



**OFICIO No. DPYP-050/2021**

**Monterrey, Nuevo León, a 30 de marzo de 2021**

**Dr. David Camacho Alcocer**

Director General de Estudios, Estadísticas y Registro Ferroviario Mexicano de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, firma en suplencia por ausencia del Titular de la Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario con fundamento en los artículos 9 y 50 del Reglamento interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; así como en términos del oficio 1.178 de fecha primero de marzo de dos mil veintiuno, suscrito por el Secretario de Comunicaciones y Transportes.

En respuesta al oficio 4.5.-0235/2021 de fecha 26 de marzo de 2021, en relación con el proyecto denominado "Corredor Ferroviario García – Aeropuerto Internacional de Monterrey Nuevo León", con Clave de Cartera 2009D000008 registrado en la cartera de proyectos de la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (UI – SHCP), enlisto los estudios y factibilidades contratadas por este Fideicomiso.

- 1) Levantamiento Geométrico y Topográfico
- 2) Estudio Hidrológico y Drenaje
- 3) Identificación y Valoración de Obras inducidas
- 4) Estudio Geológico y Geotecnia de la Vía Principal y en Cruces Ferroviarios
- 5) Estudio de Factibilidad Ambiental
- 6) Estudios de Ingeniería Ferroviaria de Modalidad Mixta
- 7) Asesoría Financiera Estratégica
- 8) Desarrollo Urbano
- 9) Estudio Caracterización Social y Antropológica
- 10) Estudios de Cruces
- 11) Estudios de Factibilidad Legal
- 12) Estudio Ingeniería de Transporte y Movilidad

Estos estudios se recibieron en su totalidad el día 22 de marzo de 2021 en las instalaciones de este Fideicomiso y se encuentran en proceso de validación y digitalización, estas actividades se estiman terminar 15 días hábiles posterior a la recepción de los documentos.

Los estudios antes mencionados fueron contratados por el Fideicomiso de Proyectos Estratégicos, la revisión y validación cuantitativa fue realizada por este Fideicomiso; la revisión y validación cualitativa



fue realizada por los asesores contratados para este fin como expertos en el tema: DB Engineering & Consulting GmbH, como Asesoría Técnica Especializada (Operador Sombra); el Ing. Antonio García Chávez, como coordinador del proyecto; el Ing. Javier Francisco Garza Treviño, como coordinador del proyecto; y la Lic. Rosa Serrato Luna, como asesora Legal – Financiera.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

  
**Arq. Melany Altschuler Chessani**  
Directora de Planeación y Proyectos  
Fideicomiso del Proyectos Estratégicos

- C.c.p. Arq. Jorge Luis Martínez Lara – Director General de FIDEPROES.
- C.c.p. Lic. Ricardo Damián Suárez Sánchez – Suplente de Secretario Técnico FIDEPROES.
- C.c.p. Ing. Francisco Javier Garza Treviño – Asesor Ferroviario FIDEPROES.
- C.C.p. Archivo



Nuevo León  
GOBIERNO DEL ESTADO

## ANEXOS TÉCNICOS

“Corredor Ferroviario García – Aeropuerto  
Internacional de Monterrey, Nuevo León”

# **ANEXOS TÉCNICOS**

## “Corredor Ferroviario García – Aeropuerto Internacional”

---

Monterrey, Nuevo León

## **CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	5
1. ANEXO ASPECTOS TÉCNICOS	7
<b>1.1 ESTUDIO DE ANÁLISIS DEL CONCEPTO OPERATIVO</b>	7
<b>1.2 RELACIÓN DE ANÁLISIS DE ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS</b>	43



El presente documento es un esfuerzo de colaboración entre dependencias federales y estatales con el objetivo de exponer el análisis, propuesta y justificación del proyecto de “Corredor Ferroviario García – Aeropuerto de Monterrey, Nuevo León”, sus características, bondades y beneficios en favor del desarrollo, y sobre en los habitantes de la zona conurbada de Monterrey.

- Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Gobierno Municipal de Monterrey.
- Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF).
- Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Las instituciones que integran el grupo multidisciplinario de trabajo tienen en común la ideología de cambiar las ciudades mexicanas en espacios seguros, armoniosos, integrados y vivibles, de migrar la imagen de ciudades desagregadas y segmentadas física, económica y socialmente a ciudades vinculadas adecuadamente a lo largo del país, tomando como estandarte la oportunidad de ordenar y planificar el territorio a favor de la población, todo ello, como parte de un política pública dirigida mediante sistemas de transporte, como en caso, un sistema de tren de pasajeros.

## INTRODUCCIÓN

El presente documento compila los anexos técnicos que conforman el proyecto “Corredor Ferroviario García – Aeropuerto de Monterrey, Nuevo León”, bajo la premisa de un esquema ferroviario mixto, en el que coexisten de manera eficiente y armoniosa los tráficos de carga y de pasajeros empleando la misma infraestructura.

Este trabajo resulta de un esfuerzo conjunto de las diversas entidades ejecutoras y colaboradoras, como la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF) organismo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal (DGDFM) y el Gobierno del Estado de Nuevo León.

El proyecto surge bajo la filosofía de generar un sistema de transporte masivo el cual permita aliviar la creciente crisis de transporte que existente en esta ciudad afectando la movilidad, coadyuvando así al bienestar social y la calidad de vida de sus habitantes, al mismo tiempo que optimice el tráfico de carga en la región sin afectar la importante actividad industrial. Para esto, se plantea fundamentalmente el acondicionamiento y la reutilización de infraestructura existente, así como una reasignación de los diversos tráficos que circulan por la zona. En este documento se incluyen análisis de diversos tópicos, aspectos relativos al desarrollo del proyecto, que van desde la descripción general, hasta los estudios de demanda de la zona de influencia, concepto operativo, entre otros. Del mismo modo, se abordan aspectos técnicos relativos al material rodante e infraestructura, sistemas auxiliares y sistemas de control y señalización; se examinan aspectos pertinentes a la optimización del tráfico y finalmente se incluyen algunos aspectos financieros, todo lo anterior a favor de un proyecto que pretende sustituir la oferta de transporte público actual, por un eje rector de transporte integral en beneficio no sólo de la zona conurbada de Monterrey, sino del Estado, además de crear una pauta para una nueva movilidad en el país.



# 1. ANEXO ASPECTOS TÉCNICOS

## 1.1 ESTUDIO DE ANÁLISIS DEL CONCEPTO OPERATIVO

### 1.1.1 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA MATERIAL RODANTE

#### 1.1.1.1 TIPOLOGÍA DEL VEHICULO

La línea proyectada, entre García y el aeropuerto internacional de Monterrey, presentará paradas lo suficientemente distantes entre sí y con gran número de curvas, tráficos mixtos y ambiente urbano en gran parte del trazado de la línea. Estas características implican una caracterización del material rodante próxima a su propia distribución de suburbano, en lugar de optar por otras alternativas tipo tren-tranvía o material rodante regional.

El material rodante suburbano constituye una solución más interesante a medida que se van alargando los trayectos y la distancia entre paradas es más elevada que en metropolitanos, pero sin llegar a alejarse entre territorios como en regionales.

Los trenes suburbanos tienen un volumen de pasajeros medio y con unas expectativas de correspondencias de pasajeros menores que los trenes-tranvía, que circulan por una red más densa y su composición dispone de un mayor número de puertas. Además, con alturas de plataforma de media a altas (superiores a 760 mm), el tren suburbano se ajustará mejor al estándar mundial de altura de plataforma a diferencia de las que dispone el material rodante tipo tren-tranvía (entre 350 y 550 mm). La desventaja principal que presenta el tren-tranvía con respecto al tren suburbano es la alta susceptibilidad de interrupciones en la operación debido a la alta densidad de tráfico en hora punta, y la difícil integración con los tráficos pesados de mercancías desde el punto de vista del sistema de señalización y del sistema de protección.

Apoyado en anteriores párrafos, por tipología de material rodante, se descartan las alternativas de tipo tren-tranvía y regional.

En la zona urbana, dadas las curvas existentes, la cercanía entre estaciones, el reducido espacio de la plataforma y la imposibilidad de modificar los peraltes por

integración urbana; únicamente se puede conseguir velocidades máximas comerciales de hasta 80 Km/h, pero su eficiencia y rendimiento no ofrece resultados tan destacados con material rodante de propulsión diésel en comparación con la tracción eléctrica por sus diferencias en prestaciones de aceleración y frenada.

En cuanto a plazos de implementación reducidos, se descarta la completa electrificación de la línea de modo que sólo se consideran vehículos propulsados con energía autónoma.

Dado que los límites presupuestarios son moderados, la tendencia común concluye en la adquisición de material rodante de segunda mano que puede ser rehabilitado. Actualmente existe una elevada disponibilidad de material usado a precios razonables causada por la intensa corriente de cambios mundiales en electrificación a nivel mundial y los requisitos de reducciones de emisiones.

Con la consideración planteada de la planificación y del aspecto económico, dentro de todas las posibilidades existentes en cuanto al sistema de propulsión del material rodante (hidrógeno, batería o diésel), el resultado final se centra en la adquisición de trenes usados diésel a los que se les aplique la modernización de algunos sistemas. Éstos presentan un corto plazo de entrega y, dependiendo del alcance de la modernización, se puede conseguir un tiempo de entrega total inferior a un año con una inversión moderada para obtener DMUs con fácil mantenimiento, tecnología sencilla y trenes robustos. Por otro lado, el inconveniente principal de estos trenes usados es su tiempo de vida limitado (entre 10 y 15 años), además del posible incumplimiento de algunas normativas actuales o la dificultad de proveer piezas de reparación.

#### 1.1.1.2 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RODANTE

La propuesta seleccionada de material rodante para el tren suburbano de Monterrey se compone de 39 unidades de trenes DMU de tracción diésel-hidráulica usados y pertenecientes a *Deutsche Bahn* DB Serie 628, cuyo conjunto unidad está formado por un tren automotor con denominación de serie 628.4 y un coche de control acoplado con referencia 928.4.

El tamaño de flota en operación será de 35 trenes y quedará una provisión de 4 trenes en talleres. Esta elección se obtiene como resultado de estudios previos realizados por *DB Engineering & Consulting* basados en: el análisis completo de la infraestructura y la señalización existente, la demanda estimada, la oferta existente de material rodante y el horizonte de evaluación.

Figura 1 “Conjunto unidad de Trenes DB Serie 628.4”



Fuente: Deutsche Bahn

El material rodante usado puede cubrir los requisitos especificados en el proyecto, siendo éste objeto de remodelaciones y modificaciones para alterar los parámetros y características originales. Dichos cambios cubrirán los aspectos físicos del tren, como son las interfaces con plataforma y la capacidad de pasajeros.

En cuanto a las prestaciones de circulación, el tren seleccionado es capaz de circular a una velocidad máxima de 120 Km/h y, en función del trazo ferroviario por donde finalmente deba transcurrir, éste deberá ser valorado en cuanto al cumplimiento del rango de velocidades de servicio operativa requerido.

El tren dispone de pasillo de inter-circulación entre coches de cada configuración simple y puede extenderse hasta disponer de una composición acoplada múltiple de hasta tres conjuntos unidad de tren.

Figura 2 “Composición múltiple de conjuntos unidad de Trenes DB Serie 628.4”



Fuente: Deutsche Bahn

La tecnología del tren está basada en tecnología suficientemente experimentada en países europeos (Alemania, Luxemburgo, Rumanía, etc...) y presenta una alta disponibilidad a un bajo costo de adquisición y mantenimiento.



### 1.1.1.3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL TREN

El diseño de los trenes propuestos DB Serie 628.4 dispone de los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros del tren

CARACTERÍSTICA	VALOR
Ancho de vía / trocha / escantillón (mm)	1435
Fabricante / constructor	Düwag
Años de fabricación	1992-1996
Denominación según ejes	2'B' – 2'2'
Numeración de serie: automotor	628.4
Numeración de serie: coche de control	928.4
Longitud entre topes (m)	46.4
Longitud entre acoplamientos (m)	23.2 + 23.2
Longitud de la carrocería (m)	22.44
Distancia total entre ejes (m)	17
Distancia entre centros de bogies (m)	15.1
Distancia entre ejes de un bogie (m)	1.9
Ancho de la carrocería (m)	2.85
Altura total por encima de carril (m)	4.16
Altura de la carrocería por encima de carril (m)	3.8
Altura del piso sobre carril (m)	1.21
Diámetro de rueda (mm)	770
Peso propio TARA (tn)	70
Peso en servicio (tn)	101
Velocidad máxima (Km/h)	120
Radio mínimo (m)	125
Motorización	MTU 183 TD 12
Tipo de motor	V12 diésel
Potencia máxima	485 kW (650hp) 2100 rpm
Transmisión de potencia	Voith T 311r WK
Tipo de accionamiento	Diésel-hidráulico
Bastidor de bogie	Talbot con resorte neumático
Sistema de freno	KE-R-A-Mg (D)
Calefacción	Agua caliente
Capacidad depósito combustible (l)	1250
Asientos	146
- asientos de primera clase	12
- asientos de segunda clase	134
(de los cuáles, plegables)	22
Puertas: tipología	correderas batientes dobles
Puertas: ancho de paso libre (mm)	1280

Fuente: Deutsche Bahn

### 1.1.1.4 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA PRECEPTIVA

El suministrador del material rodante facilitará la documentación necesaria para poder efectuar la conducción y el mantenimiento de los trenes. Para ello, suministrará los siguientes documentos:

- **Manual de Operaciones**

El Manual de Operaciones contendrá toda la información necesaria para conducir y accionar la unidad de tren con toda seguridad para el material rodante, el maquinista y los pasajeros. Debe facilitar la comprensión de las funciones de actuación de la unidad de tren y todas las funciones que deberán ejecutarse durante el funcionamiento desde el puesto de conducción.
- **Manual de Intervención en Vía**

El Manual de Intervención en Vía contendrá la información sucinta pero suficiente para que el personal de servicio del tren y el de asistencia en vía pueda realizar las operaciones encaminadas a normalizar el tren para continuar el servicio o trasladarlo a talleres, cuando se haya producido una incidencia en la vía.
- **Manual Descriptivo**

El Manual Descriptivo contendrá la información descriptiva y funcional necesaria para familiarizarse con los equipos del material rodante y sus componentes, con el fin de poder realizar las tareas de mantenimiento en los mismos.
- **Plan de Mantenimiento**

El Plan de Mantenimiento se puede considerar como un índice de las operaciones de mantenimiento preventivo. Dicho plan indicará por tanto todas las operaciones periódicas de mantenimiento preventivo rutinario a realizar en el equipo o en sus componentes, así como su frecuencia.
- **Manual de Mantenimiento de Componentes**

El Manual de Mantenimiento de Componentes contendrá toda la información necesaria para realizar cualquier posible tarea de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, así como de operaciones asociadas (montaje y desmontaje, ensayos, inspecciones, etc.).
- **Manual de Investigación de Averías**

El Manual de Investigación de Averías contendrá toda la información necesaria para identificar los fallos y devolver el equipo afectado a su correcto modo de operación. Esta información incluirá las instrucciones de manejo de softwares específicos de ayuda al mantenimiento de ciertos equipos.

- **Catálogo Ilustrado de Piezas de Recambio**  
El Catálogo Ilustrado de Piezas de Recambio contendrá toda la información necesaria para poder localizar e identificar en el tren todas las piezas y componentes que son susceptibles de ser sustituidos en una reparación, con el objeto de poder comprarlos. Para ello, la información estará estructurada en figuras y listados de piezas con sus correspondientes referencias de compra.
- **Documentación necesaria para el mantenimiento**  
La documentación necesaria para el mantenimiento estará formada por una colección de planos indexada o codificada para facilitar la búsqueda de cualquier elemento.

#### 1.1.1.5 INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

El objetivo del mantenimiento del material rodante es asegurar las prestaciones y el confort de la flota para poder prestar un nivel de servicio de calidad a los usuarios.

Adicionalmente, también se debe realizar un correcto mantenimiento y renovación de la infraestructura para asegurar las prestaciones y el nivel de servicio de la misma tal que logre los requisitos operacionales necesarios para satisfacer la demanda tanto de pasajeros como de mercancías.

El concepto de mantenimiento del material rodante seleccionado para el tren suburbano de Monterrey deberá describir cómo se mantendrá, se estabilizará y se revisará el material ferroviario. Se deberá incluir, además, una especificación de muy alto nivel para el depósito de mantenimiento del material rodante.

Los intervalos de mantenimiento del tren diésel usado se deben determinar en función de las recomendaciones de los fabricantes de los sub-sistemas y de la experiencia del consultor Deutsche Bahn.

La autoridad competente deberá exigir un programa de mantenimiento implementado por el operador para mantener el material rodante en una condición operacional segura. Se deberá realizar un régimen de mantenimiento preventivo, planificado o programado, en el que las medidas correctivas se llevarán a cabo con

antelación antes de que se produzca una avería y limitando al mínimo las intervenciones de mantenimiento correctivo no programadas.

El programa de mantenimiento inicial tendrá que seguir las recomendaciones del fabricante cuando se identifiquen las tareas de inspección en detalle que se van a llevar a cabo, se definan los criterios de rendimiento de los subsistemas de la serie de trenes que permitan un funcionamiento seguro o limiten el rendimiento de la operación debido a la indicación de fallos, se prevean los consumibles y las piezas de repuesto que se van a sustituir con frecuencia y se prevea la estimación del ciclo de vida del subsistema.

## **1.1.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA OPERACIÓN**

### **1.1.2.1 INTRODUCCIÓN**

La explotación ferroviaria consiste en gestionar los medios técnicos existentes garantizando la seguridad del sistema para dar respuesta a las diferentes situaciones posibles durante la elaboración del horario de servicio, así como posteriormente durante la explotación en tiempo real. Sus principios son la imposibilidad de situar dos trenes en el mismo lugar y al mismo tiempo y la necesidad de disponer de una distancia libre delante de cada tren.

Las principales instalaciones de ayuda a la explotación ferroviaria son: la señalización, los circuitos de vía, los enclavamientos y los aparatos de vía. El conocimiento de la posición y funcionamiento de estas instalaciones es imprescindible tanto para la elaboración de los horarios de servicios de trenes como para su posterior puesta en marcha operacional. Generalmente estas instalaciones se dimensionan considerando el comportamiento de los vehículos frente a las características de la infraestructura.

### **1.1.2.2 ESTACIONES**

En este apartado se resume la ubicación de las distintas estaciones y su ubicación relativa en el tramo de infraestructura a analizar por el presente estudio.

Tabla 2. Estaciones Suburbano de Monterrey

ESTACIÓN	PK RELATIVO
García	5+500
Alegría*	
Heberto Castillo	12+800
Cumbre de las Américas*	
La pedrera*	
Santa Catarina	21+100
El Obispo	22+500
Cuahutémoc	24+400
20 de noviembre*	
San Pedro	28+400
Puente Atirantado	30+500
Pablo Gonzalez Garza	32+000
Gonzalitos	33+400
Thomas Alba Edison	35+800
Estación Central	36+600
Miguel Hidalgo	38+300
Alfonso Reyes	39+700
Ciudad de los Ángeles	40+500
San Nicolás de los Garza	43+800
Santo Domingo	46+200
Casa Blanca*	
Hacienda del Mezquital	49+400
Miguel Alemán	52+700
Apodaca	54+900
Periférico	56+600
Aeropuerto	61+300

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

\*Estas estaciones no se consideran para el presente estudio de preinversión.

### 1.1.2.3 CONCEPTO OPERATIVO

Los resultados de la demanda determinan el concepto operativo, pues éste deberá satisfacer la demanda además de ofrecer un buen servicio que potente el uso del transporte ferroviario. La evolución de la demanda en el tiempo determinará los nuevos horarios y por tanto las necesidades de material móvil.

Para la elaboración de los servicios es necesario conocer cómo se comporta la demanda a lo largo del día, a continuación, se recogen los datos proporcionados del reparto de la demanda:

Figura 3 “Perfil de la demanda diaria”



Fuente: FOA Consulting, 2020.

Tras analizar la demanda se determina los posibles servicios y los horarios comerciales de estos.

#### 1.1.2.4 MALLAS DE CIRCULACIÓN

El objetivo de los diagramas de circulación es el de representar gráficamente el recorrido de los trenes a lo largo del tiempo en los diferentes sentidos de circulación, y poder analizar así la operación, bondad de la propuesta y tiempos necesarios en terminales.

Las mallas de circulación permiten garantizar el mejor aprovechamiento posible de la capacidad de circulación de trenes desde la estación García hasta la estación Aeropuerto y alcanzar un elevado nivel en los índices de explotación de la infraestructura.

En el eje de abscisas se representa el tiempo, quedando representadas las horas en las que hay servicio durante el día. Mientras que en el eje de ordenadas se representa el recorrido con las estaciones de paso.

La separación vertical entre estaciones es proporcional a su separación real entre ellas. De este modo se puede apreciar y comparar la velocidad de los trenes en función de la inclinación de las líneas entre estaciones.

Para un determinado tren se puede consultar la hora de entrada y salida en cada estación. Es el conjunto de líneas de todos los trenes los que representan gráficamente los paralelismos o cruces existentes en la red.

Para el diseño de las mallas se ha tenido en consideración los siguientes criterios:

- La ubicación de las estaciones es la definitiva y coincide con la representada en el apartado de estaciones de este mismo documento.
- Para el diseño de las mallas ferroviarias se tiene en consideración aquellos tramos de vía única y doble definidos en este plan de operación. El cruce de trenes que avanzan en sentidos opuestos solo se permite en vía doble mientras que en los tramos de vía única estos cruces se tienen que producir en las estaciones.
- Los tiempos de recorrido se obtienen de las simulaciones de marchas realizada para el tramo definitivo considerando el material rodante definido en el apartado correspondiente.
- Se representan todos los servicios analizados para cada escenario y definidos en la descripción del mismo.
- En la explotación de las líneas ferroviarias del tren suburbano de Monterrey, la demanda se atiende por horario. Es decir, se procura mantener el horario y por tanto el número de servicios al día de cada tipo con fin de abastecer a la demanda prevista.
- El tiempo de subida y bajada de viajeros en las paradas en estación se estima en 30 segundos dado que la puerta del tren quedará a la misma altura que el andén y por tanto el desalojo y embarco de pasajeros se realizará de manera más rápida.
- Para los distintos escenarios considerados, las mallas de circulación representadas corresponden con un día laborable con Hora Pico de 7 a 9 y de 17 a 29.

#### 1.1.2.5 ESCENARIOS

En el desarrollo de las mallas ferroviarias se han considerado los siguientes escenarios arrojando cada uno de ellos una serie de conclusiones.

A continuación, se reflejan los distintos escenarios considerados:

- 1) **Escenario 1:** Intervalos 15 minutos. 4 servicios a la hora. Cartas de vía actual
- 2) **Escenario 2:** Intervalo 10 minutos. 6 servicios a la hora. Cartas de vía actual
- 3) **Escenario 3:** Malla en HP, 6 servicios de pasajeros. Cartas de vía modificada

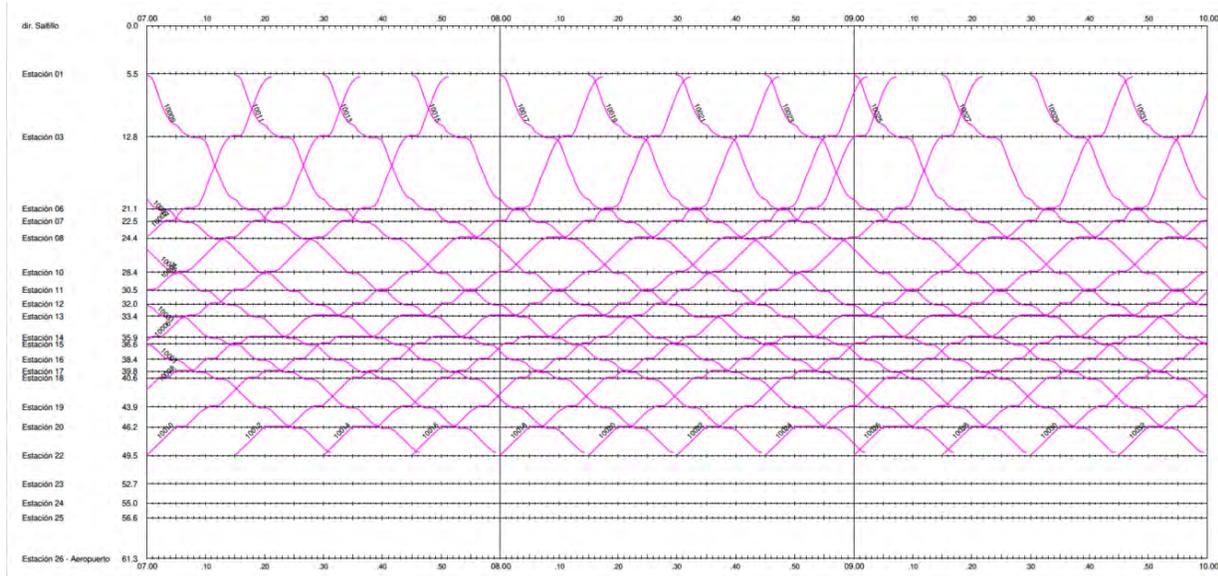
- 4) **Escenario 4:** Malla en HP, 6 servicios de pasajeros + Mercancías corto. Cartas de vía modificada
- 5) **Escenario 5:** Malla en HV, 4 servicios de pasajeros + Mercancías corto. Cartas de vía modificada
- 6) **Escenario 6:** Malla en HV, 4 servicios de pasajeros + Mercancías largo. Cartas de vía modificada

- **Escenario 1: Intervalos 15 minutos. 4 servicios a la hora. Cartas de vía actual**

En el Escenario 1: se realiza un primer análisis de los servicios de pasajeros con intervalos de 15 minutos entre servicios sucesivos. Comprendiendo un total de 4 servicios a la hora.

Las cartas de vía consideradas son las actuales.

Figura 4: Malla de circulación, escenario 1.



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Se observa que la disposición actual de la infraestructura produciría interferencias en algunos servicios de pasajeros pudiendo producir demoras de servicios de pasajeros prolongadas.

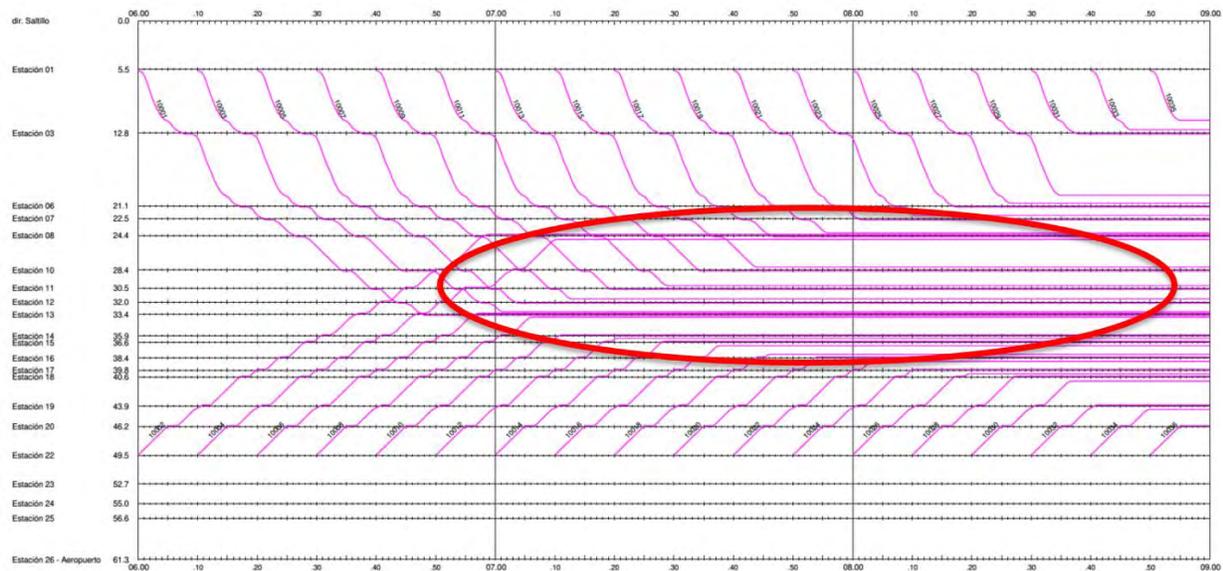
- **Escenario 2: Intervalo 10 minutos. 6 servicios a la hora. Cartas de vía actual**

En el Escenario 2 se realiza un análisis de los servicios de pasajeros con intervalos de 10 minutos entre servicios de pasajeros sucesivos. Comprendiendo un total de 6 servicios a la hora.

Las cartas de vía consideradas son las actuales.



Figura 5: Malla de circulación, escenario 2.



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Se observa que no se dispone de capacidad suficiente para atender a los trenes de pasajeros que estén separados en intervalos de 10 minutos.

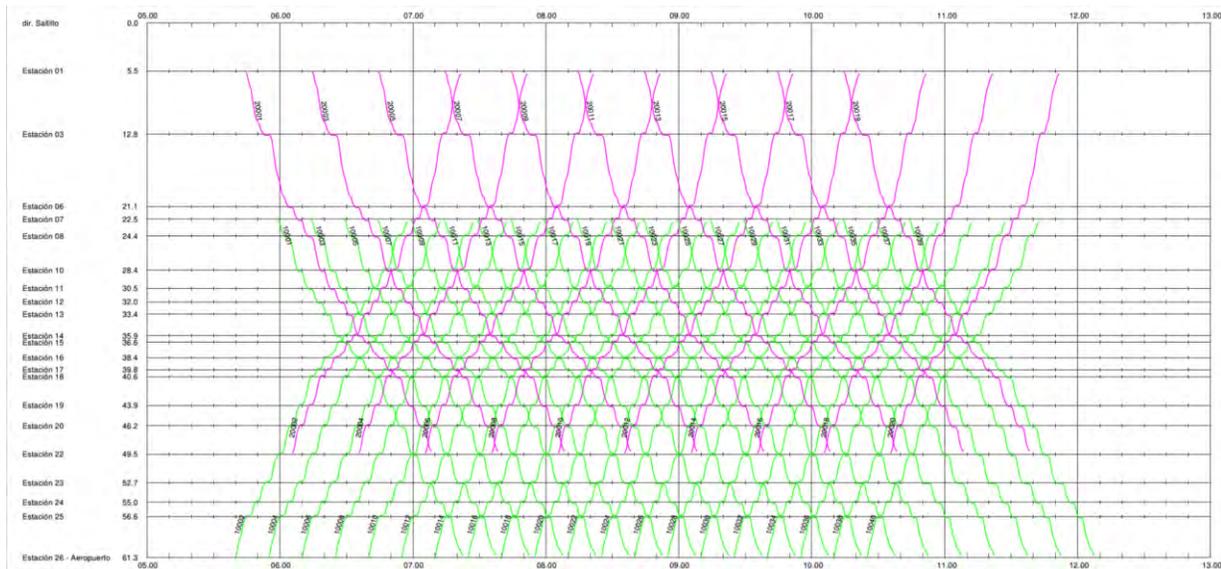
Esto requiere de nuevos tramos de desdoblamiento de vía para poder realizar la operación de servicios propuesta.

- **Escenario 3: malla en HP, 6 servicios de pasajeros al ahora. Cartas de vía modificada**

En el Escenario 3 se realiza un análisis de los servicios de pasajeros con intervalos de 10 minutos entre servicios de pasajeros sucesivos. Comprendiendo un total de 6 servicios a la hora.

Las cartas de vía son modificadas suponiendo un desdoblamiento desde la estación El Obispo hasta la estación de Hacienda del Mezquital.

Figura 6: Malla de circulación escenario 3



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Se observa que la capacidad disponible admite los 6 servicios de pasajeros siempre que se dupliquen los tramos comprendidos entre la estación de El Obispo y Hacienda del Mezquital.

En el resto de tramos de vía única será necesario estudiar posibles tramos de duplicación de vía para compatibilizar estos servicios con la explotación de servicios de mercancías.

Este escenario representa la malla en hora punta con los servicios de pasajeros, las conclusiones que se obtienen es que los servicios disponen de capacidad suficiente y se pueden construir horarios, pero es necesario duplicar la vía en tramos que se localizarán cuando se haga el trazado.

Se puede estudiar reducir en algunos tramos puntuales de vía doble a vía única llegando a alcanzar una solución con tramos de cruce de trenes de menor robustez pues cualquier retraso en los servicios de pasajeros perturbará todos los horarios que prosiguen, por ello lo ideal sería duplicar todos los tramos posibles entre las estaciones de El Obispo hasta Hacienda del Mezquital.

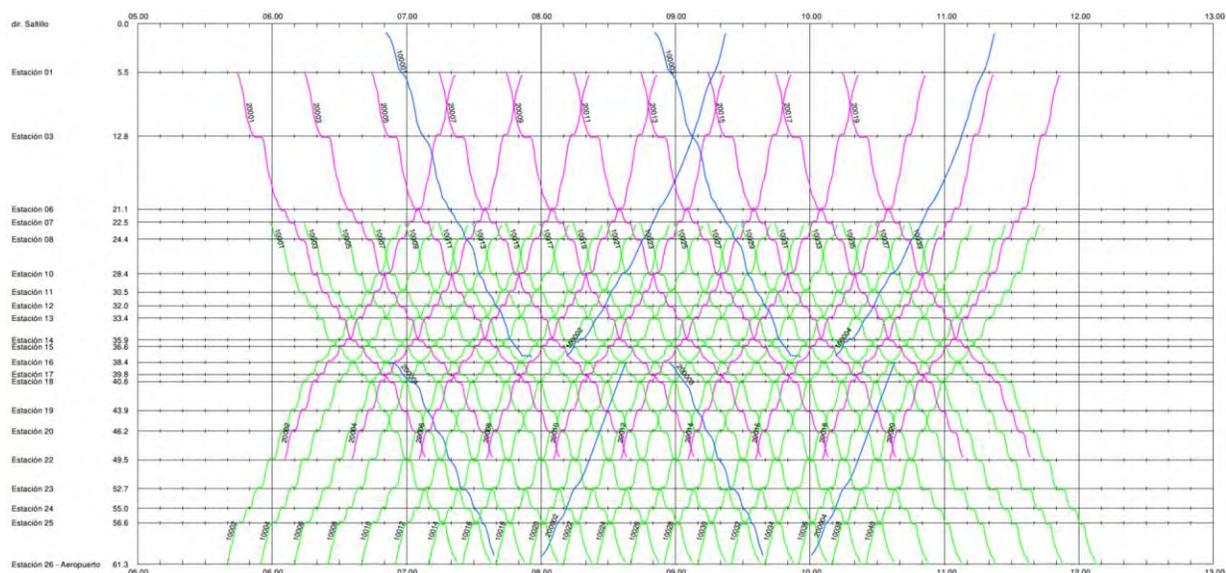


- **Escenario 4: malla en HP, 6 servicios de pasajeros + Mercancías corto.**  
**Cartas de vía modificada**

En el Escenario 4 se realiza un análisis de los servicios de pasajeros en hora punta con intervalos de 10 minutos entre servicios de pasajeros sucesivos y se incorpora a la infraestructura la circulación de trenes cortos de mercancías. Comprendiendo un total de 6 servicios a la hora + trenes de mercancías cortos.

