se menciona muy puntualmente que en la práctica es común colocar rieles sin inspeccionar ultrasónicamente (y podría atreverme a mencionar que no sólo se colocan rieles, sino distintos elementos de vía sin inspeccionar). Buscando en las normas y proyectos de norma publicados en la página oficial de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), en ninguna de ellas se hace mención la posibilidad de que estas acciones (que la CISF hace mención que son acciones comunes) sean técnicamente seguras, siquiera menciona ellas. Es decir, este tipo de acciones, que si bien pudieran ser en la práctica acciones que reduzcan tiempo y costos, a la larga pudieran tener consecuencias indeseables, como lo fue en este caso. Y aquí se vuelve a ser patente el principio que se mencionaba con anterioridad acerca de que en la confianza está el peligro.

Respecto de lo analizado en el párrafo anterior se desprende un tema de suma importancia para cualquier ámbito, no sólo el ingenieril, y son las normas y todos los documentos que deberían servir de base para cerciorarse de la seguridad en la operación de cualquier trabajo que se realice. Es importante que los documentos y normatividad que se tengan sean vigentes pero, sobre todo, que estén debidamente revisados para evitar ambigüedades y, con ello, posibles errores cuando sean analizados por un tercero. Es sumamente importante ser lo más explícitos posibles a la hora de redactar documentos y más si son manuales o documentos que serán leídos por personal técnico. En este sentido es de resaltar que en el dictamen que se está analizando se hace mención del siguiente detalle respecto a los rieles, lo cual causa una gran ambigüedad:

Del kilómetro (Km) S-19+270 al S-19+922, a través de la inspección realizada a la vía férrea, se pudo constatar que el riel instalado corresponde a calibre 115 libras/yarda RE CC BETH STEELTON 1990 FNM, escantillón normal de 1435 mm, o cual no coincide con la información contenida en las cartas de vía, incluidas en el Anexo 16 del Informe Técnico del Concesionario, ya que en dicha documentación se tiene registrado que en el tramo en cuestión se tiene instalado riel 115 RE 1992 SC S CAN, sin embargo, en el citado Informe Técnico del Concesionario también manifiesta que se tiene instalado en el sitio: Calibre de riel 115 LBS, Año 1990 buenas condiciones, sección entera, última inspección y resultados 16 de enero 2018 buscando rieles rotos por bajas temperaturas, nada que manifestar.

Dictamen del Siniestro

Por otro lado, respecto a este tema es de importancia resaltar la siguiente información mencionada por el Gerente de Vía, Señales y Atención a Industrias de la empresa Concesionaria, derivado de la comparecencia que se le realizó:

[El Programa Anual de Trabajos de Mantenimiento y Conservación de Vía y Estructuras] hasta donde yo sé no es un reglamento actualizado, se utiliza el que se usaba en Ferronales (...)

Gerente de Vía, Señales y Atención a Industrias de la empresa Concesionaria

La importancia de contar con información actualizada es debido a que conforme transcurre el tiempo, las técnicas, procesos e inclusive las leyes y contratos van cambiando y transformándose y casi siempre estos cambios en éstos son para mejorar lo que ya se tenía. Muchas veces, las normas y reglamentos se actualizan en base a los errores de los anteriores; es decir, los errores del pasado forjan los nuevos documentos para así poder consolidar la seguridad. Entonces está claro que si se trabaja con documentos desactualizados el sistema se expone a los peligros propios que no se tomaron en cuenta en la antigua reglamentación.

Recordando lo que se desarrolló en el capítulo IV de esta tesina, la seguridad ferroviaria es el conjunto de sistemas (técnicos y humanos) cuyo objetivo es eliminar, reducir o controlar los riesgos, peligros y amenazas que puedan afectar al sistema ferroviario; en el caso de que se presente un accidente ferroviario, el sistema deberá poseer la suficiente resiliencia para poder resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos que conlleve el accidente. En la práctica, la seguridad ferroviaria debe lograrse a través de una planeación estratégica, predictiva y, sobre todo, consciente de que un sistema ferroviario es dinámico y lleno de un sinnúmero de variables; lograr un control sobre cada una de las variables es poco probable, debido a que algunas de ellas son de carácter externo al sistema por lo que su ocurrencia es definitivamente incierta, algunas de estas variables son bien conocidas, como

por ejemplo las colisiones de los trenes con los vehículos por el pasó imprudente de éstos a las vías cuando el tren está pasando, en cuyo caso ya se tienen estrategias bien definidas que poco a poco se están implementando para reducir el número de incidentes. Pero hay otro tipo de siniestros cuyas variables no son tan predecibles, en cuyo caso se debe estar siempre preparado para poder reducir al máximo la incertidumbre.

