



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Sistemas Básicos de un Tren  
Eléctrico de Transporte  
Masivo de Pasajeros**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**Área Eléctrica Electrónica**

**P R E S E N T A**

**Martín Esquivel Rodríguez**

**ASESOR DE INFORME**

**ING. FRANCISCO JOSÉ RODRÍGUEZ RAMÍREZ**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

## **INDICE.**

Introducción	4
Objetivo - Problemática	4
<b>1.- Sistema de Tracción – Frenado</b>	<b>5</b>
Interfaz de Sistema de Tracción-Frenado con la Red del Tren	7
Normas utilizadas.	7
<b>2.- Sistema de Generación y Distribución de Energía Eléctrica</b>	<b>9</b>
Normas utilizadas.	11
<b>3.- Sistema de Puertas de Pasajeros</b>	<b>13</b>
Operación Manual	14
Comando por CBTC	15
Normas utilizadas	16
<b>4.- Sistema de Generación y Distribución de Aire Comprimido</b>	<b>17</b>
Unidad de compresión de aire	17
Motor eléctrico	18
Inversor del grupo compresor	18
Secador de aire	18
Tanque de aire comprimido	18
Control, mando y regulación	19
Normas utilizadas	19
<b>5.- Sistema de Señalización y Registro</b>	<b>20</b>
Funciones generales	21
Características operativas	21
Normas utilizadas	24
<b>6.- Sistema CBTC (Pilotaje Automático)</b>	<b>25</b>
Interfaz red informática del tren - CBTC	26

Arquitectura tipo de interfaz tren - CBTC	26
Interfaz de red tren – CBTC de alto nivel de disponibilidad	27
<b>7.- Sistema de Informática Embarcada de Mando y Control</b>	<b>28</b>
Concepción general de sistema Mando y Control	28
Características de funcionamiento	29
Características de la Red Informática del tren	31
Características de la Información en cabina	31
Caja de señalización BS	32
Normas utilizadas	33
<b>8.- Sistema de Comunicación y CCTV</b>	<b>34</b>
Comunicaciones	34
Aviso de cierre de puertas	34
Anuncio de estaciones	34
Envío de mensajes pregrabados	35
CCTV	35
Sinóptico funcional del interfono a bordo del tren	35
Normas utilizadas	36
<b>9.- Evaluación de los Índices de Calidad del Servicio</b>	<b>37</b>
Especificación de la fiabilidad por lote y por tren	37
Averías categoría 1 y nivel de MDBF Especificado	37
Averías categoría 2 y nivel de MDBF Especificado	38
Averías categoría 3 y nivel de MDBF Especificado	39
Especificación de la Fiabilidad por sistema	39
Especificación de las Afectaciones al Servicio	40
Especificación de la disponibilidad	41
Normas utilizadas	41
<b>Resultados - Conclusiones</b>	<b>42</b>
<b>Referencias</b>	<b>42</b>

## **INTRODUCCIÓN.**

Durante 30 años de experiencia profesional en una empresa de transporte masivo de pasajeros, en la que fui asignado a la gestión y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de trenes, participé en la elaboración de las especificaciones técnicas de varios modelos de trenes de propulsión eléctrica, tanto de rodadura férrea como neumática, para su adquisición y puesta en servicio. Esta asignación me fue otorgada en base a la experiencia adquirida en el desempeño operativo de los diversos modelos y tecnologías de los trenes de dicha empresa de transporte masivo de pasajeros.

Para llevar a cabo la especificación técnica de un tren de nueva adquisición se evaluó el desempeño de los diferentes sistemas de los trenes en servicio, tanto en su fiabilidad y disponibilidad, a fin de definir los requerimientos técnicos y operativos de los nuevos sistemas que integrarían los trenes nuevos, y así garantizar que éstos se desempeñaran con mayores índices de calidad de servicio.

A nivel internacional todos los trenes, ya sea para servicio metropolitano, suburbano o interurbano, se fabrican bajo normas especializadas para cada sistema, lo que asegura que todos los equipos fueron fabricados bajo las mejores prácticas de ingeniería en base a la experiencia de fabricantes de equipos ferroviarios y operadores de redes de transporte masivo de pasajeros.

## **OBJETIVO.**

Este trabajo tiene como objetivo describir los sistemas básicos de una especificación técnica de trenes de propulsión eléctrica, que se desarrolló en base a mi experiencia profesional y se sustentó en las diferentes normas internacionales especializadas para cada sistema, para disponer de trenes nuevos de nuevas tecnologías a fin de alcanzar los mejores niveles de calidad de servicio.

## **PROBLEMÁTICA.**

La Empresa de Transporte masivo de pasajeros en la que trabajé profesionalmente requería desarrollar la especificación técnica necesaria para la adquisición de trenes nuevos que satisficieran los requerimientos operativos para el transporte seguro de pasajeros y que cumplieran con los índices de calidad de servicio exigidos a nivel internacional con base en la normatividad vigente.

## 1.- SISTEMA DE TRACCIÓN – FRENADO.

El equipo de tracción-frenado deberá satisfacer totalmente los requerimientos relacionados con el desempeño de los trenes, la fiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad y la seguridad, así como proporcionar el mayor ahorro energético y menores costos de mantenimiento.

El equipo de Tracción-Frenado, deberá corresponder a tecnología asíncrona, a base de semiconductores de potencia IGBT (por sus siglas en inglés: **Insulated Gate Biplolar Transistor**) de última generación y el equipo de control a base de microprocesadores.

El frenado eléctrico regenerativo deberá proporcionar la máxima recuperación de energía, por lo que será enviada a la alimentación de tensión tracción toda la energía eléctrica que ésta admita durante el frenado eléctrico.

En caso de que el frenado regenerativo no esté disponible, el frenado reostático tendrá la capacidad de disipar el 100% de la energía máxima del frenado eléctrico, asimismo deberá combinarse o conmutarse automáticamente de uno a otro sin alteración alguna en cualquier momento de la fase de frenado.

En caso de que el equipo de Tracción-Frenado presente alguna falla, el tren podrá continuar la marcha, con la señalización correspondiente del equipo en falla local y en la cabina de conducción del tren, debiendo indicar para todos los casos si la falla se presenta en Tracción o Frenado eléctrico o en ambas funciones.

El equipo de tracción estará constituido por motores trifásicos asíncronos de mínimo mantenimiento con dos equipos VVVF (por sus siglas en inglés **Variable Voltaje Variable Frequency**), uno por cada bogie, para cada coche motriz.

La tracción y el frenado se adecuarán de manera automática al estado de carga de cada uno de los coches, considerando como carga mínima el peso en vacío del coche. La carga es medida por sensores de presión en la suspensión de cada carro.

En caso de falla del freno eléctrico o a baja velocidad (nunca superior a 3 km/h), éste será sustituido automáticamente por el freno neumático y con el mismo esfuerzo total.

El sistema utilizado en la sustitución del freno eléctrico por el neumático deberá asegurar que ningún coche del tren quede sin freno en ninguna circunstancia.

En lo referente a vibraciones y choques, los equipos deberán apearse al cumplimiento de la **norma IEC 60077** o equivalente.

Los materiales utilizados se apearán a las exigencias en cuanto a resistencia al fuego y emisión de humos, contenidas en la norma **NF F 16101**, categoría A1 (resistencia al fuego y emisión de humos) o equivalente.

Los equipos en general de este sistema, de acuerdo con su función, deberán cumplir con el grado de protección establecido por la **norma IEC 60529**.

### Características Generales

Todos los componentes pertenecientes a circuitos electrónicos deberán responder a las especificaciones UIC y CEI o normas internacionales equivalentes.

Los componentes electrónicos del equipo de Tracción-Frenado serán controlados por microprocesadores con las siguientes funciones de apoyo:

Ayuda al mantenimiento del tren con conexión a la informática embarcada del material rodante.

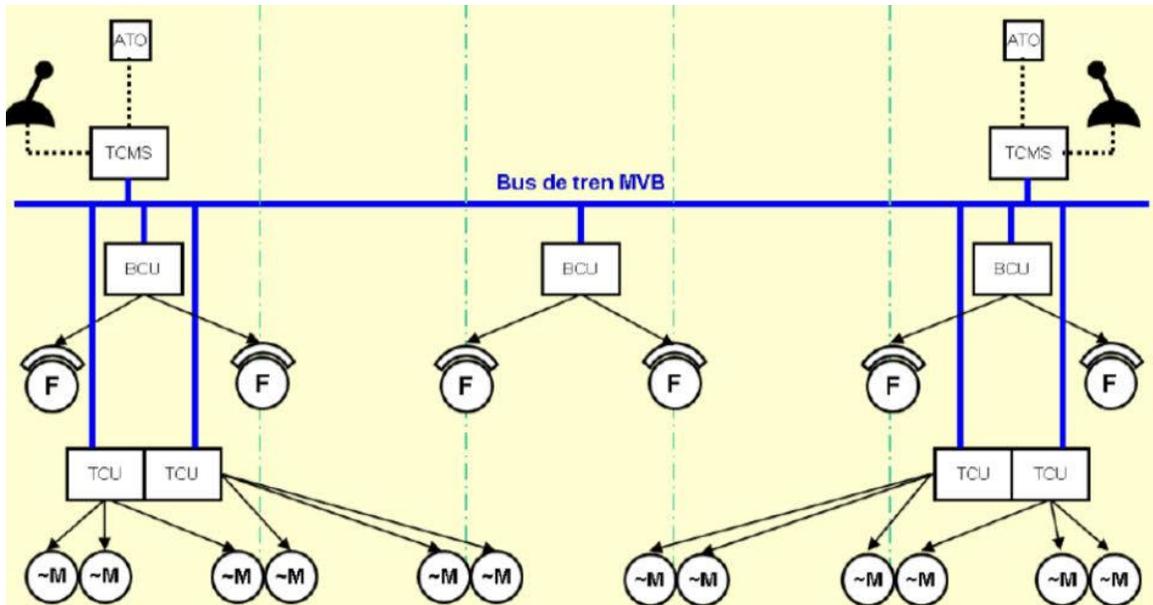
Realización del autodiagnóstico del mando y potencia a través de la informática embarcada del material rodante.

Comunicación permanente con la red del sistema de la informática embarcada del material rodante, que permita el diagnóstico en tiempo real sobre los módulos o funciones con falla del equipo de Tracción-Frenado.

Visualización del desempeño del sistema de Tracción-Frenado en la pantalla del sistema informático de la cabina de conducción, ver Figura 1

Ayuda al mantenimiento por medio de una computadora portátil que se conecte al mando del equipo de Tracción-Frenado, así como también en el panel del compartimiento de pasajeros mediante puertos seriales Ethernet, que permita:

- Visualizar los resultados del autodiagnóstico, indicando los estados de las señales de entrada y salida.
- Mostrar información de los módulos, funciones y elementos en falla.
- Configurar, visualizar y mostrar todos los niveles de detalle de la información gráfica en la pantalla, sobre el funcionamiento del equipo y además para ayudar a determinar la causa de la falla.
- Visualización en tiempo real de los eventos de la operación del equipo sin afectar su registro en memoria ni otras funciones.