Las cartas de vía son modificadas suponiendo un desdoblamiento desde la estación El Obispo hasta la estación de Hacienda del Mezquital.

Figura 7: Malla de circulación escenario 4



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Se observa cómo quedaría una malla de servicios de pasajeros en hora punta en convivencia con trenes de carga cortos. Los trenes de mercancías disponen de un surco que les permite circular sin producir un impacto significativo en la operación de los servicios de pasajeros.

Las separaciones entre trenes de mercancías y trenes de pasajeros exigen una señalización embarcada tanto en los trenes de mercancías como en los trenes de

pasajeros que les permite circular a distancias temporales menores de cinco minutos.

Por lo tanto, es necesario ERTMS embarcado en las composiciones de mercancías que vayan a circular en horario comercial en convivencia con los servicios de pasajeros.

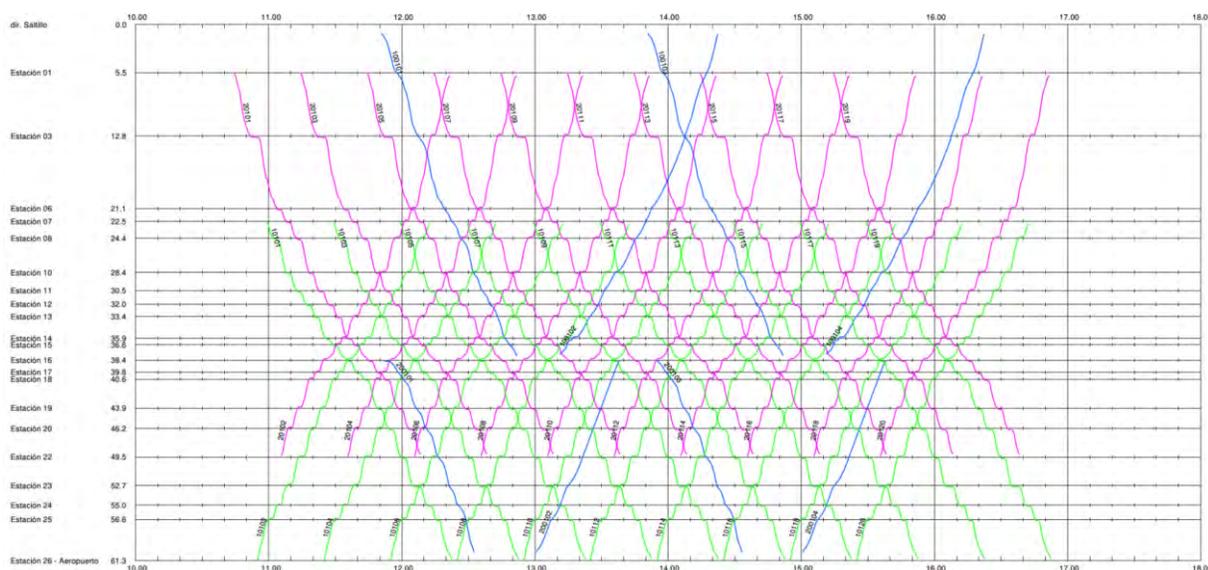
Este tipo de explotación es muy robusta, una demora de 10 minutos en un tren de mercancías puede producir retrasos y demoras encadenados en el resto de servicios.

- **Escenario 5: malla en HV, 4 servicios de pasajeros + Mercancías corto. Cartas de vía modificada**

En el Escenario 5 se realiza un análisis de los servicios de pasajeros en hora valle con intervalos de 15 minutos entre servicios de pasajeros sucesivos y se incorpora a la infraestructura la circulación de trenes cortos de mercancías. Comprendiendo un total de 4 servicios a la hora + trenes de mercancías cortos.

Las cartas de vía son modificadas suponiendo un desdoblamiento desde la estación El Obispo hasta la estación de Hacienda del Mezquital.

Figura 8: Malla de circulación escenario 5



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Esta mañana representa la hora valle con pasajeros y trenes de carga de 400 metros, un escenario que en principio es menos restrictivo que el de hora pico. Se observa que no hay problemas bajo los supuestos de duplicación de vía entre las estaciones 7 (El Obispo) y la estación 22 (Hacienda del Mezquital).

La capacidad disponible admite los 4 servicios de pasajeros siempre que se respete la duplicación de vía en la zona central. En el resto de tramos de vía única será necesario estudiar posibles tramos de duplicación de vía que mejoren la operación de la red.

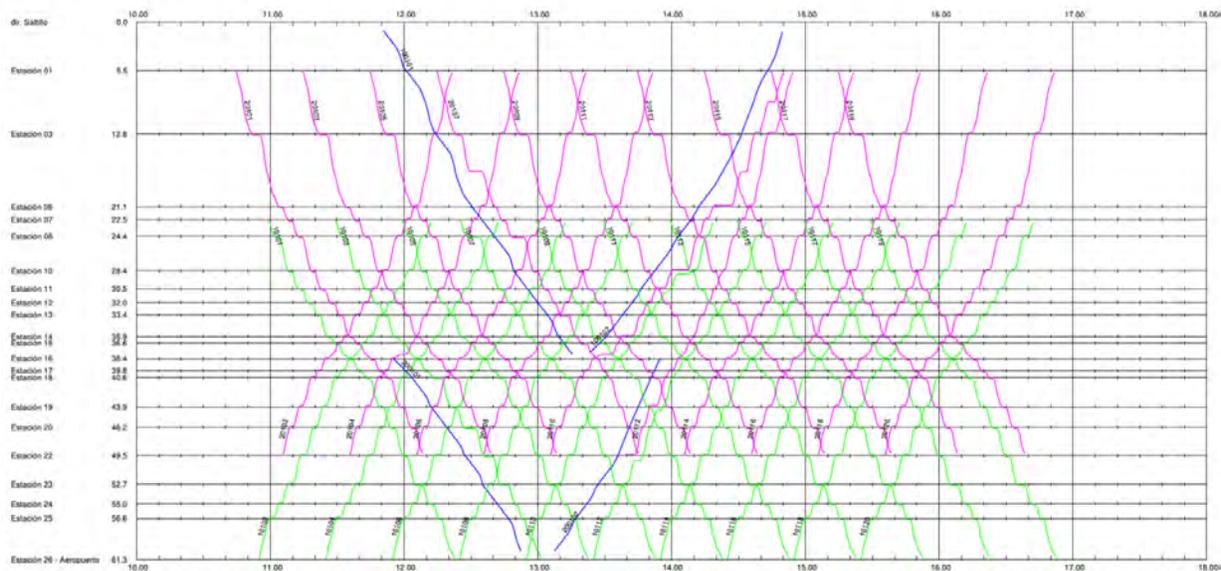
- **Escenario 6: malla en HV, 4 servicios de pasajeros + Mercancías largo. Cartas de vía modificada**

En el Escenario 6 se realiza un análisis de los servicios de pasajeros en hora valle con intervalos de 15 minutos entre servicios de pasajeros sucesivos y se incorpora a la infraestructura la circulación de trenes largos de mercancías. Comprendiendo un total de 4 servicios a la hora + trenes de mercancías largos.

Las cartas de vía son modificadas suponiendo un desdoblamiento desde la estación El Obispo hasta la estación de Hacienda del Mezquital.

Figura 9: Malla de circulación, escenario 6.

dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

Se realiza una simulación dinámica para un escenario de hora valle con trenes de mercancías largos. Estos trenes, dada su longitud, ocupan muchos tramos de vía lo que perturba los servicios que circulan en horarios cercanos. La perturbación mayor es en el tramo entre el Patio de Monterrey y García (dirección Saltillo), por tanto, se propone que este tipo de tren no circule por esos tramos centrales, sino que utilicen el libramiento por el norte de la ciudad. La circulación de mercancías ocupa cantones y parte de surcos destinado a la circulación de pasajeros.

Los trenes que circulan entre el Patio de Monterrey y dirección hacia el Aeropuerto (seguirían luego en dirección Matamoros) requerirían en el peor de los casos retrasar la salida de un tren desde Aeropuerto.

Para la realización de esta simulación se cuenta con la duplicación de vía de los tramos comprendidos entre la estación 7 (El Obispo) y Estación 22 (Hacienda del Mezquital). En el resto de tramos de vía única será necesario algún desdoblamiento o apartadero que permita sacar de vía principal a trenes que estén produciendo afecciones al resto de servicios.

Como consecuencia de la interpretación de esta malla de circulación, se propone que los trenes largos de mercancía que hagan el servicio M1, entre García y Patio de Monterrey, transcurran por el libramiento existente en el norte de la ciudad pudiendo realizar el recorrido entre Patio de Monterrey y García sin interferir a los servicios de pasajeros.

El otro servicio de mercancía, M2 discurre entre el Patio de Monterrey a dirección Matamoros. En este tramo no se producen afecciones destacables de los trenes de mercancías sobre los trenes de carga. Llegando a la conclusión de que a lo largo de la hora valle existirán surcos que permitan el transcurso de trenes largos de mercancía.

#### 1.1.2.6 Escenarios día completo

Tras las conclusiones arrojadas en el estudio anterior donde se analiza la Hora Pico y la Hora Valle por separado, en este apartado se desarrollan distintas las mallas de día completo. El paso de Hora Pico a Hora Valle supone una variación de las frecuencias que puede producir interferencias en los puntos de cruce habituales de los trenes.

Para el desarrollo de las mallas ferroviarias de día completo se han considerado los siguientes escenarios arrojando cada uno de ellos una serie de conclusiones que aquí se muestran.

A continuación, se reflejan los distintos escenarios considerados:

- 1) **Escenario día completo 1:** Solo servicios de pasajeros. Tiempo de parada 60 segundos.
  - 2) **Escenario día completo 2:** Solo pasajeros. Tiempo de parada 30 segundos.
  - 3) **Escenario día completo 3:** Pasajeros y mercancías cortas.  $T_p=30$  segundos. Análisis desdoblamiento.
  - 4) **Escenario día completo 4:** Pasajeros y  $t_p=30s$ . Mercancías (largos en HV y cortos en HP).
- **Escenario día completo 1: Solo servicios de pasajeros. Tiempo de parada 60 segundos.**

En este primer escenario de día completo se tienen las siguientes consideraciones de explotación:

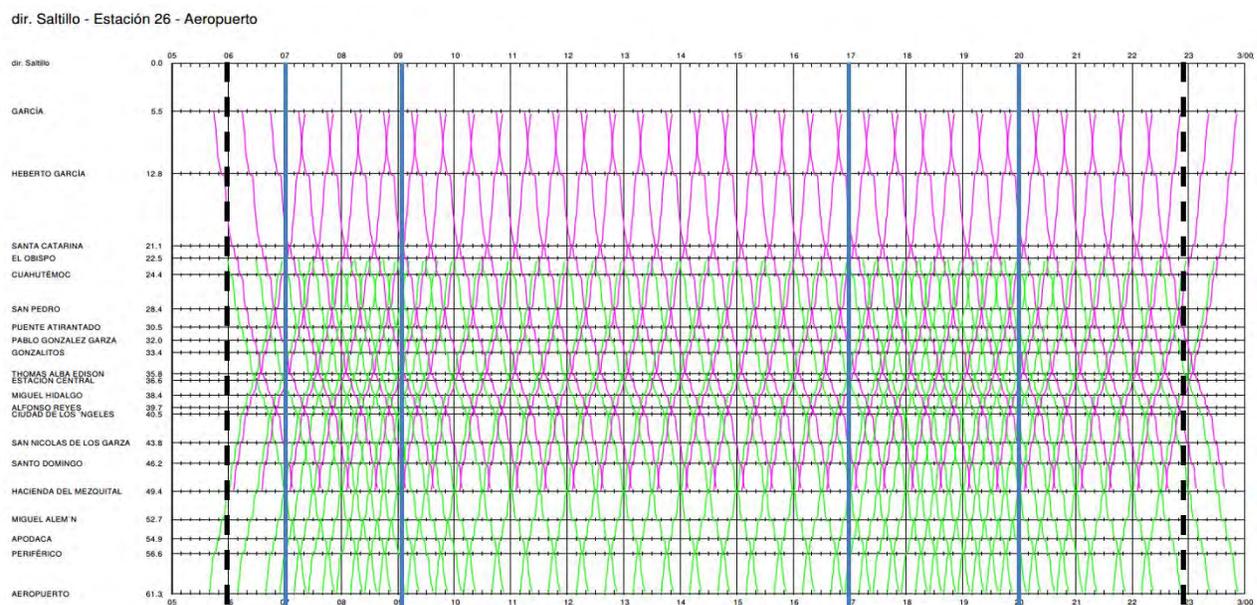
- Explotación: Servicios de pasajeros
- Tiempo de parada en estación de 60 segundos.

El horario propuesto para el cálculo de la flota es el siguiente:

- **Hora Pico:** 7:00 – 9:00 y 17:00 – 20:00
- **Hora Valle:** 6:00 -7:00 ; 9:00 – 17:00 y 20:00 -23:00
- **Cartas de vía:** En este primer análisis se cuenta con desdoblamiento completo de la red.

El objetivo es cadencia los servicios de pasajeros y observar que patrones de comportamiento presenta la malla. Logrando así identificar que tramos son necesarios desdoblar para el cruce de trenes y que tramos pudieran estar en vía simple sin impactar los servicios de pasajeros

Figura 10: Escenario día completo 1. Malla completa.

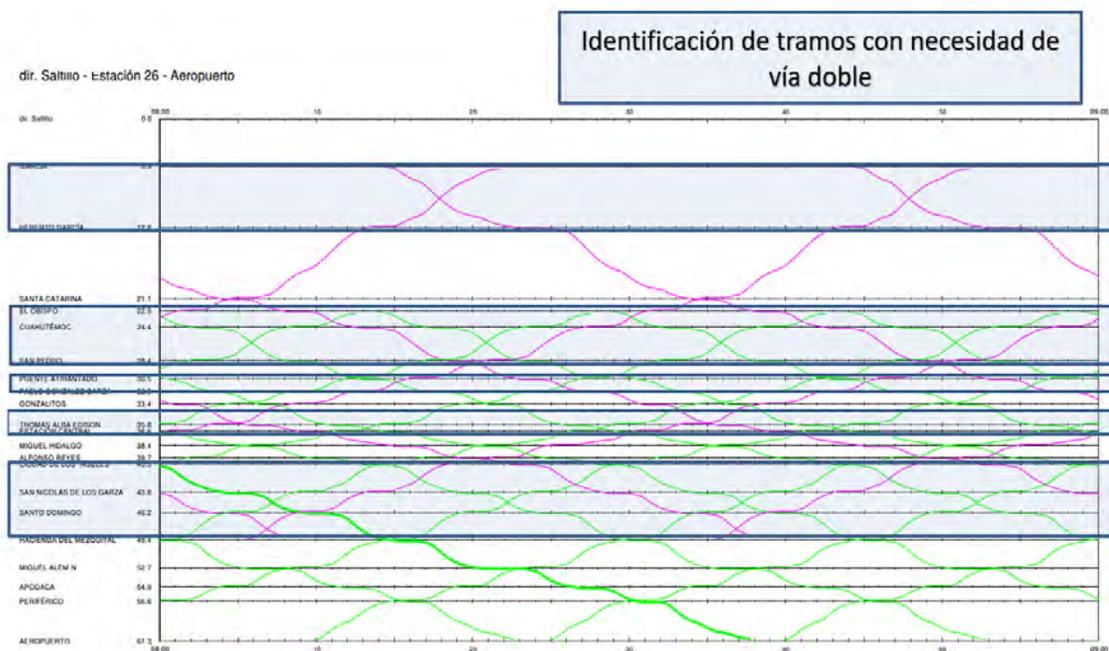


Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Una vez que los servicios de pasajeros se muestran correctamente cadenciados, se observa cuáles son los puntos de cruces.

Estos se pueden observar en la siguiente figura donde se identifican las necesidades de desdoble para los servicios planteados.

Figura 11: Escenario de día completo 1. Identificación de tramos con necesidad de vía doble.



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

### **Conclusiones:**

De la presente malla se obtiene una serie de puntos de cruces que resultan necesarios desdoblarse para evitar afecciones entre servicios de pasajeros.

Una vez definidos el esquema de vía, se realizan simulaciones definiendo cartas de vía e incorporando los servicios de mercancías.

- **Escenario día completo 2: Solo pasajeros. Tiempo de parada 30 segundos.**

En este segundo escenario de día completo se tienen las siguientes consideraciones de explotación:

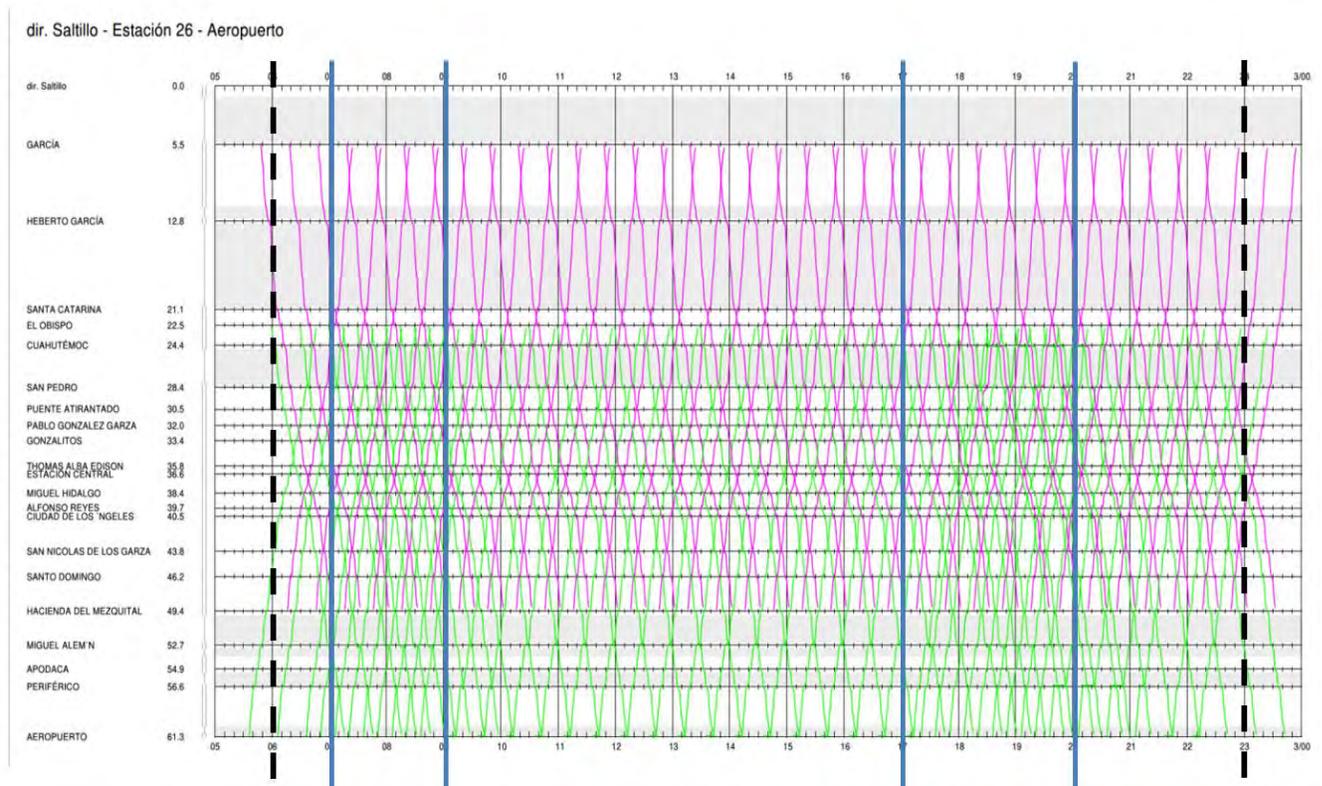
- Explotación: Servicios de pasajeros
- Tiempo de parada en estación de 30 segundos.

El horario propuesto para el cálculo de la flota es el siguiente:

- **Hora Pico:** 7:00 – 9:00 y 17:00 – 20:00
- **Hora Valle:** 6:00 -7:00 ; 9:00 – 17:00 y 20:00 -23:00
- **Cartas de vía:** En estas fases las cartas de vías sufren pequeñas modificaciones. Para una precisa interpretación de la misma se detallan los tramos en vía única y vía simple en el margen izquierdo de la malla y se realiza una propuesta de tramificación de la red con tramos en vía simple y vía doble.

El objetivo es mantener la cadencia de los servicios de pasajeros con unas cartas de vía modificada con el menor desdoblamiento posible de la red. Identificar y comprender los conflictos que se produzcan en la malla.

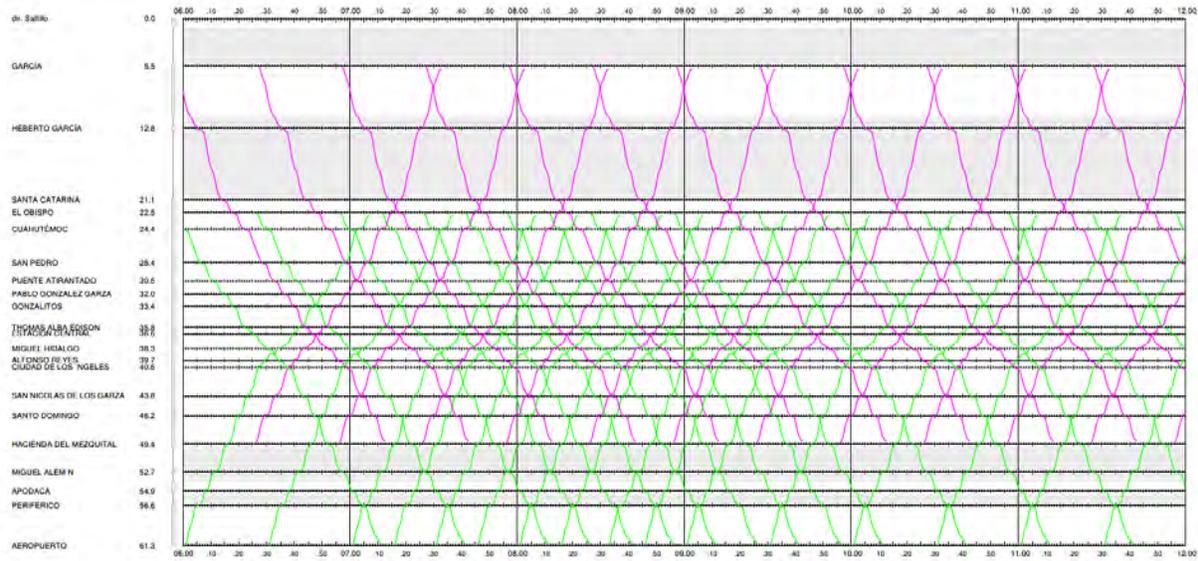
Figura 12: Escenario día completo 2. Malla completa.



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Figura 13: HP y HV de la mañana.

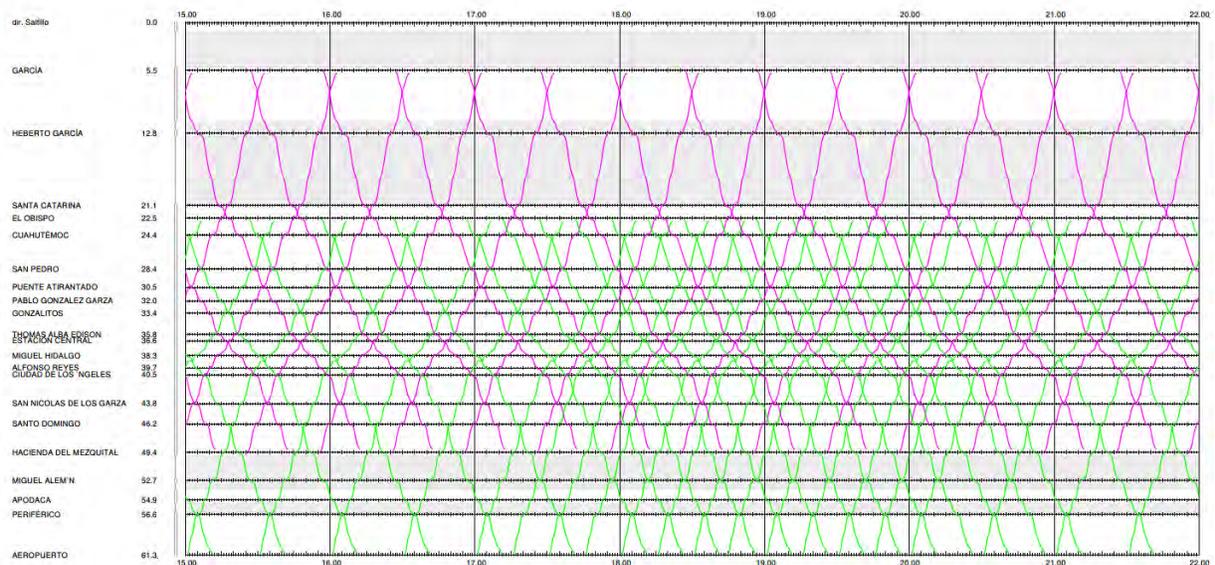
dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Figura 14: HP y HV de la tarde

dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

- **Escenario día completo 3: Pasajeros y mercancías cortos. Tp=30 segundos.**

En este segundo escenario de día completo se tienen las siguientes consideraciones de explotación:

- Explotación: Servicios de pasajeros + mercancías cortos (Surcos en HV y Hp)
- Tiempo de parada en estación de 30 segundos.

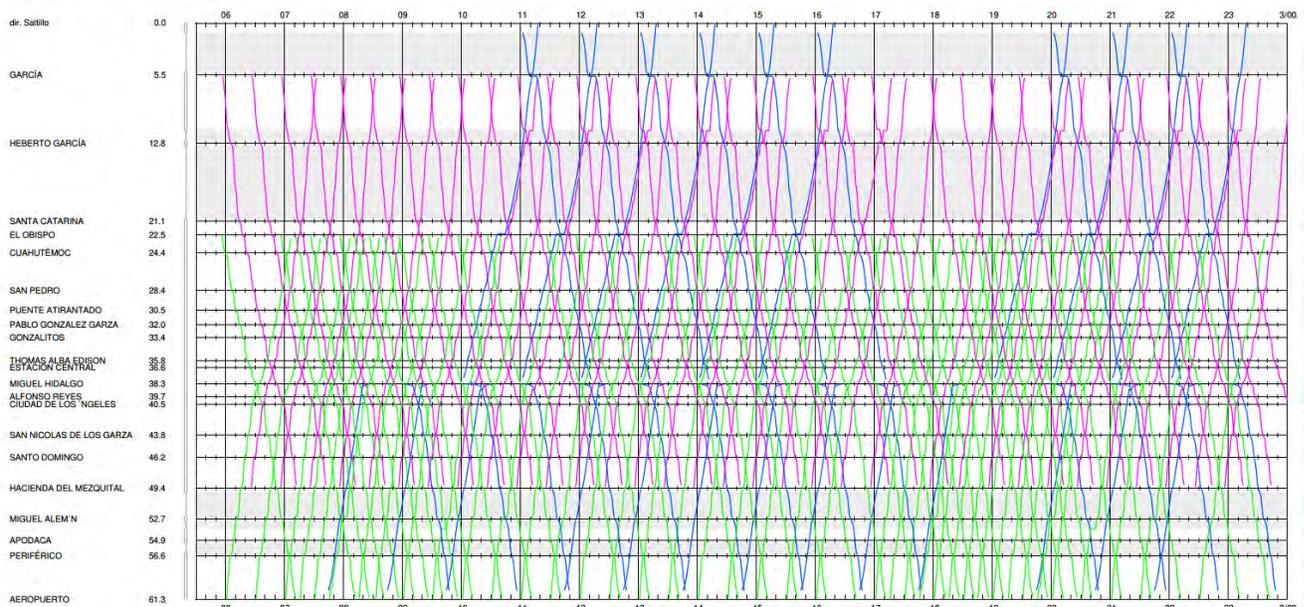
El horario propuesto para el cálculo de la flota es el siguiente:

- **Hora Pico:** 7:00 – 9:00 y 17:00 – 20:00
- **Hora Valle:** 6:00 -7:00 ; 9:00 – 17:00 y 20:00 -23:00
- **Cartas de vía:** En estas fases las cartas de vías sufren pequeñas modificaciones. Para una precisa interpretación de la misma se detallan los tramos en vía única y vía simple en el margen izquierdo de la malla y se realiza una propuesta de tramificación de la red con tramos en vía simple y vía doble.

El objetivo es mantener la cadencia de los servicios de pasajeros con unas cartas de vía modificada con el menor desdoblamiento posible de la red. Identificar y comprender los conflictos que se produzcan en la malla.

Figura 15: Escenario día completo 3. Malla completa

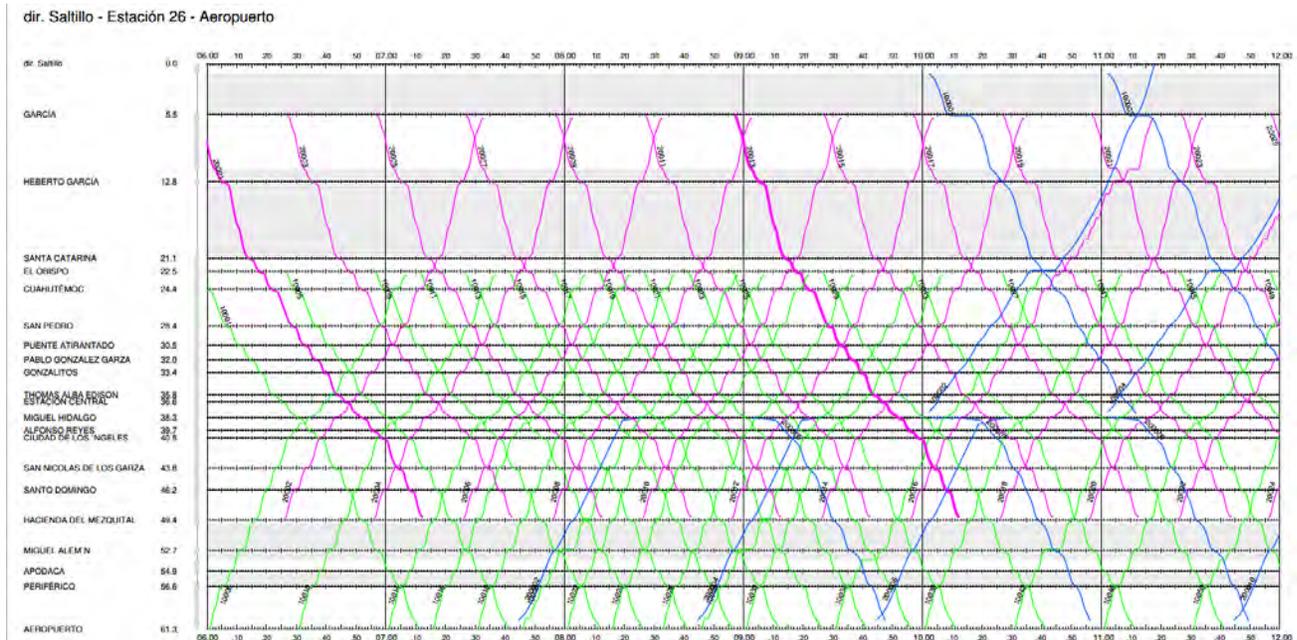
dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.



Figura 16: Escenario día completo 3. HP y HV mañana



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

En el presente escenario hay compatibilidad entre los servicios de pasajeros y trenes cortos de mercancía tanto en las franjas de Hora Pico como Hora Valle. Es necesario que los trenes de mercancías dispongan de equipamientos de señalización embarcada compatible con ERTMS Nivel 2.

El tramo de mayor longitud en vía única se encuentra entre la estación de Heberto Garcia y Santa Catarina produciendo el tren de mercancías un retraso en el tren de pasajeros. Se recomienda incluir un apartadero de trenes de mercancías en este tramo que permita el rebase por parte de los servicios de pasajeros.

