

# MASTER BUSINESS ADMINISTRATION

MBA – JUNIO 2020

## IMPACTO DE LA TRANSFORMACION DIGITAL EN LA INDUSTRIA FERROVIARIA

**Alumno:** Rodolfo Suarez

**Tutor:** Gabriel Bater

**Lugar:** Ciudad Autónoma de Buenos Aires

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer enormemente a mi esposa y mis tres hijos, por el apoyo permanente y la ayuda que me brindaron (muchas veces sin darse cuenta) para terminar y entregar la tesis.

Desde esas preguntas sencillas de mis hijos, ¿Papi que estás haciendo?, hasta la pregunta de mi esposa un poco más incisiva, ¿Cuándo terminas esa tesis?, ¿Como venís con eso? fueron ese combustible necesario para continuar y finalizar.

A los compañeros de grupo durante la cursada, que con su compromiso hicieron que sea todo más fácil y llevadero.

A la memoria de mis padres quienes con su ejemplo me inculcaron el valor del esfuerzo.

## RESUMEN

Se observó que la tecnología que actualmente brinda el servicio público de transporte ferroviario en el área metropolitana de Buenos Aires es de principio de siglo XVIII y por su antigüedad resulta prácticamente obsoleta, también se observó el problema de la congestión de tránsito en horarios pico. Debido a que en la actualidad está disponible una tecnología digital en el señalamiento ferroviario, esto sumado a los aportes de la conectividad, justificamos realizar el presente estudio a fin de analizar como la TRANSFORMACIÓN DIGITAL puede impactar al servicio mencionado, detallando las ventajas y beneficios de forma directa hacia los usuarios y operadores y de forma indirecta hacia el resto de la sociedad.

La metodología de investigación resulta de relevar datos históricos, de analizar la situación actual del servicio, de analizar artículos de internet, de estudiar datos técnicos y *papers* de empresas del sector, de consultar base de datos oficiales y de realizar relevamientos a distintas estaciones de trenes y centro de operaciones tanto en nuestro país como en operaciones europeas. También de realizar entrevistas a distintos especialistas de la industria ferroviaria.

Objetivo general:

1. Identificar las áreas de aplicación de la digitalización en los trenes y la contribución que genera.

Objetivos específicos:

1. Determinar de forma cualitativa como se mejoraría las prestaciones del servicio de trenes, tanto para el usuario como para el operador.
2. Mencionar los beneficios indirectos que hacia el conjunto de la comunidad
3. Dar una idea de las inversiones necesarias, asignando un orden de prioridad.

Los principales resultados obtenidos muestran claramente que como país estamos retrasados en los conceptos de movilidad urbana y en la tecnología que se utiliza en el servicio ferroviario, por lo tanto existe una necesidad urgente de avanzar hacia el cambio tecnológico que permita brindar un servicio público de trenes desde un

concepto intermodal, brindando un servicio orientado a las demandas del usuario, de mejor calidad, con mayor seguridad, frecuencia y disponibilidad. Para los operadores la transformación digital implica un cambio radical en la forma de operar, mantener y planificar el servicio, ya que permite tomar decisiones inteligentes basadas en el análisis de datos.

## **Palabras Claves**

Servicio Público de Trenes, Calidad de vida, Transformación Digital.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION -----	9
A. MARCO TEORICO -----	15
CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA	15
1.1 Infraestructura ferroviaria -----	15
1.2 Superestructura ferroviaria -----	16
1.3 Electrificación: -----	21
1.4 Circuito de Vías -----	25
1.5 Contador de Ejes del Tren -----	28
1.6 Tipos de Enclavamiento -----	29
1.7 Gálibo del Tren -----	34
CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO FERROVIARIO -----	35
2.1 Línea San Martín -----	39
2.2 Línea Belgrano Sur -----	40
2.3 Línea Belgrano Norte -----	41
2.4 Línea Sarmiento -----	42
2.5 Línea Mitre -----	44
2.6 Línea General Roca -----	46
2.7 Línea Urquiza -----	47
2.8 Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología en las siete Líneas del AMBA ----	49
CAPÍTULO 3: CONCEPTOS BÁSICOS DE SEÑALAMIENTO FERROVIARIO -----	51
3.1 Protección Automática de Trenes (ATP) -----	56
3.2 Parada Automática de Trenes (ATS) -----	57
CAPÍTULO 4: INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE GESTIÓN DE TRÁFICO FERROVIARIO EUROPEO (ERTMS) -----	60

4.1 ERTMS a nivel mundial -----	62
4.2 Ventajas de ERTMS -----	62
4.3 Niveles de ERTMS -----	63
4.3.1 ERTMS Nivel 0: -----	64
4.3.2 ERTMS Nivel 1: -----	64
4.3.3 ERTMS Nivel 2: -----	67
4.3.4 ERTMS Nivel 3: -----	69
4.4 ERTMS Subsistemas -----	73
4.4.1 Subsistemas de a bordo -----	73
4.4.2 Subsistema de vía -----	74
CAPÍTULO 5: INTRODUCCIÓN A LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL -----	76
5.1 Transformación del modelo de negocio de la movilidad urbana: -----	80
CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	84
6.1 Entrevistas a expertos -----	85
6.2 Análisis FODA de la transformación digital en la industria ferroviaria -----	87
CAPÍTULO 7: ÁREAS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN -----	91
7.1 Digitalización en las Estaciones -----	91
7.1.1 Control de acceso -----	91
7.1.2 Servicio de Información al Usuario -----	93
7.2 Digitalización en Paso a nivel -----	95
7.2.1 Procesamiento de imagen en el paso a nivel -----	96
7.2.2 Internet de las cosas en paso a niveles -----	98
7.3 Digitalización en el Mantenimiento -----	99
7.3.1 Mantenimiento predictivo utilizando Big Data -----	100
7.3.2 Casos prácticos de utilización de BIG DATA en el ferrocarril -----	102

7.4 Digitalización en la Planificación de la Infraestructura ferroviaria-----	105
7.4.1 Casos Prácticos de Digitalización en el servicio ferroviario-----	107
7.5 Enclavamiento Digital-----	113
7.5.1 Caso Noruega-----	115
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES-----	118
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA-----	123
ANEXO I – Dimensiones de gálibo-----	130
ANEXO II – Red Ferroviaria GBA-----	131
ANEXO III – Cantidad de pasajeros transportados 1993 - 2019-----	132
ANEXO IV – Cumplimiento de la Programación de Trenes 1993-2019-----	133
ANEXO V – Horario Trenes de Lunes a Viernes-----	134
ANEXO VI – Red de Estaciones de las siete Líneas AMBA-----	138
ANEXO VII – Entrevista a expertos ferroviarios-----	141

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes del Riel-----	16
Figura 2 Carriles, Durmientes de hormigón y Balasto-----	17
Figura 3: Toperas-----	18
Figura 4 Aparatos de Vía - Enlace Simple-----	19
Figura 5: Semáforos de tres aspectos-----	21
Figura 6 Partes de una catenaria-----	22
Figura 7 Zigzag de la catenaria-----	23
Figura 8 Catenarias Compensadas-----	24
Figura 9 Tercer Riel-----	25
Figura 10: Estado de los aspectos según la ubicación del tren-----	26
Figura 11: Esquema de Circuito de Vía libre-----	26
Figura 12: Esquema de Circuito de Vía ocupado-----	27
Figura 13: Circuito de Vía por audiofrecuencia-----	28
Figura 14: Contador de ejes de tren-----	29
Figura 15: Palancas de accionamiento - Línea San Martin-----	31
Figura 16: Enclavamiento Eléctrico a Relé-----	32
Figura 17: Porcentajes de pasajeros por líneas-----	36
Figura 18: Circulación de Trenes con semáforos de 3 aspectos-----	58
Figura 19: Normas ferroviarias de los países europeos-----	60
<i>Figura 20: Elementos de ERTMS Nivel 1-----</i>	<i>65</i>
Figura 21: Elementos de ERTMS Nivel 1 con Loop Relleno-----	66
Figura 22: Elementos de ERTMS Nivel 2-----	68
Figura 23: Elementos de ERTMS Nivel 3-----	71
Figura 24: Distancias de separación de trenes con bloque fijo y móvil-----	71
<i>Figura 25: Aplicaciones de movilidad urbana-----</i>	<i>81</i>
Figura 26: Concepto de Servicio multimodal-----	82
Figura 27: Paso a nivel con procesamiento de imagen-----	97
Figura 28: Sensores sobre rueda del tren-----	102
Figura 29: Comparación de Hardware entre Enclavamiento Electrónico y Digital--	114
Figura 30: Digitalización Integral de la red Ferroviaria de Noruega-----	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de pasajeros registrados por línea en el año 2018 -----	35
Tabla 2 Datos relevantes de la infraestructura ferroviaria -----	38
Tabla 3 Datos de material rodante -----	38
Tabla 4 Puntualidad de los servicios programados -----	39
Tabla 5: Detalles Línea San Martín -----	40
Tabla 6: Detalles Línea Belgrano Sur -----	41
Tabla 7: Detalles Línea Belgrano Norte -----	42
Tabla 8: Detalles Línea Sarmiento -----	44
Tabla 9: Detalles Línea Mitre -----	45
Tabla 10: Detalles Línea Roca -----	47
Tabla 11: Detalles Línea Urquiza -----	48
Tabla 12: Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología AMBA -----	49
Tabla 13: Relación de aspectos de Señales y la Velocidad de circulación -----	59
Tabla 14: Equipamiento necesario de los distintos niveles de ERTMS -----	73
Tabla 15: Niveles de Digitalización por Industria -----	76
Tabla 16: Análisis por dimensiones -----	86
Tabla 17: Frecuencia del servicio de trenes -----	106

## INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas que tienen las grandes ciudades a nivel mundial es la congestión de tránsito que se produce en días laborables durante los horarios pico.

En Argentina, más específicamente en Buenos Aires y su región metropolitana, se observa este fenómeno de forma diaria en los accesos y egresos a Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), con excepción del mes de enero.

Además de los residentes permanentes de CABA, diariamente ingresan desde el conurbano aproximadamente 1.300.000 personas, al mismo tiempo el 5% de los residentes de CABA aproximadamente 150.000 personas se trasladan hacia el conurbano por necesidades laborales según los datos publicados en la encuesta de cohesión y percepción social realizada por la fundación metropolitana.<sup>1</sup>

Este problema se incrementa ante la falta de políticas de planificación demográfica, donde en un área geográfica del 2% del territorio nacional vive e interactúan aproximadamente el 32% de la población, según datos publicados por el INDEC obtenidos del CENSO 2010<sup>2</sup>, pero este tema es ajeno al presente estudio.

Lamentablemente, Buenos Aires no es la excepción en esta problemática, ya que en otros países de la región ocurre el mismo fenómeno, San Pablo, Bogotá, México DF y Lima solo por mencionar algunas ciudades.

Según estudio de las Naciones Unidas<sup>3</sup>, actualmente el 55% de la población mundial vive en áreas urbanas y la tendencia es que para el 2050 se incremente al 68%, donde cada vez más personas se agreguen a los grandes conglomerados urbanos, en términos reales este porcentaje representa un estimado de 2.500 millones de

---

<sup>1</sup> (Encuesta de Cohesion y percepción social - Secretaria Area Metropolitana & Ciudad de Buenos Aires, 2014) URL: <http://metropolitana.org.ar/presentaron-el-estudio-de-cohesion-social-en-la-region-metropolitana-bsas/>

<sup>2</sup> (Indec, 2010) URL: <https://www.indec.gob.ar/>

<sup>3</sup> (Naciones Unidas, 2018) URL: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

personas, generando un incremento en las distancias de viaje y una mayor necesidad de traslados.

Si se pretenden ciudades que tengan un desarrollo sustentable, resulta evidente la necesidad de cambiar la infraestructura y tecnología de transporte actual por otras que permitan incrementar la capacidad de traslado de pasajeros y brindar un servicio de movilidad desde otro concepto.

Por otro lado, cada vez más los gobiernos o administraciones públicas tienden a aplicar políticas que desalientan el uso del transporte particular por temas de urbanismo, congestión y medio ambiente.

Haciendo una simple comparación entre los medios de transporte más utilizados, se observa claramente que el transporte ferroviario es el que brinda mayor capacidad de transporte de pasajeros, un auto transporta a 4 o 5 personas, un colectivo entre 60 y 70 personas, mientras que cada coche de tren (mal llamado vagón<sup>4</sup>) transporta entre 230, 245 personas.

Si a los números indicados, se le agrega la información de que una formación de tren se compone por 6 coches como es el caso de la línea Mitre la capacidad de transporte es de 1.474 pasajeros y con 9 coches como es el caso de la línea Sarmiento la capacidad es de 2.239 pasajeros, lo que podría representar una liberación en la vía pública de 295 y 448 autos respectivamente.

Se menciona también que el servicio público de trenes, en el área metropolitana presenta otras ventajas, como son: menor impacto en el medio ambiente, menor polución, menor contaminación sonora, menor accidentalidad, menor consumo de combustible y por supuesto menores costos.

El mencionado servicio ferroviario, está compuesto por 7 líneas que ingresan a la ciudad desde distintos puntos de la provincia de Buenos Aires.

---

<sup>4</sup> Vagón se utiliza para el transporte de carga

Según un estudio realizado por el Hospital de Clínica de UBA <sup>5</sup>, la congestión de tránsito y retrasos en la movilidad produce diversos impactos negativos a la salud del individuo, se mencionan el stress, el mal humor, una mayor irritabilidad, problemas de comportamiento, entre otras afecciones a la salud, por tal motivo se afirma que la calidad de vida de una población es directamente proporcional a la forma y hábitos de traslado.

Qué tecnologías de las desarrolladas en la industria 4.0 favorecen la transformación digital mejorando el servicio ferroviario en AMBA?

- Variables: tecnologías de la industria 4.0; transformación digital.
- Objeto de estudio: servicio ferroviario en AMBA.

Este estudio, pretende responder varias preguntas, acerca de la TRANSFORMACION DIGITAL en el servicio de trenes, las mismas se enuncian a continuación:

¿Puede reducir los tiempos de traslados? ¿Puede mejorar la puntualidad? ¿Puede mejorar la calidad de servicio actual? ¿Puede brindar información útil al usuario? ¿Puede ajustar la cantidad de trenes según la afluencia de pasajeros? ¿Puede ofrecer servicios de valor agregado que mejoren la experiencia del usuario? ¿Puede aumentar las condiciones de seguridad? ¿Puede reducir los costos de operación y mantenimiento?

Para responder a las preguntas indicadas, la metodología utilizada fue cualitativa de tipo documental y descriptiva.

Estructura de la tesis:

Resulta indispensable en primera instancia introducir al lector en el contexto actual del servicio ferroviario, sus elementos más comunes y su forma de operar.

Por tal motivo en el capítulo 1 se describen los conceptos básicos de la infraestructura ferroviaria y sus componentes principales, existe abundante bibliografía sobre la materia, para el presente estudio se consideraron dos fuentes principales, una del

---

<sup>5</sup> (Lerman, 2012) URL: [https://www.clarin.com/sociedad/hora-pico-enemigo-impacta-salud\\_0\\_BJ5Wz7enwXe.html](https://www.clarin.com/sociedad/hora-pico-enemigo-impacta-salud_0_BJ5Wz7enwXe.html)

autor Montes Ponce De León, Libro: *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*<sup>6</sup> y otra de la empresa Pfisterer, documento: *Sistemas de catenaria ferroviaria, componentes y sistemas*<sup>7</sup>.

En el capítulo 2 se describe como operan las 7 líneas de trenes del área metropolitana de Buenos Aires reflejando la situación actual del servicio a nivel general, en este capítulo las fuentes de información fueron los entes oficiales como son la Comisión Nacional de Regulación de Transporte<sup>8</sup> y Trenes Argentinos<sup>9</sup>

En el capítulo 3 se enuncian conceptos básicos de señalamiento ferroviario a modo de dar un marco teórico-conceptual a la presente tesis, tomando los conceptos del Libro *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril* y el Reglamento Interno Técnico Operativo (RITO)<sup>10</sup>

En el capítulo 4 se explica en que consiste el Sistema de Gestión de Tráfico Ferroviario Europeo, conocido como ERTMS<sup>11</sup> del inglés *European Rail Traffic Management System*, ya que dicho sistema es un estándar que brinda una plataforma y un punto de partida importante para el desarrollo de la Digitalización. La fuente principal fue la página web del ERTMS.