**FIGURA 1: INTERFAZ DE SISTEMA DE TRACCIÓN FRENADO CON LA RED DEL TREN**

**TCMS es el Sistema Informático del Tren.**

**TCU es la Unidad de Control de Tracción.**

**BCU es la Unidad de control de Frenado.**

**NORMAS UTILIZADAS.**

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Tracción – Frenado.

IEC 1133	Tracción eléctrica – Material Rodante
IEC 61377- 1	Tracción eléctrica – Material rodante - Pruebas combinadas para motores de corriente alterna alimentados por rectificador-inversor y su regulación
IEC 60077-1	Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para el Material Rodante. Parte 1: Condiciones generales de servicio y reglas generales.
IEC 60077-2	Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para el Material Rodante. Parte 2: Componentes electrotécnicos. Reglas generales.
IEC 60310	Aplicaciones ferroviarias. Transformadores de tracción e inductancias instalados a bordo del material rodante
IEC 60322	Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para material rodante - Reglas para resistencias de potencia de construcción abierta
IEC 60349-2	Máquinas eléctricas rotativas a tracción eléctrica para vehículos ferroviarios
IEC 61287–1	Convertidores de potencia instalados a bordo de material rodante

IEC 60529	Grados de protección provistos por cerramientos (Código IP).
IEC 60571	Equipos electrónicos utilizados en vehículos ferroviarios
IEC 61071-1	Condensadores para electrónica de potencia Parte 1
IEC 61377	Tracción eléctrica – Material rodante – ensayos combinados para motores de corriente alterna alimentados por inversor y su control
EN 50121-3-2	Compatibilidad electromagnética
EN 50124-1	Aplicaciones ferroviarias. Coordinación del aislamiento. Parte 1. Espacios libres y distancias de fuga para todos los dispositivos eléctricos y electrónicos
EN 50125-1	Aplicaciones ferroviarias – Condiciones ambientales para los equipos. Parte 1 Equipo a bordo del material rodante.
EN 50126	Aplicaciones ferroviarias – Especificación y demostración de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) – Parte 1: Requerimientos básicos y proceso general
EN 50128	Aplicaciones ferroviarias – Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección ferroviaria.
EN 50155	Aplicaciones ferroviarias – Equipos electrónicos utilizados en material rodante
EN 50163	Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de los sistemas de tracción.
EN 50306-1	Aplicaciones ferroviarias – Cables con rendimiento especial de reacción al fuego – Pared delgada – parte 1: Requerimientos generales
EN 50343	Aplicaciones ferroviarias – Material rodante ferroviario – Reglas para la instalación del cableado
EN 50355	Aplicaciones ferroviarias – Cables con rendimiento especial de reacción al fuego – Pared delgada y pared estándar – Guía de uso
EN 50382-1	Aplicaciones ferroviarias – Cables de potencia de alta temperatura para material rodante, con rendimiento especial de reacción al fuego – parte 1: Requerimientos generales
NF F 16101	Material rodante ferroviario – Comportamiento al fuego – Elección de materiales
NF F 16102	Material rodante ferroviario – Comportamiento al fuego – Elección de materiales, aplicación para equipos eléctricos
IEC 60349-1	Tracción eléctrica - Máquinas eléctricas rotativas para ferrocarriles y vehículos de carretera - Parte 1: Máquinas distintas de los motores de corriente alterna alimentados por convertidor electrónico.
IEC 60349-2	Tracción eléctrica - Máquinas eléctricas rotativas para ferrocarriles y vehículos de carretera - Parte 2: Motores de corriente alterna alimentados por convertidor electrónico.
IEC 60349-3	Tracción eléctrica – Máquinas eléctricas rotativas para ferrocarriles y vehículos de carretera – Parte 3: Determinación de las pérdidas totales de motores de corriente alterna alimentados por convertidor por adición de las pérdidas componentes
IEC 60571	Equipo Eléctrico utilizado en vehículos ferroviarios.
IEC 60850	Aplicaciones ferroviarias - Voltajes de suministro de sistemas de tracción

## 2.- SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La energía eléctrica para los diversos sistemas y circuitos auxiliares del tren es suministrada por convertidores estáticos montados bajo los coches remolques. Estos equipos tendrán un funcionamiento independiente para que, en caso de falla de uno de ellos, los otros continuarán operando normalmente.

Los convertidores estáticos proporcionaran energía eléctrica a algunos sistemas del tren, tales como:

- Puertas de acceso a usuarios.
- Iluminación,
- Circuitos de control
- Carga de la batería.
- Circuitos auxiliares y de señalización.
- Registrador electrónico de eventos, entre otros.

Las cargas de los distintos equipos del tren estarán uniformemente distribuidas (balanceadas entre los convertidores).

En caso de falla de alguno de los convertidores, los restantes serán capaces de suministrar todos los servicios del tren en corriente alterna y directa, mínimo por un periodo de **60 minutos**.

Para la generación de corriente alterna y directa, se deberán utilizar convertidores estáticos con

El filtro de entrada estará constituido por un circuito "LC". Éste deberá dimensionarse para soportar sobretensiones propias de una línea de tracción eléctrica.

Los convertidores podrán funcionar ya sea en vacío o con carga máxima; de igual forma, las cargas podrán ser conectadas o desconectadas sucesivamente, sin importar cuál sea el orden e incluso simultáneamente.

Asimismo, los convertidores estáticos deberán soportar durante su funcionamiento las anomalías que se presentan de manera común en este tipo de operaciones. Si durante el funcionamiento normal se interrumpe la conexión de la batería; por ejemplo, por la fusión del fusible, el cargador de batería del convertidor continuará funcionando como fuente de alimentación.

Las salidas de tensión de corriente directa y alterna deberán estar aisladas de manera galvánica de la tensión tracción.

### ➤ Características de Alimentación.

La tensión disponible en los bornes de la batería deberá permitir el control y arranque del convertidor aun cuando su valor sea de 35 VCD.

Asimismo, en caso de haber presencia de tensión tracción podrá ser puesto en marcha el convertidor estático por sus propios medios a través de un arrancador cuando la batería se encuentre totalmente descargada, y además a través de la maniobra de traspaso de batería y corriente alterna del remolque del otro elemento, sin que influya en su desempeño normal.

Como parte de las funciones de control y monitoreo se debe prever en caso de falla de alguno de los convertidores las funciones de alimentación tanto en corriente directa como en corriente alterna sean automáticamente transferidas al convertidor en buen estado, las señalizaciones respectivas en el monitor de cabina y en la caja de señalización.

Cuando el tren se encuentre apagado la demanda de corriente de las baterías hacia el convertidor estático será nula.

Respecto al circuito de entrada se utilizará un fusible y un filtro de entrada. Además, debe contar con protección para el caso de inversión de la polaridad de alimentación de la tensión tracción.

<b>Salida para Corriente Alterna</b>	
Tensión de salida:	220 V trifásica.
Regulación:	$\pm 5\%$
Forma de onda:	Sinusoidal
Frecuencia:	60 Hz $\pm 1\%$
Distorsión armónica:	Inferior al 5%
Potencia de salida en régimen continuo:	En función de las cargas consideradas.
Factor de potencia:	> 0.85
Capacidad de sobrecarga:	La que resulte necesaria.

<b>Salida para Corriente Continua</b>	
Tensión nominal:	75 Vcd.
Ondulación:	1 V pico a pico
Potencia en régimen continuo:	En función de las cargas consideradas
Regulación:	2%
Rango para el ajuste de la tensión de carga de batería:	En función de las cargas consideradas
Eficiencia para tensión nominal y carga máxima:	85% como mínimo

Los semiconductores de potencia empleados en los convertidores estáticos deberán ser del tipo IGBT con circuito de protección de temperatura y sobre corriente, ambos incluidos en tarjetas externas montadas sobre el semiconductor y deberán ser de última generación.

Los semiconductores de potencia IGBT serán adecuadamente enfriados por ventilación natural, tomando en cuenta en su diseño la utilización de materiales no contaminantes. Los semiconductores no podrán estar inmersos en fluido refrigerante.

La lógica de control del convertidor deberá emplear microprocesadores de última generación con función de autodiagnóstico, y estará concebida para realizar las funciones de registro y memorización de información, indicando las condiciones en las que se presentaron las anomalías previas, durante y posteriores al evento, así como la hora y la fecha del evento, con capacidad mínima de almacenamiento equivalente a 15 días de servicio, estará constituida para que, por medio de un equipo portátil, se pueda verificar su funcionamiento total y detectar todas las averías del mismo, así como también en el panel del compartimiento de pasajeros y mediante un puerto serie Ethernet se pueda extraer el archivo de datos.

Además, deberá estar conectado a la red de la informática embarcada del tren por medio de la cual se podrá tener acceso a través de ésta para que le informe su comportamiento en todo momento.

#### NORMAS UTILIZADAS.

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Generación y distribución de Energía Eléctrica.

EN 50121-3-2	Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 3.2: Material rodante. Equipos.
EN 50124-1	Aplicaciones ferroviarias. Coordinación del aislamiento. Parte 1: Requisitos básicos. Huelgos y distancias de fuga para todos los dispositivos eléctricos y electrónicos.
EN 50124-2	Aplicaciones ferroviarias. Coordinación del aislamiento. Parte 2: Sobretensión y protección relacionada.
EN 50125-1	Aplicaciones ferroviarias. Condiciones ambientales para los equipos. Parte 1: Equipo a bordo del material rodante.
EN 50126	Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS).
EN 50128	Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección ferroviaria.

EN 50153	Aplicaciones ferroviarias. Material rodante. Disposiciones de protección contra riesgos eléctricos.
EN 50155	Aplicaciones ferroviarias. Equipos electrónicos utilizados en material rodante.
EN 50163	Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de los sistemas de tracción.
EN 50207	Aplicaciones ferroviarias. Convertidores de potencia electrónica para material rodante.
EN 50215	Aplicaciones ferroviarias. Ensayos del material rodante al término de su construcción y antes de su puesta en servicio.
EN 60077-1	Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante. Parte 1: Condiciones generales del servicio y reglas generales.
EN 60077-2	Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante. Parte 2: Componentes electrotécnicos. Reglas generales.
EN 60310	Aplicaciones ferroviarias. Transformadores de tracción e inductancias instalados a bordo del material rodante
EN 60529	Especificación de los grados de protección que ofrecen los cerramientos (código IP).
EN 60721-3-5	Clasificación de condiciones ambientales. Parte 3: Clasificación de grupos de parámetros ambientales y sus severidades. Sección 5: Instalaciones de vehículos terrestres.
EN 61881	Aplicaciones ferroviarias. Material rodante. Condensadores para electrónica de potencia.
EN 50343	Aplicaciones ferroviarias. Material rodante. Reglas para la instalación del cableado.
EN 50264-1	Cables con aislamiento de espesor normal. Prescripciones generales.
EN 50306-1	Cables con aislamiento de espesor delgado. Prescripciones generales.
EN 50355	Cables de espesor normal y aislamiento delgado. Guía del usuario.
EN 50382-1	Cables unipolares con aislamiento de silicio (para 120 C y 150°C)
IEC 60384-4	Condensadores fijos para uso en equipos electrónicos. Parte 4: Especificación intermedia. Condensadores electrolíticos de aluminio con electrolito sólido y no sólido.
IEC 61287-1	Convertidores de potencia instalados a bordo de material rodante.
NF F 16101	Material rodante ferroviario. Comportamiento al fuego. Elección de materiales.
NF F 16102	Material rodante ferroviario. Comportamiento al fuego. Elección de materiales, aplicación en equipos eléctricos.