- **Escenario día completo 4: Pasajeros y  $tp=30s$ . Mercancías (largos en HV y cortos en HP).**

En este último escenario de día completo se tienen las siguientes consideraciones de explotación:

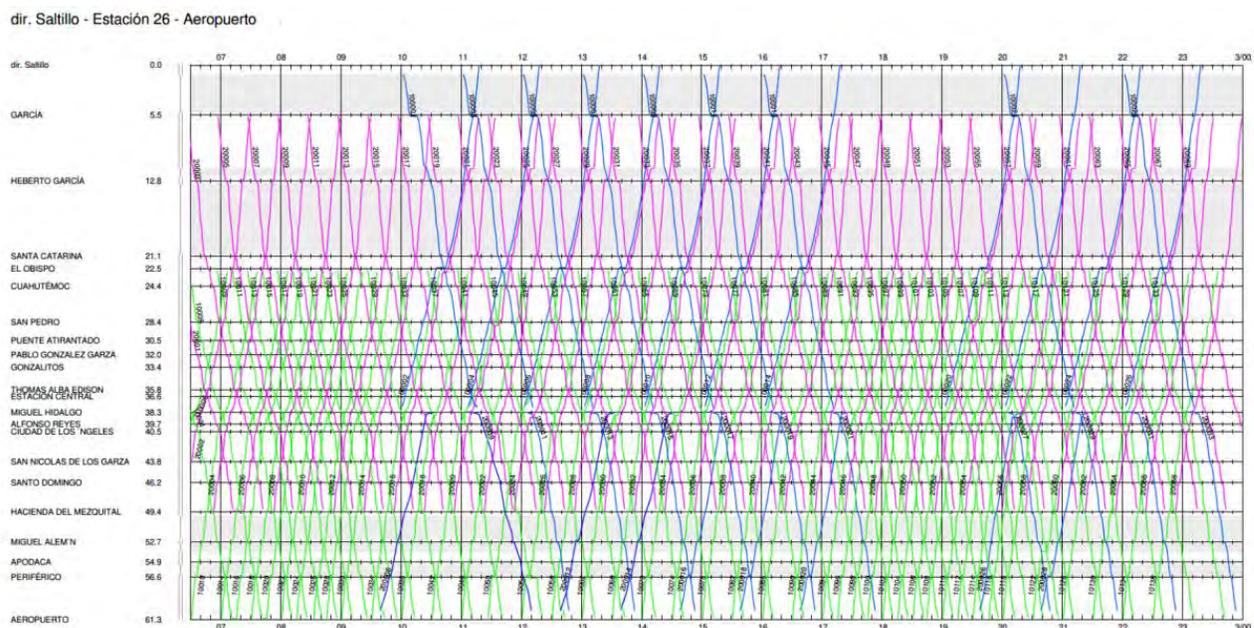
- Explotación: Servicios de pasajeros + mercancías cortos y largos (Surcos en HV y Hp)
- Tiempo de parada en estación de 30 segundos.

El horario propuesto para el cálculo de la flota es el siguiente:

- **Hora Pico:** 7:00 – 9:00 y 17:00 – 20:00
- **Hora Valle:** 6:00 -7:00 ; 9:00 – 17:00 y 20:00 -23:00
- **Cartas de vía:** mismas cartas de vía que en escenario de día completo 3 (escenario anterior).

El objetivo es la de analizar la posibilidad de mantener las cadencias de los servicios de pasajeros con la incorporación de trenes de mercancías en HP y HV manteniendo el menor desdoblamiento posible de la red. Identificar y comprender los conflictos que se produzcan en la malla.

Figura 17: Escenario día 4. Malla completa.



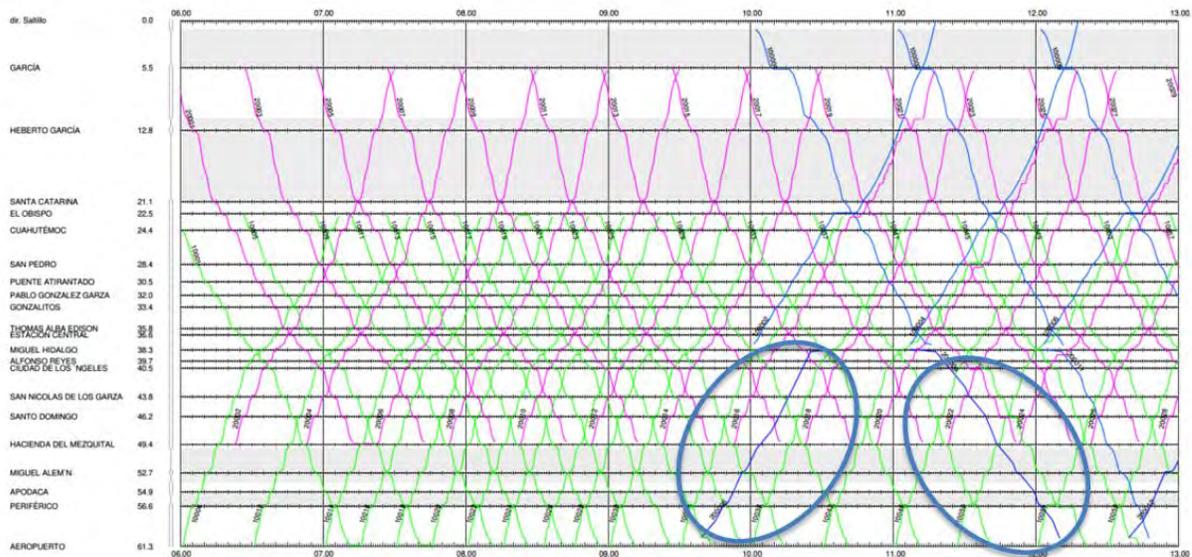
Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

A continuación, se reflejan las mallas con mayor grado de detalle.

Figura 18: HP y HV mañana

### HP y HV de mañana

dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto

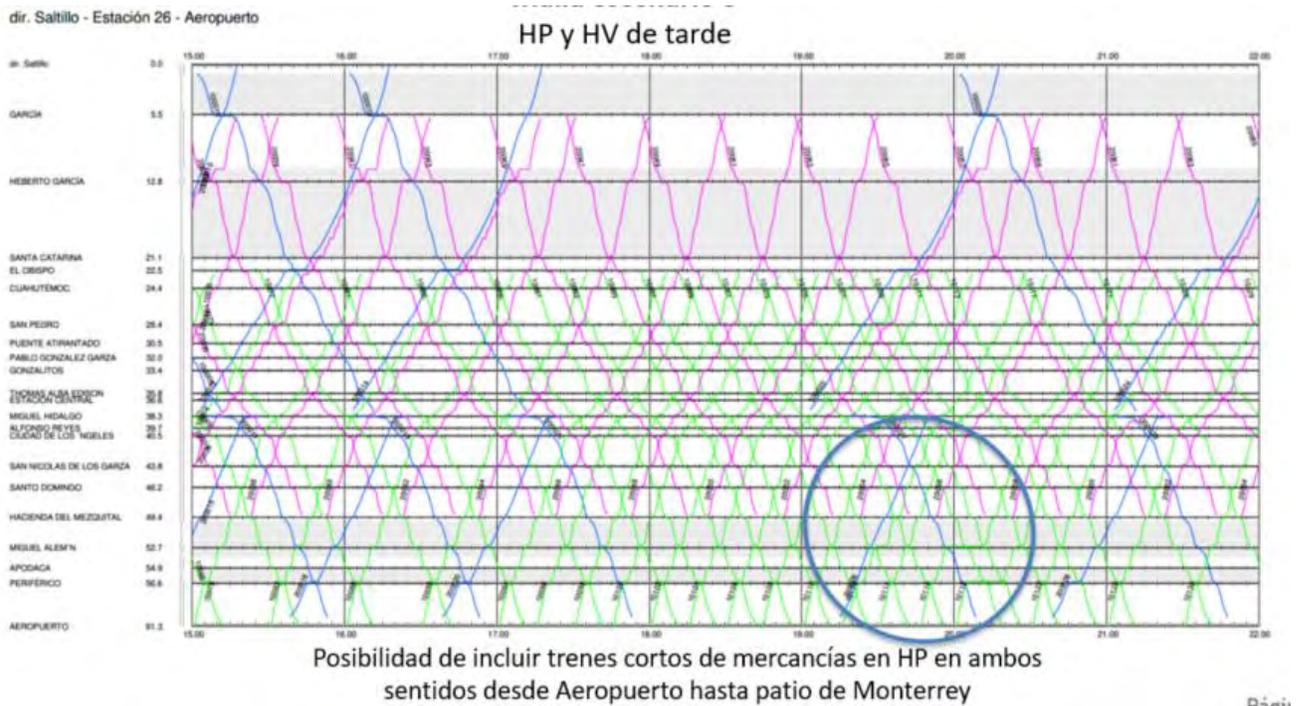


Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

En la malla anterior se observa la posibilidad de incluir trenes largos de mercancías en la Hora Valle en ambos sentidos desde el Aeropuerto hasta el Patio de Monterrey. No resulta compatible la circulación de trenes largo de mercancías en el tramo que comprende desde Patio de carga Monterrey hasta la estación García (dirección Saltillo).

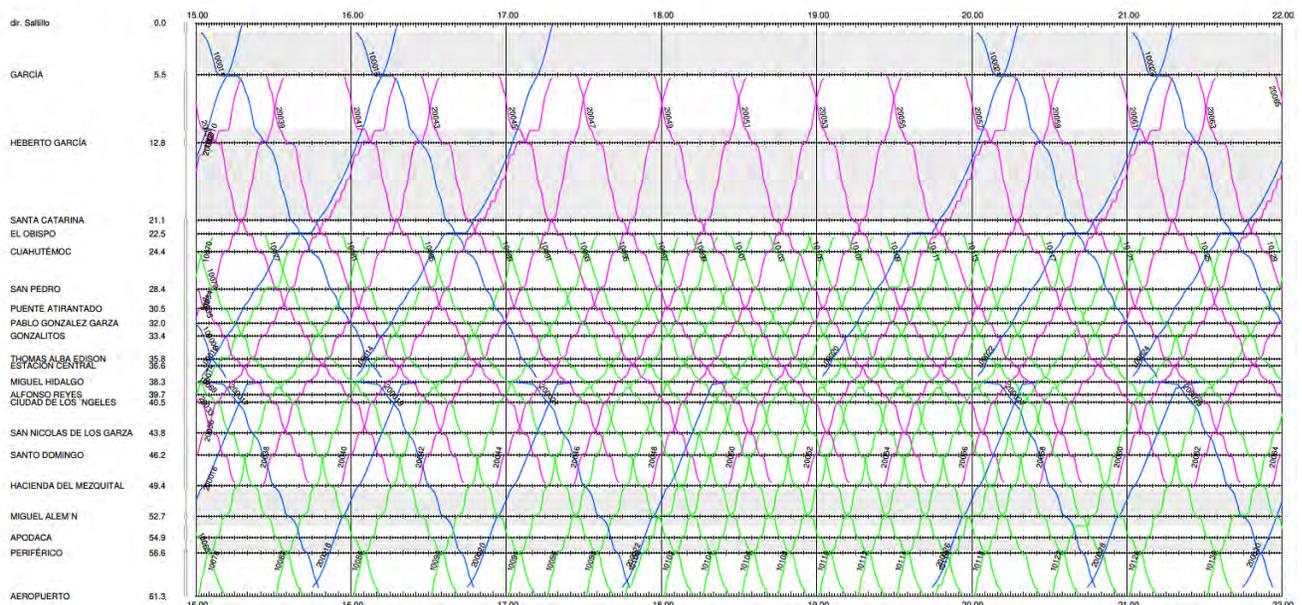
Se propone el uso del libramiento existente al norte de la ciudad para este tipo de circulaciones y mantener los servicios cortos de mercancías en estos tramos, dando servicio a las distintas industrias existentes en la zona.

Figura 19: Escenario día completo 3.HP y HV de la tarde



De la malla anterior se obtiene la posibilidad de incluir trenes cortos de mercancías en la Hora Punta de la tarde en ambos sentidos desde el aeropuerto hasta el Patio Monterrey.

dir. Saltillo - Estación 26 - Aeropuerto



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

A lo largo del horario comercial se encuentra hay posibilidad de incluir trenes cortos de mercancías en HP en ambos sentidos desde Aeropuerto hasta patio de Monterrey sin producir interferencia en la oferta comercial de servicios de pasajeros.

## 1.2 RELACIÓN DE ANÁLISIS DE ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS

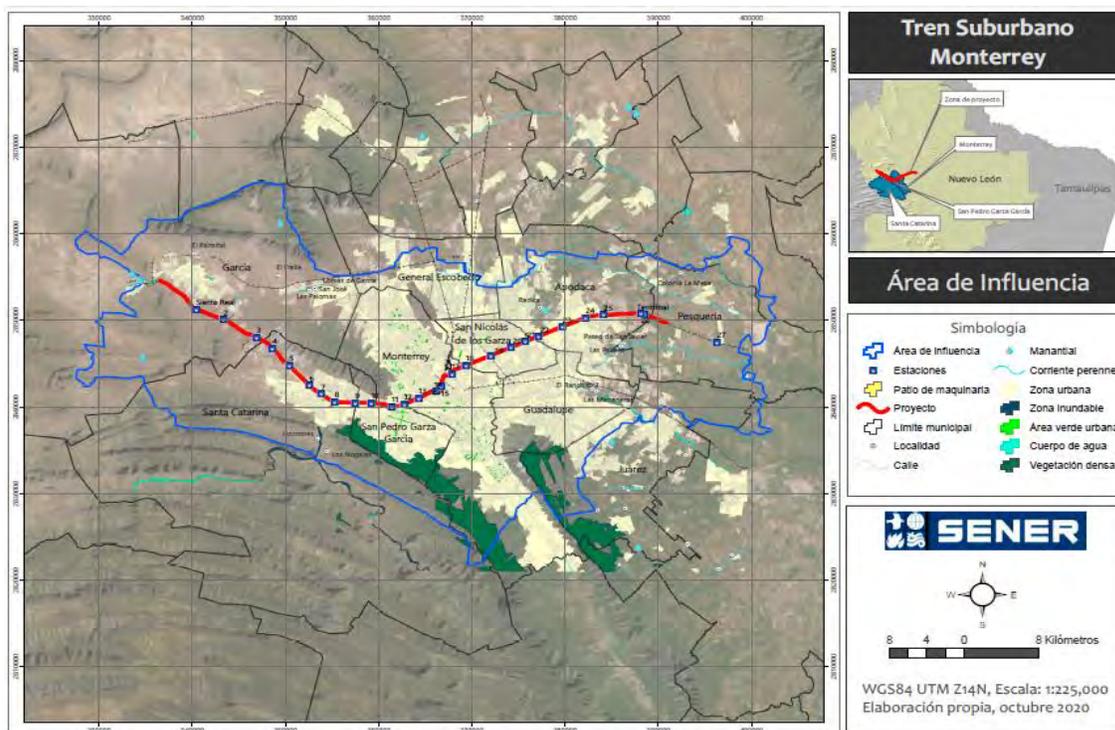
### 1.2.1 FACTIBILIDAD AMBIENTAL PARA LA REALIZACIÓN DE UN TREN SUBURBANO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

#### 1.2.1.1 DELIMITACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

En el presente documento se propone la delimitación de un área de influencia, con la finalidad de evaluar la viabilidad jurídica y ambiental del proyecto, contemplando en el análisis, las variables ambientales de la zona que posiblemente se verán afectadas por el proyecto, así como las restricciones de los instrumentos jurídico-ambientales que le aplican.

Algunas otras temáticas a escalas semi-detalladas se descartaron, como la geología y los suelos, ya que su representatividad va más allá de los alcances o impactos que pudiera tener el proyecto.

Figura 20 “Área de influencia para valorar la viabilidad jurídica y ambiental del proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Para la delimitación del área de influencia se utilizaron las microcuencas, así como las políticas de ordenamiento ecológico de la Cuenca de Burgos, en la Figura 1 se observa el área de influencia de proyecto.

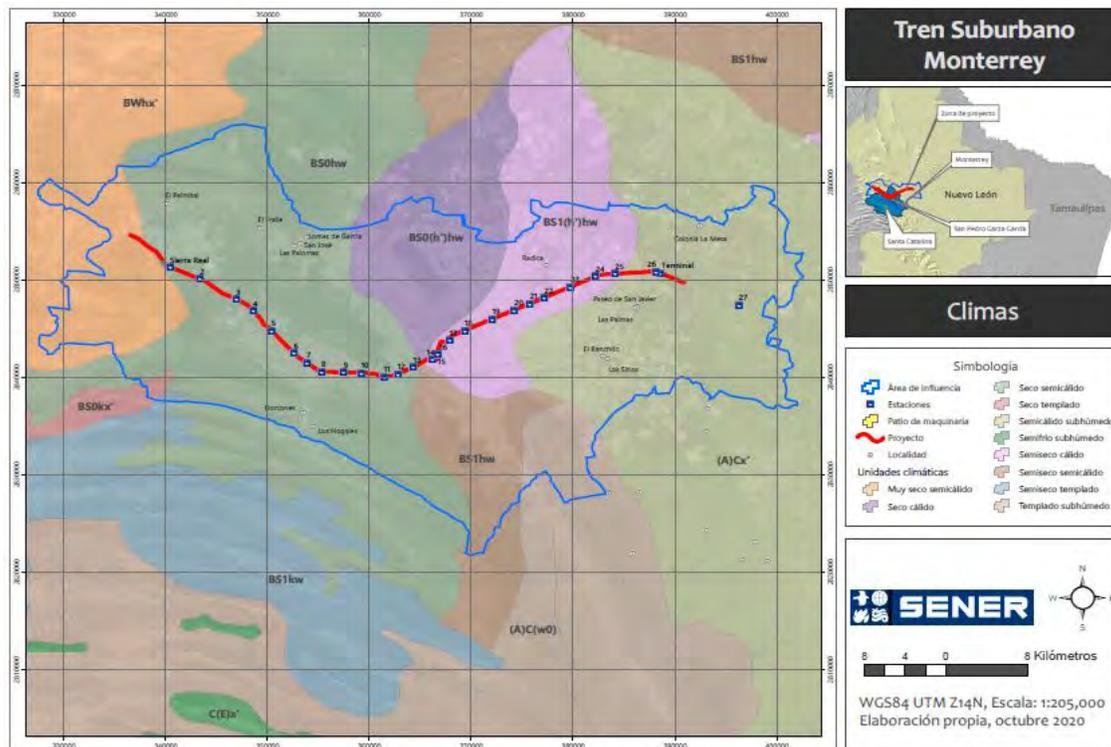
### Climas

El 68% del estado de Nuevo León presenta clima seco y semiseco, el 20% cálido subhúmedo se encuentra en la región perteneciente a la llanura costera del Golfo norte, el 7 % es templado subhúmedo y se localiza en las partes altas de las sierras y el restante 5% presenta clima muy seco hacia la Sierra madre Occidental.

El clima específico para de la zona de estudio se presenta en la siguiente figura y tabla:



Figura 21 “Clima en el área de influencia del proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Tabla 3. Clima presente en la zona del proyecto.

Clima	Clave Climatológica	Temperatura	Precipitación
Árido	BSohw	Árido, semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Muy árido	BWhw	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semiárido	BS1(h)w	Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

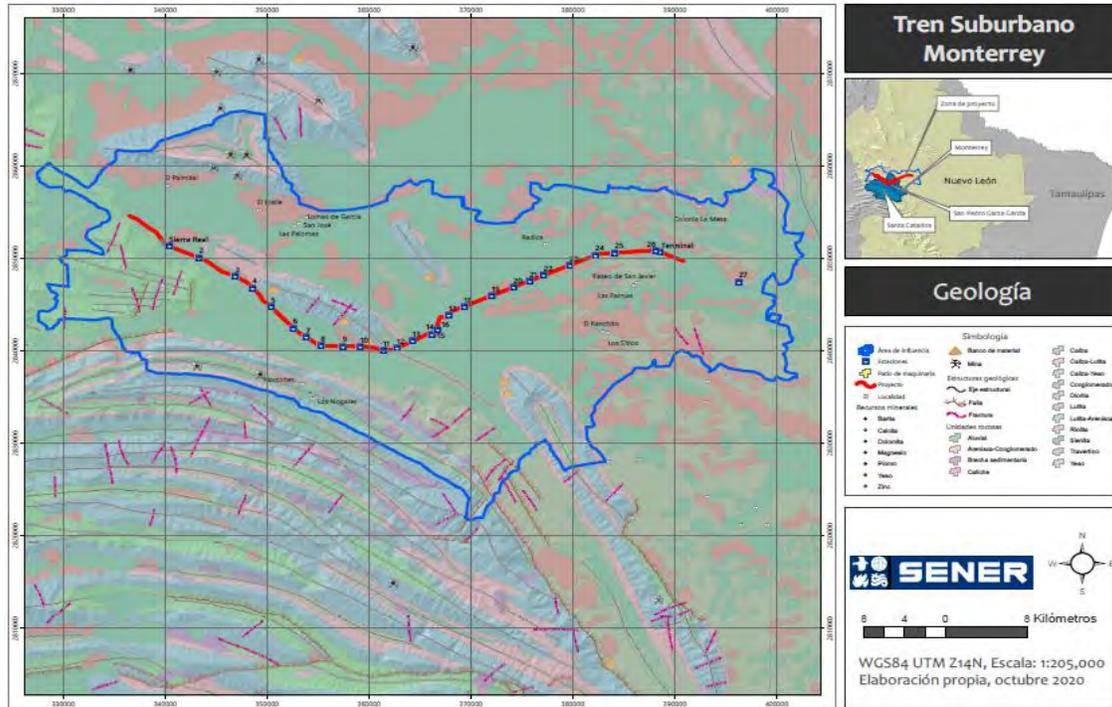
Clima	Clave Climatológica	Temperatura	Precipitación
Semiárido	BS1hw	Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semicálido	(A)C(wo)x'	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual.

Fuente: SIGEIA, 2020.

## Geología

La gran mayoría del trazo del proyecto se encuentra sobre sedimentos cretácicos, representados por afloramientos de caliza, lutitas y asociaciones de lutitas-areniscas.

Figura 22 “Geología del área de influencia del proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

Tabla 4. Características geológicas en la zona del proyecto.

Era geológica	Clase	Periodo	Tipo de roca	Clave geológica
Mesozoico	Sedimentaria	Cretácico inferior	Caliza	Ki(cz)
Mesozoico	Sedimentaria	Cretácico superior	Lutita	Ks(lu)
Mesozoico	Sedimentaria	Cretácico superior	Lutita-Arenisca	Ks(lu-ar)
Cenozoico	N/A	N/A	N/A	Q(s)

Fuente: SIGEIA, 2020.

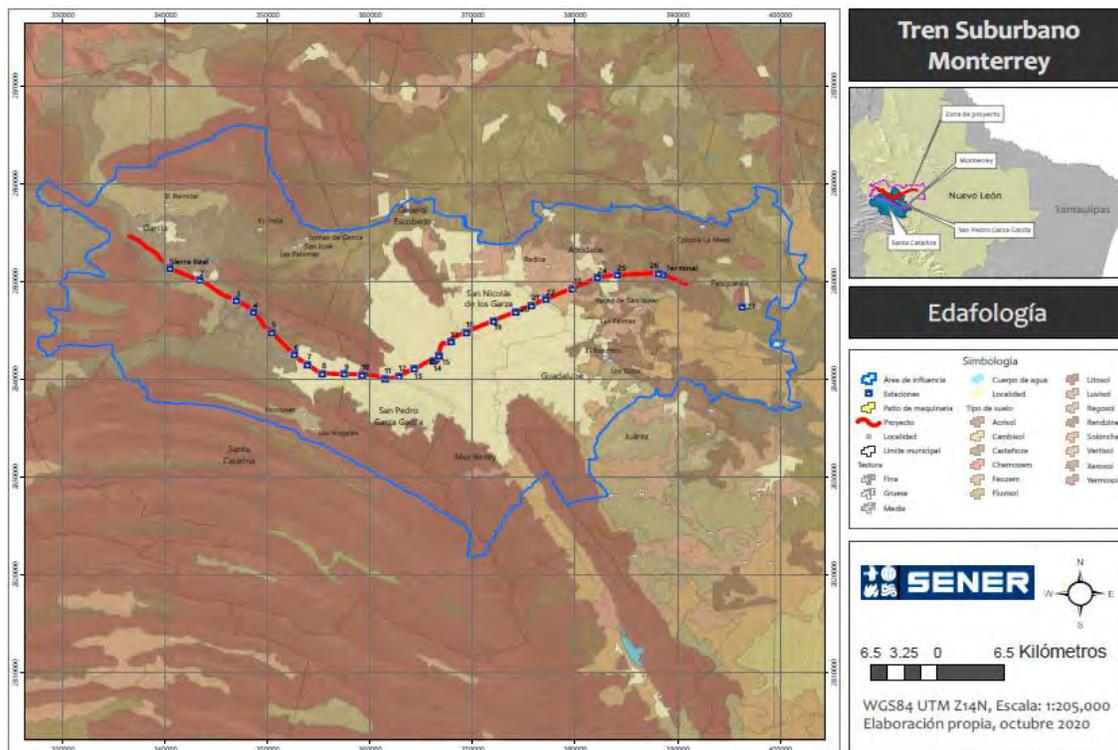
## Suelo

En general, los suelos que predominan en la subprovincia son los vertisoles, los cuales son profundos y de color oscuro. Sin embargo, la diversidad de asociaciones en que se encuentran hace necesario destacar la presencia de otros tipos de suelo, que adquieren importancia en los diversos sistemas de topoformas.

Así, en los alrededores de la sierra de las Mitras se presenta una asociación de rendzinas con litosol, suelos someros limitados por caliche, es decir, por una fase petrocálcica. Otras asociaciones dignas de consideración son las de regosoles, que se encuentran en el pequeño lomerío cercano a Linares, en los lomeríos suaves con bajadas, próximos al límite con la Sierra Madre Oriental; y en los lomeríos suaves con llanuras que forman la mayor parte de la subprovincia. En este último sistema de topoformas hay también asociaciones de suelos dominadas por rendzinas y por xerosoles háplicos, calcicos y lúvicos, profundos y de color claro (INEGI, 1986).

El Proyecto se ubica principalmente sobre suelos de tipo xerosol y rendzina.

Figura 23 “Edafología en el área de influencia del Proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

## Orografía

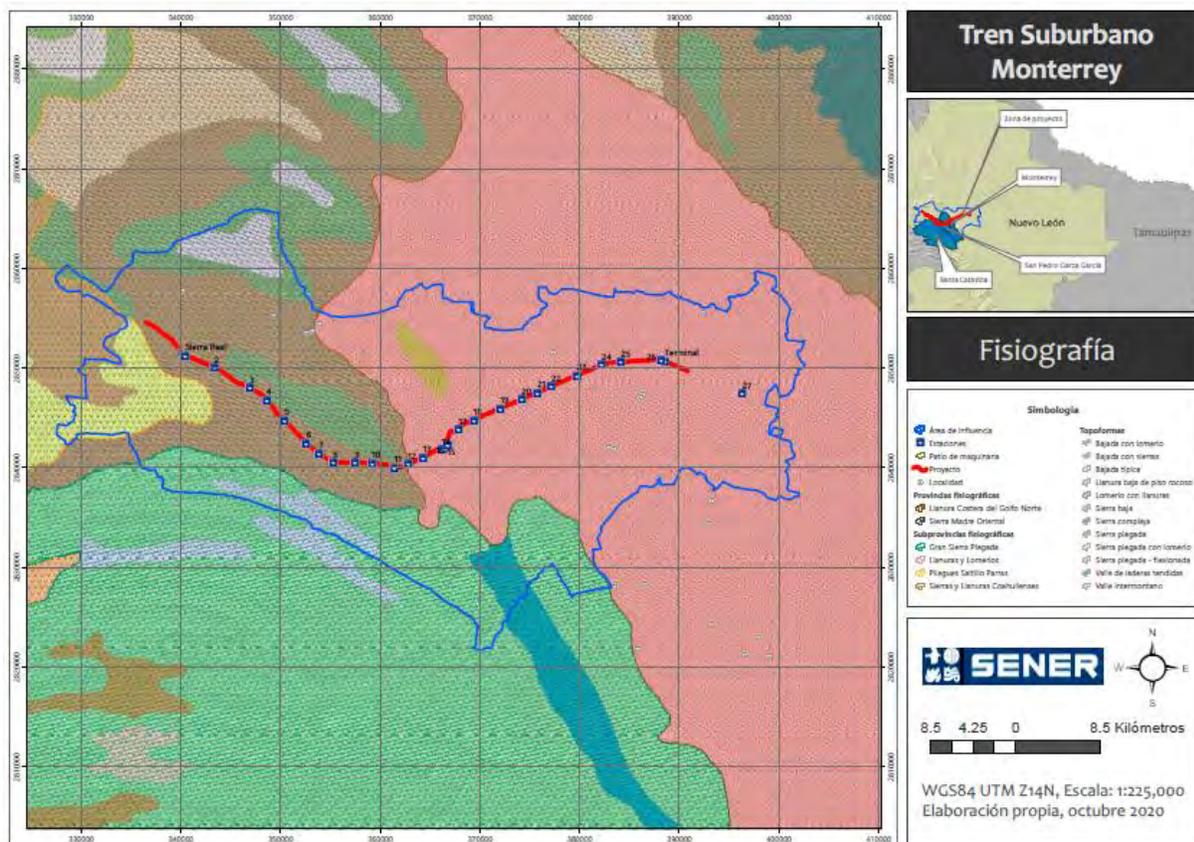
El relieve del estado de Nuevo León está conformado al norte por una inmensa llanura interrumpida por sierras y lomeríos; por el centro es atravesado por la Sierra Madre Oriental la cual forma un gran arco al sur de Monterrey; y al sur está el altiplano.

Los lomeríos cubren el 42.84% de la superficie del estado, seguidos por las sierras que cubren el 25.13%, las llanuras el 17.36%, las bajadas el 12.71% y por último los valles el 1.96%.

La superficie estatal forma parte de las provincias fisiográficas: “Sierra Madre Oriental”, “Grandes Llanuras de Norteamérica” y “Llanura Costera del Golfo Norte”. La zona del Proyecto se ubica principalmente sobre lomerío con llanuras y bajada con lomerío.



Figura 24 “Fisiografía en la zona del Proyecto y su área de influencia”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

## Hidrología

Las aguas superficiales del estado de Nuevo León están distribuidas en cuatro regiones hidrológicas: RH24 “Bravo-Conchos”, RH25 “San Fernando-Soto la Marina”, RH26 “Pánuco” y RH37 “El Salado”.

En específico la zona del proyecto se encuentra en la RH24, cuenca Río Bravo-San Juan.

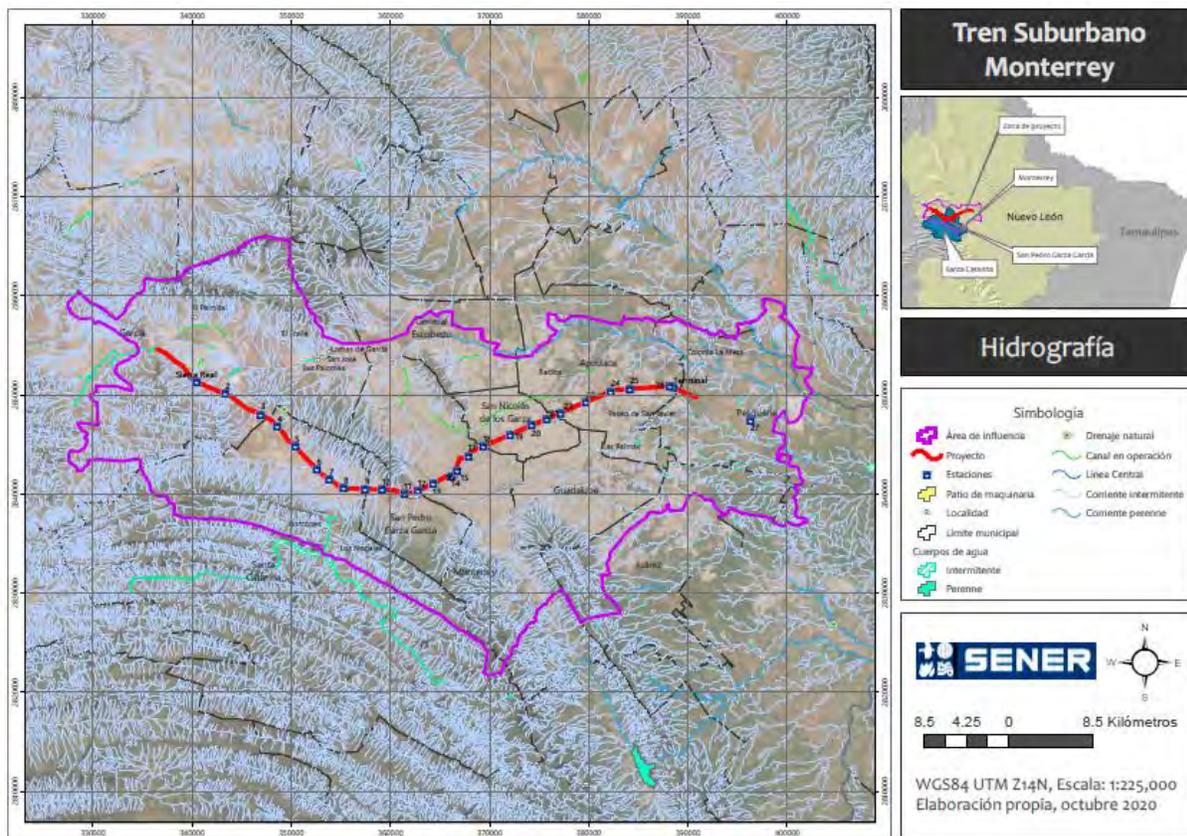
La región hidrológica RH24 “Bravo-Conchos” cubre el 59.37% de la superficie estatal, drenando las aguas del centro-norte de la entidad hacia el río Bravo para verter finalmente sus aguas al Golfo de México. Las cinco cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río Bravo-San Juan

(30.9%), Presa Falcón-Río Salado (21%), Río Bravo-Sosa (5.88%), Río Bravo-Nuevo Laredo (2.45%) y Río Bravo-Matamoros-Reynosa (1.59%).

El Río Bravo nace en las montañas de San Joaquín en el estado de Colorado, Estados Unidos, con el nombre de Río Grande; tiene una extensión de 3,034 km y marca el límite entre los Estados Unidos de América y México, en la porción que corresponde entre Ciudad Juárez y su desembocadura en el Golfo de México.

El río San Juan nace en el Arroyo la Chueca en Nuevo León y desemboca en el Río Bravo en Tamaulipas. Es el más importante del estado de Nuevo León ya que abastece a la Presa El Cuchillo, construida para llevar agua al Área Metropolitana de Monterrey.

Figura 25 “Hidrología en el área de influencia del Proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020.

## Fauna

El Estado de Nuevo León ocupa el puesto 18 entre los 32 estados a nivel nacional en cuanto a biodiversidad de fauna silvestre. El inventario de fauna silvestre de la entidad a abril de 2015 era de 2,351 especies: 1,541 especies de invertebrados y 810 especies de vertebrados (128 especies de mamíferos, 523 de aves, 23 de anfibios, 93 reptiles y 43 de peces).