En los capítulos 5 se brindan los conceptos teóricos de la digitalización y como esta produce un cambio de paradigma en el servicio, tal cual lo conocemos en la actualidad.

En los capítulos 6 y 7 se avanza en la metodología de la investigación y su aplicabilidad práctica en la industria ferroviaria, donde de acuerdo con la metodología de investigación mencionada, las fuentes de información principales fueron los documentos y publicaciones de la empresa del sector Siemens Mobility.

---

<sup>6</sup> (MONTES PONCE DE LEÓN, 2011) *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril* ISBN 978-84-8468-363-6.

<sup>7</sup> Página web: [www.pfisterer.com](http://www.pfisterer.com)

<sup>8</sup> CNRT. Comisión Nacional de Regulación del transporte. URL: <https://www.cnrt.gob.ar/content/estadisticas>.

<sup>9</sup> Trenes Argentinos URL: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos-infraestructura>

<sup>10</sup> RITO. URL: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/rito.pdf>

<sup>11</sup> ERTMS del inglés European Traffic Management System, o Sistema Europeo de Gestión del Tráfico es un sistema de mando y control de trenes que fue adoptado por la Unión Europea para equiparar todas las nuevas líneas que se construyan en los países que la compone.

Se inicia poniendo el foco en la experiencia al usuario y luego desde el punto de vista del operador del servicio para también luego analizar el impacto en la sociedad en su conjunto. Se citan casos reales donde ya se implementó la digitalización y estas implementaciones permiten obtener conclusiones a fines a nuestra tesis y también se realizan entrevistas a expertos en la materia, las cuales se analizan por comparación.

Desde una perspectiva histórica, a principio del siglo XVIII, Argentina era considerado un país de avanzada en lo que respecta a la instalación de kilómetros de vía férreas, pero lamentablemente el servicio ferroviario no acompañó al avance tecnológico de las últimas décadas, y esto se notó en un deterioro del servicio y disminución de kilómetros de vías y cierre de estaciones.

En la actualidad, según los datos publicados por la Comisión Nacional de Regulación de Transporte CNRT <sup>12</sup> la red ferroviaria del AMBA es de 952Km y solo unos 300Km cuentan con señalamiento automático.

Esto muestra a las claras que no se realizaron las inversiones necesarias en la renovación de equipamiento y actualización de la tecnología, por lo tanto la mayoría de las líneas de trenes Urbanas e Interurbanas continúan operando con tecnología de principio del 1900, con excepción de algunas modificaciones menores.

A pesar de la situación actual, se puede mencionar como un punto favorable, que en esta instancia del avance tecnológico se pueden implementar las nuevas tecnologías adoptando las “mejores prácticas” de distintos operadores europeos como, por ejemplo, Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE), la Ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña (FCG ) en la ciudad de Barcelona , Deutsche Bahn en Alemania, entre otras, sin necesidad de transitar la curva de aprendizaje, pudiendo aprovechar la experiencia de otros países.

---

<sup>12</sup> Comisión Nacional de Regulación de Transporte (CNRT) es el organismo encomendado para efectuar las tareas de fiscalización de las operaciones y cumplimientos de obligaciones por parte de concesionarios y prestatarios de servicios.

Se observa que el campo de implementación en esta industria para las nuevas tecnologías es amplio y como país existe una oportunidad única para prepararnos a las necesidades de urbanización de cara a las demandas futuras.

## **A. MARCO TEORICO**

### **CAPÍTULO 1: CONCEPTOS BÁSICOS DE INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA**

En el presente capítulo, por ser el primero de este estudio, se introducen los conceptos básicos de la industria ferroviaria y las distintas tecnologías de los sistemas de enclavamientos a fin de generar una base de conocimiento para que cualquier lector ajeno al tema pueda interpretarlo y entenderlo de forma lo más amena posible.

La importancia de este capítulo es que permite nivelar conocimientos y clarificar los conceptos a través de definiciones y ejemplos de funcionamiento de los componentes esenciales del ferrocarril.

Se aclara que los conceptos mencionados se abordan de forma general, sin entrar en detalles técnicos o constructivos de cada uno.

#### **1.1 Infraestructura ferroviaria**

Se trata de toda la obra necesaria sobre la que se asienta la vía y los demás elementos estructurales.

Dado los obstáculos naturales de terreno, en ningún caso se puede colocar la vía directamente sobre el mismo, sin haberlo acondicionado previamente. Para ello, es preciso realizar una serie determinada de obras, que se llaman obras de infraestructura.

Se puede separar en obras de defensa, muros de contención y sostenimiento, drenajes, saneamientos, etc. y las denominadas obras de fábrica como son viaductos, puentes, túneles, terraplenes, paso a nivel, que permiten corregir los desniveles propios del terreno.

## 1.2 Superestructura ferroviaria

Construida la infraestructura ferroviaria es imprescindible instalar los elementos que permiten la circulación de los trenes sobre las vías, con lo cual la superestructura corresponde al resto de elementos fijos que conforman un ferrocarril. Se instala una vez construida la infraestructura.

Los elementos más comunes son:

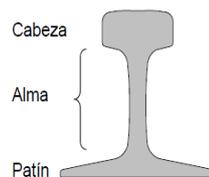
**Vía:** como primer elemento se tiene la vía y sus componentes.

**Riel:** corresponde a las barras de acero laminadas, encargadas de sustentar y guiar al tren, sirviendo en algunos casos de retorno de los circuitos eléctricos de señales.

Como se muestra en la figura 1, el riel tiene tres partes claramente definidas:

- Cabeza: se utiliza como elemento de rodadura sobre el que se apoya el tren.
- Patín: es la base del carril y sirve para sujetarlo a las traviesas.
- Alma: es la parte delgada que une la cabeza con el patín.

*Figura 1 Partes del Riel*



Fuente (Vías, 2014, pág. 16)<sup>13</sup>

Los rieles o también carriles se sueldan en sus extremos constituyendo una única barra soldada, teniendo en cuenta las juntas de dilatación, donde el riel se vincula con otro a través de eclisas.

Las vías pueden ser ascendentes, descendientes o banalizadas, las ascendentes se refiere a que los trenes circulan en el sentido creciente de los kilómetros, la

---

<sup>13</sup> URL: [http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL\\_INTEGRAL\\_DE\\_VIAS.pdf](http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL_INTEGRAL_DE_VIAS.pdf)

descendiente son aquellas en donde el tren circula únicamente en sentido decreciente del kilometraje y las banalizadas permiten la circulación del tren en ambos sentidos.

Usualmente el kilómetro cero se refiere a la estación cabecera, por ejemplo en la línea Mitre Retiro – Tigre, el km cero es la Estación de Retiro.

**Durmientes:** elementos transversales que sirven para la unión de los rieles y para mantener la trocha (ancho) de la vía sin posibilidad de deformación, comúnmente son de madera u hormigón armado.

**Balasto:** capa de piedras de silíceo esparcidas por la vía sobre el que se asientan las traviesas. Ejerce la misión de amortiguar y repartir los esfuerzos al paso del tren y de evitar las deformaciones del terreno.

En su lugar se puede instalar una placa de hormigón en la que las traviesas o durmientes pueden ir embutidas, a este tipo de superestructura se le considera vía en placa y generalmente se utiliza en zona de plataforma de las estaciones, como se puede observar en la figura 2.

Figura 2 Carriles, Durmientes de hormigón y Balasto



Fuente (Vías, 2014, pág. 28)

**Toperas** aparatos instalados en el final de la vía para detener un tren en caso de que este no pudiera frenar por sí solo, básicamente es un elemento de seguridad con algún sistema capaz de absorber la energía de un fuerte impacto, también conocido como paragolpes, tal como se observan en la figura 3.

Figura 3: Toperas



Fuente Propia: fotografía tomada en Barcelona Estación Sants<sup>14</sup>

**Aparatos de vías** son elementos que permiten la ramificación de la vía, mediante unas piezas llamadas desvíos. Un desvío se compone por un conjunto aguja - contra aguja, también conocido como corazón-espadín, la parte fija es la aguja y la parte móvil la contra aguja que según su posición permite el paso hacia una u otra vía, en la figura 4 se observa un desvío simple, pero hay dobles.

Cuando el paso del tren por el aparato de vía sigue una línea recta se denominada vía directa, mientras que cuando cambia de dirección se denomina vía desviada. Son accionados por máquinas de cambio o palancas según el tipo de enclavamiento.