IEC 60623	Ni-Cd Batteries
EN 61373 ed. 2010	Vibrations & Chocs
EN 50155 ed. 2007, EN 50125, EN 6068-2-1	Climatic Condition

### 3.- SISTEMA DE PUERTAS DE PASAJEROS

Las puertas serán del tipo deslizante interior eléctricas de doble hoja, serán operadas por motores eléctricos libres de mantenimiento y se dispondrán de 4 puertas por costado de cada carro del tren.

Las puertas deberán resistir las cargas definidas en la norma **EN 14752**, y las juntas deberán cumplir con la norma **ASTM 2000** o equivalente.

Las puertas del salón de pasajeros deberán contar con:

- Guiado superior e inferior.
- Aislamiento contra calor y ruido.
- Puertas selladas al agua y al aire, con una **IP54** según la norma **EN 60529**.
- Juntas, bordes y posibles cavidades sellados contra humedad.

Las juntas de goma son de tipo macho/hembra y cubren la altura total de la puerta. Están proyectadas de forma que tienen flexibilidad suficiente para no causar lesiones a los pasajeros.

La utilización de drenajes permite que el agua no caiga sobre los cofres bajo el bastidor.

La unidad electrónica de control se instalará en las puertas de tal manera que no afecte al mantenimiento del sistema de suspensión y correderas de las puertas.

Cada puerta estará compuesta de dos hojas formadas por un panel exterior y otro interior, en lámina de acero inoxidable **AISI 304 grano 220** de por lo menos 1 mm de espesor sin recubrimiento de pintura, y reforzadas interiormente (la caja formada será inyectada de espuma expandible de poliuretano de calidad no combustible o auto extingible rígida según norma **UNE 53127**, con una densidad de **100-120 kg/m<sup>3</sup>** o un material equivalente). Los refuerzos interiores serán de acero bicromato.

Estarán enmarcadas por una armadura sólida de perfiles de aluminio extruidos, aleación **6060 T5**, anodizado color natural.

La corredera inferior de las puertas deberá ser diseñada de tal manera que no permita la acumulación de agua, basura y objetos, que pudieran dañar, así como obstaculizar la libre apertura y cierre de las puertas.

Se deberán utilizar componentes de accionamiento, mando y control de tecnología moderna, que cumplan con los requerimientos de operación, vida útil, fiabilidad y mínimo mantenimiento.

La distribución de las puertas de los coches equilibrará el flujo de pasajeros a desalojar por cada una de ellas. La apertura y cierre de ambas hojas será en forma simultánea. Las dimensiones mínimas de las puertas serán de **1,950 mm** de altura por **1,400 mm** de ancho libre.

Los períodos mínimos entre mantenimientos para lubricación y limpieza serán de **150,000 km** y el periodo mínimo entre cada mantenimiento mayor será de **750,000 km**.

Los componentes del sistema de puertas deberán garantizar una vida útil superior a **4,500,000 km**, y para el mecanismo de suspensión y conjugación se considera una vida útil de **2,500,000 km**.

El mando de las puertas se efectuará por el conductor desde la cabina y también por el exterior del tren por las puertas de extremidad, y por el CBTC.

El cierre de las puertas de acceso deberá cumplir con las condiciones siguientes:

- El tiempo entre el mando y el cierre total será entre **2.5 a 3 segundos**, permitiéndose el ajuste de la velocidad. Antes del final de la carrera se tendrá un segundo paso que evite daños al usuario.

- El esfuerzo longitudinal a aplicar sobre una hoja, para impedir su cierre será de cuando menos **45 daN**.

- El tiempo de apertura entre el mando y la apertura total será de **2 a 2.5 segundos**, permitiéndose el ajuste de la velocidad al final de la carrera que evite daños al equipo.

El comando de apertura de puertas se podrá realizar de forma manual a través del conmutador de preparación y anulación de apertura, en forma automática por el CBTC o desde la consola de conducción.

La apertura de puertas cumplirá con las siguientes condiciones:

- Cuando las hojas de las puertas están totalmente abiertas, en el final del recorrido, estas quedarán libres. En este estado, el motor no ejercerá fuerza sobre las puertas.

- La unidad de control de cada una de las puertas está conectada al bus de comunicaciones del tren mediante RS232, RS485, CAN o equivalente, que registrará y almacenará algunos de las fallas generadas durante la operación.

- La unidad de control de las puertas registrará y almacenará toda la información sobre el funcionamiento del sistema de puertas y de cada puerta en particular.

### **Operación Manual**

- La operación manual de apertura de puertas podrá realizarse siempre que el dispositivo de selección del modo de conducción este en la posición manual.

-El lado de servicio será seleccionado por el dispositivo de servicio de puertas. Al seleccionar un lado, el otro lado se cerrará automáticamente quedando condenado al cierre.

-El lado seleccionado recibirá el comando de cierre cuando se presione el dispositivo de cierre. La apertura se realizará al presionar el conmutador de preparación y anulación de apertura. Este conmutador permite memorizar la preparación de apertura durante un tiempo de 15 segundos. Pasado este tiempo, si el tren circula a una velocidad más que 3 km/h, el comando de apertura de puertas quedará anulado y el operador tendrá que volver a pulsar el conmutador de preparación y anulación de apertura para su apertura.

### **Comando por el CBTC**

-La operación automática de apertura de puertas podrá realizarse siempre que el dispositivo de selección del modo de conducción este en la posición PA.

-El lado de apertura será seleccionado por el sistema CBTC.

-El sistema CBTC enviará la información, como el lado y el comando de apertura, a las líneas del tren y equipos eléctricos e implementará la lógica que permita operar en seguridad la apertura de puertas en modo automático.

-Señal de paso y de velocidad cero transmitida a la DCU (por sus siglas en ingles **Door Control Unit**) desde el tren (desde el lado derecho o izquierdo).

-El comando de apertura de la puerta transmitido a la DCU desde el tren. El comando debe ser localizado para cada puerta del tren.

-Se abren todas las puertas del lado seleccionado, a la excepción de las puertas no comandadas por el CBTC para la apertura.

En el sistema CBTC se indicará en la cabina el estado de cada una de las puertas: abierta, cerrada, aislada, enclavada, en falla o sin información. El tiempo de señalización ante cambio del estado de puerta será inferior a **1 segundo** y no existirá desfase de información cuando las puertas se abran o cierran simultáneamente.

El control de los circuitos y los motores de puertas deberán satisfacer las siguientes características:

- Establecer comunicación con el sistema de informática embarcada.
- Almacenar información del funcionamiento de cada una de las puertas.
- Estar protegido contra cualquier tipo de disturbio eléctrico y magnético.
- Ser hermético, a prueba de agua y contaminantes.

-Sus conectores, puertos y demás componentes serán a prueba de vibraciones.

-Contará con los sensores indispensables para monitorear el estado de apertura y cierre de cada una de las puertas, los cuales deberán ser confiables, seguros, libres de mantenimiento, del tipo magnético o similar e inmunes a la suciedad.

-En caso de que por algún motivo se abra alguna puerta, parcial o totalmente, después de obtener la autorización de partida por cierre de puertas, se aplicará el freno de emergencia automáticamente (señalizándose en el monitor TMC de cabina de conducción).

#### NORMAS UTILIZADAS.

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Puertas de Pasajeros.

EN 14752	Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de puerta de acceso para material rodante.
EN 50155	Aplicaciones Ferroviarias - Equipo Eléctrico utilizado en Material Rodante

#### **4.- SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.**

Este sistema comprende la generación, tratamiento, almacenamiento y distribución del aire comprimido. Y se compone de:

- Motocompresores.
- Secadores de aire.
- Depósitos principales y auxiliares, y accesorios para su interconexión.

La generación de aire comprimido deberá ser suficiente para que las funciones que desempeñan los equipos de accionamiento neumático, principalmente las de seguridad del tren.

En caso de falla de este sistema, afectando la seguridad, el tren deberá avisar al CBTC, que el tren no está listo para una operación automática y aplicará un frenado de emergencia, por ejemplo.

El diseño del sistema neumático será calculado de tal forma que se asegure que el grupo motocompresor arranque el menor número de veces posible durante su operación.

En la puesta en marcha del tren, ambos compresores del tren se activan para acelerar el llenado del tren con aire y que permanezca en funcionamiento hasta que se obtenga una presión a menos de 10 bares en el conducto de depósito principal.

Se realizará una gestión inteligente de los compresores a fin de optimizar el ciclo de trabajo y equilibrar el tiempo de operación de los compresores, utilizando reguladores de presión que se definen en valores adecuados de alta/baja presión.

La elección del compresor activo (maestro) se definirá en el TCMS (sistema informático del tren) y dependerá del día (par o impar). De esta forma el desgaste se distribuirá equitativamente entre ambos compresores.

##### **Unidad de Compresión de Aire**

El compresor deberá ser un equipo de alto rendimiento de aplicación ferroviaria (del tipo rotativo o reciprocante libre de aceite) y con capacidad de cumplir ampliamente los requerimientos de gasto de aire comprimido que demanden los trenes, con un periodo de mantenimiento mayor (overhaul) no menor a 750,000 km acoplado directamente a un motor de corriente alterna trifásica.

En los 3 coches remolque se contará con un grupo motocompresor (o sea 3 grupos motocompresor por tren) que funcionará bajo un régimen de administración alternada, equivalente a una tasa de trabajo del 50%, controlado por el sistema de informática embarcada del tren.

En caso de falla del control de la informática embarcada los compresores funcionarán libremente bajo el régimen de arranque y paro en el rango de presiones acorde con el diseño del tren, con el menor número de arranques y paros durante su operación.

## **Motor Eléctrico**

El motor que se utilizará para accionar los compresores será tipo jaula de ardilla, alimentado en corriente alterna trifásica 60 Hz.

En el diseño, fabricación y pruebas del motor se deberán satisfacer el aislamiento Clase H y autoventilado.

Deberá contar sobre la carcasa con una caja de conexión hermética que permita su empalme con los circuitos del coche a través de una toma rápida.

## **Inversor del Grupo Motocompresor**

La alimentación del motor de corriente alterna será a través de un inversor independiente, diseñado bajo la misma tecnología y características de funcionamiento y operación del convertidor estático que alimenta los circuitos auxiliares del tren, con todas las protecciones eléctricas y electrónicas necesarias que aseguren un funcionamiento confiable.

La alimentación eléctrica del compresor se realizará desde el convertidor estático más próximo, y ante la falla de éste, el sistema estará preparado para alimentar automáticamente el compresor desde el otro convertidor estático (o sea un convertidor estático podrá alimentar hasta 2 motocompresores).