En esta entidad, está representada casi el 47% de la avifauna que habita en México; el 26% de las especies de mamíferos voladores y el 24% de los mamíferos terrestres presentes en el territorio nacional.

De las especies que presentan algún estatus de conservación en la NOM-059-SEMARNAT-2010, ya sea por estar probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial, hay: 19 mamíferos, 8 anfibios, 43 reptiles y 32 aves.

Dentro de las especies de mamíferos presentes en la entidad, están: oso negro, perrito llanero mexicano, ardilla de Nuevo León, pecarí de collar, cacomixtle norteño, jabalí europeo, lince americano, ratón de patas blancas, murciélago desértico norteño, ardillón punteado, castor americano, venado bura, tuza norteña y zorrillo listado sureño, entre muchas otras.

Dentro de las especies de aves presentes en la entidad están: aguililla cola roja, paloma ala blanca, garza morena, colibrí pico ancho, gorrión casero, carpintero mexicano, águila pescadora, alcaudón verdugo, mirlo pardo, chachalaca vetula, garza ganadera, urraca americana verde, tecolote bajeño, tordo sargento, pato real, cuervo llanero y perico mexicano, entre muchas más.

Dentro de las especies de anfibios presentes en la entidad están: sapo nebuloso, rana leopardo, sapo texano, salamandra pie plano primitiva, tlaconete de Galeana, ajolote tigre rayado, sirén menor y rana de bigotes, entre otras.

Dentro de las especies de reptiles presentes en la entidad están: cascabel de cola negra, tortuga del desierto de Tamaulipas, lagartija espinosa menor, chirrionera

roja, cascabel de diamantes, tapayatxin, lagartija cornuda texana, culebra real moteada, eslizón chato, gotacoral, lagartija de las peñas, culebra real potosina y huico liso del altiplano, entre otras.

Por otra parte, el trazo del proyecto se encuentra rodeado por Áreas Naturales Protegidas de competencia federal (dos) y estatal (cinco), por lo que la fauna será abundante; sin embargo, al no incidir en ninguna de estas áreas, estar planeado en zonas urbanizadas y en gran parte trabajar con la vía ya existente, no se considera que el desarrollo del Proyecto pueda causar impacto sobre la fauna, ya que además para este tipo de proyectos, deben emplearse una serie de medidas de prevención y mitigación encaminadas a resguardar la fauna del sitio.

### **Tipos de vegetación y asociaciones vegetales**

La superficie estatal está cubierta en un 51.8% por matorral, el 30.6% son zonas agrícolas, el 10.8% por bosque, el 4% por mezquital, el 2.4% por pastizal y el 0.4% restante por chaparral.

Los matorrales se encuentran por toda la entidad, pero principalmente al suroeste y noroeste del territorio estatal. Predomina la vegetación de matorral submontano, matorral espinoso, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo. Las principales especies presentes son: fresno, anacahuita, cenizo, huizache y lechuguilla.

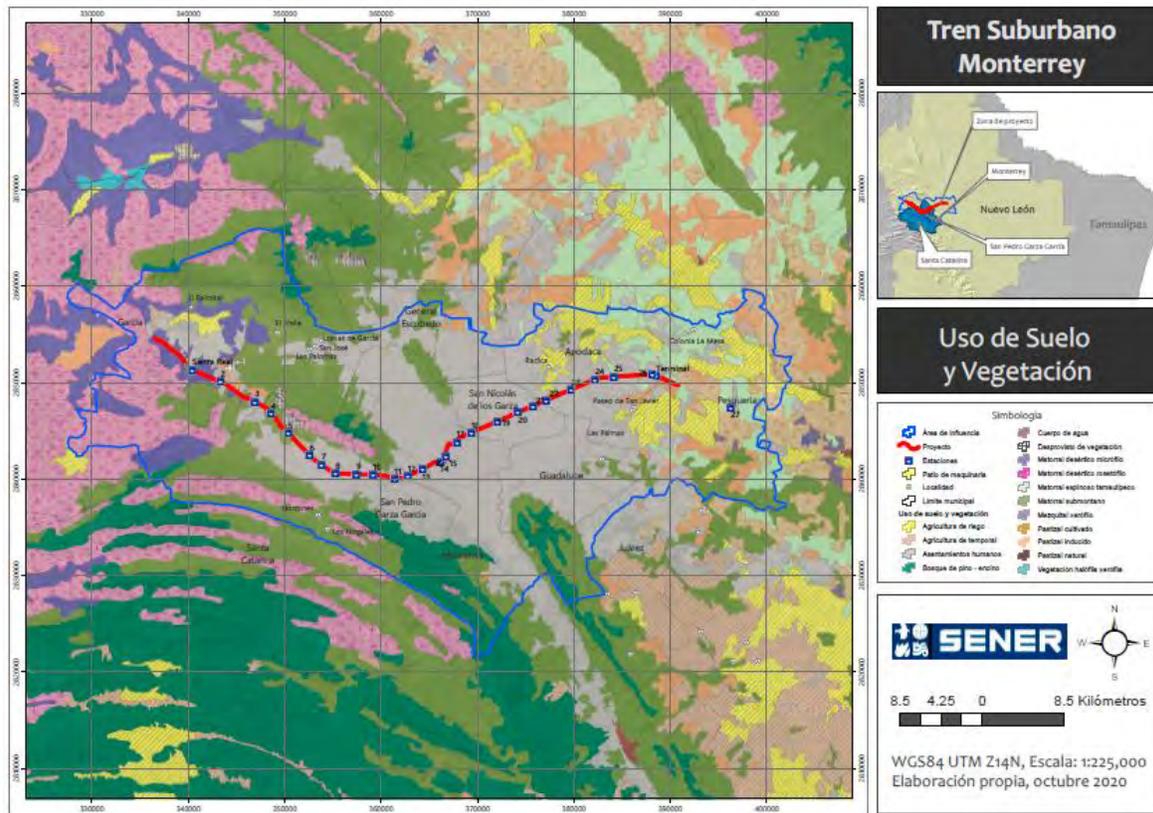
Los bosques se ubican sobre la Gran Sierra Plegada; predominan la vegetación de coníferas y encinos. Las principales especies presentes son: pino chino, pino lacio, encino prieto y encino blanco.

El mezquital se halla disperso sobre la Llanura Costera del Golfo y las Grandes Llanuras de Norteamérica. Las principales especies presentes son: mezquite, gavia, orégano, barreta y granjeno.

Las principales especies presentes de pastizal son buffel y navajita de yeso; en cuanto al chaparral, las principales especies presentes son: cedro, manzanita y charrasquillo.

El trazo del proyecto se localiza principalmente sobre asentamientos humanos y en menor porción sobre matorral desértico micrófilo, matorral submontano, pastizal inducido y matorral espinoso tamaulipeco.

Figura 26 “Uso de Suelo y Vegetación en el área de influencia del Proyecto”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### 1.2.1.2 DICTAMEN DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL

A manera de resumen en la siguiente tabla se muestra el listado de instrumentos jurídicos ambientales que se vinculan con el proyecto, así como su viabilidad.

Tabla 5. Resumen de los instrumentos de política ambiental que se vinculan con el proyecto.

INSTRUMENTO	ESPECIFICACIÓN	TRAZO DEL PROYECTO	ÁREA DE INFLUENCIA	VIABILIDAD DEL PROYECTO
Leyes, Reglamentos y Normas				
Leyes y Reglamentos	LGEEPA y su reglamento, Ley General de Vida Silvestre, LGPGIR y su reglamento, Ley General de Desarrollo forestal Sustentable y su reglamento, Ley Ambiental	Sí	Sí	En concordancia

INSTRUMENTO	ESPECIFICACIÓN	TRAZO DEL PROYECTO	ÁREA DE INFLUENCIA	VIABILIDAD DEL PROYECTO
	del estado de Nuevo León y su reglamento			
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Ambientales Estatales	NOM-080-SEMARNAT-1994, NOM-011-STPS-2001, NOM-017-STPS-2008, NOM-059-SEMARNAT-2010, NOM-041-SEMARNAT-2015, NOM-052-SEMARNAT-2005 y NAE-SDS-002-2019	Sí	Sí	En concordancia
Programas de Ordenamiento Ecológico				
POEGT	UAB 111, 26 y 36	Sí	Sí	Es congruente
POERCB	UGA 143, 620, 591, 302, 213, 561, 129, 99, 621	Sí	Sí	Es congruente
Planes de Desarrollo Urbano				
Plan Estatal de Desarrollo de Nuevo León 2016-2021	--	Sí	Sí	En concordancia
Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey 2013-2025	No se permite ningún tipo de construcción en zonas con uso de "espacios abiertos". Estaciones E15, E16 y E18 están planeadas en estas zonas.	Sí	Sí	Prohibitivo. Se recomienda que, en caso de que las estaciones se construyan rebasando el DDV existente, sean rediseñadas fuera de estas zonas.
Plan Municipal de Desarrollo Urbano Apodaca 2020	--	Sí	Sí	En concordancia
Plan Municipal de Desarrollo San Nicolás de los Garza, Nuevo León 2018-2021	--	Sí	Sí	En concordancia
Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza	La zona donde se ubica la Estación E10 es incompatible con el uso de suelo destinado para	Sí	Sí	Restrictivo. Se recomienda mantener en el Proyecto la

INSTRUMENTO	ESPECIFICACIÓN	TRAZO DEL PROYECTO	ÁREA DE INFLUENCIA	VIABILIDAD DEL PROYECTO
García, Nuevo León. 2030	TERMINAL DE FERROCARRILES, por lo que resultaría incompatible con el proyecto, si es que la estación ahí ubicada (E10) resultara ser una Terminal.			propuesta de que sea únicamente una estación y no una Terminal
Programa Municipal de Desarrollo Urbano 2014-2030 Santa Catarina, Nuevo León	--	Sí	Sí	En concordancia
Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de García, Nuevo León 2012-2015	--	Sí	Sí	En concordancia
Plan Municipal de Desarrollo de Pesquería, Nuevo León 2018-2021	--	No	Sí	En concordancia
Áreas Naturales Protegidas (ANP's)				
Cerro de la Silla	--	No	Sí	Viable
Parque Nacional Cumbres de Monterrey	--	No	Sí	Viable
Parque Lineal del Río Santa Catarina	--	No	Sí	Viable
Sierra Las Mitras	--	No	Sí	Viable
Sierra El Fraile y San Miguel	--	No	Sí	Viable
Cerro La Mota	--	No	Sí	Viable
Cerro El Topo	--	No	Sí	Viable
Áreas de Importancia Biológica				
Región Hidrológica prioritaria	"Río San Juan y Río Pesquería"	Sí	Sí	Viable
Región Terrestre Prioritaria	El Potosí-Cumbres de Monterrey	No	Sí	Viable

INSTRUMENTO	ESPECIFICACIÓN	TRAZO DEL PROYECTO	ÁREA DE INFLUENCIA	VIABILIDAD DEL PROYECTO
Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves	Sierra de Arteaga	No	Sí	Viable

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

El Proyecto, como se describe en este documento, se deberá someter al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, a través de la elaboración de una Manifestación de Impacto Ambiental, modalidad Regional, según los términos que se establecen en la Ley y el Reglamento de la LGEEPA.

Asimismo, será conveniente la realización de programas ambientales y la aplicación de medidas preventivas, de mitigación y compensación que garantice el cumplimiento a los criterios vinculados en este documento, que minimicen el daño ambiental que pudiera ser causado por la realización de la obra.

En materia de cambio de uso de suelo forestal, el Proyecto deberá someterse a un Estudio Técnico Justificativo, según los términos que se establecen en la LGDFS y su Reglamento, toda vez que las estaciones y/o modificaciones proyectadas rebasen el derecho de vía en zonas forestales.

Respecto a la prohibición detectada en el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey 2013-2025, sobre “Espacios Abiertos” donde no se permite ningún tipo de construcción, se recomienda que, las estaciones se reubiquen fuera de estas zonas.

### 1.2.1.3 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Previo al inicio de las obras y actividades, deberá desarrollarse un Plan de Manejo Ambiental que tendrá como objetivo básico establecer un sistema que garantice el cumplimiento de las acciones y medidas de mitigación que se propongan en la Manifestación de Impacto ambiental, además de dar seguimiento a los

impactos identificados para el Proyecto, así como la cuantificación de la eficacia de las medidas preventivas, de mitigación y compensación propuestas y aplicadas. El Plan deberá incluir, según la Guía para la elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, lo siguiente:

- “1. Objetivos y alcances.*
- 2. Fichas técnicas que se utilizarán para dar seguimiento a cada una de las medidas propuestas.*
- 3. Indicadores de seguimiento basados en criterios técnicos y/o ecológicos, medibles y verificables en tiempo y espacio, que permitan medir la eficiencia de las medidas de prevención, mitigación y compensación.*

*El Programa debe estructurarse de lo general a lo particular, indicando el Objetivo general y las Líneas estratégicas, entendiéndose por líneas estratégicas la agrupación de los impactos potenciales de acuerdo a su tipo, o bien al tipo de medida de mitigación. Una estrategia buscará la mitigación de cierto tipo de impactos acumulativos o en ciertas zonas de la región, por lo que se deberá indicar si existen sistemas de mitigación para un impacto o varios, o bien para determinadas zonas vulnerables. Las medidas y acciones de mitigación deben ordenarse por estrategia e indicar el impacto potencial y la(s) medida(s) adoptada(s) en cada una de las fases (en caso de que el proyecto se realice en varios tiempos) del proyecto. Para ello se puede construir una matriz de planeación que al menos indique lo siguiente:*

Tabla 6. Matriz de Planeación.

Línea estratégica:
Etapas del Proyecto:

<i>Impacto al que va dirigida la acción</i>	<i>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</i>	<i>Tiempo en el que se instrumentará o duración</i>	<i>Recursos necesarios: costo, equipos, obras, instrumentos, etc.</i>	<i>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</i>
---	--	---	---	---

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

*En la descripción de cada medida de mitigación, se mencionará el grado en que se estima será mitigado cada impacto adverso, tomando como referencia las normas oficiales mexicanas, normas mexicanas y otros instrumentos normativos existentes para establecer el parámetro o parámetros analizados, así como el estado original de los parámetros ambientales o recursos naturales que se verán afectados. Para lo anterior se utilizarán indicadores ambientales. Seguimiento y control (monitoreo) Se debe incluir una estrategia de seguimiento y control de las medidas de mitigación propuestas cuyo fin sea el asegurar el cumplimiento de las medidas correctivas indicadas. Esta estrategia deberá comprobar el cumplimiento de las medidas y proponer nuevas medidas de mitigación o control en caso de que las previstas resulten insuficientes o inadecuadas. Igualmente, deberá detectar los impactos no previstos en el estudio y adoptar medidas de mitigación pertinentes. Con ello retroalimentará el programa de vigilancia ambiental y éste se ajustará con una nueva matriz de planeación. Para hacer más eficiente el seguimiento y control, el promovente deberá auxiliarse del empleo de indicadores tanto para los impactos, como para sus medidas de mitigación, compensación o restauración.”*

El Plan de Manejo ambiental, además deberá incluir:

- Indicadores para medir el éxito de cada una de las medidas aplicadas
- Acciones de respuesta cuando no se obtengan los resultados esperados una vez aplicadas las medidas.
- Plazos de ejecución para cada una de las acciones y medidas.
- Anexos fotográficos que pongan en evidencia las acciones de la aplicación de las medidas

A manera de ejemplo se presenta la siguiente tabla:

Tabla 7. Plan de manejo ambiental

Aspecto ambiental	Tipo de impacto	Medida Ambiental	Tipo de medida	Indicador	Frecuencia del control	Umbral de alerta	Acciones de respuesta	Plazos de ejecución
Derrames de hidrocarburos (aceites, combustibles, grasas, etc.)	Severo	Construcción o ubicación de un área para el resguardo de la maquinaria en donde las fugas menores puedan ser contenidas y la maquinaria pueda ser inspeccionada y reparada. En caso de requerir el manejo de cantidades de químicos mayor a 200 l, el mantenimiento se realizará fuera del sitio.	Prevención	Construcción de un área con piso de concreto para efectuar las inspecciones y reparaciones menores en la maquinaria.	Mensual	Derrames de hidrocarburos en suelo natural. Reparaciones mayores de maquinaria sin empleo de kit antiderrames.	Colocar barreras físicas (plásticos gruesos, lonas de alta densidad y/o cartones) para impedir que los hidrocarburos contaminen el suelo. Retiro del suelo contaminado para su almacenaje en el Almacén Temporal de Residuos Peligrosos y su posterior disposición.	Previo al inicio de obra, preparación del sitio, construcción
	Severo	Uso de charolas de contención de derrames para el almacenamiento de químicos y de tapetes absorbentes para una rápida recolección de los derrames. Esta medida se ejecutará de manera constante durante la etapa de construcción para el almacenamiento de químicos y residuos peligrosos, y se seguirá aplicando de manera esporádica cuando se realicen actividades de	Prevención	Uso de charolas de contención de derrames y tapetes absorbentes.	Mensual	Derrames de hidrocarburos en suelo natural.	Colocar barreras físicas (plásticos gruesos, lonas de alta densidad y/o cartones) para impedir que los hidrocarburos contaminen el suelo. Retiro del suelo contaminado para su almacenaje en el Almacén Temporal de Residuos Peligrosos y su posterior disposición.	Previo al inicio de obra, preparación del sitio, construcción

Aspecto ambiental	Tipo de impacto	Medida Ambiental	Tipo de medida	Indicador	Frecuencia del control	Umbral de alerta	Acciones de respuesta	Plazos de ejecución
		mantenimiento en las vías que implique el manejo de sustancias químicas.						

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

## 1.2.2 INGENIERÍA FERROVIARIA; SISTEMAS DE CONTROL, SEGURIDAD Y COMUNICACIONES

### 1.2.2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES

#### 1.2.2.1.1 SISTEMA DE VIDEO VIGILANCIA (VID)

#### Descripción

El Sistema de Video vigilancia permitirá, como función principal, obtener información visual de lo que sucede en la infraestructura a controlar. Se podrá observar las imágenes en tiempo real, consultarlas a posteriori según diferentes criterios y definir eventos o alarmas.

El sistema tendrá una arquitectura sencilla, utilizará cámaras digitales IP para la captación de imágenes y tecnología digital para el tratamiento y consulta de imágenes. Será una herramienta que:

- Permitirá asegurar un alto nivel de control y seguridad en los distintos emplazamientos de la línea.
- Permitirá la visualización de las imágenes captadas por las cámaras instaladas en las zonas de maniobras para monitorizar el funcionamiento de los equipos.

A su vez las unidades de material rodante de la línea dispondrán de cámaras de CCTV en su interior. Será necesario dimensionar el Sistema de video vigilancia a fin de integrar estas cámaras dentro del Sistema. Estas imágenes se almacenarán en el propio material rodante y se empleara el acceso WiFi de banda ancha considerado en los talleres para el envío de las imágenes a Centro de Control.

#### Características y especificaciones técnicas

Toda aplicación que deba instalarse deberá ser virtualizable, de cara a instalarla como una máquina virtual en los servidores destinados a tal fin.

#### ✓ Cámaras:

La solución estará compuesta por cámaras IP fijas y/o PTZ. Las cámaras fijas una vez instaladas y configuradas, quedan enfocadas a una zona de visión concreta. Se instalarán en columnas metálicas, en báculos de alumbrado o fijadas a las estructuras de los edificios o estaciones.

Las cámaras a considerar en el Tren Suburbano de Monterrey se presentan a continuación:

- Cámaras fijas de interior o exterior. Son cámaras utilizadas en lugares que requieren vigilancia constante y fija, estas cámaras, aunque tienen un objetivo fijo permiten variar el foco a fin de poder dar detalle a diferentes distancias en el mismo campo visual. Irán dotadas de lentes varifocales.
- Cámaras fijas minidomo en elevadores. Son cámaras pequeñas y discretas instaladas en el techo de los elevadores de las estaciones. Irán dotadas de lentes fijas.
- Cámaras PTZ (Pan, Tilt, Zoom). Permiten el seguimiento de un objetivo gracias a sus funcionalidades de movimiento horizontal y vertical, así como el acercamiento del objetivo.

La elección de la óptica de la cámara ha de ser tal que permita observar incidentes y reconocer a las personas que discurran por las zonas que se desea monitorizar. Las características de las cámaras fijas serán las siguientes:

- Cámara IP fija.
- Resolución mínima FullHD.
- Cámara día/noche (color y monocromo en condiciones de poca luz).
- Velocidad de imágenes 25/30 y 50/60 FPS.
- Compresión H.264, M-JPEG y JPEG.
- Compatible con el protocolo ONVIF.
- Alimentación PoE y alimentación 24 VAC o 12 VDC.
- Análisis de contenido de vídeo integrado, adecuado para aplicaciones en las que se requieren funciones básicas de análisis de contenido de vídeo.

Las características de las cámaras móviles son las siguientes:

- Cámara PTZ (movimiento 360° y zoom de 20x).
- Resolución mínima FullHD.
- Cámara día/noche (color y monocromo en condiciones de poca luz).
- Velocidad de imágenes 25/30 FPS.
- Compresión H.264, M-JPEG y JPEG.
- Compatible con el protocolo ONVIF.
- Alimentación PoE y alimentación 24 VAC o 12 VDC.

✓ **Grabador de video o NVR (Network Video Recorder):**

Todas las imágenes de video de las cámaras se grabarán durante un tiempo mínimo de 30 días, para poder realizar consultas a petición del Explotador o autoridades responsables de la seguridad.

Aquellos videos que muestren alarmas de seguridad se deberán poder grabar de forma permanente en medios externos para poder ser usados como prueba en caso de deriva legal. La configuración de la grabación redundante tipo RAID para una mejor eficiencia y redundancia de los datos.

Se podrá configurar y modificar el nivel de calidad de grabación según las necesidades.

Las principales características del videograbador serán:

- Diseñado para aplicaciones de alto rendimiento que requieren un alto grado de disponibilidad y de redundancia.
- Posibilidad de grabación y monitoreo “en-vivo” de diferentes canales de video.
- Protección RAID.
- Los discos estarán diseñados para el tratamiento de la grabación de señal de video.
- Capacidad de almacenamiento bruto acorde al dimensionamiento.
- Posibilidad de integración de almacenamiento externo para exportar los datos o aumentar el espacio de grabación.

- Licencia para los canales IP dedicados a la video vigilancia, con posibilidad de ampliación.
- Inserción de marca de agua (watermark) durante la grabación para confirmar la autenticidad de las imágenes y asegurar un correcto uso y seguimiento de las grabaciones.
- Versión para montaje en rack de 19”.
- Expansión de discos.
- Gestión securizada de la extracción y visualización de las grabaciones de audio.
- Capacidad de extracción local de grabaciones.
- API y SDK disponibles para integración en otras soluciones.
- Virtualización de servidores.
- Servidores serán Hot-StandBy y redundantes con tiempos de conmutación mínimos, para que las conmutaciones no produzcan pérdidas en las grabaciones.

✓ **Videowall de Centro de Control:**

En Centro de Control deberá instalarse un videowall, el cual tendrá una configuración estimada de 3x3 o 3x4 bloques. El equipo de videowall hará uso de tecnología DLP para retroproyectors LED de un mínimo de 60”. Acorde a esta tecnología, deberá de cumplir:

- Será una solución integrada donde todos los componentes formen un entorno de trabajo único y estable.
  - Sistemas de visualización.
  - Procesadores de imagen.
  - Software de gestión.
- Sistemas personalizables para alcanzar los requerimientos exactos necesarios en el puesto de operación.
- Flexibilidad en la gestión de la información para mejorar el tiempo de reacción de los operadores.
- Sistemas que optimicen el trabajo de colaboración en Centro de Control.
- Garantía de fiabilidad del sistema en entornos de uso continuo.

- Alta calidad de imagen visualizada para mejorar el confort visual de los operadores.
- Modularidad del sistema y garantía de evolución tecnológica.

El controlador de videowall debe permitir el procesado y visualización de imágenes y aplicaciones gráficas instaladas en el propio controlador o a través de red, así como de señales de video y RGB/DVI externas.

El controlador o procesador digital de gestión de videowall se instalará en la sala de servidores de Centro de Control.

Las funcionalidades del controlador serán las siguientes:

- Representación de un escritorio extendido
- Aplicaciones locales o remotas a través de la red LAN
- Visualización de aplicaciones de múltiples plataformas
- Visualización de señales de vídeo IP, señales RGB y vídeo externas

#### 1.2.2.1.2 SISTEMA DE CONTROL DE ACCESOS (ACC)

### Descripción

El Sistema de Control de Accesos tiene como finalidad garantizar que solamente acceden a las áreas consideradas “restringidas” el personal autorizado por la explotación en los horarios indicados. A su vez, el sistema deberá permitir una detección rápida y fiable de cualquier intento o acción de intrusión a estas áreas. Se basará en equipar todas las puertas que dan acceso a locales técnicos y dependencias a controlar con dispositivos de control y acreditación, tomando como base el uso de tarjetas de proximidad Mifare 1K.

Adicionalmente se incluye en el sistema todo el equipamiento necesario para la administración de usuarios y la confección de tarjetas de proximidad, que es el mecanismo de autenticación designado.

El sistema abarca todas las estaciones de la línea, los talleres y depósitos, así como el mismo Centro de Control.

## Características y especificaciones técnicas

### ✓ **Lector de tarjetas:**

Instalado junto a la puerta a la cual da servicio. Esta lectora accederá a la información almacenada en la tarjeta de proximidad una vez haya verificado las claves de acceso que previamente se deberán haber codificado en el lector y en la tarjeta de usuario. Esta verificación de claves se realizará de forma bidireccional.

La conexión de cableado se realizará de forma radial desde cada uno de las lectoras hasta la controladora de puertas de accesos a la que esté asignada.

Las funciones de esta conexión serán:

- Alimentar eléctricamente la lectora.
- Comunicación entre lectora y controladora.
- Activación del diodo LED de señal de tarjeta aceptada.

El diseño de la lectora será anti vandálico garantizando que no sea posible su manipulación y diseñado para entornos agresivos.

### ✓ **Electroimán:**

Instalado en la parte superior de la puerta, estando el lado electroimán en la parte protegida (cara interior de la puerta). Deberá tener una fuerza de aguante de como mínimo 600 lb (272 kg). Su funcionamiento es gestionado por la controladora de puerta asignada, la cual a través de la conexión de cableado proporciona la alimentación que requiere y obtiene la señal asociada a puerta abierta / cerrada.

Adicionalmente este elemento será del tipo “fail safe”, liberando la puerta en caso de fallo de alimentación.

El electroimán suministrado incorporará un relé que detectará cuando el electroimán está energizado y la puerta está cerrada.

✓ **Detector de campo electromagnético:**

En las puertas de acceso restringido o salida de emergencia se instalarán contactos magnéticos para detectar su apertura.

En el caso de que existan electroimanes para retener las puertas, el detector de apertura seguirá funcionando, aunque el electroimán no esté alimentado.

✓ **Pulsador de puerta:**

La salida de un local de acceso restringido se deberá realizar previa activación del pulsador de puerta, el cual permite la desactivación del electroimán que controla la puerta. Por tanto, este pulsador se ubicará al lado de la puerta por el lado interior de la misma.

El pulsador se conectará mediante cableado a la controladora de puerta que gobierna esa puerta a fin que ésta lance la orden de desactivación del electroimán.

✓ **Controladora de puertas:**

Módulos de control responsables de la supervisión y gestión de los dispositivos utilizados para el control de acceso en las puertas de acceso restringido y salida de emergencia.

Dispondrán de los siguientes componentes:

- Entrada para el contacto de estado de cada puerta.
- Entrada para el pulsador de salida de cada puerta.
- Entradas y Salidas auxiliares.
- Salida de relé para apertura de cada una de las puertas.
- Interfaz de comunicaciones con las lectoras de tarjetas de proximidad.
- Interfaz de comunicaciones Ethernet 100Base-T.
- Fuente de alimentación eléctrica.

- Batería de 12 V y 4 horas de autonomía en las controladoras de dos puertas.

Se tratará de un dispositivo de funcionamiento 100% autónomo, con base de datos local de tarjetas y eventos. Por tanto, en caso de pérdida de las comunicaciones con Centro de Control la lectora seguirá controlando los distintos usuarios, las zonas temporales y los niveles de acceso.

La memoria de seguridad de la tarjeta no requerirá batería y dispondrá de un reloj en tiempo real que registrará la fecha y hora en que se producen los eventos incluso cuando el dispositivo está fuera de línea.

✓ **Tarjeta de proximidad:**

Las tarjetas de proximidad funcionarán como el mecanismo que dispone el usuario para identificarse ante un punto de control de acceso. Las tarjetas de proximidad estarán basadas en tarjetas inteligentes sin contacto del tipo Mifare Classic 1K (o 4K) de muy amplio uso en sectores como el transporte público, aplicaciones de control de acceso o aparcamientos públicos.

Estas tarjetas serán totalmente compatibles con el estándar ISO/IEC 14443 Tipo A y operarán en el rango de frecuencias de 13,56 Mhz, disponiendo de 1Kbyte de memoria EEPROM disponible y 7 bytes UID.

✓ **Impresora/Codificadora de tarjetas de proximidad**

La impresora tendrá capacidad de imprimir a alta calidad el diseño de tarjeta definido por el Explotador de la Línea, así como codificar los parámetros propios del Sistema. Incorporará un puerto de comunicaciones Ethernet 100Base-T, así como un servidor de impresión con el objetivo de flexibilizar su funcionamiento.

El puesto de captura de documentos estará basado en un terminal de digitalización de imagen y datos, el cual deberá estar conectado a un terminal informático cliente de la Aplicación de Gestión y Mantenimiento.

Se instalará en Centro de Control un Equipo de Impresión y Codificación de Tarjetas

#### 1.2.2.1.3 SISTEMAS DE TELEFONÍA (TEL)

##### **Descripción**

El sistema permitirá establecer comunicaciones internas y externas de alta calidad desde/hacia la línea del Tren Suburbano de Monterrey.

El sistema de Telefonía se deberá diseñar e implementar de forma que su objetivo último sea la ayuda a la explotación, mediante el despliegue de terminales telefónicos fijos en las salas técnicas y puntos singulares. Para ello, implementará un sistema basado en una red de voz IP, que se soportará en la Red de Datos Multiservicio.

Cada puesto fijo de trabajo dispondrá de un teléfono de sobremesa con un número/extensión propia que servirá para hacer llamadas, tanto internas como hacia el exterior si lo permite su rol.

Todas las llamadas, tanto si son de origen interno como las entrantes desde el exterior, confluirán en un sistema de conmutación a base de centralitas privadas que las encaminarán hacia el destinatario.

El sistema de conmutación permitirá además grabar las llamadas y almacenarlas durante un periodo de tiempo determinado por la propiedad, mediante el sistema de grabación de audio. También se prevé para facilitar el mantenimiento un sistema de alarmas y una aplicación de gestión centralizada que permitirá administrar la operación de las centrales de conmutación y la administración de usuarios.

No se contempla la instalación de telefonía pública para los pasajeros ni otros usuarios de la línea.

## **Características y especificaciones técnicas**

### ✓ **Central IP:**

El servidor de telefonía se compondrá de un servidor informático de elevadas prestaciones, idéntico al instalado para los otros subsistemas de telecomunicaciones en la sala de servidores de Centro de Control, donde se instalará la máquina virtual con la aplicación que haga de centralita de telefonía.

Esta centralita de telefonía debe tener al menos las siguientes características:

- Las comunicaciones serán digitales full-duplex basadas en tecnología voz sobre IP con protocolos de señalamiento SIP, H.323 o IAX2.
- Contará con un banco de pruebas y el software necesario para auto diagnóstico y mantenimiento de este subsistema.
- Gestionará el funcionamiento y supervisión operativa de las terminales instaladas en accesos y andenes de las estaciones, para el subsistema de información y auxilio al público.
- Se enviará al operador y al sistema de bitácora y gestor maestro, cualquier discrepancia en las verificaciones efectuadas por el auto diagnóstico propio en cuanto a niveles de alimentación, temperatura, funcionamiento de los ventiladores, falta de conectividad con la Red y cualquier otro dato de utilidad para la operación y adecuado funcionamiento.
- El equipo será montado en un rack universal de 19" y ubicado en la sala técnica destinada a Telefonía de Centro de Control.

### ✓ **Gateway PSTN:**

Irá conectado a líneas externas que el operador del Tren Suburbano de Monterrey deberá de solicitar a un proveedor de servicios telefónicos públicos. El sistema debe estar configurado para que en todo momento se pueda hacer una llamada exterior a los canales de emergencia.

Las mínimas características solicitadas al Gateway PSTN son:

- Detección automática del tipo de llamada (Audio, modem, fax).
- Soporte de Dial Plan:

- Call Routing Groups.
- Call Routing Rules
- Translación automática de numeración.
- Soporte de nombre y número Caller ID.
- Doble conexión Ethernet 1000 Base-T.
- Doble fuente de alimentación.
- Soporte SIP (múltiples SIP endpoints).
- Codificadores audio G.711 y G.729 AB
- Soporte Fax y Módem (T.38 y G.711).
- Soporte de diferentes tecnologías de puertos de voz.
  - FXO-FXS o ISDN BRI
  - T1 (DMS100, Q.SIG)
  - ISDN E1 (EuroISDN, Q.SIG)
- Soporte DTMF.
- Soporte tarificación.
- Configuración remota.
- Herramientas Troubleshooting (informes, diagnósticos, bucles).

✓ **Terminales IP:**

Se diferencian dos tipos:

- Terminal IP Básico: Se utilizarán en las salas técnicas de las estaciones, talleres y depósitos, bases de mantenimiento y edificios técnicos, y tendrán un uso esporádico, ya que no se prevé que haya personal de forma regular en esas salas.
  - Una línea de voz IP o Teclado estándar de 12 botones
  - Botón de rellamada automática del último número llamado / Llamante o Retención de llamada.
  - Transferencia de llamada. o Multiconferencia. o Rellamada si ocupado.
  - Alimentación con fuente externa o PoE.
  - Puerto Ethernet, 100 Base-T.