**Máquinas de Cambio** son los motores que realizan el movimiento de los aparatos de vía, posibilitando el uso de rutas alternativas a la ruta principal para diversificar los itinerarios.

---

<sup>14</sup> URL Estación Sants <https://www.renfe-sncf.com/es-es/servicios/estaciones/Paginas/barcelona-sants.aspx>

*Figura 4 Aparatos de Vía - Enlace Simple*



Fuente (Vías, 2014, pág. 228)<sup>15</sup>

### **Semáforos ferroviarios:**

Los semáforos ferroviarios son un conjunto de elementos dispuestas a lo largo del trayecto que transmiten una serie de información luminosa desde la vía al maquinista de acuerdo con los aspectos encendidos, son de uso similar a los semáforos urbanos vehiculares, pero con un significado diferente ya que no son temporizados cambian su estado en función de la ausencia o presencia de formaciones ferroviarias en vías cercanas, o por la petición de rutas por parte de un operador autorizado.

La función principal de los semáforos es indicar al conductor ferroviario el tipo de marcha que debe adoptar en el tramo de vía en el que va a ingresar.

Para un auto, una señal verde indica que puede avanzar a una velocidad propia del trayecto, pudiendo frenar si hubiere un obstáculo, lo que se conoce como avance a vista.

Para el caso del tren, la señal verde indica que el trayecto está libre y asegurado hasta la próxima señal, lo que se conoce como avance a señal.

---

<sup>15</sup> [http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL\\_INTEGRAL\\_DE\\_VIAS.pdf](http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL_INTEGRAL_DE_VIAS.pdf)

Esta diferencia que parece sutil es muy importante debido a la imposibilidad que tiene un tren de frenar de forma abrupta como si lo tiene un automóvil.

De modo tal que el color o aspecto de la señal indica el estado de ocupación de la vía por delante, en consecuencia, le avisa al tren si tiene vía libre o no para seguir la marcha y a qué velocidad máxima puede circular.

Como regla general el mensaje proporcionado por la señal ha de ser claro, entendible y libre de diferentes interpretaciones<sup>16</sup>.

En la Figura 5 se presenta un esquema de señales de tres aspectos, que es el tipo de semáforo que se utiliza en la Línea Mitre, de la cual forma parte la estación Belgrano R.

Como ya se mencionó el tren solo puede avanzar conforme las indicaciones de las señales, de modo tal que si las mismas no existieran, por más que existan las vías disponibles y en buen estado, el tren no tiene la autorización suficiente para avanzar, por lo tanto se puede apreciar la importancia de las señales luminosas, entre las que se pueden clasificar de diferentes tipos según su funcionalidad: señal principal, señal de entrada y salida de estaciones, señal de avanzada, señal de maniobra e indicadora de ruta, entre otras.

En los próximos capítulos se explica como la digitalización permite eliminar el uso de las señales laterales, debido a que el avance del tren se produce bajo otro tipo de concepto.

---

<sup>16</sup> (Gonzalez Fernandez, Señalización ferroviaria: del guardagujas a la operación sin conductor, 2009, págs. 545-552)

Figura 5: Semáforos de tres aspectos



Fuente: Propia - Fotografía cercana a Estación Belgrano R.<sup>17</sup> línea Suarez - Mitre

### Paso a Nivel:

Un paso a nivel es un cruce entre la vía férrea y una calle o sendero peatonal.

Cuando no existe circulación de trenes, el paso a nivel mantiene la barrera en alto para permitir la circulación de peatones y automóviles. Cuando un tren ocupa la vía cercana al paso a nivel, se acciona el mecanismo del paso a nivel, que implica activar la campana y a descender la barrera.

Luego del paso del tren, se desocupa las vías posteriores al paso a nivel, y la barrera a estar en alto.

### 1.3 Electrificación:

En caso de trenes eléctricos la fuerza motriz que mueve los mismos es la electricidad, para eso se necesita llevar electricidad a las vías y que los trenes puedan captarla durante todo el trayecto.

<sup>17</sup> URL Estaciones Línea Suarez – Mitre <https://www.trenmitre.com.ar/horarios/retiro-jose-leon-suarez-mitre.php>

Para eso existen dos métodos bien definidos, catenarias y tercer riel.

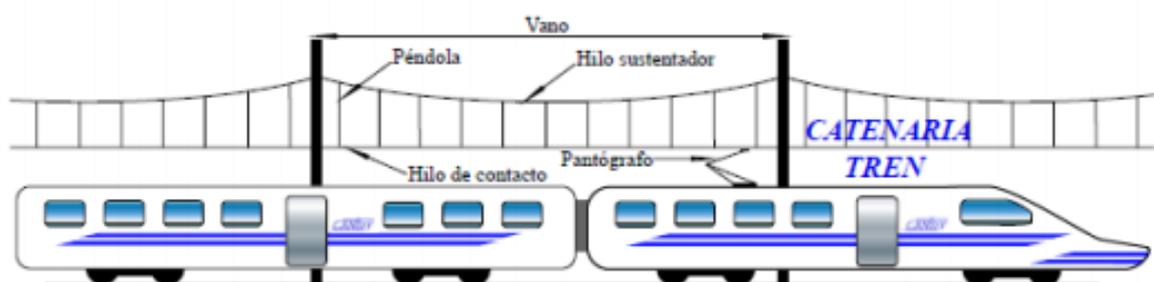
### Catenarias:

Se encuentra instalada en la mayoría de las líneas ferroviarias con la función de transmitir energía eléctrica a través de un cable aéreo, también se conoce como línea aérea de contacto, su nombre proviene de la forma geométrica característica de la curva que forma un hilo flexible sometido a su propio peso.

La misma está formada por un conjunto de elementos que constituyen la línea aérea de transporte, dependiendo de las características de la línea sobre la que vayan a estar instaladas. La más común y extendida es similar a la representada en la figura 6, la cual consta de tres elementos básicos:

- Hilo sustentador, que es el cable superior de la catenaria
- Hilo de contacto, cable inferior de donde toman la energía eléctrica los trenes
- Péndolas, cables verticales que conectan eléctrica y mecánicamente el hilo sustentador y de contacto

Figura 6 Partes de una catenaria



Fuente: (BUENO, 2013, pág. 6)<sup>18</sup>

El polo positivo de la instalación es la catenaria y el negativo son los carriles sobre los que circula el tren que cierra el circuito hacia una subestación de tracción.

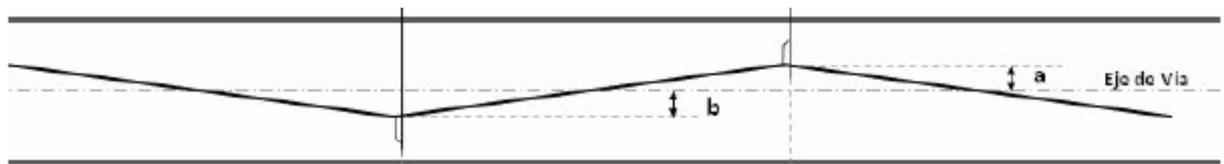
<sup>18</sup>[https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17989/PFC\\_Cesar\\_Clemente\\_Bueno.pdf?sequence=1](https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17989/PFC_Cesar_Clemente_Bueno.pdf?sequence=1)

Las tensiones de alimentación más comunes son de 800 VCC<sup>19</sup> en los subtes y de 25KVAC<sup>20</sup> en los trenes, dichas tensiones son “capturadas” por el tren a través del pantógrafo.

Para evitar que el pantógrafo se desgaste en un solo sector, el hilo de contacto tiene una forma de zigzag a lo largo del recorrido que asegura un desgaste uniforme.

Se puede apreciar claramente desde una vista superior de la catenaria, según se observa en la figura 7.

Figura 7 Zigzag de la catenaria



Fuente: (BUENO, 2013, pág. 7)

Es un factor crítico que el contacto eléctrico entre el pantógrafo y el hilo de contacto se mantenga paralelo a las vías durante todo el recorrido para asegurar el movimiento uniforme del tren, sin que sufra cortes de energía.

Los cambios de temperatura y sus efectos en la dilatación o contracción de materiales tienen un impacto directo en la deformación de la catenaria, al brindar la energía que permite el funcionamiento del tren no puede estar librado a las inclemencias climáticas.