## **Secador de Aire**

El aire comprimido, después de la salida del compresor, pasará a través de un secador de aire adecuado al gasto/caudal, operación y condiciones ambientales, que permita garantizar una temperatura de punto de rocío tal, que evite la condensación de agua en el depósito principal del aire comprimido y en el conducto de equilibrio.

El secador de aire, de tipo regenerativo, estará constituido por una torre de secado y una de filtrado, drenando automáticamente cada vez que pare el compresor.

## **Tanques de Aire Comprimido**

Los depósitos principales estarán en comunicación por medio de un conducto de equilibrio, de la cual saldrán las derivaciones para los diversos circuitos neumáticos.

Estos depósitos serán fabricados en acero inoxidable que garanticen una vida útil de cuando menos 40 años, deberán cumplir en diseño y construcción con las prescripciones establecidas para recipientes a presión según el código ASME o equivalente.

Se deberán prever facilidades para el mantenimiento interior del tanque.

Así mismo, los depósitos contarán con las válvulas de purga, verificación y de seguridad necesarias.

Existirán depósitos auxiliares para alimentar los equipos de frenos y suspensión neumática. Éstos serán de las mismas características de construcción a los depósitos principales.

## Control, Mando y Regulación

Cada coche remolque contará con un grupo motocompresor controlado por el sistema de informática embarcada del tren (o sea 3 grupos).

Todos los parámetros de operación y falla de los grupos motocompresores serán permanentemente controlados y vigilados por el sistema informático del tren y visualizados en el monitor de cabina (TMC), en caso de falla del sistema informático, el control de arranque y paro deberá ser independiente a través de líneas de tren.

Además, esta situación deberá ser señalizada en el monitor de cabina (TMC) y en la caja de señalización "BS".

En caso de falla de un motocompresor y/o que no proporcione el gasto/caudal suficiente para llegar a las presiones de servicio, la informática embarcada deberá detectar tal situación informando a través del monitor de cabina (TMC).

En caso de falla del control de la informática embarcada los grupos motocompresores funcionarán libremente bajo el régimen de arranque y paro en el rango de presiones acorde con el diseño del tren.

Cada coche remolque, deberá contar con un presostato para la medición de presión que comande el arranque y paro.

Para el arranque actuará el mando de los grupos cuando el primer presostato detecte la presión mínima de trabajo; y el paro, cuando el último presostato detecte la presión máxima.

## NORMAS UTILIZADAS.

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Generación y Distribución de aire comprimido.

EN 13452-1	Railway applications - Braking - Mass transit brake systems - Part 1: Performance requirements;
EN 13452-2	Railway applications - Braking - Mass transit brake systems - Part 2: methods of test
EN 15595	Aplicaciones ferroviarias – Frenado - Protección contra el deslizamiento de la rueda.
EN 50121	Railway Application – Electro-Magnetic Compatibility – Rolling Stock
EN 50155	Railway applications - electronic equipment used on rolling stock
IEC 60077-1/2	Railway applications. Electric equipment for rolling stock.
IEC 60349-2	Electric traction - rotating electrical machines for rail and road vehicles - part 2: electronic convertor-fed alternating current motors
IEC 61133	Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service
IEC 61373	Railway applications - rolling stock equipment - shock and vibration tests
ISO 1217	Displacement compressors - acceptance tests
ISO 8573-1	Compressed air. Contaminants and purity classes

## **5.- SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN Y REGISTRO.**

Los trenes deberán contar con un dispositivo para medir, registrar, procesar, mostrar y transmitir parámetros relacionados con el funcionamiento de sus equipos, los cuales permitirán conocer el comportamiento general del tren, así como, el de sus principales sistemas y, en caso de incidentes, realizar el análisis de los parámetros de la operación del tren, que en consecuencia permita el deslinde de responsabilidades.

El registrador electrónico de eventos deberá incluir la función de transmisión remota inalámbrica (WiFi) de los datos, así como todo el equipamiento para la instalación fija que requieran los puestos de recepción de datos, y se deberá proporcionar un software de análisis automatizado de la información, el cual debe proporcionar los reportes de operación del tren y la Línea.

En el pupitre de cada cabina se instalará un odómetro-velocímetro, que desplegará en pantalla, en dimensiones tales que sean fácilmente visibles por el conductor, la hora, la fecha, el kilometraje recorrido y la velocidad en forma analógica y numérica.

La distancia registrada como recorrida debe corresponder a la distancia real.

La hora y la fecha del reloj interno del registrador electrónico de eventos serán autónomas y servirán de referencia para sincronizar a la red informática embarcada y a todos los equipos asociados a él, cuando cada tren descargue la información del registrador electrónico de eventos a los puntos fijos y exista una diferencia mayor a 5 minutos entre el registrador electrónico de eventos y el punto fijo de recepción este emitirá un mensaje de alarma para que personal de mantenimiento actualice la hora y en su caso la fecha del registrador electrónico de eventos asociados.

El registrador electrónico de eventos deberá contar con puertos de comunicación serial Ethernet u otro tipo estándar a través de los cuales sea posible conectar el equipo a un sistema de cómputo portátil para programarlo y extraer la información. Además de proporcionar un puerto de comunicación que se pueda conectar al sistema informático embarcado.

El registrador electrónico de eventos deberá tener las siguientes características:

- Resistencia a condiciones ambientales extremas.
- Capacidad de almacenamiento de datos de al menos 30 días de operación continua.
- Modularidad.
- Sistema escalable (el número de señales a registrar, la capacidad de memoria y manejo de funciones).
- Garantizar gran confiabilidad en la precisión de los datos almacenados.
- Sencillez para la presentación y análisis de la información.

## **Funciones Generales**

Las funciones mínimas que debe realizar el registrador electrónico de eventos son:

-Medición, memorización y procesamiento de informaciones analógicas y digitales, tales como: velocidad del tren, distancia recorrida, aceleración del tren, tensión de línea, grado de tracción o frenado aplicado, presión del conducto de equilibrio, torque del motor de tracción, modos de conducción, apertura y cierre de puertas, líneas de seguridad, posición de conmutadores, frenado comandado por el CBTC, todos los parámetros que se señalizan en la caja BS, unidades neumáticas de frenado aisladas, entre otras.

-Extracción de datos y configuración de parámetros de acuerdo con un nivel de acceso

1er nivel de acceso; deberá permitir:

-Recuperación de los datos memorizados y almacenados.

2do nivel de acceso; deberá permitir actualizar los siguientes parámetros:

-Fecha.

-Hora.

-Registro de la Línea en la cual se encuentra circulando el tren (dos caracteres alfanuméricos).

-Programar el kilometraje inicial con el que iniciará el registrador.

-Número económico del tren, indicado con los números de los coches con cabina, que permita quince caracteres alfanuméricos.

3er nivel de acceso deberá permitir modificar los siguientes parámetros:

-Nombre y unidades de las señales que se registran. El equipo deberá contemplar, por lo menos, el registro de 12 señales analógicas y 48 digitales, dentro de las cuales se deberán prever las señales indicadas en la norma IEEE 1482.1 y las que se acuerden con en la revisión de diseños, en caso de quedar alguna disponible deberá quedar cableado del registrador a las tablillas de conexiones.

## **Características Operativas**

-En el caso de señales digitales deberá registrar todos los cambios de estado que se estén dando en las señales monitoreadas.

-De requerirse, el tiempo de muestreo de señales analógicas podrá ser modificado por medio de software en múltiplos de porcentaje de cambio con respecto al rango de variación de la señal, es importante señalar que la variación de la frecuencia de

muestreo no alterará significativamente la exactitud y precisión de ninguna de las señales.

-Para el caso de las señales digitales el uno lógico se tomará a partir de 40 Volts y el cero lógico de 0 a 10 Volts. Cualquier valor que no esté definido ni como cero ni como uno según los valores aquí citados deberá ser marcado por el registrador como valor indefinido.

-A fin de facilitar el análisis de la información almacenada por el registrador electrónico de eventos, cuando sea necesario, ésta podrá ser desplegada gráficamente en tiempo real con la ayuda de una computadora portátil, sin afectar la memorización de los datos.

-Además, se podrá memorizar a voluntad la información gráfica que se desee.

-El equipo debe tener la flexibilidad necesaria para modificar el número de señales analógicas y digitales que se deseen muestrear, todas las señales deben ser independientes y totalmente aisladas, las conexiones de las señales del tren al registrador electrónico de eventos se realizarán con conectores múltiples de acción rápida.

-El registrador electrónico de eventos debe contar con un reloj interno que permita situar, con exactitud y precisión, en el tiempo los eventos registrados. La memoria del registrador electrónico de eventos debe utilizar tecnología moderna.

-El reloj del registrador electrónico de eventos se sincronizará con la hora de la red informática del tren.

-El sistema de la señal del indicador de velocidad debe operar independientemente del registrador electrónico de eventos para permitir que en casos de no funcionamiento del registrador no se pierda la indicación de velocidad al conductor.

-Los datos del módulo de memoria (caja negra) deberán ser recuperables en cualquier condición, aunque se averíe o destruyan las tarjetas electrónicas que conforman el registrador electrónico de eventos.

-La pantalla del velocímetro-odómetro se debe proteger contra golpes y ralladuras provocadas por vandalismo.

-Rango De Temperatura Ambiente De Operación: -10 a +55 °C

-Vibración Admisible:3g desde 5 Hz

-Humedad Relativa Máxima: 90 %

-El módulo de memoria (caja negra) donde se almacenarán los datos deberá cumplir con los estándares definidos en la norma IEEE Standard 1482.1, en cuanto a los criterios de:

-Choque de impacto y vibraciones.

-Penetración.

-Alta temperatura.

-Compresión estática.

-La operación normal del registrador electrónico de eventos no deberá alterar el funcionamiento de los demás equipos del tren.

-Una falla en cualquiera de los componentes del registrador electrónico de eventos (fuente alimentación, CPU, interfaces I/O, y/o sensores), no deberá afectar la operación de los sistemas del tren y deberá ser registrada en el monitor de cabina.

-El registrador electrónico de eventos continuará registrando señales, aun cuando el tren este apagado.

-El tiempo de extracción (desde a bordo del tren) de todos los datos contenidos en la memoria, aun cuando ésta se encuentre llena, se debe realizar en menos de 5 minutos.

-Para la transmisión remota se deberá considerar, al mínimo la información almacenada en la memoria durante las últimas 10 horas de operación. El tiempo de transmisión no deberá exceder de 30 segundos, sin pérdida de los datos que se transmitan.

-En caso de sustitución del equipo en un coche la inicialización del registrador electrónico de eventos se debe realizar en forma automática una vez alimentado el mismo.

-El equipo debe ser concebido bajo un diseño modular de manera que, por una parte, sea fácil y rápida su reparación en caso de falla, y por otra pueda incrementarse su capacidad de registro de datos, así como poder agregar funciones adicionales, incrementando en módulos las tarjetas digitales y analógicas.

-A fin de hacer una vigilancia constante del estado funcional de todo el equipo, el registrador electrónico de eventos incluirá un sistema de auto prueba que permita señalar oportunamente averías propias, tanto localmente como en cabina, a través de la red informática embarcada para facilitar el mantenimiento correctivo.