- Terminal IP Avanzado: Ubicaciones en donde se prevé que haya personal de línea de forma regular se implementará un terminal telefónico IP con funcionalidades avanzadas.
  - Tres líneas de voz IP.
  - Display LCD con una matriz de 128x64 pixeles Indicación de estado de líneas
  - Identificación de llamante, número y nemónico ID.
  - Retención de llamada
  - Teclas de espera, transferencia y conferencia
  - Manos libres
  - Transferencia de llamada.
  - Multiconferencia
  - Teclado estándar de 12 botones
  - Rellamada automática de los 20 últimos números llamados / llamantes / no cursados
  - Rellamada si ocupado
  - Directorio personal y corporativo con auto-dial
  - No molestar
  - Digitalización de números con auto-completar
  - Múltiples tonos de llamadas con selección de tono por línea
  - Gestión remota del software o Jack para salida/entrada cascos externos
  - Alimentación con fuente externa o PoE
  - Puerto Ethernet 100 Base-T.

#### 1.2.2.1.4 SISTEMA DE INTERFONIA (INT)

##### **Descripción**

En los casos en los que no se desea dejar al usuario un teléfono con marcaje, sino que se desea que las llamadas que realice el terminal sean gestionadas de forma centralizada, se hace necesario pensar en sistemas de interfonía profesionales, que en condiciones de ruido puedan mediante un solo botón, llamar al operador designado para atender tal llamada.

El sistema de interfonía permitirá a los viajeros establecer, de modo sencillo y rápido, una comunicación telefónica con los jefes de estación o los operadores de Centro de Control (Centro de Atención e Información al Usuario y Centro de Seguridad). Esta comunicación se realizará desde los interfonos distribuidos a lo largo de la línea. Se identificará claramente los botones a actuar en caso de necesidad, a lo que se cursará una llamada al operador correspondiente.

A partir de aquí, la conversación proporcionará información, ayuda o auxilio al pasajero que ha utilizado el sistema. Todas las secuencias de llamada deberán ser configurables. La configuración del sistema permitirá que se realice un salto automático a la extensión correspondiente de otra estación remota o a Centro de Control en el caso de que el tiempo de respuesta en el puesto de atención inicial supere un umbral definido.

### **Características y especificaciones técnicas**

Los interfonos serán de tipo anti vandálico y podrán ser colocados sobre un pedestal fijo, encastados en pared o integrados en otros dispositivos (por ejemplo, elevadores). El modo de funcionamiento de los interfonos será “manos libres”. Al pulsar el botón de llamada, el interfono produce un descolgado de la línea y acto seguido realiza una marcación hacia el primer número de los prefijados de llamada, el LED de conexión parpadea durante la marcación.

La unidad podrá programarse para que, si la línea marcada en primer lugar está ocupada o no responde, marque un segundo número y alterne las llamadas entre los dos números hasta que alguno de ellos responda. Cuando se contesta la llamada, el LED del interfono pasará a lucir de forma permanente para informar al usuario de actividad.

Al terminar la conversación, el operador podrá forzar el cuelgue, aunque si ésta operación no se realiza el interfono colgará automáticamente transcurrido el tiempo programado en su temporizador interno. La ganancia del micrófono

podrá ser ajustada mediante el potenciómetro al efecto dispuesto en el interior. Se podrá optar entre distintos modos de funcionamiento mediante configuración remota, u otros medios, que al configurarse en reposo o trabajo predisponen el interfono para diferentes modos de funcionamiento.

Los parámetros internos programables, tales como números de llamada y de contestación, así como su modo de funcionamiento se almacenarán en memorias no volátiles programables, no precisando batería para la retención de los valores en memoria. Se posibilitará el diagnóstico mediante el envío de tonos de diagnóstico para comprobar el micrófono y el altavoz.

✓ **Central de Interfonía:**

Ubicadas en Centro de Control, en el armario rack destinado al sistema de Interfonía. Cada central dispondrá de dos puertos Ethernet 100 Base-T, una para la VLAN de Servidores y otra para la VLAN de Interfonía.

Se contempla tres formas de funcionamiento de la doble configuración de las centrales:

- Las dos centrales activas, controlando las llamadas de todos los usuarios y balanceando carga. En caso de caída o de falta de conexión a cualquier VLAN, la otra asume todo el control y toda la carga.
- Una central está configurada como principal y la otra como secundaria. En condiciones nominales, la principal asume el control de toda la red y la secundaria está en stand-by. En caso de caída de la principal, la secundaria se activa y controla todo el sistema. Si el principal se recupera, se vuelve a la condición inicial, transfiriendo el control a la principal.
- Las dos centrales se configuran como principales, pero una está activa y la otra en stand-by. En caso de caída de la activa, la otra recupera el control. Cuando se levante la central que se ha caído, se queda en estado de stand-by.

En cualquier caso, se podrá proceder a la conmutación de la central tanto por mecanismos físicos (por ejemplo, caídas de las comunicaciones) como por programación lógica (actuando sobre los procesos de las centrales).

✓ **Pupitres de Interfonía:**

Para los operadores de seguridad de Centro de Control, operadores de atención al usuario y operador de las estaciones.

Cumplirán con las siguientes características:

- Tecnología IP (VoIP).
- Teclado estándar y teclas de función.
- Pantalla gráfica LCD iluminada.
- Indicador luminoso para identificar llamada entrante, espera, etc.
- Mínima potencia de altavoz: 1.5W.
- Micrófono separado del cuerpo del pupitre.
- Toma Ethernet 100Base-T.
- Alimentación PoE

El sistema estará configurado para que:

- Los interfonos de campo llamen automáticamente a una serie de pupitres. El operador final determinará qué estrategia de llamada a seguir.
- Ante una llamada entrante, el pupitre tendrá una indicación sonora y luminosa, identificando mediante la numeración y descriptivo de qué tipo de llamada se trata y de qué ubicación.
- El pupitre podrá aceptar o rechazar la llamada. En caso de aceptarla, podrá hablar con su interlocutor, mediante una comunicación full-duplex.
- Con llamadas en curso, existirá la posibilidad de ponerlas en espera, o que entre otra llamada. Si ésta es de mayor prioridad, la primera se pone en cola y se atiende la segunda.
- El usuario del pupitre podrá conocer las últimas llamadas, y si alguna de ellas está a la espera, se podrá recuperar.

- Mediante la numeración correspondiente, se podrán realizar llamadas al sistema de Telefonía.
- El sistema permitirá transferir llamadas en curso a otros pupitres y a terminales de Telefonía.

✓ **Interfonos IP:**

Para los operadores de seguridad de Centro de Control, operadores de atención al usuario y operador de las estaciones.

Cumplirán con las siguientes características:

- Generales
  - Interfono IP según estándares abiertos SIP, H-323 o similares.
- Línea
  - Comunicación con la central de interfonía: full-dúplex.
  - Intensidad nominal de funcionamiento: 27-40 mA.
- Altavoz
  - Nivel sonoro a 15 cm: 70 dBA.
  - Amplificador interno de altavoz para regulación de volumen.
  - Frecuencia de funcionamiento: 300 - 3400 Hz.
  - Alimentación de amplificador: 15 Vcc.
- Interfaz de usuario
  - Funcionamiento manos libres.
  - Número de pulsadores de toma temporizada: 1 o 2.
  - Tipo de pulsadores: Sin enclavamiento.
  - Tiempo mínimo de pulsación para conexión: 0,5 segundos.
  - LED de visualización para reconocimiento de llamada.
  - Posibilidad de grabar un mensaje inicial de voz de hasta 16 segundos de duración
- Marcación e identificación
  - Marcación: Por tonos y pulsos, multifrecuencia o decádica.
  - Números de marcación automática: Hasta 5
  - Llamada cíclica a cinco números telefónicos hasta que la llamada es atendida.

- Posibilidad de incluir un segundo pulsador de información, capaz de llamar hasta tres números telefónicos.
- Transmisión de un código de identificación único o mensaje para el mantenimiento automático y remoto.
- Configuración
  - Local y remota
- Memorias
  - No volátil E2 para configuración. o Memoria para almacenar hasta 16 segundos de mensaje.
- Mecánica
  - Posibilidad de diferentes modelos de chasis y carcasas. o Etiquetado Braille: Opcional en carcasa
- Dimensiones: Dependiente del modelo y la distribución de los componentes. Para el caso del interfono de superficie con carcasa las dimensiones orientativas serán 183x149x39 centímetros (ancho x alto x fondo).
- Ambientales
  - Margen de temperatura de funcionamiento: -26 °C a 54 °C.
  - Margen de humedad (sin condensación): 5% - 95%.
- Otros
  - Contacto libre de potencial para integración con otros sistemas con sensor de descolgado.
- Características técnicas del pedestal de interfono de vestíbulo
  - Material: Acero inoxidable pulido.
  - Dimensiones aproximadas:
    - Altura: 1.355 mm
    - Anchura: 220 mm (300 mm en base)
    - Profundidad: 112 mm (200 mm en base).

Podrán de ser de tres tipos:

- Interfono de 1 botón
- Interfono de 2 botones.

- Módulos de interfonía IP: ubicados en elevadores, máquinas expendedoras, máquinas automáticas recargadoras de títulos y pasos de control automático.

#### 1.2.2.1.5 SISTEMA DE SONORIZACIÓN Y VOCEO (SON)

##### **Descripción**

El Sistema de Sonorización y Voceo tiene como finalidad proporcionar un mecanismo de comunicación vocal rápido y eficiente entre el Operador de la línea y los usuarios. Este mecanismo será utilizado tanto desde el punto de vista informativo (especialmente para información de tráfico) como para fines de emergencia (apoyo a la evacuación).

Los objetivos fundamentales del sistema de sonorización y voceo son:

- Proporcionar un canal de comunicación fiable y directo con los usuarios de la línea en procesos de evacuación de la línea.
- Informar de forma automática en andenes sobre la llegada de trenes a una estación.
- Proporcionar un canal de comunicación directo con los usuarios de la línea para el envío de información de interés por parte del operador.
- Ofrecer una plataforma de difusión de música ambiental

Al fin de lograr estos objetivos, se procederá a la instalación en estaciones y Talleres y Depósito de una red de altavoces, los cuales serán alimentados por amplificadores de audio con conectividad IP.

Los altavoces se distribuirán en zonas de voceo, permitiendo de este modo el envío selectivo de voceos a distintas zonas de estación

##### **Características y especificaciones técnicas**

###### ✓ **Altavoces:**

En función de la arquitectura de la estación y del tipo de acabados, se instalará uno u otro tipo de altavoz, definiéndose a modo de ejemplo siguientes tipos:

- Altavoz de techo de hasta 6 W para integrar en estaciones en soporte de luminarias en andén y falso techo en resto de emplazamientos.
- Cajas Acústicas de 15 W a instalar en estaciones.
- Proyector 10 W a instalar en locales y dependencias técnicas.
- Bocina de 30 W a instalar en talleres y depósitos.

Los altavoces estarán preparados para líneas de alta impedancia de 100V y dispondrán de transformador integrado de modo que la conexión a las líneas de transmisión será en paralelo y en una misma línea podrán conectarse altavoces de distintas potencias.

En el caso de altavoces que se instalen en intemperie, deberán proporcionar el índice de protección adecuado para garantizar un correcto funcionamiento y una larga vida útil.

Los altavoces deberán integrarse lo máximo posible con la solución arquitectónica de los emplazamientos, por lo que hace referencia a color, embellecedores y soportes.

✓ **Líneas de transmisión:**

La conexión entre altavoces y amplificadores de audio se realizará a través de líneas de transmisión de dos conductores, cuyo calibre dependerá de la carga de la línea y de la distancia del circuito. Los amplificadores de audio incorporarán un sistema de supervisión de línea, de forma que se podrá detectar en tiempo real el fallo o corte de un circuito de altavoces.

La derivación de la línea de transmisión hasta cada altavoz se realizará mediante el uso de una caja de derivación procediendo a la conexión del altavoz en paralelo.

Se hará uso de una línea de transmisión de 100V/70V la cual estará formada por dos conductores cuyo calibre (AWG) dependerá de la caída de tensión en la línea (máxima permitida del 10%) y de la potencia del amplificador. La línea de

transmisión tendrá una cubierta tipo LSZH (Baja emisión de humos y cero halógenos).

✓ **Amplificador de audio:**

Instalados en los armarios rack 19" asignados al sistema de Sonorización y Voceo dentro de los locales técnicos de telecomunicaciones o armarios de andén.

Puerto de comunicaciones basado en protocolo IP, el cual se comunicará con la Red de Datos Multiservicio.

Deberán cumplir con las siguientes características:

- Dos canales de salida, la potencia del cual difiere por emplazamiento y zona.
- Puerto de comunicaciones basado en protocolo IP, el cual se comunicará con la Red de Datos Multiservicio.
- Operación con líneas de transmisión de 100V de alta impedancia.
- Protección eléctrica a la entrada por fusibles y protección eléctrica por sobrecarga o cortocircuito a la salida.
- En caso de avería de un amplificador solo la línea que alimenta se quedará sin sonido, bajando el nivel de escucha puesto que la otra línea quedará sonorizada.
- El Amplificador se deberá monitorear y por software algunos de los parámetros podrán ser corregidos o modificados, como, por ejemplo:
  - Encendido y Apagado.
  - Niveles de señal de entrada
  - Niveles de salida (potencia)
  - Ajuste de graves y agudos
  - Estado de los equipos (temperatura de operación, equipo averiado)

✓ **Sonda de detección de nivel de ruido:**

Para analizar el volumen sonoro en los andenes con el objetivo de ajustar el nivel de salida de los amplificadores responsables de emisión.

Por ello, la sonda de detección deberá de disponer de un interfaz de comunicaciones Ethernet (100BaseT) de modo que el valor en tiempo real de nivel sonoro medido pueda ser transmitido y utilizado como una variable de entrada en los amplificadores de andén para ajustar dinámicamente el nivel de salida.

La sonda o grupo de sondas que se instalen se podrán asignar a uno o varios amplificadores, pudiendo ponderar el valor de ruido capturado y de este modo alcanzar un nivel de ruido ambiente más real.

✓ **Pupitre microfónico:**

Este dispositivo se ubicará en los puestos de control locales de cada emplazamiento.

El pupitre microfónico estará formado por los siguientes componentes:

- Teclado numérico selección de zona, teclas con funciones especiales y display.
- 2 botones para la emisión de mensajes pregrabados de alerta y de evacuación.
- Memoria interna para almacenar mensajes pregrabados.
- Micrófono tipo cuello de cisne
- Indicadores luminosos de estado de funcionamiento del equipo.
- Interfaz de comunicaciones Ethernet 100BaseT.

El pupitre microfónico IP podrá ser monitorizado desde Centro de Control y a través de la aplicación de gestión centralizada será posible proceder a su configuración, como por ejemplo gestionar los mensajes pregrabados disponibles.

Desde Centro de Control existirá la posibilidad de anular o silenciar temporalmente el funcionamiento de este dispositivo.

✓ **Matriz de gestión de audio:**

Deberán cumplir con las siguientes características:

- Matriz de control del sistema.
- 2 Módulos de gestión de los canales de audio digitales.
- Tarjeta de dos entradas asimétricas de audio de 0 dB instalada en la matriz digital de audio.
- Carta de conexión a Ethernet.
- Reproductor de audio DVD/MP3/USB.
- Capacidad de generar alarmas por detección de fallos en la línea.

#### 1.2.2.1.6 SISTEMA DE TELEINDICADORES (TLI)

##### **Descripción**

El Sistema de Teleindicadores tiene como objetivo funcionar como una plataforma audiovisual de distribución informativa en estaciones y en el interior del material rodante. Los objetivos fundamentales del sistema de teleindicadores son:

- Proporcionar a los usuarios de la línea de información en tiempo real acerca de la circulación de los trenes, informando de cualquier incidente que pueda ocurrir.
- Informar sobre el tiempo de espera hasta la llegada de los próximos trenes a la estación.
- Proporcionar la hora de la línea.
- Proporcionar información propia del explotador de la línea que pueda ser de interés para el usuario.
- Ofrecer una plataforma de difusión de contenido multimedia para el entretenimiento y la venta de publicidad.

Esta plataforma estará gestionada por el Operador y servirá principalmente para el envío de información acerca del tráfico.

##### **Características y especificaciones técnicas**

###### ✓ **Pantalla LED:**

Las Pantallas de estación serán la plataforma de visualización del sistema de teleindicadores.

Se tratará de pantallas basadas en tecnología LED de alta resolución que incluirán una CPU integrada en cada pantalla, la cual se responsabilizará de gestionar las funciones y operaciones propias de la pantalla, el almacenamiento de los ficheros multimedia locales y las comunicaciones con la Aplicación de Gestión de Centro de Control.

La luminosidad mínima de las pantallas de los teleindicadores debe ser de 1000 cd/m<sup>2</sup>.

A fin de establecer la comunicación con Centro de Control, la CPU dispondrá de una interfaz de comunicaciones al menos 100BaseT.

El diseño conjunto de pantalla y CPU será de tipo industrial y anti-vandálico, garantizando su correcto funcionamiento en intemperie. El conjunto incluirá un soporte mecánico que permitirá su correcta instalación en las estaciones, proporcionando un amplio número de grados de libertad (plano horizontal y vertical, así como la inclinación).

La pantalla deberá de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Control de los parámetros de visualización estándares: Luminosidad, brillo y contraste.
- Apagado y encendido remoto de la pantalla.
- Protección contra golpes, apagándose la pantalla al detectar un impacto.

#### 1.2.2.1.7 SISTEMA DE BOLETAJE (PJE)

##### **Descripción**

El Sistema de Boletaje permitirá a los pasajeros la obtención de los títulos de transporte o boletos. Además, permitirá tener el control de éstos y conocer el estado de operatividad del sistema de forma remota, mediante integración de estos equipos en Centro de Control.

Se diseñará para que su operación en las estaciones sea tanto de manera desatendida empleando máquinas expendedoras y recargadoras como mediante taquillas con personal de la explotación para la venta de boletos. Permitirá la utilización de títulos de transporte de tecnología de tarjetas sin contacto.

Estos procesos deben realizarse de forma sencilla para el usuario y deberán ser de alta fiabilidad, dado que los fallos en este tipo de elementos comprometen la imagen del Concesionario / Operador de la Línea.

### **Características y especificaciones técnicas**

#### ✓ **Nodo concentrador:**

Dispositivos instalados en las estaciones que tendrán las siguientes funciones principales:

- Será el punto centralizador de la arquitectura de comunicaciones local de estación. Todos los equipos se conectarán a él.
- Será el centro local para la configuración de la estación.
- Será el interfaz de comunicación entre la red local de estación con la Red de Datos Multiservicios.
- Será el centro local de datos. Todas las operaciones realizadas por usuarios como operarios en los diferentes equipos, así como las diferentes incidencias ocurridas, quedarán registradas en el nodo para ser transmitidas a Centro de Control.

Será un punto de descarga de los datos almacenados en los Terminales Portátiles de inspección

#### ✓ **Taquilla de venta:**

En el sistema de Boletaje, se dispondrá de un Ticket Office Machine para personalizar tarjetas sin contacto, venta de tickets, tramitar pérdidas, etc. y estará constituida por los siguientes dispositivos:

- Procesador de control (PC).
- Display para el cliente.
- Impresora de tarjetas sin contacto.
- Impresora térmica de recibos.
- Webcam.
- Scanner.
- Lector-grabado de tarjetas sin contacto.

- Terminal de pago bancario y EMV.
- Caja de dinero.
- SAI.

✓ **Máquinas automáticas expendedoras y recargadoras de títulos:**

La máquina se diseñará con gran capacidad de tratamiento de monedas, aceptación de múltiples formas de pago y con un cierto nivel de almacenamiento de billetes y monedas.

Las características principales serán:

- Diseño ergonómico y facilidad de uso para todos los colectivos que pueden ser usuarios, entre los que merece mencionar los discapacitados auditivos, visuales y otros discapacitados.
- Fácil manejo para el usuario a través de la información mostrada a partir de pantalla táctil.
- Alta velocidad en la generación o recarga del título de transporte y en la devolución de cambio.
- Alta fiabilidad.
- Seguridad en las operaciones, tanto en los Subsistemas de identificación como de recarga, cambio, mantenimiento, etc., mediante llaves de acceso en los diferentes niveles de aplicación.

Esta máquina estará formada por un chasis que proporcionará un receptáculo seguro para la colocación de los diferentes elementos mecánicos y electrónicos, que gobernados por un PC permitirán realizar la expedición de títulos de transporte válidos.

Las funciones que permitirán las dividir en:

- Funciones para el usuario
- Funciones para el operador

✓ **Pasos automáticos reversibles:**

Los pasos automáticos reversibles son puertas electromecánicas que permiten el acceso o salida, previa validación de un título de transporte, de los andenes de las estaciones.

Existirán 2 modelos posibles:

- Pasos Automáticos Reversibles
- Pasos Automáticos Reversibles PMR (Personas con Movilidad Reducida).

Los pasos automáticos reversibles vendrán equipados con lectores de tarjetas inteligentes sin contacto en ambos accesos.

Las funcionalidades generales que deberán cumplir estos dispositivos serán:

- Apertura de puertas si la validación del título de transporte es correcta.
- Registro del número de usuarios que utilizan el paso y almacenamiento en memoria interna para luego transmisión a Centro de Control.
- Direccionalidad del paso dual configurable remotamente desde Centro de Control.
- Indicación al usuario del sentido de uso mediante paneles de leds (aspa roja: sentido no permitido o máquina fuera de servicio; flecha verde: sentido permitido).
- Indicación al usuario de la zona de lectura de tarjetas inteligentes sin contacto.
- Indicación al usuario, mediante panel LCD, de mensajes sobre la validación de su título de transporte y saldo disponible del abono.
- En el caso de los pasos automáticos reversibles PMR se considerará equiparlo con un interfono a fin de poder atender las consultas de los usuarios PMR.

✓ **Portones de servicios o cortesía:**

Portones de cristal situados cerca de los pasos automáticos reversibles para permitir el paso del personal de la estación. En caso de fallo de la puerta

automática de los pasos reversibles se utilizarán los portones para permitir el paso de los usuarios.

✓ **Terminales portátiles de verificación y validación:**

Utilizados por los inspectores de estación para comprobar los títulos. Podrá cargar y descargar datos a través de la interfaz de datos externa y permitirá cobrar el abono de un título in-situ, mediante medios de pago electrónico, así como la emitir multas.

#### 1.2.2.1.8 SISTEMA DE GRABACIÓN DE AUDIO (REC)

##### **Descripción**

Las comunicaciones de voz críticas se deben grabar en un sistema centralizado para que se puedan procesar en caso de incidencias. La plataforma encargada de esta funcionalidad será el sistema de Grabación de audio. El sistema de grabación presentará una arquitectura centralizada, en donde los diferentes sistemas a registrar enviarán la información en formato adecuado de forma que posteriormente se pueda procesar. Este proceso incluye la búsqueda por diferentes campos, filtrados, audición de las conversaciones y exportación a otros formatos o elementos externos.

Este sistema permitirá mantener un respaldo de las comunicaciones de audio efectuadas por la operación en Centro de Control, en los siguientes sistemas:

- Radiotelefonía.
- Telefonía.
- Sonorización y voceo.
- Interfonía.

En caso de incidente en la operación o del servicio de mantenimiento, este sistema permitirá consultar las comunicaciones del personal involucrado a fin de efectuar su análisis y en su caso deslindar responsabilidades. Se podrá consultar por petición de la autoridad competente y cumpliéndose las condiciones legales precisas en cada situación.

## 1.2.2.2 SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN FERROVIARIA Y RADIOCOMUNICACIONES

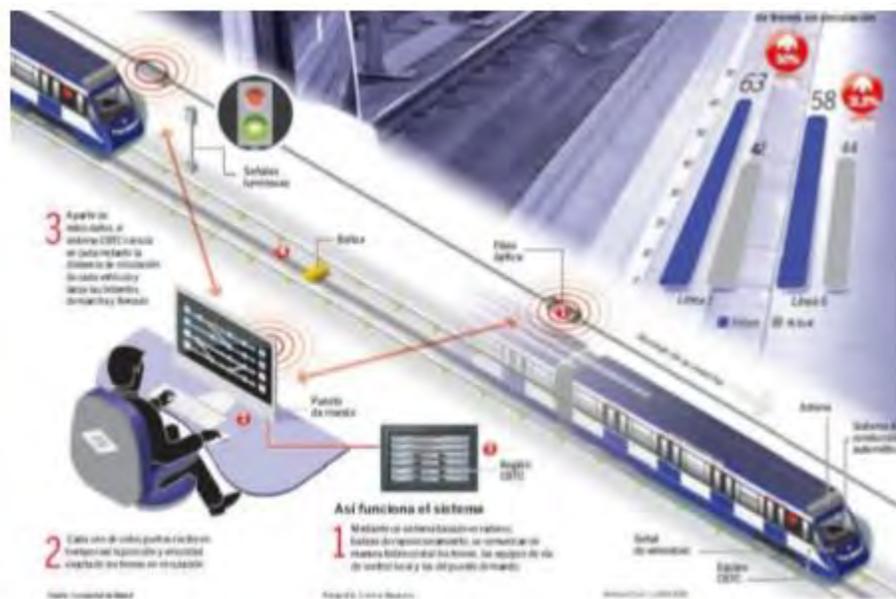
### 1.2.2.2.1 SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN

#### **SISTEMA CBTC (COMMUNICATIONS-BASED TRAIN CONTROL)**

##### ✓ Descripción

El sistema CBTC garantiza la seguridad y el control continuo del tren, se denomina communications-based train control y, como su nombre indica, se basa en la comunicación y transferencia continua de datos entre los trenes y la infraestructura de gestión de la red ferroviaria.

Figura 27 “Estructura del sistema CBTC”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

La estructura del sistema CBTC, se define a partir de los siguientes niveles funcionales:

- Nivel 1: Elementos de vía
- Nivel 2: Enclavamiento
- Nivel 3: Protección automático de trenes (ATP)/ Operación automática de trenes (ATO)
- Nivel 4: Supervisión automática de trenes (ATS)

## ✓ **Ventajas e inconvenientes**

Las principales ventajas de este sistema son:

- Se trata del sistema más novedoso para transporte urbano sectorizado.
- Se trata de un sistema bidireccional Tren-Vía. Permite localización del tren vía radiofrecuencia, utilizando frecuencias dedicadas.
- Permite parámetros operativos (headway) muy demandantes: 75 segundos entre trenes, así como funcionalidades ATO avanzadas y operación sin conductor
- Dispone de funcionalidades avanzadas de control de tráfico y regulación (ATS).
- Lo suministran los principales tecnólogos: Siemens, Thales, Bombardier, Alstom, Ansaldo..., pero no son estándar ni compatibles entre ellos.
- Está ya ampliamente probado y se considera un sistema muy maduro

Los principales inconvenientes son:

- Necesita alto grado de ingeniería de diseño y aplicación.
- El equipamiento fijo es considerable, tanto la parte centralizada en salas técnicas como la distribuida en vía.
- El equipamiento embarcado es costoso.
- Requiere de un alto grado de pruebas.
- Utiliza tecnología propia y se basa en un conjunto de normas genéricas a alto nivel, sin una arquitectura de sistema, interfaces, protocolos o requisitos de interoperabilidad.
- Los diferentes proveedores no son interoperables.
- Provoca una situación de “bloqueo de proveedores” y sólo es posible equipar el sistema de señalización de tierra y abordó con el mismo fabricante
- El sistema CBTC emplea un sistema radio pasado sobre el estándar 802.11 que opera en la banda de 2.4 Ghz, misma banda es libre de uso y esta utilizada para fines comerciales de la red Wifi, cosa que da la posibilidad de la existencia de interferencias electromagnéticas que pueden afectar a la radio del sistema CBTC y a su vez al sistema de señalización del tren. Por

ello, se prefiere usar el sistema CBTC en entornos cerrados tal y como es el caso de los metros urbanos en donde la gran parte de trazado pasa por un túnel, que es un entorno cerrado y controlado de las posibles interferencias electromagnéticas. A parte del alto costo de implementación del sistema CBTC.

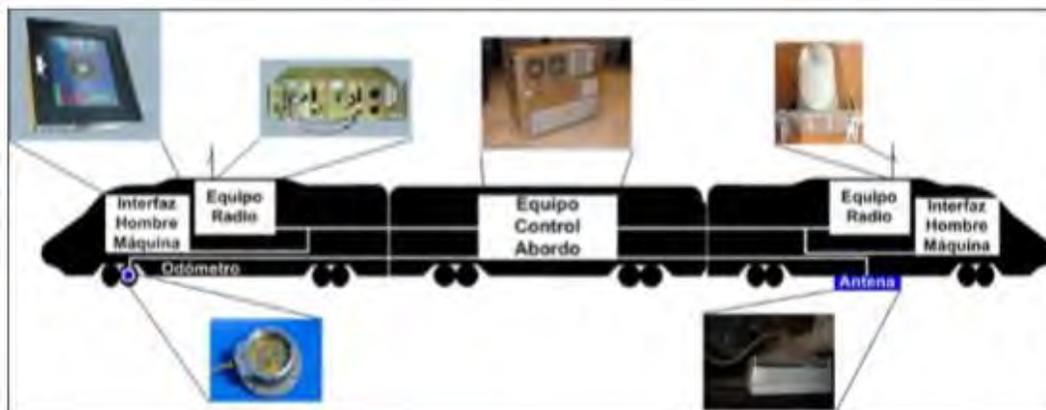
## SISTEMA PTC (POSITIVE TRAIN CONTROL)

### Descripción

El PTC es un sistema que se ha venido implantando en USA desde 2008 con el objetivo de evitar:

- Colisiones entre trenes.
- Descarrilamientos por velocidad excesiva del tren.
- Movimiento de los trenes en agujas mal posicionadas.
- Circulaciones no autorizadas de los trenes en zonas donde se están desarrollando trabajos en la vía.

Figura 28 “Arquitectura del sistema PTX”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ✓ **Ventajas e inconvenientes**

Las principales ventajas de este sistema son:

- PTC es un sistema ampliamente probado (en particular en los Estados Unidos de Norteamérica)
- PTC controla los trenes en todo momento, permitiendo verificar que la velocidad de circulación corresponde a la permitida en cada tramo de vía

(bien sea por la configuración de la vía o por una limitación temporal de velocidad establecida)

- Las comunicaciones entre los diferentes subsistemas se realizan por una red radio dedicada

Los principales inconvenientes son:

- El sistema ha demostrado tener unos elevados costos de implementación, no únicamente por los equipos embarcados o los equipos de vía sino especialmente por la necesidad de generar una red de comunicaciones dedicada.
- El sistema no prevé la casuística de los pasos a nivel
- El sistema está diseñado para las operaciones de mercancías y se basa en el sistema Track Warrant utilizado en USA por los dispatchers para gestionar vía radio a dichos trenes.
- Los equipos en la vía, sus equipos de comunicaciones, así como las antenas de comunicaciones requieren de alimentación eléctrica y también son susceptibles de sufrir vandalismo, lo cual degrada la funcionalidad del sistema.
- No garantiza la interoperabilidad

## **SISTEMA ERTMS-N1**

### ✓ **Descripción**

En el caso del sistema ERTMS Nivel 1, se trata de un sistema ATP de transmisión puntual y supervisión continua en cabina de conducción. Este sistema necesita, como base, un sistema de señalización y por tanto enclavamientos que controlen la posición de las agujas y el estado de ocupación de la vía en base a sistemas físicos de detección de presencia en la vía (circuitos de vía o contadores de ejes). En base a esto el enclavamiento podrá adjudicar y bloquear (enclavar) las rutas y asignar el estado correspondiente a las distintas señales en la línea.

Es un sistema ampliamente diseñado originalmente en Europa por cuestiones de interoperabilidad y estandarización (no propietario), pero exportado al resto

del Mundo por su robustez, fiabilidad y seguridad (todas las funciones de seguridad son SIL-nivel de integración de la seguridad- 4).

Figura 29 “Principio de funcionamiento del Sistema ERTMS Nivel 1”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ✓ **Ventajas e inconvenientes**

Las principales ventajas del sistema son:

- Es un sistema que garantiza un nivel de seguridad absolutamente aceptable, ya que la señalización en cabina es permanente, es decir, la velocidad está permanentemente supervisada, y que supera a la simple señalización convencional y a los sistemas de ATP puntuales y que no tienen supervisión continua en cabina
- Los parámetros operativos de la Línea del Tren Suburbano García - Aeropuerto (velocidad máxima, intervalo) son conseguibles mediante este sistema, estableciendo un número de cantones acorde a estos parámetros.
- Se trata de un sistema seguro y confiable, con un nivel de disponibilidad altísimo, que no necesita, en un principio, de sistema de backup.
- Es un sistema no propietario, que garantiza una buena situación en caso de ampliaciones, modificaciones, circulaciones de nuevos trenes, y todo lo relacionado con la interoperabilidad de la línea.

Los principales inconvenientes del sistema son:

- El costo del sistema es relativamente elevado, superior a los sistemas de ATP puntuales
- Debido a alto número de Estaciones en el Tren Suburbano Garcia – Aeropuerto (2.2 Km de media entre estaciones), conlleva a la instalación de gran cantidad de equipos en vía por lo que encarece significativamente el costo de la implementación del sistema.
- El sistema necesita la instalación de las señales luminosas laterales y armarios de electrónica (LEU), cosa que no es tan conveniente para el caso del Tren Suburbano Garcia – Aeropuerto debido al poco ancho de vía disponible en la zona urbana (entre las estaciones 7 y 22).
- El hecho a que parte importante de la línea del Tren pasa por la zona urbana, será recomendable la instalación mínima de equipo en vía para evitar posibles actos de vandalismo.