Para compensar “automáticamente” el efecto térmico se utiliza un sistema de compensación a través de pesas y contrapesas ubicadas en las torres o postes fijos, lo que se conoce como catenarias compensadas, como se puede observar las mismas en la figura 8 las mismas actúan manteniendo siempre la horizontal entre la catenaria y el pantógrafo, en gran parte del trayecto de la línea Roca se puede observar este tipo de alimentación.

<sup>19</sup> VCC se refiere a tensión continua

<sup>20</sup> VAC se refiere a tensión alterna

Figura 8 Catenarias Compensadas



Fuente: (ADIF, s.f.)<sup>21</sup>

### Tercer Riel:

A través de un tercer riel paralelo a las vías se provee **alimentación eléctrica al tren**.

Como se indica en la figura 9, consiste de un riel rígido continuo situado en uno de los lados de las vías férreas. Los trenes que lo utilizan disponen de un frotador o captador que roza con el carril para realizar el contacto eléctrico. Es una alimentación de 800V corriente continua y generalmente tiene un cobertor aislante para evitar el contacto eléctrico que sería fulminante, este tipo de alimentación se puede observar en la playa de retiro Línea Mitre y en todas las estaciones de dicha línea.

---

<sup>21</sup>

[http://www.adif.es/es\\_ES/comunicacion\\_y\\_prensa/fichas\\_de\\_actualidad/ficha\\_actualidad\\_00070.shtm](http://www.adif.es/es_ES/comunicacion_y_prensa/fichas_de_actualidad/ficha_actualidad_00070.shtm)

Figura 9 Tercer Riel



Fuente Propia: Vías de Línea Mitre cercano a Estación Vicente Lopez<sup>22</sup>

#### 1.4 Circuito de Vías

En agosto de 1872 se produce el invento del "circuito de vía" por parte del Dr. William Robinson USA, lo cual marcó uno de los hitos más importantes en la historia del señalamiento ferroviario debido a que este invento permite detectar al tren a lo largo de su trayecto, generando un salto desde el punto de vista de la seguridad.

Un circuito de vía es un sistema eléctrico que determina si un tramo de la vía se encuentra ocupado o libre, con anterioridad a este invento cuando un tren salía de una estación, no había forma precisa de conocer su ubicación hasta que llegue a la estación siguiente.

Podía darse el caso de que el tren A quede parado en la mitad del trayecto por un desperfecto técnico, luego de 20 minutos se despacha el tren B, y se produzca una colisión fatal.

---

<sup>22</sup> URL Estaciones de Línea Mitre: <https://www.trenmitre.com.ar/recorridos.php>

Como se puede apreciar en la figura 10 los circuitos de vía detectan la ubicación de tren y produce un cambio en los aspectos de las señales, evitando las situaciones como la descrita anteriormente.

Figura 10: Estado de los aspectos según la ubicación del tren

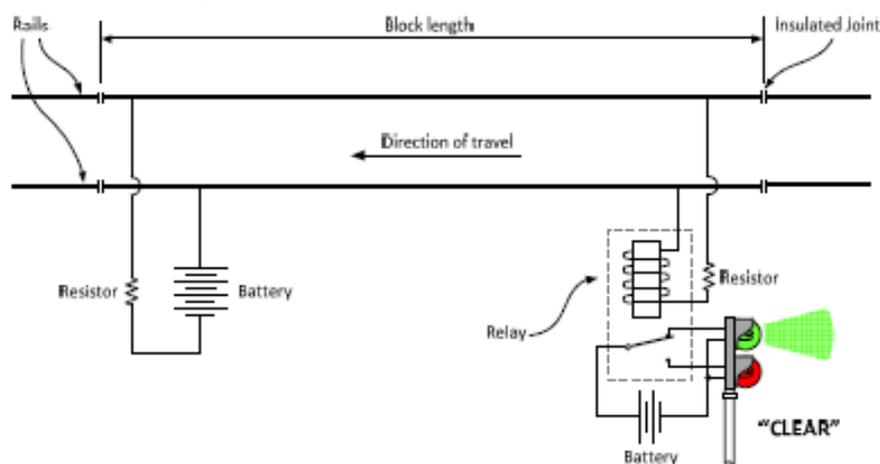


Fuente: (Ing Menedez, 2018, pág. 5)

La mismos pueden ser circuitos de vía de corriente continua - como se explica a continuación - de corriente alterna y de audiofrecuencia.

El de corriente continua, es un sistema de localización del tren, donde básicamente se utilizan las vías como parte de un circuito eléctrico, instalando “juntas aisladas” en las vías que definen la longitud del bloque, en la figura 11 se observa las vías y una indicación de longitud que representa una sección de la vía.

Figura 11: Esquema de Circuito de Vía libre

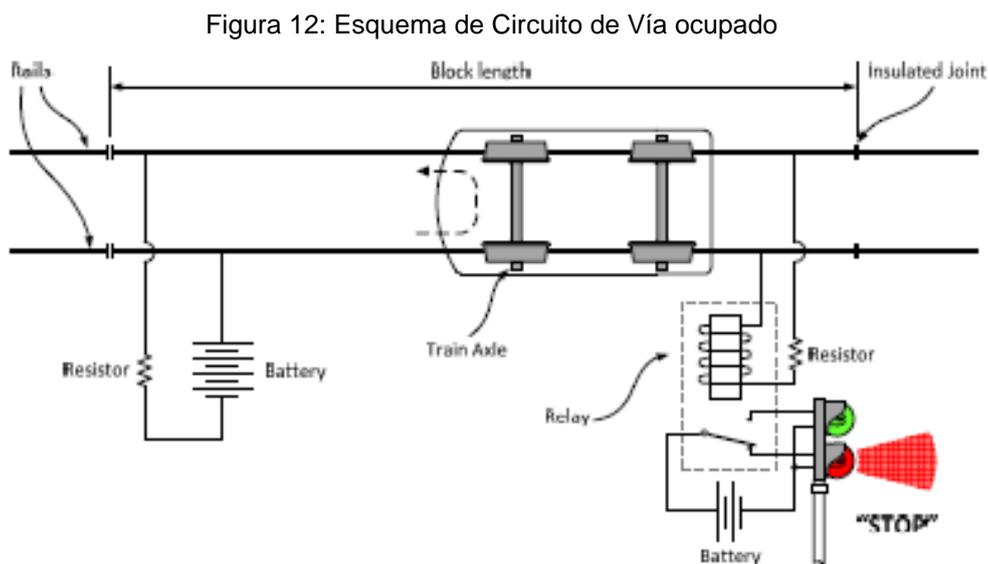


Fuente: (Scalise, 2014, pág. 2)<sup>23</sup>

<sup>23</sup> <http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2015/07/circuitos-de-v%C3%ADa-esp.pdf>

Aprovechando las propiedades conductoras de electricidad del acero (material de las vías del tren) es que se utilizan las vías parte de un circuito eléctrico, cuando no hay ningún tren sobre ellas, circula una corriente por las vías hasta la bobina del relé, que activa la señal verde indicando que la vía está libre e informando al maquinista que puede avanzar.

Cuando el tren avanza por las vías, sus ruedas y ejes actúan como un “cable móvil” conectando los dos rieles, de forma tal que se realiza un corto circuito en las vías y el relé no recibe más corriente y la señal pasa a rojo indicando que la vía está ocupada e informando al maquinista que no puede avanzar al siguiente bloque, esto se puede observar en la figura 12.



Fuente: (Scalise, 2014, pág. 2)

Las resistencias se colocan de modo de limitar la corriente de circulación.

En caso de rotura de algún conductor o pérdida de energía del circuito, la señal luminosa quedaría siempre en rojo, aun cuando la vía esté libre, obligando al personal de mantenimiento a reparar la falla.

Esto es un ejemplo de una falla en modo seguro que se menciona más adelante.