Para que los elementos de vía puedan funcionar correctamente es imperante saber que cada uno de ellos tiene un tiempo de servicio, conociendo este dato se puede comenzar a implementar mantenimientos de carácter predictivo; este tipo de mantenimiento es la aplicación más certera de la ingeniería y no en la espera de que las fallas salgan a la luz. Es decir, para poder llevar a cabo debidamente la seguridad ferroviaria es de suma importancia el poder estar siempre un paso delante de los acontecimientos que se pueden llevar a cabo, recordando que en la confianza está el peligro, por este motivo las inspecciones y todos los trabajos que vayan encaminados a implementar la seguridad ferroviaria deben estar siempre supervisados, además de que cada acción que se tome o se realice debe estar sustentada en la normatividad y documentos que se encuentren vigentes. Se debe remarcar en la importancia de tener manuales de mantenimiento, donde se establezca de forma clara y detalla los procedimientos que se deben seguir para poder hacer de una forma correcta los trabajos de inspección, mantenimiento y conservación, con la finalidad de evitar en la medida de lo posible las omisiones derivadas de la monotonía laboral o, en su caso de las razones que estas acciones tuvieran. Debido al factor de riesgo que se tienen de las omisiones por parte del personal, las acciones que se tratarían de lograr serían la implementación de sistemas inteligentes que pudieran ayudar a ir reduciendo de a poco esta gran problemática que se vive día con día.

El desarrollo de nuevas tecnologías ha puesto al alcance de varias ramas técnicas la posibilidad de usar ésta para poder desarrollar opciones para alcanzar los objetivos de una manera más rápida, segura y a bajo costo, debido a que los sistemas tecnológicos, al ser más exactos y precisos, van eliminando la incertidumbre de error. Hay que aceptar que esta incertidumbre siempre conlleva un “extra económico” en los costos de operación, mantenimiento, lo cual al tener un sistema tecnológico que no requiera de personas, hace que estos costos se reduzcan por tal motivo debe ser importante que poco a poco se vayan buscando más alternativas de este tipo para prevenir los siniestros ferroviarios.

Es siempre importante recordar que para que la seguridad ferroviaria se pueda implementar debidamente, todo debe estar normado, reglado y por escrito, siendo claros y concisos con el fin de evitar ambigüedades que pudieran sobrevenir en conflictos, buscando siempre la actualización de los documentos, con el objetivo de tratar de reducir las causas de los siniestros ferroviarios. Ningún detalle, por más mínimo que parezca, estará de más si se trata de lograr un sistema seguro.

Líneas de acción aplicables

Tabla 15. Líneas de acción aplicables a los posibles casos que tengan que ver con el análisis hecho anteriormente.
Elaboración propia (02/06/2020).

Problemática detectada	Línea de acción
1. Desconocimiento respecto al estado físico de los elementos de estructura de vía.	✓ Promoción de comunicación constante y directa entre involucrados.
2. Posibles omisiones en protocolos de actuación.	✓ Implementación de supervisión, ya sea desde el mismo mantenedor, el concesionario mismo o de un tercero encargado y especialista en esta actividad.
3. Dentro de las inspecciones: a) Posible exceso de confianza. b) Posible exceso de variables a supervisar por parte de una sola persona. c) Monotonía laboral.	✓ Aplicación a cabalidad de los respectivos Manuales de mantenimiento, inspección y conservación. ✓ Mejora continua en cuestiones de logísticas y organizativas, asegurando no caer en monotonía laboral a través de posibles estrategias para este fin, como por ejemplo, la rotación de cuadrillas o apostar por no atascar de puntos por revisar a una sola persona.
4. Poca o nula aplicación de mantenimiento predictivo.	✓ Implementación de estudios para conocer analíticamente el comportamiento del sistema (uso y promoción de nuevas tecnologías). ✓ Zonificación de áreas en base a lo arrojado por los estudios antes mencionados, de tal manera que se prioricen zonas donde de antemano se sabe que son puntos de posibles incidencias (por ejemplo, puntos detectados donde hay más actos delictivos o vandálicos o inclusive puntos donde se viole el derecho de vía).
5. Aplicación de soluciones provisionales.	✓ Supervisión de que este tipo de acciones no se lleven a cabo, por más atractivo que éstas sean en la práctica.
6. Se trabaja con información técnica desactualizada (cartas de vía o inclusive en los Programas de mantenimiento y conservación de vía y estructuras.)	✓ Aplicación de programas de actualización de información técnica. ✓ Supervisión de la aplicación de normatividad y demás documentos en campo.

CONCLUSIÓN

Con la elaboración de esta tesina se pudo constatar que sí se cuenta con un sistema ferroviario donde los involucrados promueven la seguridad, productividad y eficiencia. Se cuenta con un modo de transporte capaz de ser explotado dentro de un sistema nacional. Después de hacer el análisis de toda la información contenida en esta tesina se pudo reconocer que, cuando se produce un siniestro ferroviario, éste genera consecuencias que pueden ser tanto materiales como pérdida humanas, siendo estas últimas las más lastimosas e imperdonables. Evidentemente, cuando no se implementa correctamente la seguridad dentro de un sistema, la consecuencia indirecta es que crezca la incertidumbre en el medio, lo que a su vez produce indecisión por parte de los usuarios en utilizar este modo de transporte, lo que va demeritando al sistema mismo como consecuencia.