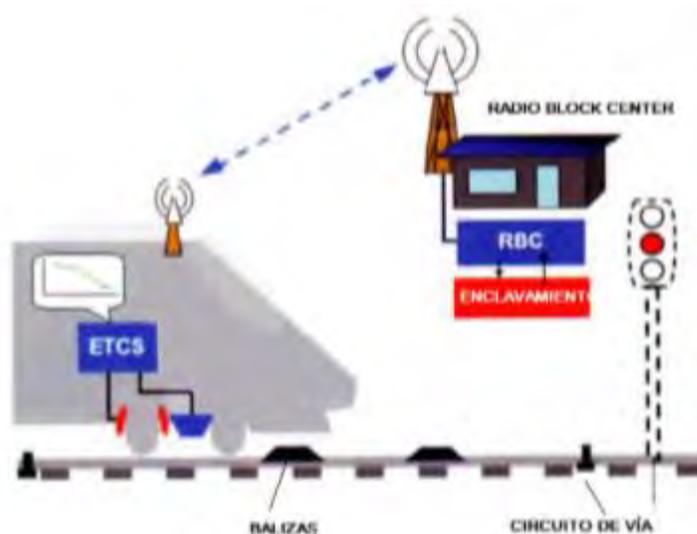
#### **SISTEMA ERTMS-N2 4.4.1**

##### ✓ **Descripción:**

En el ERTMS Nivel 2, el tren recibe de forma continua vía radio, la información que necesita para circular y constituye un sistema de transmisión continua. En este nivel, la información necesaria para la conducción del tren se recibe vía radio continuamente desde el RBC (Radio Block Centre).

El RBC está situado a nivel de vía y se comunica con el enclavamiento que establece de forma segura la ruta, como se observa en el esquema siguiente:

Figura 30 “Principio de funcionamiento del RBC”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ✓ **Ventajas e inconvenientes**

Las principales ventajas del sistema son:

- Es un sistema que garantiza un nivel alto de seguridad con ATP continuo y que con una supervisión continua en cabina.
- Los parámetros operativos de la Línea del Tren Suburbano García - Aeropuerto (velocidad máxima, intervalo) son sobriamente conseguibles mediante este sistema
- Se trata de un sistema seguro y confiable, con un nivel de disponibilidad altísimo, que no necesita, en un principio, de sistema de backup.
- Es un sistema no propietario, que garantiza una buena situación en caso de ampliaciones, modificaciones, circulaciones de nuevos trenes, y todo lo relacionado con la interoperabilidad de la línea.
- Si bien en nivel 1, debido a alto número de Estaciones en el Tren Suburbano García – Aeropuerto (2.2 Km de media entre estaciones), conlleva a la instalación de gran cantidad de equipos en vía, no obstante, para el ERTMS N2 no es necesaria la instalación de las señales laterales para operación nominal. Además, al ser la transmisión por radio, no es necesario la instalación de los LEUs, balizas conmutables y cableado desde los LEU a las balizas. La señalización lateral a instalar en el caso de Nivel 2, por un lado, es un compromiso entre ahorro en costo y complejidad del sistema

y bondad de los parámetros operativos a cumplir en condiciones degradadas. Por otro lado, depende de si la flota que operará está siempre equipada con ERTMS de a bordo o no (posibilidad de flota mixta).

Los principales inconvenientes del sistema son:

- Necesita la instalación del sistema de radiocomunicaciones GSM-R.
- Elevado costo de instalación debido al sistema de radiocomunicaciones requerido.

## RESUMEN COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

A continuación, se enlista una comparativa de ventajas e inconvenientes de cada una de las tecnologías del sistema de Señalización Ferroviaria:

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de los sistemas analizados

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
CBTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Se trata del sistema más novedoso para transporte urbano sectorizado.</li> <li>· Se trata de un sistema bidireccional Tren-Vía. Permite localización del tren vía radiofrecuencia, utilizando frecuencias dedicadas.</li> <li>· Permite parámetros operativos (headway) muy demandantes: 75 segundos entre trenes, así como funcionalidades ATO avanzadas y operación sin conductor</li> <li>· Dispone de funcionalidades avanzadas de control de tráfico y regulación (ATS).</li> <li>· Está ya ampliamente probado y se considera un sistema muy maduro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· El equipamiento fijo es considerable, tanto la parte centralizada en salas técnicas como la distribuida en vía.</li> <li>· El equipamiento embarcado es costoso. Requiere de un alto grado de pruebas.</li> <li>· Costo muy elevado de implementación.</li> </ul>
PTC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PTC es un sistema ampliamente probado (en los Estados Unidos de Norteamérica)</li> <li>· PTC controla los trenes en todo momento, permitiendo verificar que la velocidad de circulación corresponde a la permitida en cada tramo de vía</li> <li>· Las comunicaciones entre los diferentes subsistemas se realizan por una red radio dedicada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Elevados costes de implantación (CAPEX)</li> <li>· El sistema no prevé la casuística de los pasos a nivel</li> <li>· El sistema está diseñado para las operaciones de mercancías y se basa en el sistema Track Warrant utilizado en USA por los dispatchers para gestionar vía radio a dichos trenes.</li> <li>· Los equipos en la vía, sus equipos de comunicaciones, así como las antenas de comunicaciones requieren de alimentación eléctrica y también son susceptibles de sufrir vandalismo.</li> </ul>

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
ERTMS-N1	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nivel de seguridad elevado</li> <li>· Permite cumplir sobradamente los requisitos operacionales de la línea</li> <li>· Elevado nivel de disponibilidad</li> <li>· Es un sistema no propietario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Coste elevado</li> </ul>
ERTMS-N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Es un sistema que garantiza un nivel alto de seguridad con ATP continuo y que con una supervisión continua en cabina.</li> <li>· Los parámetros operativos de la Línea del Tren Interurbano García - Aeropuerto (velocidad máxima, intervalo) son sobriamente conseguibles mediante este sistema</li> <li>· Se trata de un sistema seguro y confiable, con un nivel de disponibilidad altísimo, que no necesita, en un principio, de sistema de backup.</li> <li>· Es un sistema no propietario, que garantiza una buena situación en caso de ampliaciones, modificaciones, circulaciones de nuevos trenes, y todo lo relacionado con la interoperabilidad de la línea.</li> <li>· Debido a alto número de Estaciones en el Tren Interurbano García – Aeropuerto (2.2 Km de media entre estaciones), conlleva a la instalación de gran cantidad de equipos en vía en caso del ERTMS N1, no obstante, para el ERTMS N2 no es necesaria la instalación de las señales laterales y por consecuencia no es necesario la instalación de los LEUs, balizas y cableado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Necesita la instalación del sistema de radiocomunicaciones GSM-R.</li> <li>· Elevado costo de instalación debido al requerimiento del radiocomunicaciones.</li> </ul>

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

## CONCLUSIONES

En base a las comparaciones anteriores, la selección de las tecnologías consideradas debe recaer sobre el sistema ERTMS, que es el que cumple holgadamente los requisitos y con los parámetros operativos de la Línea del Tren Suburbano García-Aeropuerto (velocidad máxima, intervalo) son sobradamente

conseguibles mediante este sistema, si bien desde el punto de vista económico es claramente el más caro. Otro punto importante a destacar, que la tendencia tanto del mercado mexicano (tren Toluca-México, Tren Maya, Tren Suburbano de CDMX, Tren suburbano Aeropuerto Santa Lucia) como de Latinoamérica se orienta hacia los sistemas de señalización ferroviario basados en ERTMS/ETCS para los trenes suburbanos. Por ello, el sistema ERTMS Nivel 1, en comparación con un sistema Nivel 2, presenta una serie de factores a destacar:

- Si se decide instalar un sistema de comunicaciones (voz y datos) del tipo GSM-R, entonces una gran parte del costo de ERTMS Nivel 2, que es el GSM-R, estaría ya absorbido. Por el contrario, esto permitiría ahorrar parte del equipamiento del Nivel 1 que también es costoso: LEU's y correspondientes cables a las balizas.
- El sistema en Nivel 2 no requiere señales laterales. Son solamente necesarias para situaciones degradadas, trenes no equipados o en modo maniobra. Esto quiere decir que el precio del ERTMS Nivel 1 o Nivel 2 puede converger más de lo previsto en un principio. Aunque también hay que señalar las ventajas que aporta el Nivel 2.

De acuerdo lo anterior, y para las condiciones de la línea del Tren Suburbano Garcia – Aeropuerto, que son los 55.5 Km de longitud de la línea, 39 Trenes de Pasajeros y 10 Trenes de Mercancía, considerando las opciones de ERTMS N1 con radio TETRA para las comunicaciones de Voz del personal de operación y de ERTMS N-2 con radio GSM-R, el costo aproximado (es orientativo y basado en ratios de otros proyectos) de estas dos propuestas es el siguiente:

Tabla 9. Costos aproximados de los equipos

	EQUIPAMIENTO	ERTMS N1 + TETRA	ERTMS N2 + GSM-R
Sistema de Señalización ERTMS (Excepto Radio Fijo)	Costo Equipo en Vía / Km	14.400.000 MXN	10.800.000 MXN
	Costo Equipo Embarcado / Tren	8.750.000 MXN (Pasajeros) 5.280.000 MXN (carga)	9.600.000 MXN (Pasajeros) 6.000.000 MXN (Mercancía)

	Equipamiento de Pasos a Nivel	200.000.000 MXN	200.000.000 MXN
Sistema de Radiocomunicaciones	Precio Equipamiento Fijo de RADIO	12.000.000 MXN	125.000.000 MXN
	Precio por KM de RADIO	450.000 MXN	540.000 MXN
	RBC (Radio Block Centre)	N.A.	120.000.000 MXN
	Longitud 55.5 KM, 39 Trenes de Pasajeros, 10 Trenes de Mercancía y 32 Pasos a Nivel	1,483,000.000 MXN	1.534,480.000 MXN

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Con objeto de que esta comparativa sea útil y precisa para:

- Tener un criterio de diferencia de costo entre ambos sistemas
- Poder comparar de forma consistente con otros sistemas
- Poder manejar cifras de inversión para la línea, desglosadas por sistemas

En primer lugar, se debe explicitar de forma clara lo que incluye y lo que no incluye esta aproximación de costo. Si bien está descrito en los apartados relativos al costo para ERTMS Nivel 1 y Nivel 2, se precisa a continuación lo que incluye y lo que no incluye:

Estas cifras de la tabla anterior, incluyen:

- Sistema completo de señalización
- Red de cables de señalización, incluidos armarios y cajas de terminales
- Red de señalización, ya sea privada o integrada en una red tipo multiservicio, sin incluir el tendido del medio físico, es decir de la fibra óptica “oscura”, que típicamente es objeto del proyecto de comunicaciones.
- Equipamiento de ERTMS Nivel 1 o 2 totalmente completo, es decir fijo y embarcado. En el caso del equipamiento fijo, se refiere por tanto a la totalidad de equipos de cabina, de terreno y en Centro de control, incluido cableado.

- En el caso de Nivel 2, por tanto, incluye todo el equipamiento GSM-R, y en particular el equipo de radio embarcado, que es la principal diferencia entre ambos equipos embarcados.
- Incluye el sistema de alimentación eléctrica para el equipamiento de señalización y ERTMS en toda la línea, a partir de la entrada en las salas técnicas de las líneas de alimentación, ya en baja tensión, es decir incluye un tablero de conmutación, los distintos tableros y protecciones para los equipos de señalización y ERTMS y la correspondiente SAI.
- Incluye todos los suministros, instalaciones, ingeniería de aplicación (incluida RAMS), pruebas, puestas en servicio, capacitación de operadores y mantenedores, periodo de garantía típicamente de dos años y una cantidad de refacciones (3% de los suministros de la línea).
- En estos datos, por el contrario, no se incluyen:
- Obra civil asociada: construcción de canalizaciones, registros, pasos de cables, etc para el cableado de señalización, comunicaciones, energía, etc, así como la construcción y acondicionamiento de edificios para salas técnicas de estos sistemas.
- Equipamiento de energía para la alimentación eléctrica en baja tensión hasta las salas técnicas de estos sistemas. Típicamente las necesidades de operación y RAM requieren una línea de alimentación redundante.
- Equipamiento de los telemandos en el centro de control, particularmente el de tráfico, exceptuando el puesto de control de ERTMS, que se encuentra integrado en el telemando de tráfico.
- Suministro y tendido de fibra para la red de señalización
- No se incluye los costos por la realización de los trabajos en varias fases

En segundo lugar, se debe aclarar que estas cifras corresponden a una línea como la descrita, en términos de longitud, estaciones, tipo de vía (doble o simple) y para los parámetros operativos descritos también con anterioridad (especialmente el intervalo entre trenes). Cabe decir que, en caso de variaciones de estas variables, el costo del ERTMS Nivel 1 es más sensible en términos relativos que el del ERTMS Nivel 2.

A la vista de lo anterior, la decisión del sistema a instalar, se decantaría en principio por un sistema ERTMS Nivel 2, puesto que, aunque el precio es mayor, la diferencia es de aproximadamente un 5%. Por tanto, se está aceptando que este 3% se ve compensado por las mayores prestaciones del sistema GSM-R como sistema de comunicaciones y por la eliminación de mucho equipamiento de terreno y la facilidad de instalación.

Este punto es importante desde el punto de vista de costos de mantenimiento, vandalismo, tiempos de instalación y pruebas y también por el hecho de que el derecho de vía es ajustado y cualquier equipo a instalar en la vía puede suponer problemas en este sentido. Para validar esta decisión, se deben tener en cuenta consideraciones como la posible obsolescencia del sistema GSM-R, si bien la inmensa cantidad de líneas de estas características que se equipan en Europa, en México (caso Tren Interurbano Toluca – México) y el resto del Mundo con ERTMS, lo hacen con sistema GSM-R, que es el único por el momento estándar para ERTMS.

## 1.2.2.2.2 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES

### RED TETRA

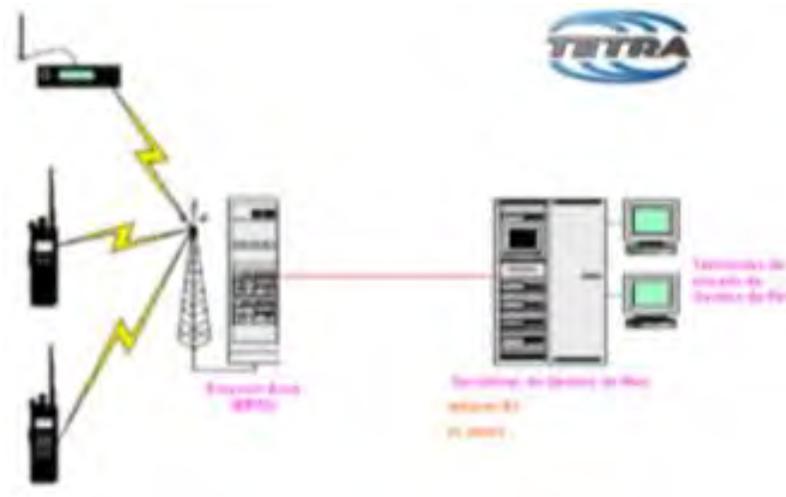
#### ✓ Descripción

El estándar TETRA es un sistema de radiocomunicaciones digital móvil para profesionales que está especialmente pensado para satisfacer las necesidades de los servicios de emergencias y seguridad, tanto actuales como futuros.

TETRA ha sido diseñado desde el principio como un sistema trunking que soporta una utilización compartida de la red por parte de varias organizaciones, manteniendo la privacidad y una mutua seguridad. Una funcionalidad importante de la red TETRA es el establecimiento de Redes Virtuales que permiten que cada organización opere independientemente, compartiendo los recursos existentes, lo cual redundará en una utilización muy eficiente de los mismos.

El sistema TETRA es ampliamente utilizado en la actualidad por sistemas de transporte de pasajeros debido a su seguridad y fiabilidad.

Figura 31 "Arquitectura típica del sistema TETRA"



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

#### ✓ Ventajas e inconvenientes

Las ventajas e inconvenientes de una Red TETRA son las siguientes:

Ventajas:

- Alta fiabilidad
- Tecnología madura, ampliamente desplegada y probada.
- Cobertura. En zonas no urbanas con terreno ideal y plano los radios de celda son elevados (del orden de 10-15km).
- Control total de la red por parte del operador. Al ser una red privada el operador ferroviario dispone de pleno control sobre la disponibilidad del servicio.
- Es tecnología de radio troncalizado digital:
  - Mayor privacidad y calidad de voz
  - Funcionalidades mejoradas
- Es Estándares abierto:
  - Apoyado por múltiples fabricantes
  - Asegura larga vida del producto
- Servicios Integrados en un Solo Terminal:
  - Radio de Dos Vías
  - Interconexión Telefónica
  - Datos Inalámbricos

Desventajas:

- Bajo ancho de banda para transmisión de datos
- Elevado costo de inversión (CAPEX).
- Mantenimiento de la Red (OPEX). Al tratarse de una red privada, el operador ferroviario ha de hacerse cargo del mantenimiento y gestión de la red.

## RED GSM-R

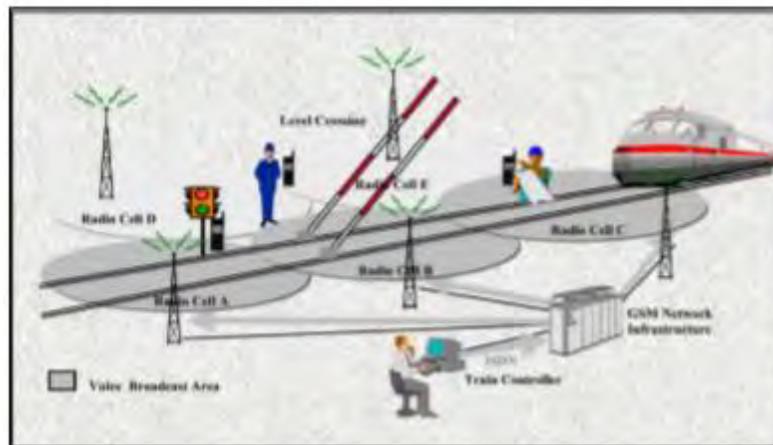
### ✓ Descripción

Los operadores ferroviarios necesitan una red de radiocomunicaciones con un alto nivel de fiabilidad para la transmisión de dos tipos de información:

- Datos de señalización vitales y relevantes
- Comunicaciones de voz entre los diferentes grupos de usuarios pertenecientes al entorno ferroviario

Como solución tecnológica que cubra estas necesidades se podría considerar el sistema GSM-R, adaptación del sistema de telefonía móvil GSM al entorno ferroviario. El sistema GSM-R es un sistema de comunicaciones móviles de voz y datos desarrollado específicamente para aplicaciones ferroviarias que garantiza su correcto funcionamiento a velocidades de hasta 500 km/h. GSM-R ha sido desarrollado a partir de GSM, y se beneficia de la herencia de dicha tecnología.

Figura 32 “Llamada de difusión”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ✓ Ventajas e inconvenientes

El sistema GSM-R permite establecer las comunicaciones entre los diferentes tipos de abonados (personal de estación, equipos de maniobras, personal a bordo de las unidades, etc.) así como el control automático del tren (niveles 2 y 3 del sistema ERTMS – European Rail Traffic Management System).

Es por esto que, en el caso de que se considere implementar el sistema ERTMS como sistema de señalización del Tren Suburbano García - Aeropuerto, la tecnología GSM-R sería la tecnología idónea dado que las funcionalidades de

ambos sistemas están en su especificación se el sistema GSM-R está diseñado actualmente más implantada y la más madura a nivel tecnológico.

Cabe mencionar que, además de que el sistema GSM-R es un componente imprescindible del ERTMS N2, el sistema GSM-R permitiría igualmente su uso como medio de transmisión de voz y datos asociados a los servicios de radiotelefonía móvil general, para labores de operación, maniobra y mantenimiento; y para vigilancia y seguridad del operador ferroviario.

Las ventajas e inconvenientes de una Red GSM-R son las siguientes:

Ventajas:

- Alta fiabilidad
- Tecnología madura, ampliamente desplegada y probada en líneas de alta velocidad y líneas de ferrocarril convencional
- Cobertura. En zonas no urbanas con terreno ideal y plano los radios de celda son elevados (del orden de 4-6 km)
- Control total de la red por parte del operador. Al ser una red privada el operador ferroviario dispone de pleno control sobre la disponibilidad del servicio
- Tecnología especificada como sistema de radiocomunicaciones para la implantación del sistema ERTMS nivel 2.

Desventajas:

- Bajo ancho de banda para transmisión de datos
- Elevado costo de inversión (CAPEX), especialmente en lo que a equipamiento central se refiere, que posiblemente no se pueda amortizar totalmente ya que en el mercado se están analizando tecnologías alternativas para su sustitución
- Mantenimiento de la Red (OPEX). Al tratarse de una red privada, el operador ferroviario ha de hacerse cargo del mantenimiento y gestión de la red

- Tecnología con vida útil limitada (EIRENE está trabajando para definir la evolución tecnológica, que será el FRMCS)

## **RED P25**

### ✓ **Descripción**

P25 es un estándar de comunicaciones digitales por radio, respaldada por la TIA (Telecommunications Industry Association) y también está apoyada por APCO (Association of Public-Safety Communications Officials International).

Tienen una amplia utilización en Estados Unidos y Canadá, considerándose el equivalente al estándar europeo TETRA. Actualmente se está pasando de la Fase 1 a la Fase 2 (muchas más funcionalidades) para conseguir un aprovechamiento del espectro radioeléctrico. Está pensado en asegurar la interoperabilidad en las comunicaciones, de forma que gestione comunicaciones de voz de forma rápida y segura, entre ubicaciones locales y agencias.

### ✓ **Ventajas e inconvenientes**

Las ventajas que presenta una red de radio P25 se pueden clasificar como:

- Interoperabilidad entre agencias (P25 Compliance Assessment Program)
- Multi-vendor compatibilidad, mediante el estándar TIA-102
- Precio competitivo, dado que es hay muchos fabricantes y operadores
- Diseño funcional específico para comunicaciones del tipo mission-critical
- Securizado mediante encriptación de la voz (desde simples voz scramblers hasta DES/AES digital encryption)
- Compatibilidad hacia atrás con sistemas antiguos
- Fase 1 está basada en tecnología 12.5KHz FDMA
- Fase 2 es compatible con Fase 1, basada en 12.5KHz TDMA utilizando dos voice path por canal, aumentando la eficiencia espectral
- Amplia gama de Vocoders. El original de Fase 1 está basado en IMBE 7.2 kbps. En Fase 2 se puede utilizar el AMBE+2, mejorado del anterior, 7.2kbps

y 3.6kbps, mejor rendimiento y virtualmente sin ruido de fondo, reconocimiento y gestión de tonos DTMF

Figura 33 "Arquitectura típica del sistema P2"



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

## RESUMEN COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE RADIOCOMUNICACIONES

La siguiente tabla resume a nivel técnico, una comparativa de las diferentes tecnologías planteadas del sistema de radiocomunicaciones a implementar para el Tren Suburbano Gracia - Aeropuerto:

Tabla 10. Comparativa de características técnicas

CARACTERÍSTICAS	GSM-R	TETRA	P25
Bandas de Frecuencia	UL: 876-880 MHz DL: 921-925 MHz	400 MHz	VHF (136 -174 MHz) UHF (403–512 MHz, 806 -870 MHz), 700 MHz: (746 -806 MHz)
Ancho de Banda de Canal	200 KHz	25 KHz	12.5 KHz
Tipo de estándar	Abierto	Abierto	Abierto
Modulación	GMSK	$\pi/4$ -DQPSK	C4FM, LSM
Acceso Múltiple	TDMA	TDMA	TDMA
Velocidad Máxima de Transmisión	172 Kbps (VOZ) 9.6 Kbps (DATOS)	5-10 Kbps (VOZ) 28.8 Kbps (DATOS)	12 Kbps
Movilidad	500 km/h	300 km/h	300 km/h
Rango de Celda	< 8 Km	10-25 km	15-20 km
Madurez	Maduro	Maduro	Maduro

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Asimismo, a continuación, se enlista una comparativa de ventajas e inconvenientes de cada una de las tecnologías del sistema de Radiocomunicaciones:

Tabla 11. Ventajas e inconvenientes de los sistemas analizados

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
GSM-R	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alta fiabilidad.</li> <li>· Tecnología madura, ampliamente desplegada y probada en líneas de alta velocidad y líneas de ferrocarril convencional</li> <li>· Cobertura. En zonas no urbanas con terreno ideal y plano los radios de celda son elevados (del orden de 4 km).</li> <li>· Control total de la red por parte del operador. Al ser una red privada el operador ferroviario dispone de pleno control sobre la disponibilidad del servicio.</li> <li>· Tecnología especificada como sistema de radiocomunicaciones para la implantación del sistema ERTMS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo ancho de banda para transmisión de datos.</li> <li>· Elevado coste de inversión (CAPEX).</li> <li>· Mantenimiento de la Red (OPEX) elevado. Al tratarse de una red privada, el operador ferroviario ha de hacerse cargo del mantenimiento y gestión de la red.</li> <li>· Tecnología con vida útil limitada (EIRENE está trabajando para definir la evolución tecnológica)</li> </ul>
TETRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alta fiabilidad</li> <li>· Tecnología madura, ampliamente desplegada y probada.</li> <li>· Cobertura. En zonas no urbanas con terreno ideal y plano los radios de celda son elevados (del orden de 5km).</li> <li>· Control total de la red por parte del operador. Al ser una red privada el operador ferroviario dispone de pleno control sobre la disponibilidad del servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo ancho de banda para transmisión de datos</li> <li>· Elevado coste de inversión (CAPEX).</li> <li>· Mantenimiento de la Red (OPEX). Al tratarse de una red privada, el operador ferroviario ha de hacerse cargo del mantenimiento y gestión de la red.</li> </ul>
P-25	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alta fiabilidad</li> <li>· Tecnología madura, ampliamente desplegada y probada.</li> <li>· Pensada para densidades de usuarios media/baja.</li> <li>· Cobertura. En zonas no urbanas con terreno ideal y plano los radios de celda son elevados (del orden de 25km).</li> <li>· Control total de la red por parte del operador. Al ser una red privada el operador ferroviario dispone de pleno control sobre la disponibilidad del servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bajo ancho de banda para transmisión de datos</li> <li>· Elevado coste de inversión (CAPEX).</li> <li>· Mantenimiento de la Red (OPEX). Al tratarse de una red privada, el operador ferroviario ha de hacerse cargo del mantenimiento y gestión de la red.</li> </ul>

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020



## CONCLUSIONES

Respecto a TETRA/P25 y GSM-R, ambos sistemas cumplen con los requisitos propuestos, si bien GSM-R requiere una inversión en equipamiento central mucho más elevada que TETRA/P25, que la inversión será recompensada en caso de selección ERTMS-N2 como sistema de señalización del Tren Suburbano Garcia - Aeropuerto. A nivel de cobertura, P25 tiene un poco más de cobertura que TETRA, pero da servicio a un número menor de usuarios al mismo ancho de requerido. A priori, y en caso de selección el ERTMS-N1 como sistema de señalización, el sistema TETRA/P25 podría ser la propuesta de sistema radio a implementar en el Tren Suburbano Garcia - Aeropuerto, en base a que se cumplen requisitos marcados, con una menor inversión necesaria. No obstante, en caso de seleccionar el ERTMS-N2 como sistemas de señalización para el Tren Suburbano Garcia – Aeropuerto, entonces sería más conveniente la selección del sistema GSM-R

### 1.2.2.3 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES

#### 1.2.2.3.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES Y DE OPERACIÓN

El objetivo principal de este sistema será el de comunicar de forma rápida, segura y exclusiva a los Operadores del Centro de Control Principal con los maquinistas y personal de cabina de los trenes, así como con el personal de la Línea equipado con terminales portátiles (brigadas de trabajo, personal de seguridad de la Línea, personal de apoyo a la operación y personal de maniobras en Talleres, etc.

La operación del Tren Suburbano García – Aeropuerto será controlada desde el Centro de Control donde se realizará el control de tráfico de los trenes que circularán en la línea. Estas acciones serán llevadas a cabo por el Regulador de Tráfico y/o los operadores que lo requieran, quienes, para llevar a cabo estas funciones, dispondrán en su puesto de operación de un equipo de radiocomunicaciones.

Éste les permitirá comunicarse con los conductores de los trenes a lo largo de la Línea y con el personal laboral que disponga de un terminal radio compatible, autenticado y sintonizado en la frecuencia correcta. La red de radiocomunicaciones deberá permitir al operador ferroviario de la línea del Tren Suburbano García – Aeropuerto la transmisión de dos tipos de información:

- Datos de señalización, vitales y relevantes para la implantación del sistema de señalización ETCS de Nivel 2.
- Comunicaciones de voz entre los diferentes grupos de usuarios pertenecientes al entorno ferroviario.

Las funcionalidades mínimas requeridas para este sistema son las siguientes:

- Permitir la comunicación entre controlador y maquinista.
- Permitir el control automático de trenes, mediante la implementación de ERTMS/ETCS de Nivel 2.
- Permitir el control remoto de equipos.
- Realizar llamadas de maniobras.
- Realizar llamadas de difusión en zonas de emergencia.
- Permitir la comunicación entre personal de mantenimiento de vías.
- Permitir las comunicaciones ferroviarias auxiliares.
- Permitir las comunicaciones locales en estaciones y almacenes.
- Permitir las comunicaciones de larga distancia, con elementos externos a la red: vehículos en carretera, otras redes, etc.
- Permitir servicios para pasajeros.

Además, se deberán considerar funcionalidades específicas que se adaptan al entorno ferroviario y funcionalidades estandarizadas por ETSI, de manera que el subsistema pueda permitir además los siguientes servicios:

- Numeración funcional (FA), que permita contactar con un usuario o una aplicación concreta mediante un número que identifica la función asociada y no el terminal físico. Debe soportar incluso la visualización en el terminal del número funcional, en lugar del número MSISDN.

- Direccionamiento dependiente de la localización (LDA). Las llamadas procedentes de un terminal móvil se deben poder encaminar a un terminal destino en función de su ubicación en el momento de realización de la llamada, por ejemplo, al controlador de la zona geográfica en la cual se encuentra.
- Filtrado por Matriz de Accesos. Esta funcionalidad permite limitar las posibilidades de conexión entre los distintos usuarios del sistema de radiocomunicaciones.
- Registro de llamadas de alta prioridad. Todas las llamadas clasificadas como de alta prioridad deberán poder ser registradas en el sistema de grabación de audio (REC) de la Línea. Por la importancia de las comunicaciones cursadas por el subsistema de Radiocomunicaciones, se deberán registrar de forma centralizada todas las llamadas con origen o destino en el Centro de Control (tanto realizadas por los terminales de cabina de tren, como las realizadas desde terminales portátiles del personal de la Línea). El subsistema de radiocomunicaciones deberá permitir que queden registradas la hora, duración e información de señalización de las llamadas registradas.
- Llamadas de broadcast o difusión (VBS).
- Llamadas de Grupo (VGCS). Permite a varios grupos y usuarios la realización de llamadas a otros miembros del mismo grupo o de otro diferente.
- Llamadas con selección de prioridad (eMLPP). Este servicio permite la apropiación forzosa de recursos para el establecimiento de llamadas de mayor prioridad.

En aquellos puntos de la línea donde se proceda a realizar funciones de mando y control, así como coordinación, se instalarán aplicaciones para la gestión operativa del sistema. Los puestos de operador de tráfico dispondrán así mismo de equipos de despacho del sistema de Radiocomunicaciones.

#### 1.2.2.3.2 ARQUITECTURA DEL SUBSISTEMA

✓ **Arquitectura general del sistema GSM-R**

El sistema GSM-R estará integrado por los siguientes subsistemas o bloques funcionales:

- Subsistema de Estaciones Móviles (MS).
- Subsistema de Estaciones Base (BSS).
- Subsistema de Conmutación de Red (NSS).
- Subsistema de Operación y Mantenimiento de Red (OMS).

En los siguientes apartados se describen las características principales de cada bloque funcional.

### **Subsistema de estaciones móviles (MS)**

Está formado por los equipos que permiten la comunicación entre trenes, personal de mantenimiento y explotación y entre ellos y el Centro de Control.

Se definen dos tipos de estaciones móviles:

- Terminal embarcado (radio en cabina), estación móvil embarcada en tren.
- Terminales portátiles, que serán utilizados por el personal de la Línea:
  - Terminales de propósito general.
  - Terminales operacionales.
  - Terminales de maniobra.

Las funciones principales que el terminal móvil deberá cumplir son las siguientes:

- Comunicación vía radio y gestión de los canales radio.
- Sintonización de frecuencias y seguimiento automático de las estaciones base.
- Procesamiento de voz: conversión analógica/digital y viceversa.
- Protección de errores: ARQ y FEC (para señalización y datos de usuarios, excepto servicios transparentes de datos).
- Control del flujo de señalización entre el usuario y el sistema.
- Control de flujo de datos de usuario (a excepción de servicios transparentes de datos).
- Adaptación de velocidad de datos de usuario y velocidad del canal de radio.
- Gestión de la movilidad.

La interfaz radio a través de la cual se establece la comunicación entre los terminales móviles con las estaciones base que proporcionan cobertura se denomina Um.

### **Subsistema de estaciones base (BSS)**

Permitirá el establecimiento de la comunicación entre la estación móvil y la red. Para ello, proporcionará todas las funciones de transmisión y control, necesarias para disponer de cobertura radio en el área de servicio.

Estará integrado por los siguientes elementos:

- Estaciones Base Transceptoras (BTS), distribuidas a lo largo de todo el trazado ferroviario.

Su objetivo principal será permitir la conexión de la estación móvil a la red, para lo cual deberá desempeñar las siguientes funciones:

- o Transmisión/recepción y procesado de señal en la comunicación radio.
- o Cifrado de la información en la interfaz aire.
- o Medición del nivel de señal transmitido y recibido.
- Controladoras de estaciones base (BSC), cuyas funciones principales deberán ser:
  - o Controlar de forma remota la interfaz radio entre cada estación base transceptora y el móvil.
  - o Asegurar la existencia de un canal radio fiable.
  - o Asignar y liberar los canales móviles.
  - o Gestionar el handover o traspaso de un móvil de una celda a otra.
  - o Conectar a los terminales móviles con la central de conmutación de móviles correspondiente.
  - o Concentrar el tráfico de varias estaciones base transceptoras.

La interfaz entre la BTS y la BSC se denomina interfaz Abis.

### **Subsistema de conmutación de red (NSS)**

Deberá ser el encargado de realizar las funciones de control y enrutamiento de llamadas, tanto las específicas de la telefonía móvil como las necesarias para la operación de la red GSM-R, en combinación con una red fija u otra red radio.

El elemento fundamental de este subsistema es la Central de Conmutación de Móviles (MSC), con la cual se comunicarán los equipos siguientes asociados a dicha central:

- Registro de Localización de Abonados (HLR).
- Registro de Localización de Visitantes (VLR).
- Centro de Autenticación (AuC).
- Registro de configuraciones para servicios de llamadas en grupo y de difusión (GCR), dentro del área de la MSC.
- Registro de Identificación de suscripciones (EIR).