-Para vigilar y garantizar un correcto ajuste de las informaciones analógicas registradas, el registrador electrónico de eventos debe contar con un sistema de calibración programable (software) que permita cambiar los factores de ajuste.

-La memoria histórica deberá ser del tipo circular. Una vez que la memoria se sature, la información más reciente reemplazará a la más antigua.

-El acceso a los procesos de inicialización de la memoria histórica deberá ser restringido a través de una clave de seguridad programable a ser utilizada sólo por personal autorizado, además debe poder asignar niveles de acceso a los diferentes usuarios, por ejemplo:

- Nivel de acceso tipo 1. Permiso de acceso para modificación de parámetros.

- Nivel de acceso tipo 2. Permiso de acceso para extracción de datos, edición y análisis.

-Se preverá el equipo y/o el software necesario que permita minimizar los errores de distancia recorrida que se graban en el registrador electrónico de eventos, debido a efectos de la geometría de los neumáticos por desgaste, presión, carga, etc. Y

adicionar un dispositivo que permita recalibrar la distancia recorrida al menos en cada terminal de la Línea.

-Se garantizará plenamente la recuperación de la información almacenada para que pueda ser empleada de manera fidedigna ante cualquier incidente.

-Se deberá garantizar una cobertura mínima de recepción de datos en los puntos de la línea que asigne el operador, con todo el equipo necesario para procesar automáticamente dicha información y detectar oportunamente las variables de interés para la operación y el mantenimiento.

-En dichos puntos el equipo deberá tener instalado el software para la clasificación de la información discriminada sin duplicidad de la información descargada, elaboración de informes del desempeño de la conducción y operación de trenes, así como alarmas que indican violaciones a las consignas de operación, además de las alteraciones importantes en el desempeño del tren.

-La información recibida será fidedigna, no deberá ser alterada al ser transmitida.

-El software para obtención y tratamiento de la información deberá ser en ambiente Windows (versión mínima 8.1).

#### NORMAS UTILIZADAS.

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Señalización y Registro.

-IEEE 1482.1 Draft Standard for Rail Transit Vehicle Event Recorder.

-IEEE 1482.1-1999 IEEE Std for Rail Transit Vehicle Event Recorder.

## 6.- SISTEMA CBTC (Pilotaje Automático)

El Pilotaje Automático será del tipo CBTC (por sus siglas en inglés: **C**ommunications **B**ased **T**rain **C**ontrol), control de trenes basado en comunicaciones, es un sistema de control y señalización ferroviaria que hace uso de comunicaciones bidireccionales entre el equipamiento del tren y el equipamiento en la vía para gestionar el tráfico. Al conocer con mayor exactitud la posición de los trenes en la línea que en los sistemas tradicionales, la gestión de tráfico es más eficiente y segura.

Este sistema de control automático y continuo del tren se basa en la comunicación de alta capacidad de datos entre el tren y la vía, y consta de las siguientes funcionalidades, conforme la **norma IEEE1474**:

- ATC (**A**utomatic **T**rain **C**ontrol)
  - ATO (**A**utomatic **T**rain **O**peration)
  - ATP (**A**utomatic **T**rain **P**rotection)
  - ATS (**A**utomatic **T**rain **S**upervision)

Los grados de automatización, GoA, posibles del sistema CBTC, conforme a la **norma IEC62290-1**, son los siguientes:

- GoA1 Modo degradado de conducción.
- GoA2 Modo semiautomático STO
- GoA3 Modo automático DTO (con conductor)
- GoA4 Modo completamente automático, vía remota (sin conductor) UTO

STO (**S**emi-automated **T**rain **O**peration). Operación semiautomática de tren.

DTO (**D**riverless **T**rain **O**peration). Operación de tren sin conductor.

UTO (**U**nnattended **T**rain **O**peration). Operación completamente automática del tren.

El grado de automatización más comúnmente utilizado es el GoA 2 y 3, con la presencia de un conductor.

El grado GoA4 requiere una inversión mucho mayor ya que requiere del uso de puertas de andén. Esto será decidido por cada operador.

El CBTC y la red informática del tren tendrán comunicación mediante protocolo estándar para efectuar los mandos de todos los sistemas que integran al tren, como tracción y frenado, puertas de pasajeros, entre otros.

A continuación, en la Figura 2, se muestra esquemáticamente la interfaz de ambas redes de comunicación y su interacción, así como un esquema de la arquitectura del sistema CBTC, ver figura 3.

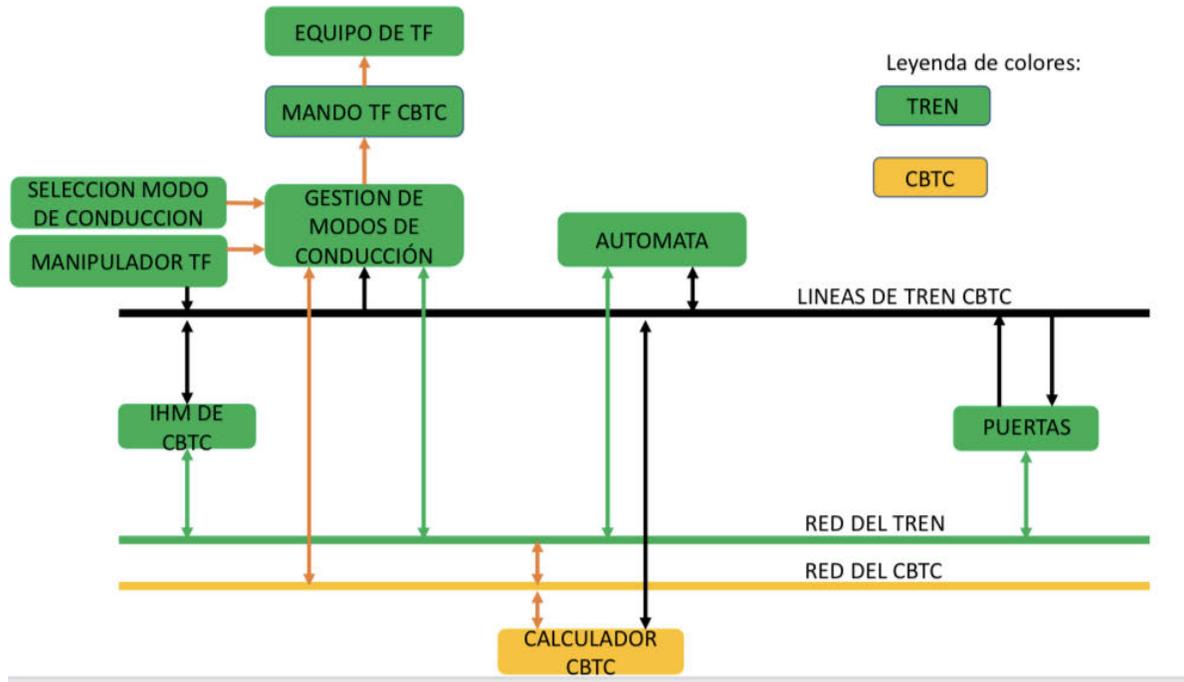


FIGURA 2: INTERFAZ RED INFORMATICA DEL TREN Y CBTC.

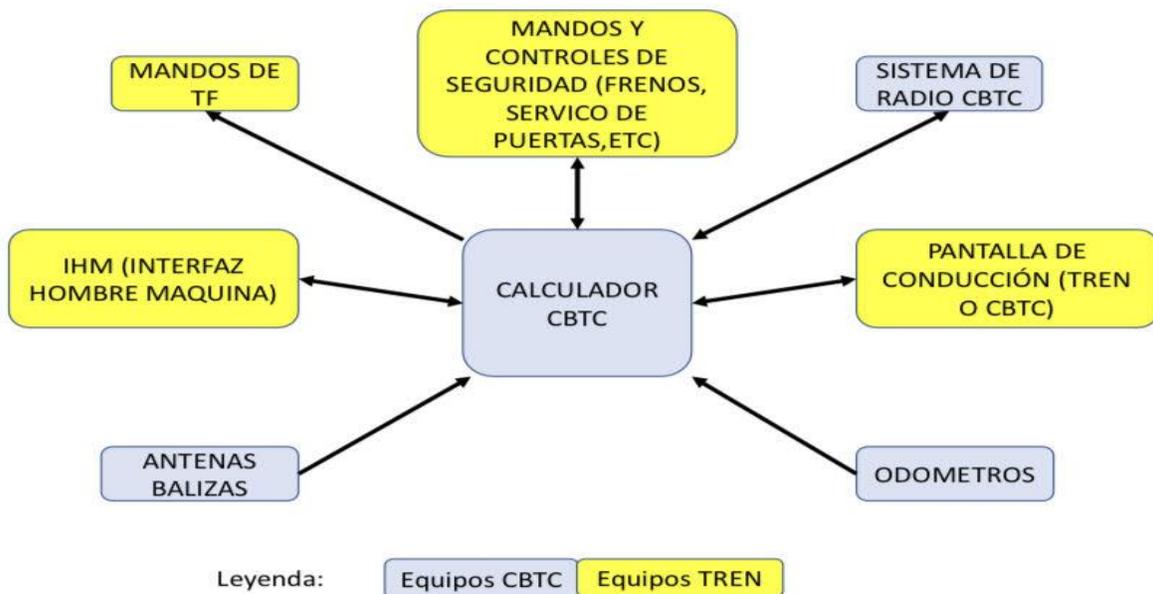
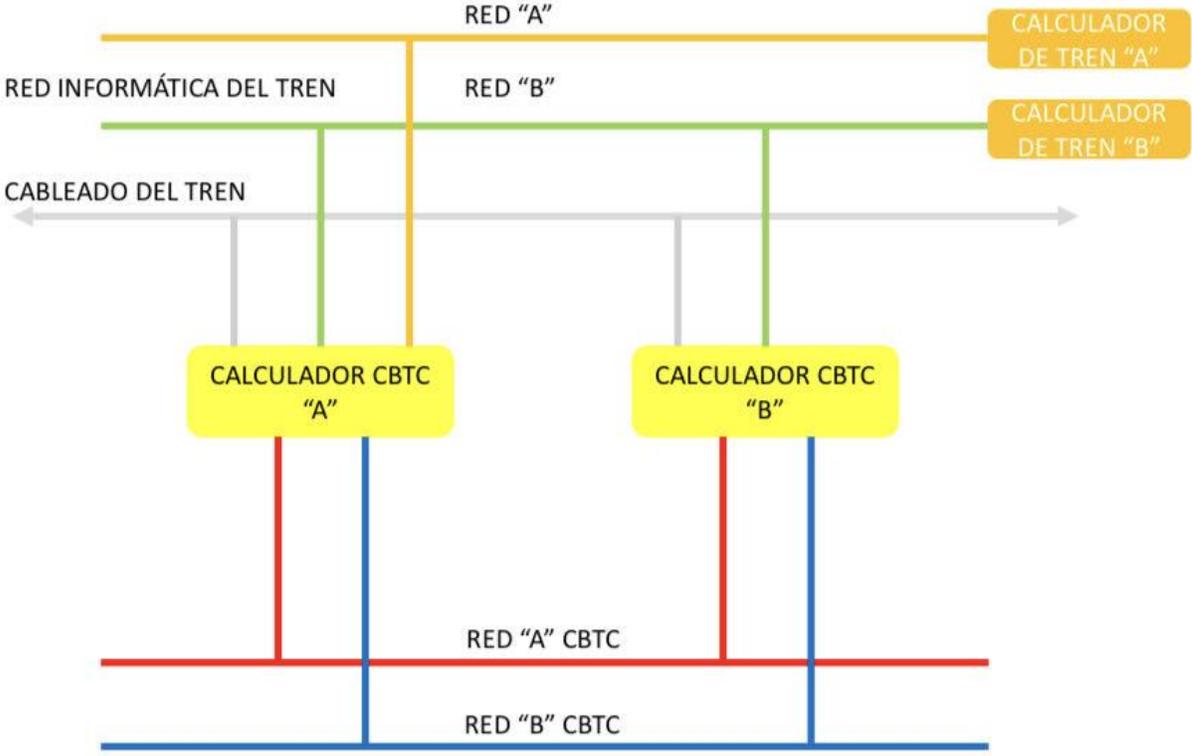


FIGURA 3: ARQUITECTURA TÍPICA DE INTERFAZ TREN-CBTC

La red interfaz de red Tren – CBTC, deberá ser de alto nivel de disponibilidad, es decir, en caso de falla del canal A, deberá de entrar automáticamente el canal B, tal como se ilustra en la Figura 4.