Se comprendió que la importancia de la seguridad para el sistema ferroviario de nuestro país debe ser procurada por los responsables del sistema a través de acciones que vayan encaminadas a desarrollar la seguridad (es decir, eliminar, reducir o controlar los riesgos, peligros y amenazas que puedan afectar al sistema ferroviario). Dentro de estas acciones debe existir la responsabilidad y la conciencia de que más allá de la evasión de accidentes (lo que es de suma importancia para el sistema), la seguridad ferroviaria contribuye directamente en generar los beneficios que tiene este sistema de transporte sobre la nación, identificando que la más importante para el país es la relacionada con el movimiento y desarrollo de la economía nacional. En este sentido, se terminó reconociendo que, si bien todos los modos de transporte tienen su importancia, el modo ferroviario cuenta con una relevante importancia debido al volumen, pero sobre todo, con el tipo de carga transportada, así como su capacidad de transportar ésta una distancia incomparable respecto a los demás modos de transporte que son terrestres.

Se pudo observar que el actual sistema ferroviario en nuestro país se instaura bajo la premisa que el desarrollo del mismo ha sido consecuencia de la innovación tecnológica propia del acontecer histórico y de las decisiones que cronológicamente se tomaron en búsqueda de mejoras en el sistema de transporte. Pero también ha sido consecuencia de la búsqueda de técnicas, procesos y actividades que generen mayor productividad, eficiencia pero, sobre todo, que garanticen la seguridad en la operación de éstos, de tal manera que se eviten en la medida de lo posible las consecuencias de los eventos ya ocurridos y que han cobrado no sólo bienes materiales y económicos, sino vidas humanas.

Para alcanzar este estado (un equilibrio entre seguridad y operatividad) es necesario comprender que al ser un sistema, éste tiene una relación intrínseca entre todos los elementos que lo conforman, por esta razón, para poder comprender la importancia de la seguridad dentro de un sistema es necesario conocer la interacción entre los elementos que lo conforman y su posible consecuencia dentro de un estado de inseguridad.

En este sentido, en esta tesina se pudo identificar que tanto los elementos constituyentes de la vía, como los vehículos que transitan sobre las vías, son elementos que son propensos a verse afectados y, en consecuencia, afectar la seguridad del sistema. Estas afectaciones pueden provenir tanto del sistema mismo como del exterior. Con la finalidad de poder entender las dimensiones y consecuencias al sistema de estas acciones se encontró que en nuestro país hay una estrecha relación entre los concesionarios y el Gobierno Federal a través de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF), de tal manera que es posible obtener datos veraces y oportunos para entender y comprender el grado de la problemática que se vive en el sistema en este sentido. Por otro lado, para poder garantizar un estado de bienestar y seguridad en el sistema, es necesario que cada uno de los elementos constituyentes de éste estén en constante inspección, estas inspecciones deben ser una actividad constante y consciente y, sobre todo, debe estar complementada en todo momento con las actividades de mantenimiento y conservación. En este sentido, esta tesina mostro que sobre el mantenimiento correctivo y preventivo, el mantenimiento predictivo es una actividad que actúa como un indicador que muestra de una manera sistemática el momento correcto para realizar las acciones convenientes de mantenimiento para evitar la incidencia de siniestros ferroviarios.

Respecto al caso analizado, a través de esta tesina se pone de manifiesto la imperante necesidad que para que un sistema actúe adecuadamente, es muy importante que éste sea supervisado constantemente, esta supervisión debe contar con una comunicación directa y, de la misma manera, constante con los principales actores que componen al sistema, de tal manera de lograr identificar con anticipación aquellos elementos que pudiera, en cierto caso, producir un siniestro. Dentro de esta comunicación es sumamente importante que todos aquellos documentos, junto con las normativas, sean claras, concisas pero, sobre todo, actualizadas, con el fin de evitar ambigüedades en la interpretación que se le puedan dar y, más allá de ello, que la información con la que se esté trabajando siempre sea la actualizada y conforme a las problemáticas actuales de ese momento.

REFERENCIAS

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (Adif). (s.f.). **Conceptos básicos**. Recuperado de: <https://bit.ly/2PXZz9u> (Último acceso: diciembre 2019).

Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (s.f.). **¿Qué es el balasto?** Recuperado de: <https://bit.ly/2tsusLx> (Último acceso: diciembre 2019).

Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF). (2018). **Anuario Estadístico Ferroviario 2018**. Recuperado de: <https://bit.ly/35F5B5z> (Último acceso: diciembre 2019).

Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF). (2019). **¿Qué hacemos?: Visión y misión**. Recuperado de: <https://bit.ly/2PDtdBL> (Último acceso: diciembre 2019).

Agosta, R.D., Martínez, J.P. (2008, octubre 20). **Ingeniería del transporte I: Transporte ferroviario [Unidad 3: Material rodante]**. Recuperado de: <https://bit.ly/38Ya6di> (Último acceso: diciembre 2019).

Alarcón G., J.M. (2004, mayo 11). **Implementación de un sistema de mantenimiento preventivo, auxiliado por un software, para una línea de pintura electroforética**. Tesis de licenciatura, Universidad de las Américas Puebla, Puebla. Recuperado de: <https://bit.ly/2McdZlq> (Último acceso: diciembre 2019).

Alemán C., B. (s.f.). **Caracterización y oportunidades del sistema ferroviario mexicano**. Recuperado de: <https://bit.ly/34EzGRx> (Último acceso: diciembre 2019).

Álvarez R., A. (2019). **Vías férreas y sus elementos [Material de clase]**. Temas Selectos Terminales de Vías Terrestres: Ferrocarriles. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Andalón L., M.A, López-Calva, L.F. (2003). **Aspectos laborales en las privatizaciones: los trabajadores y la privatización de los ferrocarriles mexicanos**, Gestión y Políticas Públicas, II semestre, vol 12, Centro de Investigación y Docencia Económicas, México.

Arango, M y Brañas, M. (s.f.). **Historias de barcos**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z7Gdmv> (Último acceso diciembre 2019).

Barrera M., M.F. (s.f.). Holística. Recuperado de: <http://bit.ly/2ZgEz29> (Último acceso diciembre 2019).

Barrio P., J. (s.f.). **El ferrocarril en la Revolución Industrial**. Recuperado de: <https://bit.ly/36Wlm8t> (Último acceso: diciembre 2019).

Bavaresco, G. (s.f.). **Historia de la seguridad industrial y prevención de accidentes**. Recuperado de: <https://bit.ly/35Fwlmq> (Último acceso: diciembre 2019).

Berbey, A., Caballero, R., Sanz Bobi, J.D., Brunel, J., Guerra, K., Flores, J., Samaniego, A., Orozco, W. (2013). **Trenes: material rodante del transporte ferroviario**. Prisma tecnológico. Vol 4, no 1. Recuperado de: <https://bit.ly/2s3vTzQ> (Último acceso: diciembre 2019).

Bonnín A., A., Corona B., P. (2013, marzo 02). **Diplomado en asociaciones público-privadas en proyectos de infraestructura y servicios. Módulo III: Ciclo integral de planeación, ejecución y seguimiento de proyectos de APP. Tema 8: Construcción del proyecto**. [Presentación de PowerPoint].

Botta, N.A. (2010). **Los accidentes de trabajo**. 1ª edición. Editorial: Red Proteger. Recuperado de: <https://bit.ly/2M97nEc> (Último acceso: diciembre 2019).

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC). (s.f.) **Infraestructura en transporte: Agenda e incidencia de la industria de la construcción en México**.

CENAPRED (s.f.). **La resiliencia en la gestión integral del riesgo**. Recuperado de: <https://bit.ly/38Y5iEL> (Último acceso: diciembre 2019).

CENAPRED. (2014). **Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica**. 1ª edición. Recuperado de: <https://bit.ly/2SkvT9x> (Último acceso: diciembre 2019).

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (S.F.). **Aproximación para el cálculo de riesgo**. Recuperado de: <https://bit.ly/2MedmYn> (Último acceso: diciembre 2019).

Centro para la Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia (CIDEAD). (s.f.). **La Revolución Industrial**. (Publicación 4). Recuperado de: <https://bit.ly/2M95VSg> (Último acceso: diciembre 2019).