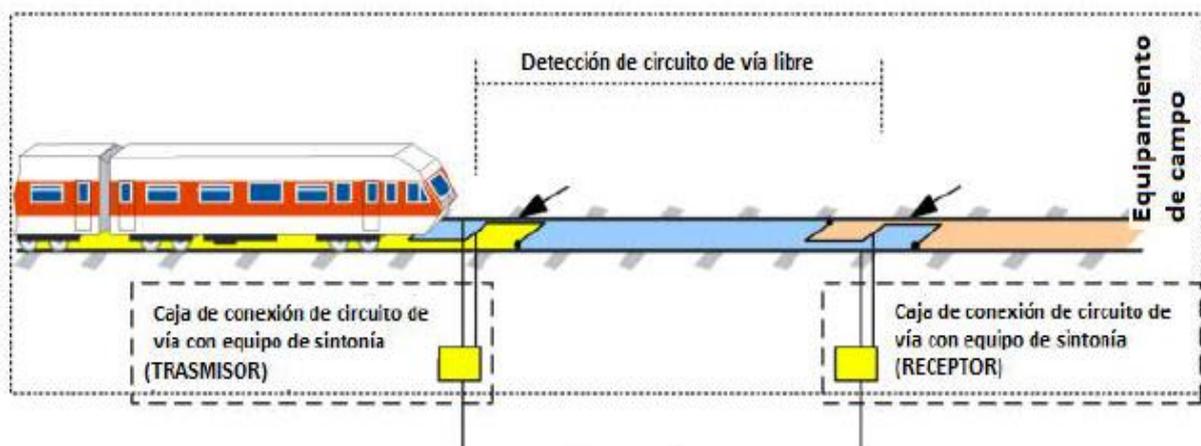
Una versión más moderna a la mencionada que evita la instalación de “juntas aislantes” en la vía son los circuitos de vías de audiofrecuencia según se puede observar en la figura 13.

El principio básico de funcionamiento se basa en un único equipo transmisor que emite una de señal que se conecta a los carriles para alimentar un determinado tramo de vía y por otro lado recibe dicha señal cuando el tramo de vía está libre.

Al entrar un tren en el tramo supervisado, sus ejes cortocircuitan los carriles y alguno de los receptores deja de recibir la señal, lo cual se traduce en una indicación de vía ocupada.

Este método reemplaza las juntas aislantes por juntas eléctricas de separación llamadas lazos “S”, sin ninguna interrupción en la vía, con lo cual se evita el golpeteo molesto del tren al pasar por las juntas, además permite la igualación de la corriente de retorno de tracción entre ambos carriles.

Figura 13: Circuito de Vía por audiofrecuencia



Fuente: (Siemens) TCM100

## 1.5 Contador de Ejes del Tren

Otro método para detectar al tren es a través del contar los ejes, el mismo se basa en la lógica “entrada – salida”, instalando equipos contadores de ejes al borde de cada

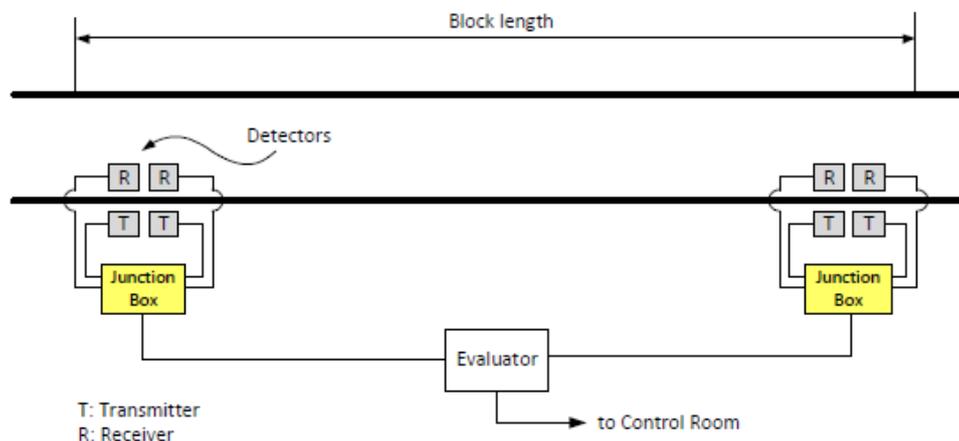
sección, cuando el número de ejes contados en el detector de entrada es el mismo que en el detector de salida, significa que el tren ha pasado completamente por esa sección, mientras que cuando no sean los mismos, significa que el tren continúa ocupando el bloque.

Cada punto detector se compone por dos contadores independientes, lo que permite detectar la dirección de circulación del tren.

Básicamente al pasar el tren, genera un cambio en el campo magnético del detector y activa un contador de ejes, un equipo evaluador resta el conteo de ambos detectores y cuando el resultado neto es cero activa la señal de bloque liberado.

Como se indica en la figura 14, la longitud del bloque está dado por la ubicación de los detectores y ya no se requiere de las juntas de separación o aislación como se requería en el caso de los circuitos de vía.

Figura 14: Contador de ejes de tren



Fuente: (Scalise, 2014, pág. 3)<sup>24</sup>

## 1.6 Tipos de Enclavamiento

El sistema de enclavamiento impide que se produzcan configuraciones no seguras, controlando las máquinas de cambio y los semáforos que habilitan o no las rutas de los trenes. Una falla en un enclavamiento puede ocasionar que se produzcan

<sup>24</sup> URL: <http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2015/07/circuitos-de-v%C3%ADa-esp.pdf>

configuraciones no seguras y poner en peligro vidas humanas y generar costos considerables. Por lo tanto, en el diseño del sistema de enclavamiento se deben cumplir estrictos parámetros de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad, temas que se desarrollan en el capítulo 3.

En Argentina la mayoría de los enclavamientos tienen más de cien años de antigüedad, por lo que deben ser reemplazados, tema que se detalla en el capítulo 2 para cada una de las siete líneas ferroviarias. A continuación se presentan distintas tecnologías de enclavamientos.

**Enclavamiento Mecánico:** accionados desde la estación o garita a distancia mediante una palanca que es movida por la fuerza muscular del operador local, dicha fuerza se transmite a través de cables de acero y barras que se conectan a los cambios y señales. Fue la primera tecnología en ser utilizada a fines del siglo XIX, pero ya ha caído en desuso y se considera obsoleto. Solo se mantiene en algunas líneas a nivel mundial.

Surge en el año 1856, donde John Saxby utilizó palancas para operar tanto señales como cambios y las enclavó entre ellas de manera que fuera mecánicamente imposible que una señal diera indicación de avanzar sin estar en concordancia con el cambio de vía.

En las líneas urbanas de Buenos Aires, este tipo de enclavamiento todavía se mantiene en servicio en numerosas líneas urbanas, como, por ejemplo, en la estación Retiro, línea San Martín.

Se visitó la sala de control o de mando en la estación Retiro de Línea San Martín, donde actualmente un tipo de enclavamiento mecánico opera el servicio de trenes, en la figura 15 se puede observar las palancas que el operador debe accionar para permitir la circulación del tren en dicha estación.

Figura 15: Palancas de accionamiento - Línea San Martín



Fuente Propia, fotografía tomada en la sala de mando Estación Retiro Línea San Martín<sup>25</sup>

**Enclavamiento Eléctrico:** utiliza el mismo principio que el enclavamiento mecánico, pero la correspondencia entre las palancas y los elementos de campo se verifica con circuitos eléctricos a través de reles, según se observa en la figura 16.

A través de cables eléctricos desde una sala de mando, conocida como Centro de Control de Tránsito, se acciona una máquina de cambio que comprueba la posición de la aguja y la mueve según la posición deseada, previa comprobación de la lógica de seguridad. La mayoría de los enclavamientos eléctricos y electroneumáticos se desarrollaron e instalaron en las primeras décadas del siglo XX y fueron reemplazados en tecnología por el enclavamiento Electrónico.

De todas maneras, en la actualidad continúa siendo la tecnología de mayor uso en los ferrocarriles.

<sup>25</sup> URL Estación San Martín: <https://www.trensanmartin.com.ar/estaciones/retiro.php>

Figura 16: Enclavamiento Eléctrico a Relé



Fuente Propia: fotografía tomada en Estación Castelldefels, Barcelona <sup>26</sup>

**Enclavamiento Eléctrico - Neumático:** al sistema eléctrico se le adiciona un sistema de aire comprimido que ayuda a que el movimiento de las máquinas de cambio se realice más rápido activados por cilindros de accionamiento neumático, este sistema está en uso actualmente en la Estación Retiro, Línea Mitre, actualmente en proceso de reemplazo con el proyecto **LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL E INTERNACIONAL N°80-ADIF-2016** "Modernización, Renovación Y Ampliación De La Playa De Estación Retiro FFCC General Mitre"

---

<sup>26</sup> URL Estación Castelldefels [https://www.spain.info/es/informacion-practica/transportes/estaciones-tren/barcelona/estacion\\_de\\_tren\\_de\\_castelldefels.html](https://www.spain.info/es/informacion-practica/transportes/estaciones-tren/barcelona/estacion_de_tren_de_castelldefels.html)

En otros casos se utiliza un sistema Eléctrico – Hidráulico pero la filosofía de funcionamiento es similar.