**FIGURA 4. INTERFAZ DE RED TREN – CBTC DE ALTO NIVEL DE DISPONIBILIDAD**

## **7.- INFORMATICA EMBARCADA DE MANDO Y CONTROL**

El sistema contará con una red dedicada y redundante a la cual estarán conectados todos los equipos del tren.

Este sistema constituye una red de datos conforme a la **norma IEC 61375**.

El sistema deberá considerar en su diseño el número de entradas y salidas digitales, entradas y salidas analógicas, y puntos de conexión a la red que permitan realizar todas las funciones de control y monitoreo del tren y del CBTC. Además, se debe considerar un 20% de reserva.

Este sistema de control y monitoreo supervisará el funcionamiento del tren, además el sistema deberá integrar un sistema de ayuda a la operación y al mantenimiento, considerando los siguientes aspectos:

- Utilización de circuitos específicos y líneas del tren con hilos para la realización de las funciones de seguridad.
- Aplicación de tecnología de lógica programada, utilizando como enlace un sistema de comunicación distribuido para la realización de las funciones que no corresponden a la seguridad e incluyendo las funciones de ayuda al mantenimiento.

La comunicación entre los equipos embarcados se realiza mediante de una arquitectura de buses jerarquizada.

Todo órgano o sistema informatizado, a la preparación del tren, deberá ejecutar automáticamente las rutinas de autodiagnóstico y de integridad, cuyo informe quedará grabado en el dispositivo de registro de diagnóstico del sistema del tren.

Cada subsistema del tren deberá estar provisto de interfaces de diagnóstico, los cuales deberán ser leídos por equipamientos de diagnóstico portátiles genéricos (de preferencia con interfaz web a través de un navegador).

Para todos los equipos existirá una toma informática de mantenimiento en cada uno de los coches.

### **Concepción General del Sistema de Control y Mando**

La arquitectura del sistema de control y mando del tren deberá integrar un sistema de diagnóstico y de ayuda a la operación y al mantenimiento, considerando los siguientes aspectos:

- Utilización de circuitos específicos y líneas de tren para la realización de las funciones de seguridad.
- Aplicación de tecnología informática, utilizando como enlace un sistema de comunicación distribuido para la realización de las funciones que no corresponden a la seguridad e incluyendo las funciones de ayuda al mantenimiento.

La arquitectura y el equipo informático a bordo deben asegurar que el sistema pueda escalarse, de manera que sea posible efectuar fácilmente modificaciones y extensiones de las aplicaciones.

A nivel del tren debe preverse una reserva mínima del 20% para las señales lógicas y analógicas.

El sistema informático a bordo del tren será utilizado para:

- Monitoreo de la conducción y operación (TMC).
- Controlar y/o monitorear los equipos auxiliares.
- Ayuda a la conducción, operación y mantenimiento.
- Registro de parámetros.

El sistema informático garantizará la independencia en el control de las funciones críticas y de seguridad para el funcionamiento del tren, de manera que la disponibilidad del conjunto no se vea afectada si llega a producirse una avería en uno de los componentes de dicho sistema informático.

En caso de cualquier avería del sistema no afectará la seguridad, el control ni la conducción del tren.

Las funciones que no están directamente relacionadas con la seguridad, ligadas a condiciones imprescindibles para asegurar la operación del tren en condiciones degradadas, podrán efectuarse a través del propio sistema informático, o bien ponerse en servicio de manera forzada en caso de avería de este sistema.

### **Características de Funcionamiento**

El sistema de informática embarcada tendrá las siguientes características:

- Monitoreo, mando y control de los eventos generales en el tren sin afectar la seguridad.
- Almacenar en memoria FIFO (memoria circular) los eventos de al menos 23 días sobre la operación del tren con indicación de la fecha y hora.
- Almacenar con fecha y hora en memoria las condiciones presentadas (en lo posible) 100 milisegundos antes y 100 milisegundos después de cada avería.
- Comunicación con los demás equipos informatizados a bordo, a través de una red (sistema centralizado de información y sistemas de ayuda al mantenimiento de los equipos principales del tren), tales como: Registrador Electrónico de Eventos, Grupo Moto-compresor, Convertidor Estático, Sistema de Tracción-Frenado, Ventilación Refrigerada, Sistema de Antibloqueo, Sistema de Puertas de Pasajeros y de Cabinas, Sistema de Comunicaciones, Sistema de Pilotaje Automático (y en su caso el Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), Sistema de Video-Información entre otros), etc.... Se deberá cumplir con la Norma IEC 61375-1, también conocida como TCN (Train Communication Network), MVB (Multifunctional Vehicle Bus) o equivalente (como Ethernet). Además, contará con interfaces seriales, puerto serie Ethernet u equivalentes para extracción de datos con posibilidad de consultar el registro histórico de fallas.

- Efectuar auto pruebas y diagnósticos del sistema.
- Efectuar su sincronización horaria a través del CBTC (o del sistema de comunicaciones embarcadas si el CBTC no está funcionando correctamente).
- Contar con señalización de fallas propias del sistema, en forma local y en cabina.
- Todas las fallas que le reporten a la informática embarcada los diferentes sistemas del tren se deben presentar en un monitor (TMC) en la cabina de conducción con una alarma acústica de intensidad y duración ajustable (por personal de mantenimiento) y una descripción clara y breve de la falla, con indicaciones al conductor respecto a las acciones a tomar según la falla presentada. Así mismo se deberán presentar en el monitor de cabina (TMC) todos los señalamientos de avería o estado del tren que se consideran en la caja de señalización ("BS"), en todos los casos deberá indicar el coche en el que se da el evento o avería.
- Las tarjetas y elementos no deberán ser dañados o degradados por los componentes atmosféricos del medio ambiente.

El sistema que se implemente debe estar funcionando correctamente en algún sistema de transporte tipo metropolitano con un mínimo de un año de operación.

Las funciones de seguridad (por ejemplo, freno de urgencia y operación de las puertas) estarán efectuadas por líneas de tren que no dependan directamente del sistema de informática embarcada, pero que conozca las condiciones de operación de estas para su señalización, registro y monitoreo.

Por medio del monitor de cabina (TMC) y para mantenimiento a través de un equipo portátil podrá realizarse lo siguiente:

- Simulación de señales de entrada y salida.
- Monitoreo del estado de las salidas.
- Efectuar auto prueba para verificar el funcionamiento general del equipo.
- Extraer los datos almacenados en las memorias del sistema mediante un puerto serie Ethernet o equivalente.
- Señalizar averías de este.
- Visualizar información en tiempo real de la operación del tren de todos los parámetros monitoreados en la terminal de cabina (TMC), así como a través de una computadora portátil en cada coche mediante puerto serial Ethernet o equivalente.
- Presentación oportuna y sencilla de los datos para facilitar la interpretación de estos y así ayudar al mantenimiento correctivo del tren (no se permite la presentación en forma de códigos).
- Preparación automatizada de reportes de la operación a partir de los datos almacenados.

-Búsqueda de eventos específicos determinados a partir de funciones lógicas de las señales registradas.

Facilidad de exportación de datos a hojas de cálculo tipo Excel para elaboración de reportes estadísticos.

El sistema tendrá incorporado un programa de auto prueba que se ejecutará al encender el equipo.

La interrupción de la alimentación eléctrica del sistema de control informático no deberá provocar consecuencia alguna en su funcionamiento (cuando regresa la alimentación eléctrica), por lo que, al normalizarse reanudará en forma automática su operación y mantendrá en memoria los eventos registrados.

Cuando se realicen las actividades de mantenimiento y se desconecte la batería del tren, la información almacenada en el equipo deberá ser asegurada a través de un tipo de memorización sin batería con vida útil extendida.

### **Características de la Red Informática del Tren**

Esta red es distinta de la red LAN del sistema de comunicaciones embarcadas.

Los trenes contarán con una red informática moderna y comprobada, distribuida en cada uno de sus coches, basada en tecnología de sistemas abiertos y estándares.

La red permitirá su interconexión para extracción de datos y monitoreo a través de computadoras portátiles por medio de puertos serial Ethernet o equivalentes, instalados en los equipos locales de la informática embarcada de cada coche.

El sistema de interconexión estará basado en un cableado que permita tener un BUS redundante de comunicación de alta velocidad mayor o igual a 1.5 Mbps, que garantice la función satisfactoriamente.

La red debe poseer una alta capacidad de desempeño, fiabilidad y escalabilidad.

El sistema operativo de la red deberá permitir trabajar con los diversos programas individuales de comunicación que existan en cada uno de los equipos informáticos que se interconecten a la red.

La red informática del tren será redundante. En caso de falla de una parte de la red, el tren no deberá pararse.

-Esta red redundante será enlazada con el equipo de Pilotaje Automático CBTC. En caso de falla de una parte de la red informática del tren, el enlace con el CBTC (por la otra parte de esa red informática del tren) no deberá ser afectado.

### **Características de la Información en Cabina.**

La información obtenida a través de la red a bordo del tren se presentará mediante representaciones gráficas y mensajes de texto amigables al conductor y al personal de mantenimiento.

Los datos disponibles y utilizados por el sistema se procesarán con el propósito de obtener:

- La información de las averías presentadas en el material rodante.
- Ayuda a la conducción en todos los casos de avería.
- La información sobre el estado del tren.
- La información al personal de mantenimiento para facilitar el diagnóstico para el mantenimiento preventivo y correctivo.