-
- Colegio de México (s.f.). **Guía de memorias de Hacienda de México (1822 – 1910)**. Recuperado de: <https://bit.ly/2r8Yao3> (Último acceso: diciembre 2019).
- De Buen L., N. y Morgado V., E. (1997). **Instituciones de derecho del trabajo y de la seguridad social**. 1ª ed. Ciudad Universitaria, México, D.F., Editorial: AIADTSS. Capítulo 1.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2018, noviembre 9). **Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-ARTF-2018, Sistema Ferroviario-Seguridad-Clasificación y Especificaciones de Vía**. Recuperado de: <http://bit.ly/2MdeBHo> (Último acceso: diciembre 2019).
- Diario Oficial de la Federación. (DOF). (2016, agosto 18). **Decreto por el que se crea la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Sc6Wwz> (Último acceso: diciembre 2019).
- Díaz B., L., Torruco G., U., Martínez H., M., Varela R., M. (2013, mayo 13). La entrevista, recurso flexible y dinámico. Departamento de Investigación en Educación Médica, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México. Recuperado de: <http://bit.ly/2tARgc3> (Último acceso: diciembre 2019).
- Domínguez V., J. (2009). **Desarrollo del transporte ferroviario en el mundo siglo XIX y siglo XX, caso de estudio, México – Querétaro – Silao – Guadalajara**. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura “Unidad Zacatenco”.
- Domínguez, B. A. (2011). **Los ingenieros de la Antigüedad**. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina: Academia Nacional de Ingeniería. Recuperado de: <https://bit.ly/2Q5JjmG> (Último acceso: diciembre 2019).
- Doniz M., A. (2011, mayo). **Implementación de mantenimiento preventivo / predictivo en equipo biomédico en el Instituto Mexicano del Seguro Social**. Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Tula – Tepeji, Hidalgo. Recuperado de: <https://bit.ly/2PBBLcq> (Último acceso: diciembre 2019).
- Escuela Penitenciaria Nacional. (EPN). (s.f.). **Riesgo, amenaza y vulnerabilidad**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z84AjK> (Último acceso: diciembre 2019).

Estrada G., R. (s.f.). **Orígenes del ferrocarril**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z4Fd2k> (Último acceso: diciembre 2019).

Falcón, J.C., Herrera C., R. (2005). **Análisis del dato estadístico** [Guía didáctica]. Recuperado de: <http://bit.ly/35Oz3WH> (Último acceso: diciembre 2019).

Fernández, L., Pérez, M., Menéndez, M., Lázara, M. (2008). **Accidentes e incidentes de trabajo**. [Guía sindical]. Recuperado de: <https://bit.ly/2MdAaaF> (Último acceso: diciembre 2019).

Fernández D., R. (1999, noviembre). **El transporte, columna vertebral de la globalización**. Recuperado de: <http://bit.ly/36QEep7> (Último acceso: diciembre 2019).

Ferromex. (s.f.). **Especificaciones Técnicas para la construcción y ampliación de vías particulares**. [Documento No 3]. Recuperado de: <https://bit.ly/36QHJvP> (Último acceso: diciembre 2019).

Financiera de Desarrollo Nacional (FDN) (2016, noviembre). **Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá. Anexo 1 – numeral 4: Especificaciones técnicas para la optimización y actualización de los diseños**. [ET – 08: Superestructura de vía férrea]. Recuperado de: <https://bit.ly/38ScfHv> (Último acceso: diciembre 2019).

Galeano, J. (2011, abril 27). **El hombre y la tecnología: del hombre moderno al hombre primitivo**. KubernÉtica. Recuperado de: <https://bit.ly/38TxzMQ> (Último acceso: diciembre 2019).

García B., J. (2017, marzo 22). **El Petrocarril de la Antigua Grecia**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Mcc4NA> (Último acceso: diciembre 2019).

Gay, A. (s.f.). **Los sistemas y el enfoque sistémico**. Recuperado de: <http://bit.ly/2PC9pPo> (Último acceso: diciembre 2019).

González R., J.J. (2018, junio). **El transporte ferroviario en México**. [Carpeta informativa]. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z7Dc5E> (Último acceso: diciembre 2019).

Grupo AZVI (s.f.). **Mantenimiento ferroviario**. Recuperado de: <http://bit.ly/35EQBV3> (Último acceso: diciembre 2019).

Hernández S., R., Fernández C., C., Baptista L., M.P. (2003). **Metodología de la investigación**. Sexta edición. México. Editorial: Mc. Graw Hill.

Ingeniería Ferroviaria Estructural (IFE). (2018, diciembre 21). **Mantenimiento de vías**. Recuperado de: <http://bit.ly/38SeLxr> (Último acceso: diciembre 2019).

Ingeniería Ferroviaria Estructural (IFE). (2018, diciembre 21). **Vía férrea**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z5UxvG> (Último acceso: diciembre 2019).

Insa, R., Zuriaga, P., Martínez, P., Villalba, I., García, C. (2015). **Una introducción al ferrocarril: Elementos constituyentes de la superestructura**. [Vol 1]. Editorial: Universitat Politècnica de València. Pp: 31.

Instituto Mexicano del Transporte (IMT). (1999, marzo – abril). **Privatización ferroviaria mexicana: Fechas, hechos y cifras 95 -98**. [Publicación bimestral de divulgación externa]. Recuperado de: <https://bit.ly/2Q195Zw> (Último acceso: diciembre 2019).

Instituto Mexicano del Transporte (IMT). (2007). **Análisis de los sistemas de transporte. Vol1: Conceptos básicos**. (Publicación técnica No 307). Recuperado de: <https://bit.ly/2Q5z55N> (Último acceso: diciembre 2019).