Esta Central de Conmutación también servirá como interfaz con elementos de la propia red GSM-R y de subsistemas asociados a la NSS y subsistemas externos, como pueden ser:

- Subsistema BSS.
- Red Inteligente (IN).
- Subsistema de Centro de Mensajes Cortos y Buzón de Voz.
- Centro de Confirmación de Llamadas (ACK – Acknowledge Center).
- Plataforma OTA de gestión de abonados.
- Centro de Monitorización de Llamadas (Monitoring Center).
- Central de la red de telefonía fija (PABX,s).
- Red de telefonía pública conmutada (PSTN).
- Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
- Radio Block Center (RBC) para el Control Automático de Trenes.

La interfaz entre las controladoras de estaciones base (BSC) y el Centro de Conmutación de Móviles (MSC) se denomina interfaz A.

### **Subsistema de operación y mantenimiento de red (OMS)**

Será el encargado de la gestión y el control de los recursos y servicios de la red. Se integrará en los sistemas generales de gestión, control y ayuda al mantenimiento implantados para toda la Línea.

El subsistema de gestión técnica deberá permitir la gestión y administración del subsistema, incluyendo la priorización de las comunicaciones de los diferentes grupos de usuarios de la red, con capacidad de configurar cualquier parámetro de la red y sus terminales. Se deberá permitir el acceso a elementos de la red mediante protocolos estándar como FTP, HTTP, SNMP.

Los principales gestores que deben integrar este subsistema son:

- Gestor del sistema de conmutación.
- Gestor de red inteligente.
- Gestor de subsistema radio.
- Gestor del subsistema de repetidores.

#### 1.2.2.4 PUESTO DE CONTROL CENTRAL

##### 1.2.2.4.1 ALCANCE

El Puesto de Control Central se dividirá en dos partes principales cuya función estará claramente diferenciada:

- Las diferentes salas de operación que contendrán los puestos de operación que permitirán la gestión remota de la línea, incluyendo los equipos que posibilitarán la visualización de los datos de proceso e interacción con los sistemas.
- Las diversas salas técnicas que alojarán todo el equipamiento que servirá como base y soporte a los sistemas de control. El alcance del Puesto de Control Central se puede asociar a la instalación, pruebas y puesta en marcha de todo el equipamiento hardware y software destinado a la supervisión y la gestión de subsistemas que conforman los sistemas de control siguientes:
  - Telemando de Tráfico (TTR)
  - Telemando de Estaciones (TES)
  - Telemando de Seguridad (TSG)
  - Seguridad de Subsistemas (SES)

- o Herramienta de Servicio y al Usuario (HSU) e Integración de los Sistemas de la Línea (ISL)

El PCC del Tren Suburbano García – Aeropuerto consiste en un espacio o conjunto de salas de operación para llevar acabo las siguientes operaciones:

- Videowall: es la pantalla en donde se va a visualizar el tráfico de toda la línea del tren, asimismo, se podrá visualizar la cámara en caso de cualquier incidente en la línea. El tamaño y la ubicación de este Videowall permitirá su visualización en cualquier punto del área de operación.
- Telemando de Trafico: Se encargará de gestionar toda la flota de trenes en tiempo real, permitiendo cumplir con la frecuencia de servicio bajo la demanda requerida por los pasajeros. Asimismo, permitirá la optimización de operación mediante la inyección o la extracción de trenes dependiendo de la hora del día (horas valle y horas punta). Este telemando se basa sobre un sistema de control de trenes llamada ERTMS, y se encargara de controlar en todo tiempo la circulación de los trenes permitiendo un alto grado de seguridad a los usuarios.
- Telemando de Estaciones: Se encargará de monitorear, operar y mantener los equipos de instalaciones fijas situados en estaciones (elevadores, escaleras mecánicas, ventilación, tableros y acomentidas de energía eléctrica, instalaciones hidrosanitarias y Peaje entre otros), locales técnicos, talleres, depósitos y Centro de Control Operacional. De esta forma, se permitirá obtener un control total de las instalaciones que conforman el tren, obteniendo una alta disponibilidad de dichas instalaciones
- Telemando de Seguridad: Desde el telemando de Seguridad se visualizarán en tiempo real todas las cámaras de la línea del tren, tanto fijas como móvil en los trenes. Es el responsable de garantizar una explotación que cumpla los estándares de seguridad. Se encargará de supervisar y visualizar de los equipos necesarios para la protección a los pasajeros y operarios de la Línea (de Control de Accesos (ACC), el de Protección Contra

Incendios (PCI)), en primer término. Asimismo, se encargará de la supervisión y visualización de los equipos necesarios para la protección de material rodante e instalaciones (y el de Detección Auxiliar en la línea). En casos de emergencia y de manera excepcional el Telemando de Seguridad gestionara la evacuación de los pasajeros de forma segura aplicando órdenes a otros sistemas del tren.

- Información y atención al Usuario: Permitirá gobernar la difusión de Información sonora y multimedia desde el Centro de Control hacia los pasajeros de la línea a través de elementos de difusión en estaciones y dentro del tren (teleindicadores y equipos de sonorización). Asimismo, proporcionarán un medio de comunicación vocal, bidireccional y directa entre los pasajeros y el personal del Centro de Control satisfaciendo la demanda de información o de ayuda en caso de emergencia.
- Sala mantenimiento: Es donde se alojarán de ingenieros de mantenimiento quienes llevar el labora de configurar y preservar los sistemas de explotación del tren.
- Sala de Crisis: es la sala donde se reúnen los responsables de la operación para atender cualquier contingencia que afectar a la operación y seguridad de la línea.
- Puesto de Jefe de Operación: Es el responsable de la mayor jerarquía en la operación diaria del tren.

#### 1.2.2.4.2 PERFILES Y ROLES

En este capítulo se presentan los distintos perfiles y roles que existirán para definir los puestos de operadores previstos a implantar en el Puesto de Control Central de la Línea ferroviaria Tren Suburbano de Monterrey de México. Perfiles Se definen los siguientes perfiles en el Puesto de Control Central:

- Supervisor de Línea: será el responsable de la operación de la línea y la coordinación de todos los operadores del Centro de Control. Como tal, el supervisor de Línea deberá tener el control y el acceso a toda la información referente a lo que esté pasando en la línea, así como en el

Centro de Control. El supervisor dispondrá de todas las funcionalidades disponibles para los operadores de Tráfico, Estaciones y Seguridad.

- Regulador de Tráfico: responsable de supervisar la circulación de trenes en vía general, así como la inyección/extracción de trenes a/desde Talleres y Depósitos. Se responsabilizará de supervisar y coordinar las maniobras de trenes en vía general fruto de la aparición de situaciones de circulación en modo degradado. Existirán reguladores u operadores de tráfico para el tren Suburbano.
- Regulador de Estaciones: responsable de la supervisión y el correcto funcionamiento de los siguientes sistemas de estación: Electromecánicos (elevadores, bombas de achique, etc.), Subestación de Alumbrado y Fuerzas, Baja Tensión, Alumbrado y Peaje.
- Coordinador de Seguridad: será el responsable y coordinador tanto del Área de Seguridad como del área de Contacto con el Usuario. Realizará la coordinación entre operadores del centro de seguridad, así como con entidades externas de seguridad y emergencia.
- Además, en función de los eventos y estados de emergencia o seguridad que se transmitan desde el Área de Seguridad, será este coordinador quien se encargue de trasladar esta información al Centro de Contacto con el Usuario para, con ello, adoptar las medidas necesarias y activar el protocolo y/o mensajes necesarios a transmitir desde el Puesto de Control Central hacia el resto de la Línea.
- Adicionalmente se responsabilizará de reportar al Supervisor de Línea cualquier incidencia o el estado de seguridad de la línea.
- Ingeniero de Mantenimiento: en el Centro de Control Principal existirán ingenieros de mantenimiento, cuya función principal será la monitorización y diagnóstico continuo (24x7) de todos los sistemas de la línea para determinar qué acción de mantenimiento debe realizarse en cada momento.

## ✓ Roles

El Puesto de Control Central dispondrá de distintos roles de operación definidos para los operadores de cada área de trabajo, de manera que usuarios distintos dispongan también de distintos privilegios y capacidades dentro del sistema, atendiendo al nivel de responsabilidad que cada uno de dichos usuarios ocupa dentro del Puesto de Control Central. El acceso de los usuarios al sistema (que se realizará siempre mediante una clave de acceso o password) deberá quedar registrado en la base de datos de eventos históricos indicando el nombre del usuario, la fecha y hora de acceso y de salida, así como los sistemas a los que el usuario accedió durante su sesión de trabajo. Las principales funciones a realizar sobre los sistemas de telemando del Puesto de Control Central pueden clasificarse en cinco niveles o categorías según el nivel de responsabilidad y/o seguridad exigido para su ejecución. Los cinco roles de operación que se definen para cada uno de los telemandos son los siguientes:

- Nivel de Observador
- Nivel de Analista
- Nivel de Operador
- Nivel de Supervisor
- Nivel de Administrador

### **Observador:**

El rol de observador no tiene ninguna facultad para manipular u operar los sistemas. Únicamente tendrá acceso a la información de los distintos sistemas y será, como indica su nombre, observador de las situaciones y eventos que tienen lugar en los mismos. Será, en definitiva, un ente encargado de la monitorización en línea, sólo visualizando las situaciones que se presenten, sin tener la capacidad de emprender acciones. Se debe notar que este rol no tiene capacidad para solicitar informes, reportes o datos históricos de las distintas bases de datos de los telemandos.

Las únicas acciones que podrá emprender un usuario que tenga asignado el rol de observador son las siguientes:

- Entrar/salir del sistema
- Supervisión gráfica de la instalación

### **Analista:**

Las capacidades que poseerá un usuario con el rol de analista incluyen las propias del rol de observador, detalladas en la sección previa. Adicionalmente, el rol de analista permitirá desempeñar las operaciones que se detallan a continuación:

- Obtención de información de los sistemas: tendrá acceso a la información que proporcionan los sistemas y podrá imprimir o copiar esa información, incluyendo los datos provenientes del almacenamiento de eventos históricos.
- Creación de estadísticas y gráficas: tendrá la capacidad de realizar estadísticas y crear gráficas a partir de la información que proporcionan los sistemas y el registro de eventos y datos históricos.
- Análisis de información para sugerir cambios y mejoras: tendrá capacidad de análisis de la información y podrá proponer mejoras en los sistemas a partir de las herramientas de análisis inteligente que proporcione el propio sistema (tendrá asimismo acceso a dichas herramientas).

### **Operador:**

El rol de operador permite llevar a cabo todas las operaciones propias de los roles de observador y analista (detalladas en las secciones anteriores). Adicionalmente, tendrá asignadas todas las responsabilidades que se detallan en esta sección. Cada operador será responsable de la supervisión del o de los telemandos que le correspondan (tráfico, sistemas de instalaciones electromecánicas, etc.).

Las funciones que un operador puede ejercer serán las siguientes:

- Operaciones sobre los elementos situados en campo.
- Bloquear / Desbloquear elementos.
- Habilitación / inhabilitación de elementos.
- La activación manual de los estados y las señales de los elementos situados en campo.
- Edición y visualización de notas.
- Reconocimiento y control de alarmas y eventos sobre los elementos de campo.

- Toma y cesión de mando por zona o estación / subestación.

### **Supervisor:**

Las facultades asignadas a este rol incluyen las mismas del observador, el analista y el operador (presentadas en las secciones previas), y adicionalmente permiten realizar las funciones siguientes:

- Delegación de mandos forzada (incluyendo tanto toma como cesión).
- Modificación y restricción de ciertos parámetros accesibles al operador tanto a nivel de la explotación de la línea como a nivel de configuración del sistema.
- Generación y eliminación de secuencias predefinidas de operación.
- Edición y visualización de notas con la capacidad adicional de eliminación de notas generales.

### **Administrador:**

Dentro del nivel de administrador, se distinguen dos categorías con responsabilidades, funcionalidades y capacidades diferenciadas sobre los diferentes sistemas que componen el Puesto de Control Central:

- Administrador de los sistemas de control
- Administrador de sistemas

#### 1.2.2.4.3 TELEMANDOS

##### ✓ **Telemando de Tráfico (TTR)**

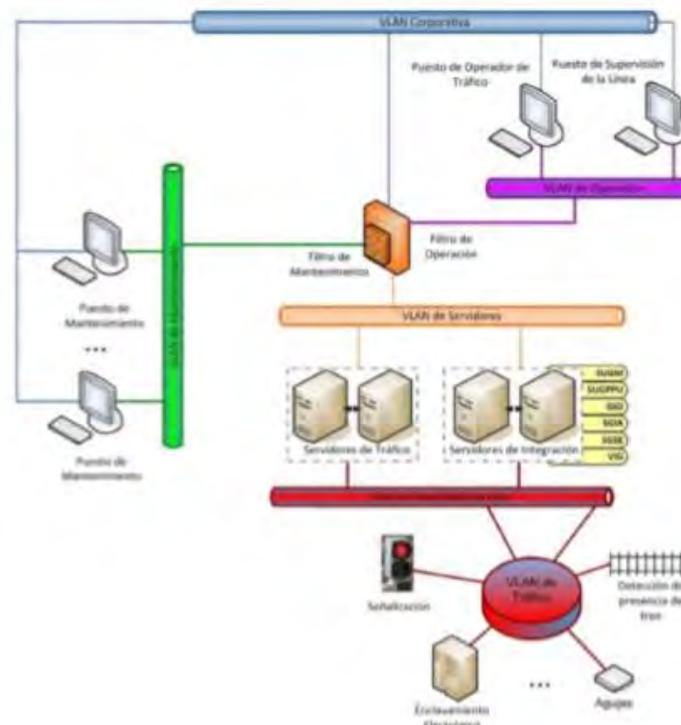
Se define el Telemando de Tráfico (TTR) como el conjunto de todos los elementos hardware, software y de comunicaciones que permiten realizar de manera remota la supervisión, el control y la gestión de todos los sistemas de señalamiento y control de los trenes que circulan por la Línea del Tren Suburbano García – Aeropuerto. El buen funcionamiento del TTR depende del correcto diseño, instalación y configuración de todos los elementos (hardware y software) que permiten la recolección de datos, la ejecución de las aplicaciones que constituyen la lógica del telemando, el intercambio de información entre ellas, y la correcta interacción final con los operadores del telemando.



## Arquitectura

Se presenta en este capítulo la estructura general del sistema, detallando su arquitectura (tanto hardware como software), describiendo asimismo los elementos que lo componen y los criterios de configuración empleados en su diseño.

Figura 34 “Arquitectura TTR”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ➤ Arquitectura Hardware

El TTR hará uso de la Red de Datos Multiservicio de la Línea ferroviaria, para el intercambio de información entre el Puesto de Control Central y los elementos de campo de gestión del tráfico repartidos a lo largo de la línea. La arquitectura implementada para permitir la comunicación de los elementos de TTR ubicados en el PCC (servidores y puestos de operación) con el resto de elementos a través de la Red de Datos Multiservicio.

➤ **Arquitectura Software**

El TTR tendrá una lógica de Software de funcionamiento que atenderá a distintas funcionalidades requeridas para este sistema y realizará su adaptación a los diferentes perfiles que puedan necesitar de la aplicación lógica de este telemando en su operación diaria. El software empleado en este telemando será concebido con tal de permitir la comunicación y el intercambio de datos y órdenes entre los elementos instalados en campo y las aplicaciones de telemando en el Puesto de Control Central. De forma análoga, este software realizará una gestión y administración de las diferentes bases de datos implicadas en el funcionamiento del telemando.

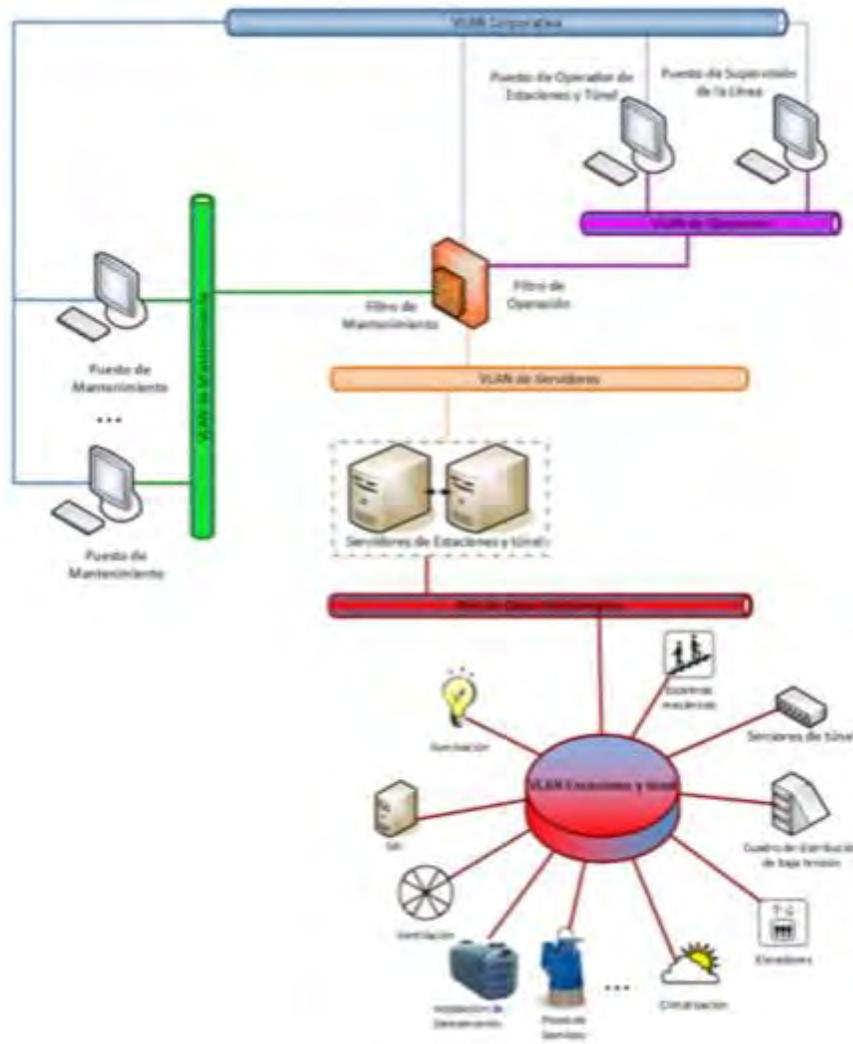
✓ **Telemando de Estación (TES)**

Se define el Subsistema de Mando y Control de Estaciones (TES) como el conjunto de todos los elementos hardware, software y de comunicaciones que permiten realizar de manera remota la supervisión, el control y la gestión de los dispositivos electromecánicos, de instalaciones fijas y de boletaje presentes en estaciones, locales técnicos, talleres, depósitos y otras dependencias (como el Puesto de Control Central [PCC]). El buen funcionamiento del TES depende del correcto diseño, instalación y configuración de todos los elementos (hardware y software) que permiten la recolección de datos, la ejecución de las aplicaciones que constituyen la lógica del telemando, el intercambio de información entre ellas, y la correcta interacción final con los operadores del telemando.

**Arquitectura**

Se presenta en este capítulo la estructura general del sistema, detallando su arquitectura (tanto hardware como software), describiendo asimismo los elementos que lo componen y los criterios de configuración empleados en su diseño.

Figura 35 “Arquitectura telemando de estación”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

➤ **Arquitectura Hardware**

El TES hará uso de la Red de Datos Multiservicio del Tren Suburbano García - Aeropuerto, para el intercambio de información entre el Puesto de Control Central y los elementos de campo del telemando repartidos a lo largo de la línea (como pueden ser PLCs y concentradores industriales).

➤ **Arquitectura Software**

El TES tendrá una lógica software de funcionamiento que atenderá a las distintas funcionalidades requeridas para este sistema y realizará su adaptación a los

diferentes perfiles que puedan necesitar de la aplicación lógica de este telemando en su labor diaria.

El software empleado en este telemando será concebido con el fin de permitir la comunicación y el intercambio de datos y órdenes entre los elementos instalados en campo y las aplicaciones de telemando en el PCC. De forma análoga, este software realizará una gestión y administración de las diferentes bases de datos implicadas en el funcionamiento del telemando.

Existirán módulos de software con el objetivo de adquirir los datos que provienen de elementos ubicados en campo, así como otros dedicados específicamente a la integración entre los diferentes telemandos y sistemas. Aparte se dispondrá de módulos de software de uso general como sistemas operativos y herramientas auxiliares disponibles para los diferentes equipos. En el esquema anterior, cada uno de los tipos de módulos software que intervienen en la arquitectura del sistema de mando y control se representan en colores distintos.

#### ✓ **Telemando de Seguridad (TSG)**

Se define el sistema de Mando y Control de Seguridad (TSG) como el conjunto de todos los elementos hardware, software y de comunicaciones que permiten realizar de manera remota la supervisión, el control y la gestión de los diversos dispositivos de campo que intervienen en la seguridad de las operaciones de la línea. El buen funcionamiento del TSG depende del correcto diseño, instalación y configuración de todos los elementos (hardware y software) que permiten la recolección de datos, la ejecución de las aplicaciones que constituyen la lógica del telemando, el intercambio de información entre ellas, y la correcta interacción final con los operadores del telemando. Dado que el TSG tiene como objetivo la supervisión y el control de elementos de diferentes ámbitos, su implementación se divide en la gestión integral de distintos subsistemas:

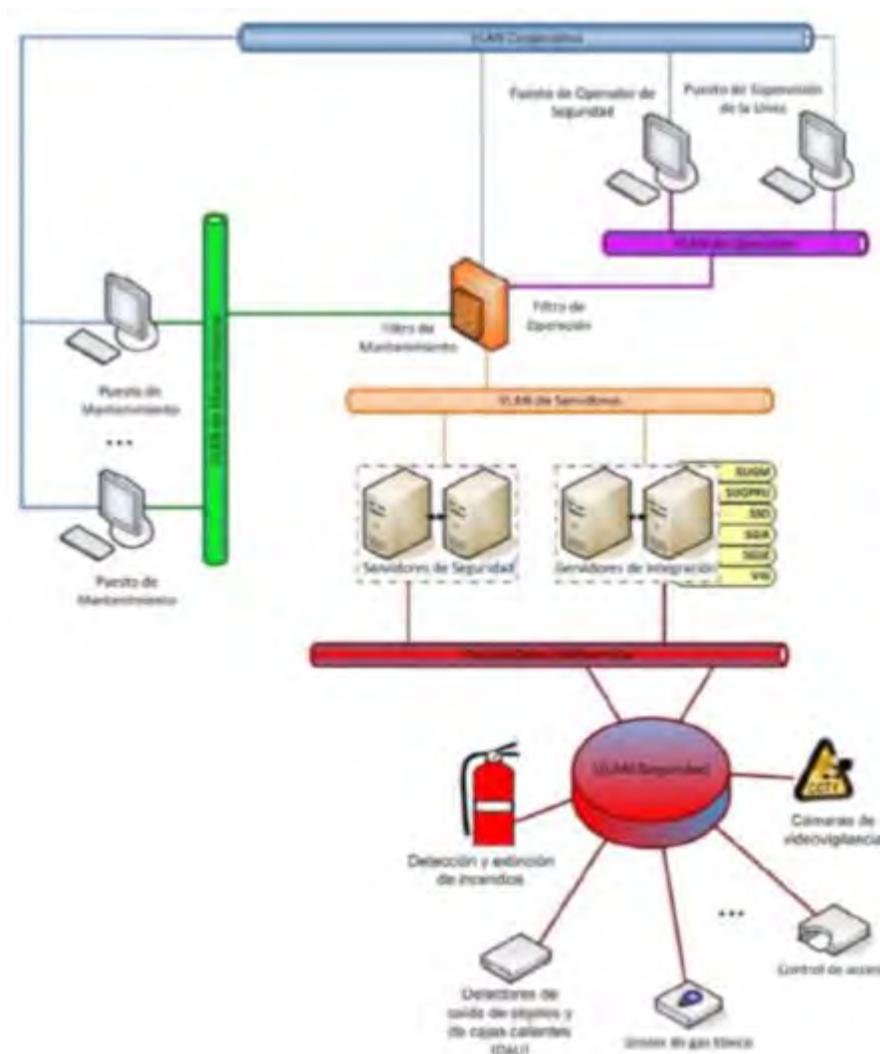
- Mando y Control del subsistema de Control de Accesos a Áreas Restringidas

- Mando y Control del subsistema de Protección Contra Incendios
- Mando y Control del subsistema de Detección Auxiliar
- Mando y Control en modo emergencia de otros subsistemas (ELV, ESC, INH, etc.)

➤ **Arquitectura**

Se presenta en este capítulo la estructura general del sistema, detallando su arquitectura (tanto hardware como software), describiendo asimismo los elementos que lo componen y los criterios de configuración empleados en su diseño.

Figura 36 “Arquitectura telemando de seguridad”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

➤ **Arquitectura Hardware**

El TSG hará uso de la Red de Datos Multiservicio de la Línea para el intercambio de información entre el Centro de Control Operacional y los elementos de campo del telemando repartidos a lo largo de la Línea. La arquitectura implementada para permitir la comunicación del PCC con el resto de elementos a través de dicha red se muestra en la figura siguiente:

**Arquitectura Software** El TSG tendrá una lógica Software de funcionamiento que atenderá a distintas funcionalidades requeridas para este sistema y realizará su adaptación a los diferentes perfiles que puedan necesitar de la aplicación lógica de este telemando en su operación diaria.

El software empleado en este telemando será concebido con tal de permitir la comunicación y el intercambio de datos y órdenes entre los elementos instalados en campo y las aplicaciones de telemando en el Puesto de Control Central.

De forma análoga, este software realizará una gestión y administración de las diferentes bases de datos implicadas en el funcionamiento del telemando.

Existirán módulos de software con el objetivo de adquirir los datos que provienen de elementos ubicados en campo, así como otros dedicados específicamente a la integración entre los diferentes telemandos y subsistemas. A parte se dispondrá de módulos de software de uso general como sistemas operativos y herramientas auxiliares disponibles para los diferentes equipos.

### **1.2.3 ANTEPROYECTO**

#### **1.2.3.1 CRITERIO GENERALES DE DISEÑO**

#### **Estación Tipo 01**

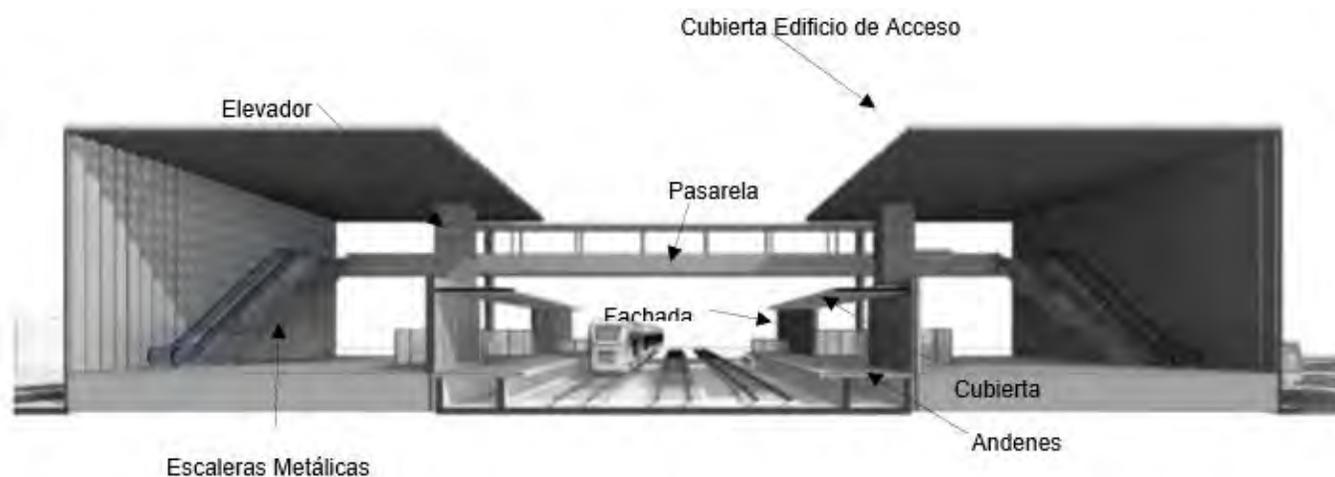
En la siguiente tabla se describen las edificaciones por estructurar, analizar y diseñar de acuerdo a los requerimientos del proyecto arquitectónico.

Tabla 12. Edificaciones por estructura estación tipo 1

ESTRUCTURA	CANTIDAD
Edificio de accesos	2
Pasarela	1
Andenes	2
Local Técnico	1
Elevador	2
Edificios complementarios	-

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Figura 37 “Esquema conceptual de estación tipo 01”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

A continuación, se explica de manera general el concepto de estructuración de cada una de las edificaciones:

- **Edificios de acceso.**

La estructura para estos accesos, será de acero estructural, con marcos rígidos como elementos principales de apoyo para la estructura de la cubierta, La fachada estará formada por una serie de placas verticales dando la apariencia de un elemento corrugado tipo tablestaca, integrada a los marcos estructurales.

Dentro de las zonas de acceso existirán escaleras eléctricas y fijas, para tener acceso a la pasarela de comunicación entre andenes, estas se plantean de estructura metálica apoyadas sobre un marco longitudinal de acero, desplantado sobre el cajón del andén.

La cimentación para las estructuras de los accesos, se plantea estén cimentadas a base de zapatas corridas y aisladas que servirán para distribuir de manera uniforme las cargas al terreno por la estructura.

- **Pasarela.**

La pasarela es un paso superior peatonal que permitirá a los transeúntes cambiar de andén dentro de la misma estación de una manera segura y eficiente, pasando por arriba de las vías del tren.

Esta estará conformada por dos marcos rígidos de acero estructural, compuestos por dos vigas longitudinales de acero que a su vez fungirán como barandal para el transeúnte. El sistema de piso estará apoyado sobre los patines inferiores y en su patín superior se apoyarán una serie de marcos de acero que servirán para apoyar la cubierta ligera sobre la pasarela. La cimentación se idealiza a base de zapatas aisladas, con la salvedad de lo que indique el estudio de mecánica de suelos.

- **Andenes.**

Los andenes de abordaje, estarán formados por un cajón de cimentación de concreto armado, la losa superior funcionará como sistema de piso a lo largo de todo el andén.

Sobre esta losa, se colocará provisionalmente una estructura metálica ligera, que funcionará como sistema de piso para alcanzar el NPT requerido, para poder alcanzar el nivel de abordaje de los actuales trenes. Esta plataforma provisional se desmontará una vez que se haga el cambio de los trenes.

Una parte de los andenes estará techada por una cubierta ligera que se apoyará sobre una serie de traveses de acero en voladizo, las cuales estarán conectadas a una serie de columnas de acero, integradas a la estructura de fachada que estará

conformada por placas de acero verticales tipo tablestacas. La cimentación se plantea a base de zapata corrida de concreto que se integrará al cajón del andén.

- **Local Técnico.**

La superestructura será a base de marcos rígidos de concreto armado, con muros perimetrales de concreto y muros divisorios de mampostería confinada. El sistema de techumbre será una losa maciza. La cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto, salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

- **Elevador.**

La estructura para los elevadores estará apoyada sobre un cajón de cimentación. Esta estructura estará conformada por marcos rígidos de acero, que serán dispuestos a razón de los requerimientos técnicos del elevador que será colocado.

- **Edificios Complementarios.**

Todos los edificios complementarios serán estructurados a partir de marcos rígidos de acero cuya cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

## Estación Tipo 02

En la siguiente tabla se describen las edificaciones por estructurar, analizar y diseñar de acuerdo a los requerimientos del proyecto arquitectónico.

Tabla 13. Edificaciones por estructura estación tipo 2

ESTRUCTURA	CANTIDAD
Edificio de accesos	1
Pasarela	1
Andenes	2
Local Técnico	1
Elevador	3
Edificios complementarios	-

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Figura 38 “Esquema conceptual de estación tipo 02”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

A continuación, se explica de manera general el concepto de estructuración de cada una de las edificaciones:

- **Edificios de acceso.**

La estructura para estos accesos, será de acero estructural, con marcos rígidos como elementos principales de apoyo para la estructura de la cubierta, La fachada estará formada por una serie de placas verticales dando la apariencia de un elemento corrugado tipo tablestaca, integrada a los marcos estructurales.

Dentro de las zonas de acceso existirán 2 escaleras fijas, para tener acceso a la pasarela de comunicación entre andenes, estas se plantean de estructura metálica, una apoyada sobre un marco longitudinal de acero, desplantado sobre el cajón del andén y otra sobre el cubo de concreto del elevador 2.

La cimentación para las estructuras de los accesos, se plantea estén cimentadas a base de zapatas corridas y aisladas que servirán para distribuir de manera uniforme las cargas al terreno por la estructura.

- **Pasarela.**

La pasarela es un paso superior peatonal que permitirá a los transeúntes cambiar de andén dentro de la misma estación de una manera segura y eficiente, pasando por arriba de las vías del tren.

Esta estará conformada por dos marcos rígidos de acero estructural, compuestos por dos vigas longitudinales de acero que a su vez fungirán como barandal para el transeúnte. El sistema de piso estará apoyado sobre los patines inferiores y en su patín superior se apoyarán una serie de marcos de acero que servirán para apoyar la cubierta ligera sobre la pasarela. La cimentación se idealiza a base de zapatas aisladas, con la salvedad de lo que indique el estudio de mecánica de suelos.

- **Andenes.**

Los andenes de abordaje, estarán formados por un cajón de cimentación de concreto armado, la losa superior funcionará como sistema de piso a lo largo de todo el andén.

Sobre esta losa, se colocará provisionalmente una estructura metálica ligera, que funcionará como sistema de piso para alcanzar el NPT requerido, para poder

alcanzar el nivel de abordaje de los actuales trenes. Esta plataforma provisional se desmontará una vez que se haga el cambio de los trenes.