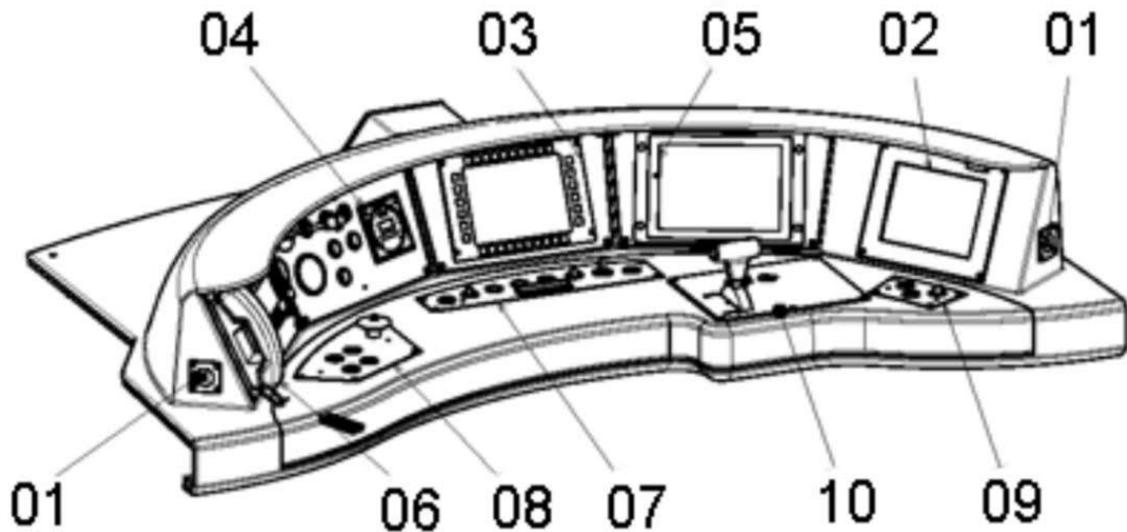
### **Caja de Señalización “BS”**

Adicionalmente al monitor de la terminal de cabina (TMC), se contará con un panel de señalización con textos iluminados con diodos emisores de luz, que permita la presentación de eventos generales en el tren para información al conductor.

Esta será independiente de la red de la informática embarcada y será alimentada por hilos de tren.

Estos equipos de señalización deberán contar con la iluminación adecuada, permitiendo una visibilidad y legibilidad de la información al conductor desde su posición normal de conducción y con un ángulo amplio de visión, la pantalla se instalará sobre el pupitre de conducción, ver Figura 5.

La alimentación eléctrica de la caja de señalización (BS) deberá ser independiente de la terminal de cabina (TMC).



**FIGURA 5: DISTRIBUCIÓN DE CONTROLES EN UNA CABINA DE CONDUCCIÓN DE TREN**

**DONDE:**

POSICIÓN	DESIGNACIÓN
1	ENCHUFE DE ALTERNA 120 V
2	MONITOR CCTV
3	CONSOLA CBTS
4	PLACA VELOCIMETRO
5	CONSOLA TCM
6	INTERFAZ Y HANDSET RADIO
7	PLACA CENTRAL DE MANDO DE PUERTAS
8	PLACA SETA DE EMERGENCIA
9	PULSADOR ILUMINACIÓN DE CABINA
10	MANIPULADOR DE TRACCIÓN Y FRENADO

**NORMAS UTILIZADAS.**

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de informática Embarcada, Mando y Control.

EN 50155	Railway applications - Electronic equipment used on Rolling Stock
EN 50121	Railway applications – Electromagnetic compatibility.
IEC 61373	Requirements for Vibration and Shock Testing of Equipment for Railway Cars
IEC 61375-1	Electric railway equipment - Train bus - Part 1: Train Communication Network
IEC 61131-3	Programmable controllers
IEC 60571	Electronic equipment used on rail vehicles
EN50121-3-2	Electromagnetic Compatibility
IEC 60068 & IEC 60721	Dust and sand test & Mould growth tests
NFF 16101	Fire and Smoke
EN 50128	Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Software para sistemas de control y protección de ferrocarril

## **8.- SISTEMA COMUNICACION Y CCTV.**

### **Comunicaciones.**

Los trenes tendrán incorporado un sistema de conexión audio, el cual permitirá establecer:

- La comunicación de cabina a cabina entre los conductores que se encuentren en las cabinas opuestas (telefonía) (cabinas activas o inactivas)
- La comunicación entre el conductor o del PCC hacia y desde los pasajeros (interfono y megafonía/voceo/sonorización)
- El anuncio de cierre de puertas (mensajes pregrabados)
- El anuncio de aviso de descenso de usuarios con silla de ruedas y/o con discapacidad motriz
- El anuncio automático o manual de la próxima estación por arribar

Este sistema está considerado como de alta prioridad, ya que, por medio de él, se permite mantener informado a los pasajeros en circunstancias normales, en casos de falla o emergencia.

#### **Aviso de Cierre de Puertas**

El aviso de cierre de puertas se deberá realizar mediante el botón único ubicado en los bloques de mando de cierre de puertas ya sea lado derecho para las puertas derechas o en lado izquierdo para las puertas izquierdas.

Cada vez que se ordene el cierre de las puertas de los salones de pasajeros, el sistema de megafonía/voceo/sonorización hará funcionar el aviso de cierre de las puertas a través de una señal audible, además simultáneamente se deberá encender una señal luminosa intermitente a base de diodos emisores de luz, de alta intensidad de color amarillo ubicadas en el marco superior de cada una de las puertas del salón de pasajeros.

Los anuncios auditivos y visuales se suspenderán al efectuarse el aviso de cierre de las puertas.

#### **Anuncio de Estaciones**

Cada vez que el tren se aproxime a una estación, el sistema de sonorización emitirá automáticamente un anuncio sonoro de que esta próximo el arribo (150 metros  $\pm$  10 metros) a la estación, indicando el nombre de la estación, la correspondencia con otras Líneas, si las hubiera, y en el caso de que se trate de una estación Terminal, se debe emitir el mensaje, "POR SU SEGURIDAD NINGÚN PASAJERO DEBE PERMANECER ABORDO". El tono de llamada se escuchará antes del anuncio del nombre de cada estación.

### Envío de mensajes pregrabados

Se deberá prever la codificación y envío de mensajes relativos a la operación de la Línea, tales como “PERMITA EL LIBRE CIERRE DE PUERTAS”, “FAVOR DE INDICAR POR QUE MOTIVO FUE ACCIONADA LA PALANCA DE EMERGENCIA”.

Estos mensajes deberán ser visibles en la platina de control y señalización de tal manera que el conductor o el PCC pueda seleccionar el que desee de manera directa ya sea seleccionándolo en la pantalla o a través del teclado digitando el número del mensaje.

Cuando no se logre el cierre total de las puertas (enclavamiento del cierre) después de un tiempo determinado el cual podrá ser modificable se deberá emitir automáticamente el mensaje “PERMITA EL LIBRE CIERRE DE PUERTAS”

### CCTV (Circuito Cerrado de TV)

Los trenes deberán ser equipados con un sistema de videovigilancia (CCTV) que permita visualizar y grabar continuamente las imágenes del interior de los coches para lo anterior se deberá prever el equipamiento necesario; cámaras de video, grabadores digitales, monitor en cabina, equipo de procesamiento de video y Sistema de Pantallas de Información al Usuario (PIU) y de Difusión de Publicidad (DDP). Los trenes deberán contar con un sistema de información/publicidad video al usuario a través de pantallas ubicadas en los salones de los pasajeros. Ver Figura 6.

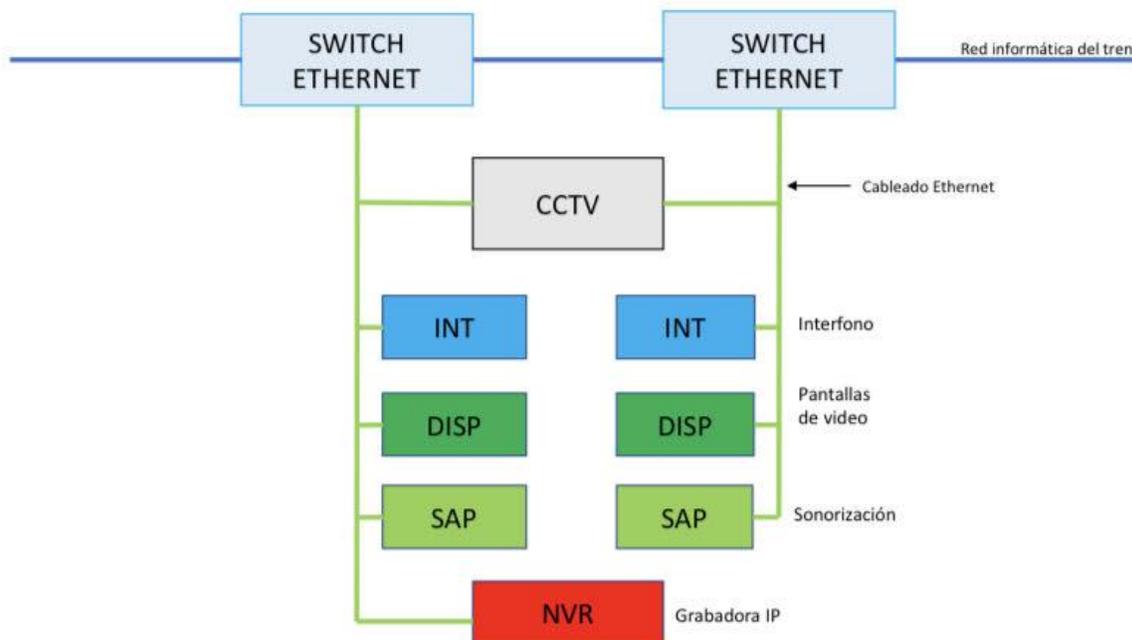


FIGURA 6: SINÓPTICO FUNCIONAL DE LA INTERFONIA A BORDO DE LOS TRENES

## NORMAS UTILIZADAS.

A continuación, se enlistan algunas de las normas que se emplearon en la definición del Sistema de Comunicación y CCTV

EN 50155	Railway applications - Electronic equipment used on Rolling Stock
EN 50121	Railway applications – Electromagnetic compatibility.
IEC 61373	Requirements for Vibration and Shock Testing of Equipment for Railway Cars
IEC 61375-1	Electric railway equipment - Train bus - Part 1: Train Communication Network
EN 50128	Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Software para sistemas de control y protección de ferrocarril
IEEE 802.3x	Estándar basado en red Ethernet LANs.
RFC0768	Protocolo de datagramas de usuario (UDP).
RFC0791	Protocolo de Internet (IP).
RFC0793	Protocolo de control de transmisión (TCP).
RFC1157	Protocolo Simple de Administración de Red (SNMP).
RFC1035	Protocolo de sincronización horaria de red (NTPv3).
EN 50132-7	Sistemas de alarma – Sistemas de vigilancia CCTV para uso en aplicaciones de seguridad – Parte 7: Guía de aplicación.
IEC 61131-1	Controladores Programables - Parte 1: Información general
IEC 61131-2	Controladores Programables - Parte 2: Requerimientos de Equipo y Pruebas
IEC 61131-3	Controladores Programables - Parte 3: Lenguajes de programación
IEC 61131-4	Controladores Programables - Parte 4: Pautas para el usuario.
IEC 61131-5	Controladores Programables - Parte 5: Comunicaciones

## **9.- EVALUACIÓN DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL SERVICIO.**

Para evaluar la calidad del servicio de los trenes de transporte masivo de pasajeros en una línea de una red de transporte se consideran los siguientes conceptos:

- Fiabilidad
- Afectación al Servicio
- Disponibilidad

### **Especificación de la Fiabilidad por Lote y por Tren.**

Toda avería se clasificará en función del tiempo de inmovilización del tren y de las afectaciones al servicio que se presta a los usuarios.