Instituto Mexicano del Transporte (IMT). (2009). **Evolución creciente de algunos indicadores operativos y de eficiencia del ferrocarril mexicano**. Recuperado de: <https://bit.ly/2rept0q> (Último acceso: diciembre 2019).

International Institute for Learning México (IIL). (2007). **Planeación: riesgo**.

Levin, Richard I., Rubin, D.S. (2004). **Estadística Para administración y economía**. Séptima edición. México. Editorial: Pearson. Prentice Hall.

Márquez M., T. (s.f.) **Los ferrocarriles en México**. Recuperado de: <https://bit.ly/2MdgB2j> (Último acceso: diciembre 2019).

Medina D., M. (2009). **Elaboración de cuadernillo de apuntes: Administración del mantenimiento**. Recuperado de: <http://bit.ly/2S94kQf> (Último acceso: diciembre 2019).

Medina R., S. (2013). **El transporte ferroviario en México**. Comercio Exterior. Vol. 63 (No. 4). Recuperado de: <https://bit.ly/34xysr6> (Último acceso: diciembre 2019).

Mexicana. (s.f.). **Ferrocarriles mexicanos**. Recuperado de: <https://bit.ly/35AYAm> (Último acceso: diciembre 2019).

Ministerio de Fomento. (s.f.). **Conservación y mantenimiento (Nivel 1)**. Recuperado de: <http://bit.ly/2Q1N1ht> (Último acceso: diciembre 2019).

Moreno G., E. y López S. J., M. (2012, abril). **Breve historia de la máquina de vapor**. Recuperado de: <https://bit.ly/2Q4ljPQ> (Último acceso: diciembre 2019).

Nieto M., M.O. (2010, octubre). Guía para elaborar el Marco Metodológico de un proyecto de investigación. Recuperado de: <http://bit.ly/2PLNxRC> (Último acceso: diciembre 2019).

N.PRY.CAR.6.01.001/01. Recuperado de: <https://bit.ly/35DhYio> (Último acceso: diciembre 2019).

Norma Oficial Mexicana NOM-050-SCT2-2017, Disposición para la señalización de cruces a nivel de caminos y calles con vías férreas. Recuperado de: <https://bit.ly/2tACOB0> (Último acceso: diciembre 2019).

Nuevo Central Argentino, S.A. (NCA) (2014, octubre). **Manual Integral de Vías**. Recuperado de: <https://bit.ly/2SkvpQL> (Último acceso: diciembre 2019).

Plan Ceibal (s.f.). **James Watt y la máquina a vapor**. Recuperado de: <https://bit.ly/2rbAwrD> (Último acceso: diciembre 2019).

Ramírez C., C (2005). **Seguridad industrial: Un enfoque integral**. 2da ed. Ciudad de México, D.F.: Editorial Limusa. Pp. 23.

Saari, J. (s.f.). **Prevención de accidentes: Accidentes y gestión de la seguridad**. Recuperado de: <https://bit.ly/38W1EeM> (Último acceso: diciembre 2019).

Sabino, C. (1992). **El proceso de investigación**. Recuperado de: <http://bit.ly/2MICmwQ> (Último acceso: diciembre 2019).

Sánchez G., A.M. (2017). **Técnicas de mantenimiento predictivo. Metodología de aplicación en las organizaciones**. Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Colombia, Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/2Z5VHHy> (Último acceso: diciembre 2019).

Sanzol I., L. (2010, septiembre 15). **Implantación de plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración**. Tesis de licenciatura. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, España. Recuperado de: <http://bit.ly/2Sc89E7> (Último acceso: diciembre 2019).

Secretaria de la Defensa Nacional (2015, julio 16). **La intervención francesa**. Recuperado de: <https://bit.ly/2PBZeKH> (Último acceso: diciembre 2019).

Shehadeh, S., Mattout, A. (s.f.). **Inventos: Extensión de los sentidos: La locomotora**. Editorial: El Planeta. Recuperado de: <https://bit.ly/2tACLvQ> (Último acceso: diciembre 2019).

Soldano, A. (2009, marzo 20). **Conceptos sobre riesgo**. [Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la capacitación en teledetección aplicada a la reducción del riesgo por inundaciones]. Recuperado de: <https://bit.ly/2tvEVWx> (Último acceso: diciembre 2019).

Togno, F. (1982). **Ferrocarriles**. 2da ed. Ciudad de México, D.F. Editorial: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.

Ugarte B., G. (2018, septiembre 03). **Impulsar la red ferroviaria posicionaría a México como plataforma logística mundial**. Recuperado de: <https://bbva.info/38Y4y2q> (Último acceso: diciembre 2019).

Universidad Politécnica de Cartagena (s.f.). **Sección transversal ferroviaria**. [Bloque 1]. Recuperado de: <https://bit.ly/2ZaHDMX> (Último acceso: diciembre 2019)

ANEXO 1
Kilómetros de vía en el mundo

A continuación, se presentan los resultados (en orden descendente) de una breve investigación realizada acerca de la cantidad de kilómetros y, para algunos casos, la cantidad de Toneladas-kilómetro, correspondientes para el 2018. Datos obtenidos de Railisa UIC Statistics.