**Enclavamiento Electrónico:** producto de los avances tecnológicos, fundamentalmente con la aparición de la microelectrónica, que son la base de los modernos sistemas de señalamiento y telecomunicaciones.

Son equipos modulares con placas de entrada y salida con multiprocesadores y circuitos integrados que ya tienen en su software la lógica que controla la configuración de la estación o ramal de modo que se puede operar de forma segura recibiendo órdenes desde una computadora operada por el personal a cargo del servicio.

La seguridad se provee a través del procesamiento paralelo de información crítica en canales diferentes, comparando los resultados que deben ser iguales.

La configuración del software se realiza a partir de la información del layout de vías y de las tablas de rutas. Los primeros enclavamientos electrónicos se instalaron en la década de 1980.

Algunas ventajas del enclavamiento electrónico:

- Facilidad de diseño.
- Flexibles en la programación.
- Mayor seguridad, desarrollados con normas de seguridad **CENELEC**<sup>27</sup>.
- Facilidades de mantenimiento y reemplazo de placas por averías.

---

<sup>27</sup> | Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, cuando se logra un acuerdo total entre los países europeos sobre las normas elaboradas por **CENELEC**, se denominan "Norma Europea" (EN)

## 1.7 Gálibo del Tren

Hace referencia a la zona geométrica que debe estar libre de obstáculos alrededor de un sitio. Si un vehículo excede en tamaño el gálibo de una línea, no está autorizado a circular por la misma y si una construcción o señal próxima a la vía invade el gálibo del tren se produce una colisión.

Se consideran tres tipos de gálibos, el estático (tren quieto); el dinámico (tren en movimiento) dado las inclinaciones que tiene una formación al momento de circular por la vía, donde obviamente el dinámico es mayor y se ha de respetar en todo el trayecto y el gálibo de estructura.

Se detallan las medidas de los gálibos a respetar en el **ANEXO I**.

Los conceptos desarrollados en este capítulo son la base de los conceptos que se desarrollan en los capítulos siguientes ya que permite entender los cambios que introduce la digitalización, pero antes continuamos con el estudio de la situación actual del servicio ferroviario en al AMBA.

## CAPÍTULO 2: SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO FERROVIARIO

Para tener un mejor entendimiento de las mejoras que introduce la tecnología digital en los ferrocarriles, es requisito primario conocer la situación actual del servicio ferroviario.

Por tal motivo en este capítulo se indican datos relevantes de las siete líneas de trenes de AMBA, como ser: la cantidad de estaciones, los kilómetros de vía, cantidad de usuarios y especialmente el tipo de enclavamiento que utilizan y la antigüedad de estos.

Esta información representa la línea base a partir de la cual se pueden cuantificar los beneficios que se obtendrían con la digitalización, en especial lo que se refiere al tipo de enclavamiento y su antigüedad, (este dato se aprecia en las tablas de cada una de las líneas).

El punto para destacar es que el tipo de enclavamiento impacta directamente en la frecuencia del servicio, al introducir un cambio de tecnología sobre los mismos, se logra mejorar la frecuencia, cambiando la percepción de la calidad de servicio.

Una idea de la importancia del servicio ferroviario está dada por la cantidad de pasajeros que transporta, en la tabla 1 se muestra la cantidad de pasajeros transportados durante el 2018 por cada línea, es importante mencionar el bajo costo que este transporte tiene respecto a otro medio.

Tabla 1: Cantidad de pasajeros registrados por línea en el año 2018

Línea	Pasajeros Año 2018
Mitre.	63.344.068
Sarmiento.	85.946.312
Urquiza.	28.940.219
Roca.	172.678.803
San Martín.	31.105.013
Belgrano Norte.	25.059.095
Belgrano Sur.	16.129.012

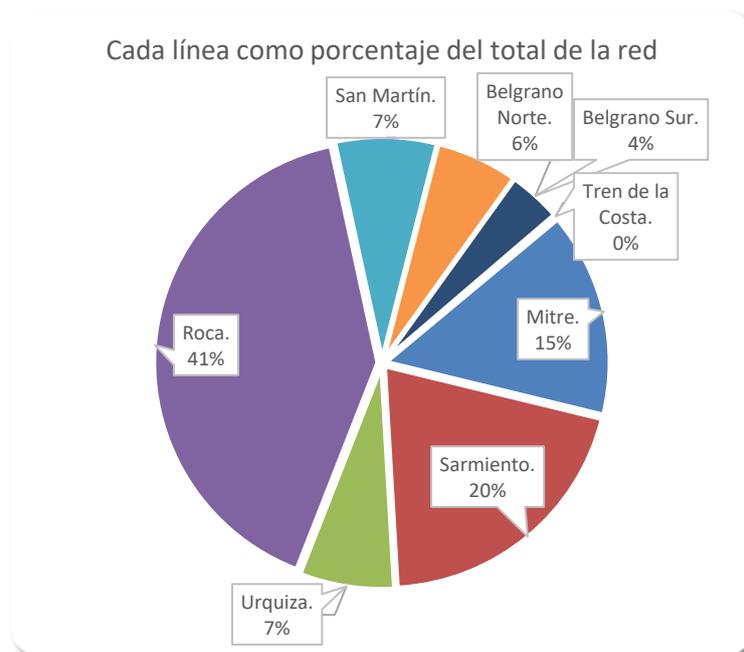
Fuente (CNRT, 2019)

Según los datos de la CNRT<sup>28</sup>, el registro del año 1993 fue de 212.083.000 pasajeros, en comparación con la cantidad de pasajeros registrados en el año 2018 (424.183.532 pasajeros) el aumento de la demanda representa casi un 100%.

En el **Anexo III** se reporta la cantidad de pasajeros transportados según la fuente Estadísticas Transporte Ferroviario, 2019<sup>29</sup>

Tanto en la tabla 1 (con datos numéricos) como en la figura 17 (con datos porcentuales) se observa claramente que las tres líneas con mayor nivel de demanda son la línea Roca, Sarmiento y Mitre.

Figura 17: Porcentajes de pasajeros por líneas



Fuente (CNRT, 2019)

<sup>28</sup> (CNRT, 2019) URL: <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=29193>

<sup>29</sup> (Estadísticas Transporte Ferroviario, 2019)

<https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

Por tal motivo y con el objetivo de beneficiar la mayor cantidad de usuarios, las tres líneas mencionadas serían las que un ente de gobierno debería priorizar a los fines de realizar inversiones de digitalización en su infraestructura.

Un punto para destacar es que a partir de 1985 desde la administración ferroviaria ADIFSE<sup>30</sup>, se ha comenzado a colocar en la Línea Roca el sistema ATS que es la Parada de Tren Automática, de sus siglas en inglés *Automatic Train Stop* representando un salto de calidad en materia de seguridad, lo que representa solo un 10% de la red de AMBA, aunque no debe perderse de vista que solo se trata de un sistema de protección puntual, que supervisa la velocidad del tren en puntos críticos según la fuente Orts Pardo, Francisco, 2016. Esta decisión tecnológica también tuvo el aval del sindicato, tema no menor.

También a nivel gobierno de la ciudad CABA, se implementó un plan de eliminación de barreras o paso a nivel en diferentes ramales mejorando la circulación vehicular y la seguridad ferroviaria, como por ejemplo el viaducto Línea Mitre entre las estaciones Belgrano C y Lisandro de la Torre, proyecto financiado por Autopistas Urbanas Sociedad Anónima que eliminó doce barreras (AUSA)<sup>31</sup>.

Las siete líneas que constituyen la red ferroviaria de AMBA se explotan de forma independiente, y el proyecto Red de Expresos Regionales (RER) que actualmente se encuentra detenido por temas de financiamiento pretende conectar estas líneas mediante enlaces subterráneos.