La fiabilidad se evaluará mediante la distancia media entre fallas MDBF (Por sus siglas en inglés: Mean Distance Between Failures), y se entenderá por tal concepto la relación que existe entre el recorrido realizado según corresponda, por el lote o por los trenes, y el número de fallas presentadas durante ese recorrido.

### **Averías Categoría 1 y Nivel de MDBF Especificado.**

El indicador de fiabilidad MDBF1 - la distancia recorrida en kilómetros entre la cantidad de incidentes en dicho período - se obtiene a partir de la frecuencia de incidentes con consecuencias significativas (Clase 1) y causados en Línea.

Los incidentes de Clase 1 corresponden a una perturbación importante de la explotación en la Línea que implica pérdida de vueltas y una calidad de servicio muy deteriorada, son caracterizados por los siguientes incidentes:

- El término tren descompuesto está dado por una o más averías que conducen a la ejecución de la maniobra socorro-descompostura para lograr el retiro de un tren del servicio ayudado por otro acompañado de la evacuación de los viajeros, el tren descompuesto implica retrasos importantes en el programa de explotación de los trenes en Línea.
- El término de tren evacuado está dado por una o más averías que conducen al retiro de explotación del tren después de la evacuación de los viajeros, la seguridad de los usuarios puede ser una de las causas de evacuación, según las situaciones de evacuación puede implicar un retraso más o menos importante.
- El término de tren con retraso está dado por una o más averías que implican una inmovilización y/o un retraso de duración superior o igual a 15 minutos en el programa de explotación de los trenes en Línea.

- La medida del MDBF1 para los incidentes de clase 1 es definida por el cálculo siguiente:

$$\text{MDBF1} = \text{Km} / \text{N 1}$$

$\text{N 1} = \sum n 1$  Número total de los incidentes de Clase 1 aparecidos sobre el parque de los trenes que constituye la muestra durante el período de observación.

$\text{Km} = \sum \text{km}$  Suma total de kilómetros recorridos de los trenes que constituyen la muestra del parque.

- El tiempo de retraso incluye el tiempo de detección, localización de la avería y de intervención del conductor para normalizar el servicio del tren.
- El objetivo por el lote de trenes para esta categoría de incidente es de 500,000 km/Avería tipo 1.

### **Averías Categoría 2 y Nivel de MDBF Especificado.**

El indicador de fiabilidad MDBF2 - la distancia recorrida en kilómetros entre la cantidad de incidentes en dicho período - se obtiene a partir de la frecuencia de incidentes con consecuencias significativas (Clase 2) y causados en Línea.

Los incidentes de clase 2 corresponden a una notable perturbación de la explotación de la Línea que implica pérdida de vueltas programadas y una calidad de servicio deteriorada, ellas son caracterizadas por los siguientes incidentes:

- El estacionamiento de los trenes entre 5 y 15 minutos como consecuencia de una o más averías que implican un retraso de duración entre 5 y 15 minutos en el programa de explotación de los trenes en Línea.
- La medida del MDBF2 para los incidentes de Clase 2 se define por el cálculo siguiente:
- $\text{MDBF2} = \text{Km} / \text{N 2}$
- $\text{N 2} = \sum n 2$  Número total de los incidentes de Clase 2 aparecidos en la cantidad de trenes que constituyen la muestra durante el período de observación.
- $\text{Km} = \sum \text{km}$  Suma total de los kilómetros recorridos de los trenes que constituye la muestra del parque.
- El tiempo de retraso incluye el tiempo de detección, localización de la avería y de intervención del conductor para normalizar el servicio del tren.
- El objetivo por el lote de trenes para esta categoría de incidente es 150,000 km/Avería tipo 2

### **Averías Categoría 3 y Nivel de MDBF Especificado.**

Este indicador se mide tomando en cuenta todas las averías. Se entenderán como averías de Categoría 3, aquellas que den lugar a acciones de mantenimiento que requieran reparación o reemplazo de cualquier componente que no haya sido considerado como material de consumo.

La medida de la fiabilidad MDBF3 se define por el cálculo siguiente:

- $MDBF3 = km / Ni$
- Ni: Número total de todas las averías de Clases 1, 2 y 3, presentadas sobre el tren durante el periodo de observación.
- Km: Kilómetros recorridos por el tren durante el periodo de observación.

El objetivo por tren para esta categoría de incidente es de oscila entre los 8000 y los 10,000 kilómetros/Avería, lo que depende de las fiabilidades de los sistemas que lo integran.

### **Especificación de la Fiabilidad por Sistema**

Para el establecimiento de la fiabilidad, debe considerarse la clasificación de los sistemas del tren que se detallan a continuación, esta clasificación no es limitativa.

Sistema de Tracción-Frenado.

Sistema de Antibloqueo.

Sistema de Generación y Distribución de Energía Eléctrica.

Sistemas de Informática Embarcada, de Mando y Control.

Sistema de Puertas de Pasajeros.

Sistema de Generación y Distribución de Aire Comprimido.

Sistemas Mecánicos.

Sistema de Comunicación y de Videovigilancia (CCTV).

Sistema de Señalización y Registro.

Pilotaje Automático

Caja.

Los valores mínimos de fiabilidad para cada uno de los sistemas del lote de trenes se establecen en la siguiente tabla:

**TABLA DE FIABILIDADES POR SISTEMA.**

<b>SISTEMAS</b>	<b>MDBF mensual (km/avería)</b>
Tracción - Frenado	74,000
Antibloqueo	120,000
Generación y Distribución de Energía Eléctrica	200,000
Informática Embarcada, Mando y Control	120,000
Puertas de Pasajeros	100,000
Generación y Distribución de Aire Comprimido	150,000
Sistemas Mecánicos	130,000
Señalización y Registro	120,000
Comunicación y CCTV	90,000
Caja	80,000
Pilotaje automático CBTC	100,000

### **Procedimiento de Evaluación de la Fiabilidad**

La evaluación de la fiabilidad del lote, del tren y los sistemas antes definidos, se realizará por períodos mensuales de servicio.

### **Especificación de las Afectaciones al Servicio.**

Para el cálculo del nivel de afectación al servicio NAFS se considerarán todas las averías que se presenten durante la operación de los trenes de la Línea y que como consecuencia de cada una de estas averías se tenga un retraso en el servicio mayor o igual a 4 minutos.

Para esta evaluación se utilizará la información del Puesto de Control Central del operador de la línea respecto a los retrasos ocasionados por las distintas averías imputables al Material Rodante.

Dentro de este tipo de averías están las que ocasionan retraso por: Trenes con pérdida de conducción, trenes con tracción lenta, trenes desalojados por afectar la seguridad, trenes que tienen que ser remolcados, trenes que provocan cortocircuitos con afectaciones a la alimentación general, trenes que para continuar su marcha requieren la ejecución de maniobras sobre este, entre otras. utilizando el criterio establecido en el capítulo "Procedimiento de Evaluación de la Fiabilidad".

Para el lote de trenes se evaluará este tipo de afectaciones a través del Nivel de Afectaciones al Servicio (NAFS).

Se exigirá el nivel de cumplimiento siguiente:

$$NAFS \leq 1$$

El cual se calculará de la siguiente manera:

$$NAFS = \frac{TAFS}{0.68 \times N_{ts}} \leq 1$$

Dónde:

**TAFS** = Suma de los tiempos de retardo expresado en minutos, por averías que afectaron la operación con tiempos mayores o iguales a 4 minutos de todos los trenes del lote de la línea.

**N<sub>ts</sub>** = Número de trenes del lote de la línea.

El tiempo de afectaciones al servicio (**TAFS**), se evaluará por periodos de 30 días.

### **Especificación de la Disponibilidad.**

Además de las averías que presenten los trenes en su explotación, cuando se presente falla en taller, depósito, o sea requerida la inmovilización de cualquier tren para la atención de alguna anomalía o falla, se considerará el tiempo empleado en estas intervenciones para efectos del cálculo de disponibilidad.

El índice de disponibilidad de los trenes (ID) se calculará de acuerdo con la expresión que se establece a continuación, para períodos mensuales de servicio.

$$\text{En donde: } ID = 100 \left( 1 - \frac{T_{imm}}{T_{max}} \right) \%$$

**T<sub>imm</sub>** = tiempo de inmovilización por tren (considerando 26.3 horas para las diversas actividades de mantenimiento, tales como mantenimiento sistemático, cíclico, lavado, cambio de zapatas, etc., y 5 horas para reparación de averías, por cada 30 días de servicio).

**T<sub>max</sub>** = tiempo máximo de operación por tren (considerando 585 horas a razón de 19.5 horas por día, para 30 días de servicio).

El índice ID fijado como meta para diversos sistemas de transporte masivo de pasajeros oscila entre el 95 y 96%.

### **NORMAS UTILIZADAS.**

**EN-50126 (IEC-62278)** Aplicaciones Ferroviarias-La Especificación y Demostración de la fiabilidad, disponibilidad y seguridad RAMS.

## **Resultados.**

La Problemática que se presentaba en la empresa de transporte masivo de pasajeros para disponer de la especificación técnica para la adquisición de trenes, quedó resuelto con el trabajo desarrollado y presentado en este documento. Quedando una base documental que permitirá actualizar futuras adquisiciones con las actualizaciones tecnológicas pertinentes.

## **Conclusiones**

El resultado obtenido por mi experiencia profesional muestra la definición de algunos de los sistemas básicos que conforman un tren de transporte masivo de pasajeros, sustentado en el uso de normas internacionales especializadas.

Estas definiciones están elaboradas de tal forma que pueden actualizarse o modificarse para distintos tipos de trenes y aplicaciones específicas. Este trabajo permitió generar las especificaciones técnicas y funcionales para la adquisición de trenes de un sistema de transporte masivo de pasajeros, cuyo desempeño se evalúa mediante la evaluación de los índices de calidad del servicio, bajo normas internacionales. lo que permite comparar el desempeño de los diferentes modelos de trenes con los obtenidos en otros sistemas de transporte masivo de pasajeros tanto en Europa como en América Latina. Esto se logra a través de organizaciones tales como Alamys (Asociación Latinoamericana de Metros y subterráneos), entre otras.

## **Referencias.**

- Funcionamiento del sistema VVVF, 1library.co.
- VVVF Inverter Mitsubishi Electric Railway, [www.mitsubishielectric-railway.eu](http://www.mitsubishielectric-railway.eu)
- Soluciones para Puertas y Estribos – Ferrocarril - Norgren, [www.norgren.com](http://www.norgren.com)
- Compresores exentos de aceite - Compresores ingersoll Rand. [Ingersollrand.com](http://Ingersollrand.com)
- Sistema CBTC. [www.admaioem.com](http://www.admaioem.com)
- TCMS COSMOS Railway systems CAF. [www.cafpower.com](http://www.cafpower.com)