Tabla 16. Países que no entran dentro de la clasificación de América del Norte o Unión Europea; representan el 56.0% de todos los kilómetros de vías existentes en el mundo. Elaboración propia (15/03/2020).

2018											
Localización	Total km	Millones Ton-km	Localización	Total km	Millones Ton-km	Localización	Total km	Millones Ton-km	Localización	Total km	Millones Ton-km
Albania	532	s/d	Cuba	4,226	s/d	Kirguistán	424	s/d	Sri Lanka	1,562	s/d
Arabia Saudita	2,939	s/d	Djibouti	781	s/d	Macedonia del Norte	683	307	Sudáfrica	20,953	s/d
Argelia	4,016	s/d	Ecuador	956	s/d	Madagascar	673	s/d	Sudán	4,313	s/d
Argentina	20,465	s/d	Egipto, República Árabe de	5,153	s/d	Malasia	1,349	s/d	Suiza	3,228	8,256
Armenia	686	s/d	El Salvador	547	s/d	Malí	733	s/d	Tailandia	4,458	s/d
Australia	36,064	s/d	Eslovenia	1,209	4,390	Marruecos	2,295	3,485	Tanzania	2,701	s/d
Azerbaiyán	2,133	s/d	Eswatini	300	s/d	Mauritania	728	s/d	Tayikistán	620	s/d
Bangladesh	2,877	s/d	Etiopía	754	s/d	Mongolia	181	s/d	Túnez	2,244	s/d
Belarús	5,459	52,574	Federación de Rusia	85,626	s/d	Montenegro	249	s/d	Turkmenistán	3,115	s/d
Benin	458	s/d	Filipinas	509	s/d	Mozambique	3,116	s/d	Turquía	10,315	12,058
Bosnia y Herzegovina	1,018	1,177	Gabón	810	3,211	Nigeria	3,528	s/d	Ucrania	21,626	s/d
Botswana	886	s/d	Georgia	1,285	s/d	Noruega	4,134	s/d	Uganda	259	s/d
Brasil	32,622	s/d	Ghana	953	s/d	Nueva Zelandia	4,128	s/d	Uruguay	1,498	s/d
Burkina Faso	518	s/d	Guatemala	322	s/d	Pakistán	7,791	8,080	Uzbekistán	22,937	s/d
Camboya	650	s/d	India	69,128	s/d	Panamá	485	s/d	Venezuela	336	s/d
Camerún	1,004	812,416	Indonesia	8,357	s/d	Paraguay	441	s/d	Viet Nam	2,382	3,989
Chile	6,782	s/d	Irán, República Islámica del	9,306	s/d	Perú	1,693	s/d	Zambia	1,248	s/d
China	131,000	2,238,435	Iraq	2,370	s/d	Reino Unido	15,961	s/d			
Congo, República del	893	s/d	Israel	1,521	s/d	República Árabe Siria	2,139	s/d			
Congo, República Democrática del	3,641	188	Japón	27,268	s/d	República de Moldova	1,151	s/d			
Corea, República de	4,192	7,878	Jordania	293	s/d	República Eslovaca	3,627	6,729			
Costa Rica	848	s/d	Kazajstán	16,061	s/d	Senegal	906	s/d			
Côte d'Ivoire	639	s/d	Kenya	1,917	s/d	Serbia	3,724	s/d			

Tabla 17. Países que, de América del Norte, representan el 27.9% de todos los kilómetros de vías existentes en el mundo. Elaboración propia (15/03/2020).

2018		
Localización	Total km	Millones Ton-km
Estados Unidos	258,608	2,525,217
México	23,389	87,959
Canadá	49,422	0

Tabla 18. Países que, de la Unión Europea, representan el 16.1% de todos los kilómetros de vías existentes en el mundo. Elaboración propia (15/03/2020).

2018		
Localización	Total km	Millones Ton-km
Alemania	33,440	0
Austria	6,123	0
Bélgica	3,616	0
Bulgaria	4,030	2,728
Croacia	2,605	1,810
Dinamarca	2,560	0
España	15,618	6,361
Estonia	1,036	0
Finlandia	5,926	11,030
Francia	29,901	0
Grecia	2,293	0
Hungría	7,082	0
Irlanda	1,896	0
Italia	16,866	9,478
Letonia	1,860	12,186
Lituania	1,911	16,885
Luxemburgo	288	0
Países Bajos	3,177	0
Polonia	18,536	0
Portugal	2,546	0
República Checa	9,406	0
Rumania	10,765	7,994
Suecia	9,708	0