Una parte de los andenes estará techada por una cubierta ligera que se apoyará sobre una serie de traveses de acero en voladizo, las cuales estarán conectadas a una serie de columnas de acero, integradas a la estructura de fachada que estará conformada por placas de acero verticales tipo tablestacas. La cimentación se plantea a base de zapata corrida de concreto que se integrará al cajón del andén.

- **Local Técnico.**

La superestructura será a base de marcos rígidos de concreto armado, con muros perimetrales de concreto y muros divisorios de mampostería confinada. El sistema de techumbre será una losa maciza. La cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto, salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

- **Elevador 1.**

La estructura para los elevadores estará apoyada sobre un cajón de cimentación. Esta estructura estará conformada por marcos rígidos de acero, que serán dispuestos a razón de los requerimientos técnicos del elevador que será colocado.

- **Elevador 2.**

La estructura para el levador tipo 2 estará apoyada sobre un cajón de cimentación. Esta estructura estará conformada por un cubo formado con muros de concreto, sobre los cuales se apoyará la escalera perimetral que existe sobre este, dicha escalera se plantea sea con estructura de acero.

- **Edificios Complementarios.**

Todos los edificios complementarios serán estructurados a partir de marcos rígidos de acero cuya cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

### Estación Tipo 03

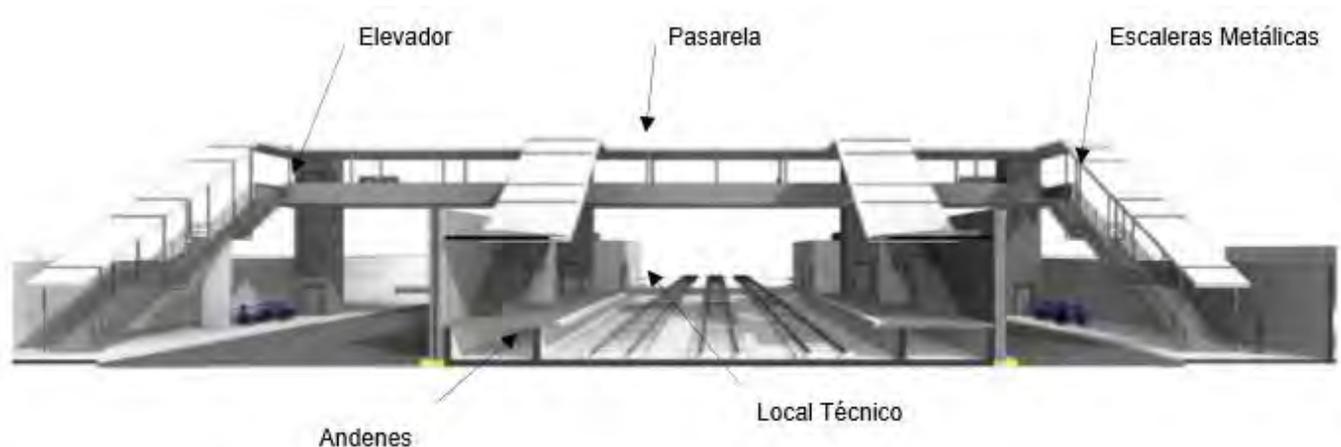
En la siguiente tabla se describen las edificaciones por estructurar, analizar y diseñar de acuerdo a los requerimientos del proyecto arquitectónico.

Tabla 14. Edificaciones por estructura estación tipo 3

ESTRUCTURA	CANTIDAD
Pasarelas	1
Andenes	2
Local Técnico	2
Elevador	4
Edificios complementarios	-

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Figura 39 “Esquema conceptual de estación tipo 03”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

A continuación, se explica de manera general el concepto de estructuración de cada una de las edificaciones:

- **Escaleras externas e internas de acceso.**

Esta estación no cuenta con edificios de acceso, se accederá a los andenes por medio de dos escaleras externas, que permiten la comunicación a la pasarela, la

cual a su vez se comunica con otras 2 escaleras internas de acceso a los andenes, ambas escaleras serán cubiertas.

Las escaleras externas serán de estructura metálica, apoyadas sobre un marco longitudinal formado por 2 columnas de acero, su cimentación se plantea con zapatas aisladas de concreto.

Las escaleras internas serán de estructura metálica y estarán apoyadas sobre un marco de acero, el cual se desplantará sobre el cajón del andén.

- **Pasarela.**

La pasarela es un paso superior peatonal que permitirá a los transeúntes cambiar de andén dentro de la misma estación de una manera segura y eficiente, pasando por arriba de las vías del tren.

Esta estará conformada por dos marcos rígidos de acero estructural, compuestos por dos vigas longitudinales de acero que a su vez fungirán como barandal para el transeúnte. El sistema de piso estará apoyado sobre los patines inferiores y en su patín superior se apoyarán una serie de marcos de acero que servirán para apoyar la cubierta ligera sobre la pasarela. La cimentación se idealiza a base de zapatas aisladas, con la salvedad de lo que indique el estudio de mecánica de suelos.

- **Andenes.**

Los andenes de abordaje, estarán formados por un cajón de cimentación de concreto armado, la losa superior funcionará como sistema de piso a lo largo de todo el andén.

Sobre esta losa, se colocará provisionalmente una estructura metálica ligera, que funcionará como sistema de piso para alcanzar el NPT requerido, para poder alcanzar el nivel de abordaje de los actuales trenes. Esta plataforma provisional se desmontará una vez que se haga el cambio de los trenes.

Una parte de los andenes estará techada por una cubierta ligera que se apoyará sobre una serie de traveses de acero en voladizo, las cuales estarán conectadas a

una serie de columnas de acero, integradas a la estructura de fachada que estará conformada por placas de acero verticales tipo tablestacas. La cimentación se plantea a base de zapata corrida de concreto que se integrará al cajón del andén.

- **Local Técnico.**

La superestructura será a base de marcos rígidos de concreto armado, con muros perimetrales de concreto y muros divisorios de mampostería confinada. El sistema de techumbre será una losa maciza. La cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto, salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

- **Elevador.**

La estructura para el elevador estará apoyada sobre un cajón de cimentación. Esta estructura estará conformada por marcos rígidos de acero, que serán dispuestos a razón de los requerimientos técnicos del elevador que será colocado.

- **Edificios Complementarios.**

Todos los edificios complementarios serán estructurados a partir de marcos rígidos de acero cuya cimentación se idealiza a base de zapatas corridas de concreto salvo lo que recomiende el estudio de mecánica de suelos.

## **1.2.4 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RUTA TRONCAL**

### **1.2.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA**

Las características generales de la línea del Tren Suburbano García – Aeropuerto, son:

- Velocidad promedio de operación se encuentra entre 40-55 km/h
- En un inicio se proponían 27 estaciones: Estación 1 (García) – Estación 27 (Aeropuerto), únicamente 21 operando en una primera fase;
- La zona urbana se encuentra entre la Estación 7 y la Estación 22 (Tramo de mayor demanda)
- 70% de vía es doble y 30% de vía es única
- Los servicios previstos, son:
  - Servicio García – Estación 22: con parada en todas Estaciones; longitud 43.8 km

- Estación 7 – Aeropuerto: Parada en todas las Estaciones; longitud 38.8 km. Este compuesto por dos unidades de 2da clase y una de 1era clase usuarios de aeropuerto
- El trazado del proyecto discurre en su gran mayoría sobre infraestructura ya existente, comenzando sobre la línea “B” en el cadenamamiento PK B-984+900, continuando hacia el oriente por la antigua estación de pasajeros hasta la bifurcación ubicada en el cadenamamiento PK B-1022+860 (justo antes del Patio de operaciones de KCSM cuyo cadenamamiento es PK B-1024+000). Posteriormente, la línea proseguiría por un corto tramo de la línea “BMA” hasta la bifurcación con el comienzo de la “Antigua Línea F”, cadenamamiento PK BMA-0+640. A continuación, el trazo sigue la Antigua Línea F hasta su extremo final, PK OLD F-4+840. En este punto se precisa la construcción de un nuevo tramo ferroviario para conectar con la actual Línea “F” que conecta con la Terminal Aeropuerto de Monterrey, cadenamamiento PK F-21+755.
- A parte del Patio de Operaciones, el tren de mercancía dará servicio a una serie de empresas localizadas a lo largo del trazo de la línea del Tren Suburbano García-Aeropuerto (se debe confirmar este punto con el cliente).
- Material Rodante Previsto:
  - Este tren tiene un aforo para 62 pasajeros sentados y 188 pasajeros de pie, no obstante, está previsto realizar una actualización del interior del tren para conseguir espacio extra, de esta manera conseguimos tener una capacidad máxima de 62 pasajeros sentados y 313 pasajeros de pie o hasta 480 pasajeros de pie.
  - El tamaño de la flota es 39 trenes: 35 Trenes en Operación y 4 Trenes en Talleres
  - Longitud aproximada del Material Rodante es de 46.4 metros.
  - La flota de los trenes de mercancía es de 10 locomotoras
  - Longitud de los Trenes de mercancía a circular en la Línea B es entre 1,414 metros (con 64 unidades) y 2,573 metros (117 unidades)
  - Longitud de los Trenes de mercancía a circular en la Línea F es entre 1,396 metros (con 63 unidades) y 2,109 metros (96 unidades)
- Existirán tres tipos de Estaciones

- Estaciones Pequeñas
- Estaciones Medianas
- Estaciones Terminales
- Pasos a Nivel de línea del Tren Suburbano se dividen de las siguientes categorías:
  - 4 Pasos a Nivel Peatonal para personal de mantenimiento de la línea del Tren
  - 4 Pasos a Nivel Peatonal de uso exclusivo para peatones
  - 16 Pasos a Nivel a proteger (equipando el paso) de uso publico
  - 16 Pasos a Nivel a proteger (equipando el paso) de uso privado
  - 28 Pasos a Nivel a sustituir por PSV o PIV
  - 29 Pasos a Nivel a suprimir

#### 1.2.4.2 Ubicación de la ruta troncal

Una vez determinados los puntos principales por los cuales se determinó que existe mayor afluencia de personas y las zonas para las terminales, se realiza la identificación de la ruta, que actualmente se encuentra en operación para sistemas de carga.

Se determinaron 3 rutas de la vía que son ideales para la conexión las cuales utilizan las siguientes vías:

- Ruta de la vía “B” del cadenamiento 990+495 al cadenamiento 1023+000.
- Ruta de la vía antigua “F” del cadenamiento 0+000 al cadenamiento 4+830.
- Ruta de la vía “BMA” del cadenamiento 0+000 al cadenamiento 1+000
- Ruta de la vía “F” del cadenamiento 4+680 al cadenamiento 22+000.

Una vez que se determinó la ruta sobre la cual va a circular el suburbano, se realizó el eje de proyecto con base en el levantamiento topográfico y las condiciones de la vía, la cual determina que en su mayoría la vía existente se encuentra en buenas condiciones, exceptuando la vía antigua F, ya que este tramo de vía se encuentra en desuso, y en algunas zonas no se identifica tramos de vía, o el eje principal del trazo.

A lo largo del trazo, se identificaron 2 grandes grupos, la zona urbana y la zona de industria, así mismo, existen zonas en las cuales no se identifica el derecho de vía, esto porqué se desconoce y en otras zonas se ha invadido el derecho de vía, lo cual tiene como consecuencia que en algunos tramos se deba reajustar el eje, tanto troncal como de los ejes secundarios para los tramos en los cuales existen doble y triple vía. Las zonas donde se tendrá doble vía, corresponde a la convivencia entre trenes de carga y trenes de pasajeros, así como los tipos de estaciones que se determinan en este estudio, y que se analizan las ubicaciones de acuerdo a las condiciones topográficas y a las condiciones del eje de vía, ya que las estaciones deben estar en zonas tangenciales del eje de vía.

## **1.2.5 PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS**

### **1.2.5.1 OBJETO**

El presente documento pretende establecer una metodología que permita adecuar la planificación de los recursos y actividades para asegurar el cumplimiento de las expectativas del proyecto en cuanto a Seguridad, para la rehabilitación, construcción, operación y mantenimiento del “Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León”.

Los principales objetivos de este documento son:

- Definición del sistema.
- Identificación y clasificación de peligros.
- Selección del principio de aceptación de riesgos (Código de práctica, sistema de referencia similar o estimación explícita de riesgos).

- Gestión proactiva de riesgos.
- Precios de riesgo y mitigación.
- Opciones de asignación y eliminación de riesgos

#### 1.2.5.2 DEFINICIONES

En el documento se incluyen los términos y definiciones dados en la Norma EN 50126-1 así como los siguientes:

Tabla 15. Definiciones

TÉRMINO	SIGNIFICADO
Accidente	Evento inesperado o serie de eventos que resultan en muerte, lesiones, pérdida del sistema o daño medioambiental (EN50129).
Advertencias	Son puestas en las personas. Son condiciones que las personas deben respetar después de que el sistema se ponga en funcionamiento para que siga siendo seguro.
Ciclo de vida del sistema	Actividades que tienen lugar durante un período de tiempo que comienza cuando un sistema es concebido y termina cuando el sistema ya no está disponible para su uso, se desmantela y se desecha (EN50126).
Confiabilidad	Capacidad de un sistema para realizar una o varias funciones requeridas bajo determinadas condiciones.
Disponibilidad	Capacidad de un producto para estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un momento dado en el tiempo o en un intervalo de tiempo asumiendo que los recursos externos requeridos están proporcionados (EN50129)
Distribución	Proceso mediante el cual los elementos de confiabilidad de un sistema son subdivididos entre los distintos elementos que componen el sistema para proporcionar objetivos individuales (EN50126)
Evaluación	Proceso de análisis para determinar si la autoridad de diseño y el validador han logrado un producto que cumpla con los requisitos especificados y para formar un juicio acerca de si el producto es apto para su propósito (EN50129)
Fallo	Desviación de una actuación específica de un sistema. Un fallo es la consecuencia de un defecto o error en el sistema (EN50129).
Fiabilidad	Probabilidad de que un elemento pueda realizar una función requerida en determinadas condiciones durante un período determinado de tiempo (EN50129).
FIDEPROES	Fideicomiso de Proyectos Estratégicos. Dependencia del Gobierno del Estado de Nuevo León encargada de la contratación del proyecto integral.
Normativa Europea	La Normativa Europea (EN) es una normativa que ha sido adoptada por uno de los tres Organismos Europeos de Normalización (OEN): CEN, CENELEC o ETSI. Es producida por todas las partes interesadas a través de un proceso transparente, abierto y consensuado.
Peligro	Situación física con potencial de lesión humana.
Riesgo	Combinación de frecuencia, o probabilidad, y la consecuencia de un evento peligroso específico (EN50129).
Seguridad	Libre de riesgo inaceptable (EN50126)
Sistema	Un sistema comprende los subsistemas que se combinan para cumplir una función requerida bajo una condición determinada. Es el nivel más alto de descripción.
Supervisión	Significa la persona o personas que supervisará(n) el cumplimiento de las obligaciones de los Servicios correspondientes al proyecto "Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León" en los términos que se describen en los los Términos de Referencia ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

TÉRMINO	SIGNIFICADO
Validación	Actividad aplicada con el fin de demostrar, mediante pruebas y análisis, que el producto cumple en todos los aspectos de sus requisitos especificados (EN 50129).
Verificación	Actividad de determinación, por análisis y prueba, en cada fase del ciclo de vida, que los requisitos de la fase en consideración cumplen con la salida de la fase anterior y que la salida de la fase en cuestión cumple sus requisitos (EN 50129).
Viaje	Un viaje es un trayecto de una composición de trenes de la primera a la última parada en la ruta programada. El tiempo de actuación se mide desde el momento en que la primera puerta del tren inicia el movimiento de cierre para partir de la primera parada; hasta el momento en que todas las puertas del tren están completamente abiertas en la última parada.

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### 1.2.5.3 ACTIVIDADES DE GESTIÓN DE SEGURIDAD

#### • ORGANIGRAMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD, ROLES Y RESPONSABILIDADES

En lo relativo a la gestión de seguridad del proyecto “Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León”, se definen los siguientes roles:

- Responsable RAMS.
- Representante de Seguridad de FIDEPROES y/o empresa Supervisora.
- Asesor Independiente de Seguridad (ISA, en su abreviatura en inglés).

A continuación, se desarrollan las funciones de los dos roles de seguridad anteriores

#### ➤ Responsable RAMS

El Responsable RAMS, miembro de la Empresa Consultora, es responsable de la implementación del proceso y las actividades de seguridad durante el proyecto “Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León”. Sus funciones son:

- ✓ Coordinación de la garantía de seguridad.
- ✓ Implementación de este Plan de Seguridad.
- ✓ Distribución de los requisitos generales de seguridad.

- ✓ Evaluación y validación de la seguridad del diseño.
- ✓ Demostración de que se ha aplicado la política de seguridad.
- ✓ Realización de Análisis de Seguridad Preliminar a nivel de sistema.
- ✓ Arbitraje de todas las cuestiones relacionadas con la interfaz del subsistema de seguridad.
- ✓ Informes y comunicación con el Representante de Seguridad de FIDEPROES y/o empresa Supervisora.
- ✓ Administración del Análisis de Riesgos.
- ✓ Resolución de peligros identificados en el diseño, o exportación a fases posteriores.
- ✓ Cumplimiento de todos los objetivos de seguridad.

➤ **Identificación de Peligros**

Como paso previo a la identificación de peligros del “Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León”, se definirán primero los límites del sistema, así como sus interacciones con el entorno. Por lo tanto, se identificarán claramente las interfaces y condiciones particulares del sistema mediante el proceso, especialmente aquellas que puedan estar intrínsecamente ligadas a la seguridad.

Se tendrá en cuenta que un peligro puede conducir a más de un tipo de accidente y, del mismo modo, que diferentes peligros pueden causar el mismo tiempo de accidente. En el caso de que se identifiquen peligros que no requieren de un análisis y seguimiento posterior, se describirán las razones y justificaciones que conducen a esta conclusión.

➤ **Identificación de Accidentes Previsibles**

Dado que un peligro es un precursor de un accidente, la identificación de accidentes previsibles es un paso importante dentro del proceso de evaluación de riesgos. Para llevar a cabo esta identificación, se considerará:

- ✓ El retorno de experiencia y el conocimiento adquirido a partir de proyectos similares realizados con anterioridad.
- ✓ Los grupos más expuestos: pasajeros, personal de operación y mantenimiento y público en general que podría llegar a verse afectado por la operación del tren.
- ✓ Los sitios por lo que discurre el trazado del “Corredor Ferroviario García-Aeropuerto Internacional de Monterrey, Nuevo León” y que pudieran entrañar un riesgo potencial, principalmente viaducto, pasos a nivel y estaciones, en caso de que la línea no disponga de cerramiento o confinamiento, queda expuesta a cruces inadvertidos de personas y animales.

Los tipos de accidente se pueden clasificar según las siguientes categorías:

### **Accidentes de tren:**

- Colisiones.
- Descarrilamientos.
- Obstáculos en la vía.
- Alcances (trenes a diferente velocidad; tren de mercancías y de pasajeros).
- Fuego.
- Desborde de carga.
- Explosiones.
- Electrocutación.
- Contaminación, por ejemplo, vertidos de mercancías peligrosas como gas tóxico.

### **Accidentes dentro del tren:**

- Accidentes durante el transbordo de pasajeros entrando y saliendo del tren.
- Accidentes en el interior del tren como por ejemplo resbalones, caídas, shock eléctrico, contaminación, atrapamiento de partes del cuerpo en las puertas, etc.

### **Accidentes en estaciones:**

- Accidentes en los andenes, en escaleras, en escaleras mecánicas o elevadores como por ejemplo resbalones, caídas, etc.

#### 1.2.5.4 ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS

Se determinarán todos los posibles efectos de un peligro, aportando una representación clara y comprensible de su impacto en la Seguridad de la línea.

Se utilizará el retorno de experiencia y el llamado “juicio de expertos”. Es decir, se tendrá en cuenta la experiencia adquirida en proyectos similares y se incluirá en el proceso todos los niveles disciplinares posibles con el fin de garantizar que todos los accidentes previsibles sean identificados.

#### 1.2.5.5 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Una vez identificado el peligro y analizadas sus consecuencias y las causas que lo provocan, se estimará el riesgo asociado a partir de la frecuencia de ocurrencia y de la severidad de estas consecuencias.

El procedimiento para la estimación del riesgo se basa en la Norma EN 50126 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

El concepto de riesgo consiste en la combinación de dos elementos: Frecuencia y Severidad.

➤ **Frecuencia**

La probabilidad de ocurrencia de un suceso o una combinación de sucesos que conduzcan a un peligro, o la frecuencia de tal ocurrencia. La Frecuencia se selecciona entre las categorías de la Matriz de Evaluación de Riesgos, que se muestra en la Tabla siguiente

Tabla 16. Frecuencias

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	Ejemplo de un rango de frecuencia basado en un solo elemento que funciona las 24 h / día Se espera que suceda
F6 - Frecuente	Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimenta continuamente.	Más de una vez en un período de aproximadamente 6 semanas.
F5 - Probable	Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia	Aproximadamente una vez cada 6 semanas a una vez al año
F4 - Ocasional	Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.	Aproximadamente una vez por 1 año a una vez por 10 años
F3 - Remoto	Es probable que se dé alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra.	Aproximadamente una vez cada 10 años a una vez cada 1 000 años
F2 - Improbable	Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.	Aproximadamente una vez cada 1 000 años a una vez cada 100 000 años

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	Ejemplo de un rango de frecuencia basado en un solo elemento que funciona las 24 h / día Se espera que suceda
F1 - Increíble	Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda no ocurrir.	Una vez en un período de aproximadamente 100 000 años o más

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ➤ Severidad

Se trata de las consecuencias que podrían ocurrir en caso de que se produjese el evento peligroso. La Severidad se selecciona entre las categorías que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 17. Severidad

NIVEL DE SEVERIDAD	CONSECUENCIAS PARA LAS PERSONAS O EL MEDIO AMBIENTE	CONSECUENCIAS SOBRE EL SERVICIO / PROPIEDAD
S4 - Catastrófico	Afecta a una gran cantidad de personas y provoca múltiples muertes, y/o Daños extremos al medio ambiente.	Cualquiera de las siguientes consecuencias en presencia de consecuencias para las personas o el medio ambiente.
S3 - Crítico	Afectando a un número muy pequeño de personas y resultando en al menos una muerte, y/o Gran daño al medio ambiente.	Pérdida mayor del sistema.
S2 - Marginal	No hay posibilidad de muerte, lesiones graves o leves solamente, y/o Daños menores al medio ambiente.	Daño grave del(los) sistema(s).
S1 - Insignificante	Posible lesión menor.	Daño menor del sistema.

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ➤ Riesgo

Los niveles de aceptabilidad de riesgo se definen del siguiente modo en la tabla siguiente:

Tabla 18. Riesgo

CATEGORÍA DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN
R1 - Inaceptable	Debe eliminarse.
R2 - No Deseable	Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable, y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria. Esta es la aplicación del principio ALARP.
R3 - Tolerable	Aceptable con control adecuado y acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.
R4 - Insignificante	Aceptable sin acuerdo alguno

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

➤ **Matriz de Riesgo**

La Matriz de Riesgo indica cómo se combinan la probabilidad y la gravedad para definir diversas zonas de aceptabilidad del riesgo.

Tabla 19. Matriz de Riesgo

RANGO DE FRECUENCIA	Severidad			
	S1 - Insignificante	S2 - Mínimo	S3 - Crítico	S4 - Catastrófico
F6 - Frecuente	R2 - No Deseable	R1 - Inaceptable	R1 - Inaceptable	R1 - Inaceptable
F5 - Probable	R3 - Tolerable	R2 - No Deseable	R1 - Inaceptable	R1 - Inaceptable
F4 - Ocasional	R3 - Tolerable	R2 - No Deseable	R2 - No Deseable	R1 - Inaceptable
F3 - Remoto	R4 - Insignificante	R3 - Tolerable	R2 - No Deseable	R2 - No Deseable
F2 - Improbable	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R3 - Tolerable	R2 - No Deseable
F1 - Increíble	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R4 - Insignificante	R3 - Tolerable

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Se considerará que riesgos inherentes clasificados como tolerables o insignificantes no necesitarán ser analizados a menos que haya un cambio en la naturaleza del peligro, en cuyo caso deberá repetirse el proceso de evaluación.

Sin embargo, estos peligros se harán constar en el Análisis Preliminar de Peligros.

#### 1.2.5.6 CONTROL DE RIESGOS

Se aportarán las medidas de control necesarias durante la Ingeniería Básica para que el peligro queda suficientemente mitigado hasta considerar un nivel de riesgo aceptable.

La jerarquía de precedencia para el control y mitigación de riesgos, según la Tabla 16 Riesgo, será (de mayor a menor preferencia):

1. Eliminación: Eliminar el peligro (por ejemplo, mediante un cambio en el diseño básico).
2. Diseño para minimizar el riesgo: Si se demuestra que (1) no es posible, se debe elegir un diseño para reducir el riesgo a un nivel aceptable.
3. Incorporar dispositivos de seguridad: Si se demuestra que (2) no es posible, se deben usar dispositivos para reducir el riesgo a un nivel aceptable.

4. Aislar a las personas del riesgo: Si se demuestra que (3) no es posible, se debe elegir un diseño que aisle a las personas del riesgo para reducir el riesgo a un nivel aceptable.
5. Dispositivos de advertencia: Si se demuestra que (4) no es posible, se deben elegir dispositivos de advertencia para advertir adecuadamente a las personas de los peligros.
6. Procedimientos y formación: Si se demuestra que (5) no es posible, entonces los procedimientos se utilizarán para reducir el riesgo a un nivel aceptable.
7. Equipos de Protección Individual (EPI): Si se demuestra que (6) no es posible, entonces se consideraran los Equipos de Protección Individual (EPI) junto a procedimientos para reducir el riesgo a un nivel aceptable.
8. Señales de Advertencia: Si se demuestra que (7) no es posible, entonces se utilizarán señales de advertencia para advertir adecuadamente a las personas de los peligros.

Hay que resaltar que la jerarquía de control descrita anteriormente permite la aplicación de varias medidas de control/protección para el mismo peligro.

Para la reducción del riesgo se aplicará, de manera no-cuantitativa, el Principio ALARP: “Tan Reducido Como Razonablemente Viable”, el cual es un método para definir el criterio de aceptación del riesgo para el caso de “estimación explícita del riesgo”, expuesto en la sección a continuación.

En los casos de aceptación del riesgo CoP o sistema de referencia similar, el método ALARP no se aplicará.

- **PRINCIPIO DE ALARP “Tan Reducido Como Razonablemente Viable”**

El método ALARP, del inglés “tan reducido como razonablemente viable”, se utiliza para decidir en la aceptación del riesgo. Si el riesgo analizado se encuentra entre la zona límite, «aceptable» (R1 y R2) y «no aceptable» (R3 y R4) de la matriz de aceptación del riesgo (Matriz de Riesgo)

El principio ALARP promueve un diseño, prueba y puesta en marcha del sistema que se basa en el principio de que el riesgo residual debe ser tan bajo como sea razonablemente posible.

El principio ALARP permite centrar los esfuerzos de seguridad en temas relevantes y establecer cuándo los esfuerzos de seguridad son suficientes.

El principio ALARP define tres categorías de aceptabilidad de los riesgos:

- Región inaceptable.
- ALARP o región de tolerabilidad.
- Región ampliamente aceptable.

El principio se muestra en la siguiente:

Figura 40 “PRINCIPIO DE ALARP”



Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

Algunos riesgos son tan grandes y algunos resultados tan inaceptables que son intolerables y no pueden justificarse por ningún motivo. El límite superior define niveles de riesgo que son inaceptables. Si el nivel de riesgo no puede reducirse por debajo de este límite, entonces la operación no debe llevarse a cabo. Significa que son necesarias más mitigaciones para disminuir el nivel de riesgo.

El límite inferior del diagrama define la región ampliamente aceptable donde los riesgos se consideran tan bajos que las mitigaciones disponibles se consideran suficientes y no se requiere más mitigación.

El área entre los límites superior e inferior se denomina región ALARP. La aceptabilidad de cualquier riesgo dentro de la región ALARP está sujeta a una demostración caso por caso.

Los posibles métodos para justificar la aceptabilidad son:

- Demostrar que se están aplicando los mejores estándares y prácticas actuales disponibles.
- Comparar con las barreras de seguridad de un sistema existente o en función de la reutilización del producto ya aceptada por una agencia ferroviaria reconocida internacionalmente.

La correspondencia entre el Triángulo ALARP y la Matriz de Riesgos es la siguiente:

- La zona aceptable del triángulo ALARP corresponde a las celdas aceptables (R4) de la matriz de aceptación de riesgos.
- La zona inaceptable del triángulo ALARP corresponde a las celdas no aceptables (R1) de la matriz de aceptación de riesgos.
- En la zona límite «aceptable» y «no aceptable» (R2 y R3), en caso de existir un desacuerdo con la severidad y/o con la frecuencia, se utiliza el método ALARP para aclarar la aceptación del riesgo.

- **TRANSFERENCIA DE MEDIDAS DE CONTROL ENTRE ENTIDADES**

Como resultado de los estudios de seguridad realizados durante la Ingeniería Básica, se identifican los requisitos preliminares de seguridad. Estos requisitos se transferirán a los futuros contratistas de los distintos proyectos ejecutivos y construcción en que se dividirá la línea, en forma de requisitos de seguridad del Diseño.

- **ACEPTACIÓN DEL RIESGO**

Los mecanismos que se considerarán para la aceptación de riesgos son los especificados en el Método Común de Seguridad (MSC) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

#### 1.2.5.7 FORMATO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

El formato de la tabla que recoge la Evaluación de Riesgos es el siguiente:

Tabla 20. Formato de evaluación de riesgos

DESCRIPCIÓN DEL RIESGO				EVALUACIÓN DEL RIESGO											
ID	ACCIDENTE POTENCIAL	ESCENARIO DE RIESGO	CAUSA POTENCIAL	CLASIFICACIÓN INICIAL			MEDIDA DE MITIGACIÓN		TIPO	RESP	PRINCIPIO DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO	CLASIFICACIÓN FINAL			COMENTARIOS
				S	F	R	REF	DESCRIPCIÓN				S	F	R	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

### ✓ DESCRIPCIÓN DEL RIESGO

- (1) ID: Identificador asociado al riesgo
- (2) Accidente potencial: Accidente potencial en términos de los efectos en el sistema, especialmente en los usuarios del sistema de transporte.
- (3) Escenario de Riesgo: Descripción detallada de la situación peligrosa, que puede conducir a un posible accidente
- (4) Causa Potencial: La causa del evento de la situación peligrosa.

### ✓ EVALUACIÓN DEL RIESGO

Clasificación Inicial: Clasificación del riesgo, previo a la definición de mitigaciones.

- (5) S: Clasificación de severidad La gravedad se evalúa en la peor de las situaciones. Se evalúa desde el peligro de las perspectivas de la persona.
- (6) F: Frecuencia de ocurrencia de situaciones peligrosas La frecuencia de ocurrencia es la misma para las perspectivas de las personas, ya que se aplica a la situación peligrosa en sí, independientemente de sus posibles consecuencias.
- (7) R: Categoría de riesgo: sobre la base de la matriz de la Tabla Riesgos

Medida de mitigación: Acción que permite reducir el nivel de riesgo a un nivel aceptable.

**(8)** REF: referencia única para identificar cada requisito de seguridad basado en el siguiente formato: REQ\_SEGXXX donde XXX es un número cronológico de 3 dígitos, no repetitivo.

**(9)** Descripción: Detalle de la medida de mitigación.

**(10)** Tipo: Clasificación de la medida de mitigación, siendo RD “Requisito de Diseño” y RF “Requisito Funcional”.

**(11)** RESP: Uno o varios de los subsistemas encargados de controlar el riesgo, a definir siendo:

- MR: Material Rodante.
- SEN: Señalización.
- COM: Telecomunicaciones y datos.
- OCC: Centro de Control de Operaciones.
- VIA: Vía
- MEP: Sistemas Electromecánicos.
- INF: Infraestructura.
- TAL: Talleres.

**(12) PRINCIPIO DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO (RAP):** Principio de aceptación, según se define en el apartado §**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, siendo CoP “Código de Prácticas”, SdR “Sistema de Referencia” y EEE “Estimación Explícita del Riesgo”

Clasificación Final: Clasificación del riesgo, posterior a la definición de mitigaciones.

**(13) S:** Clasificación de severidad. La gravedad se evalúa en la peor de las situaciones. Se evalúa desde el peligro de las perspectivas de la persona.

**(14) F:** Frecuencia de ocurrencia de situaciones peligrosas. La frecuencia de ocurrencia es la misma para las perspectivas de las personas, ya que se aplica a la situación peligrosa en sí, independientemente de sus posibles consecuencias.

**(15) R:** Categoría de riesgo: sobre la base de la matriz de la Tabla Riesgo

**(16) Comentarios:** Anotaciones particulares (aclaraciones).

### 1.2.5.8 FORMATO DE REQUISITOS DE SEGURIDAD

El formato de la tabla que recoge los Requisitos de Seguridad es la siguiente:

Tabla 21. Formato de requisitos de seguridad

REF	REQUISITO DE SEGURIDAD	TIPO	RESP	MR	SEN	COM	OCC	VIA	MEP	INF	TAL	PRINCIPIO DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO (RAP)	COMENTARIOS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Fuente: SENERMEX, Ingeniería y Sistemas, 2020

- (1) REF:** Referencia asociada al riesgo.
- (2) REQUISITO DE SEGURIDAD:** Acción que permite reducir el nivel de riesgo a un nivel aceptable.
- (3) TIPO:** Características del requisito que hace referencia a su origen:
- **RD:** Requisito de Diseño.
  - **RF:** Requisito Funcional.
  - **RO:** Requisito de Operación.
- (4) RESP:** Uno o varios de los subsistemas encargados de controlar el riesgo, siendo:
- (5) MR:** Material Rodante.
- (6) SEN:** Señalización.
- (7) COM:** Telecomunicaciones.

**(8) OCC:** Centro de Control.

**(9) VIA:** Vía.

**(10) MEP:** Sistemas Electromecánicos.

**(11) INF:** Infraestructura.

**(12) TAL:** Talleres.

**(13) PRINCIPIO DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO (RAP):** Principio de aceptación

**(14) Comentarios:** Anotaciones particulares (aclaraciones).