ANEXO 2

**HISTORIAL DE LA DEFINICIÓN DE LOS EVENTOS RELACIONADOS CON LA
SEGURIDAD FERROVIARIA**

A continuación, se presenta la recopilación de todos los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria a partir del Reporte de Seguridad en el Sistema Ferroviario Mexicano que corresponde al Primer Trimestre de 2017 hasta el último Reporte al cual se tuvo acceso para este trabajo de investigación, el cual corresponde al Reporte del Primer Trimestre de 2020:

Tabla 19. Recopilación de todos los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria a partir del RSSFM correspondiente al primer trimestre de 2017 al primer trimestre de 2020. Elaboración propia (14/07/2020)

Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria (ARTF)		2017				2018				2019				2020				
		1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T				
Sinistros ferroviarios	Accidente personal ferroviario					3												
	Alcance	1	1		2	1			1	1	4	1		1				
	Choque	2				11	7	2		7		5	9	6				
	Descarrilamiento	126	116	165	119	89	123	116	101	111	91	176	131	106				
	Rozamiento	8	1	10	7	6	15	6	8	7	4	8	9	13				
SCAF	Arrollamiento de vehículo	157	167	163	119	100	101	102	97	119	78	177	132	137				
	Impacto a tren	4	4	1	1	4	17	7	5	8	6	6	8	6				
	Persona arrollada	43	33	19	17	26	17	19	20	19	31	26	29	22				
Seguridad Operativa	Incidentes	Accidente personal ferroviario												1	1	2		
		Afectación al paso de trenes por cables de CFE															1	
		Artefacto explosivo																1
		Asentamiento/terraplen					2		1									
		Cadáver sobre la vía/derecho de vía	4						1		1	5	5	5	5			
		Cambio trillado				2	1	2										
		Choque entre equipo ferroviario			6	3												
		Choque técnico							1		1	1						
		Confinamiento dañado					1											
		Daños a instalaciones de industria							1		2							
		Desacoplamiento de manguera de aire							1		1							
		Deslave/derrumbe		3	23	8	3	16	14	8	2	2	6	7	4			
		Desplazamiento de equipo		2														
		Equipo en mal estado		2	8	5	1	3		3	1	3	2					
		Faltas al reglamento interno de transporte					1											
		Fuga o derrame	3	10	5	4	11	6		1	5	2	2	3	1			
		Fuga de material peligroso								1								
		Incendio	10		3	1	22	14	3	1	1	5	4	4	2			
		Inundación		1	21			21	6	2			10					
		Manifestación																
		Objetos sobre la vía	11	4	21	14	10	8	12	4	7	12	1	1				
		Otros	7															
		Pérdida de potencial																1
		Pérdida de energía						1										
		Pérdida de potencial en subestación											1					
		Pérdida de tensión en catenaria				2												
		Vía en mal estado	3	1	3	11	2	2		1	1	4						
Vía obstruida	15																	

Tabla 18. Recopilación de todos los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria a partir del RSSFM correspondiente al primer trimestre de 2017 al primer trimestre de 2020. Elaboración propia (14/07/2020) (continuación)

Clasificación de los eventos relacionados con la seguridad ferroviaria (ARTF)			2017				2018				2019				2020	
			1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	
Seguridad pública	Robo	Robo a tren	Cable	13	11	8	16									
			Componentes de unidades de arrastre			33	41									
			Combustible	1	3	5		4			1	1	2		1	1
			Intermodal	4	8	36	22									
			Material rodante					42	51	91	54	72	31	130	83	13
			Producto/carga	41	195	428	532	561	628	641	572	613	644	780	687	589
		Robo a vía	Componente de vía	58	102	49	88	222	303	311	259	353	247	138	145	145
			Componentes de señales	8	12	17	21	23	27	22	20	18	11	16	15	21
	Vandalismo	Vandalismo al tren	Apertura de unidades	44	30	47	59	87	55	54	78	42	51	95	70	83
			Cierre de angulares	1596	1639	1414	1212	1031	1190	1193	937	1306	1200	733	576	397
			Componentes de frenos	53	185	6	26									
			Componentes de unidades de arrastre	821	803	819	797									
			Material rodante					1006	867	1084	991	1061	1106	769	765	803
			Personas ajenas	48	26	29	30	31	17	3	6	22	18	17	14	18
			Tren dividido	49	73	96	65	60	66	98	65	74	69	40	39	53
			Vidrios rotos	8	13	10	19									
		Vandalismo en vía	Aparatos de vía	60	86	5	32	55	57	37	31	16	47	46	45	22
			Componentes de señales	37	26	21	27	19	16	18	33	27	10	29	23	24
			Componentes de vía					23	7	8	12	37	4	9	7	2
Equipo sobre la vía	1		5	44	2	10		6	1	3						
Manipulación de señales	1		30	6												
	Obstrucción de vía	65	80	176	146	197	133	75	82	49	39	38	22	13		