Las tablas 2 y 3 resumen datos relevantes de las siete líneas en cuanto a Infraestructura y Material Rodante disponible se refiere, la importancia de estos radica en que permite dar una referencia rápida de la inversión necesaria para aplicar tecnología digital para cada línea según su infraestructura.

En el análisis anterior, en función de la demanda se menciona que se deberían priorizar la inversión de las tres líneas Roca, Sarmiento y Mitre, pero dicha

---

<sup>30</sup> Administración de Infraestructura Ferroviaria Sociedad del Estado

<sup>31</sup> (Ausa, 2019) <https://www.ausa.com.ar/novedades/nuevo-viaducto-mitre-ramal-tigre>

recomendación no evalúa la inversión necesaria de acuerdo con el presupuesto disponible.

Por ejemplo, si se pretende digitalizar los pasos a nivel y se cuenta con un presupuesto limitado, la prioridad podría ser comenzar por la línea Urquiza que solo tiene 26, siendo la línea de menor cantidad de paso a nivel.

Tabla 2 Datos relevantes de la infraestructura ferroviaria

Infraestructura	Mitre	Sarmiento	Urquiza	Roca	San Martín	Bel. Norte	Bel. Sur	TOTALES
Longitud de líneas de explotación - (en Km)	192,40	167,00	25,87	369,41	76,00	54,32	66,30	951,30
Número de estaciones y paradas en explotación (cantidad)	56	40	23	79	22	22	30	272
Pasos a nivel (cantidad)	119	150	26	161	67	44	75	642
Pasos vehiculares (cantidad)	222	183	40	249	95	73	101	963
Pasos peatonales (cantidad)	138	107	63	184	28	66	20	606
Señalamiento automático (en Km. de Línea)	46,0	31,1	18,66	60,42	41,30	51,92	16,12	265,51

Fuente: (CNRT, 2019)

Tabla 3 Datos de material rodante

Material Rodante	Mitre	Sarmiento	Urquiza	Roca	San Martín	Bel. Norte	Bel. Sur	TOTALES
Parque de Locomotoras Diésel	18	17	1	40	27	24	15	142
Parque de Coches Eléctricos	182	227	128	480	0	0	0	1.017

Fuente: (CNRT, 2019)

La Tabla 4 indica el porcentaje de puntualidad de los servicios programados del año 2019, en función de las cantidades de servicios realizados y cancelados, se aclara que los datos fueron extraídos de la fuente oficial de la CNRT.

Tabla 4 Puntualidad de los servicios programados

Línea	Puntualidad/ Programados	Puntualidad/ Corridos	Programados	Cancelados	Corridos	Puntuales	Atrasados
Mitre	71,32%	78,84%	119.360	11.378	107.982	85.132	22.850
Sarmiento	74,99%	79,00%	93.207	4.725	88.482	69.898	18.584
Urquiza	85,34%	87,70%	47.779	1.284	46.495	40.774	5.721
Roca	86,48%	92,20%	226.407	14.043	212.364	195.794	16.570
San Martín	71,28%	81,44%	54.600	6.808	47.792	38.920	8.872
Belgrano Norte	75,06%	80,05%	46.685	2.908	43.777	35.042	8.735
Belgrano Sur	79,45%	88,21%	55.785	5.540	50.245	44.319	5.926

Fuente: (CNRT, 2019)

## 2.1 Línea San Martín

Como descripción general se menciona que la Línea San Martín presta un servicio suburbano de pasajeros en un tramo de 76 Km entre las estaciones de Retiro San Martín y Dr. Cabred. Se puede observar las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha ancha:** 1676 mm

**Tracción:** Locomotora Diesel, con formaciones de 7 coches

**Frecuencia de Trenes:** diez (10) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 67, actualmente se está realizando un viaducto de 5 Km entre Palermo y Paternal que elimina 11 paso a niveles, de acuerdo con la información de acceso público. Fuente: Diario La Nación <sup>32</sup>.

En la Tabla 5 se describen los datos específicos en función del recorrido donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, donde aparentemente

<sup>32</sup> (Diario La Nación, 2017) URL: <https://www.lanacion.com.ar/buenos-aires/como-sera-el-viaducto-que-elevara-al-tren-san-martin-entre-palermo-y-paternal-nid2031768>

10 minutos es un tiempo de espera razonable, pero la misma no se cumple debido a los problemas operativos y falta de mantenimiento.

Gran parte de estos problemas radica en las tecnologías de enclavamiento, lo cual se indica en la mencionada tabla con la fecha de puesta en servicio.

Tabla 5: Detalles Línea San Martín

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia max.	Estaciones	Enclavamiento
Retiro - Jose C Paz	40	94	10 min	16	a) Mecánico: Tecnología inglesa del 1900
Retiro – Pilar	55,4	64	10 min	20	b) Electro Automático
Retiro - Dr. Cabred	72,3	24	60 min	22	Luminoso: tecnología USA de 1965 (AREMA) <sup>33</sup>

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 9)

## 2.2 Línea Belgrano Sur

Como descripción general se menciona que la Línea Belgrano Sur está compuesto por tres ramales: Buenos Aires – González Catán, Buenos Aires – Marinos del Crucero General Belgrano y Puente Alsina – Aldo Bonzi. Se puede observar los ramales, las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha métrica:** 1000 mm

**Tracción:** Locomotora Diesel, con formaciones de 5 y 6 coches (en proceso de remplazo por triplas)

**Frecuencia de Trenes:** diecisiete (17) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 75

<sup>33</sup> Recomendaciones Americanas de Ingeniería y Mantenimiento de Trenes, en inglés (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association)

En la Tabla 6 se describen los datos específicos en función del recorrido de la línea donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, la cantidad de estaciones y la tecnología de enclavamiento utilizada, donde se destaca la antigüedad de más de cien años para el enclavamiento mecánico.

Tabla 6: Detalles Línea Belgrano Sur

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia max.	Estaciones	Enclavamiento
Buenos Aires - G. Catán	30,5	108	17 min	14	a) Electromecánico: Tipo tecnología USA de 1965 (AREMA) entre estaciones Buenos Aires y Tapiales b) Mecánico: tecnología francesa e inglesa de principio de 1900
Buenos Aires - M.C. Belgrano	38,8	53	44 min	17	
Puente Alsina - A. Bonzi	13,5	10	130 min	8	

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 12)

### 2.3 Línea Belgrano Norte

Como descripción general se menciona que la Línea Belgrano Norte parte de la estación cabecera de Retiro hasta la estación Villa Rosa por un único ramal de vía doble. Se puede observar las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado** por: Ferrovías

**Trocha métrica:** 1000 mm

**Tracción:** Locomotora Diesel-Eléctrica, con formaciones de 6 coches.

**Frecuencia de Trenes:** catorce (14) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 44

Recientemente se construyó la estación Ciudad Universitaria.

En la Tabla 7 se describen los datos específicos en función del recorrido de la línea donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, la cantidad de estaciones y la tecnología de enclavamiento utilizada.

Como se puede observar el sistema de enclavamiento data de 1980, con lo cual no es tan antiguo en comparación con los mencionados hasta el momento, esto puede explicar en gran parte la poca cantidad de servicios cancelados de esta línea en comparación con las otras, según los datos de la tabla 4.

Tabla 7: Detalles Línea Belgrano Norte

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia max.	Estaciones	Enclavamiento
Retiro - Villa Rosa	51,9	92	22 min	22	a) Electro Automático
Retiro - Gran Bourg		46	30 min	17	Luminoso: tecnología USA de 1967 (AREMA) entre retiro y Boulogne
Retiro - Boulogne	21,2	10	14 min	10	b) Entre Boulogne y Villa Rosa, hay un sistema electromecánico de 1980

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 14)

## 2.4 Línea Sarmiento

Como descripción general se menciona que la Línea Sarmiento tiene su cabecera en la estación Once de Septiembre en Capital Federal y se dirige hacia el oeste del GBA, por único ramal hasta Merlo donde un ramal se deriva hacia Mercedes y otro hacia Lobos. Se puede observar los ramales, las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha ancha:** 1676 mm

**Tracción:** Eléctrico entre Once – Moreno y remolcado Moreno – Mercedes, Merlo – Lobos, con formaciones de 6 coches.

**Frecuencia de Trenes:** diez (10) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 150

El soterramiento de la línea, actualmente detenido, implica la construcción de 18 kilómetros de vía subterránea y 8 nuevas estaciones subterráneas entre Caballito y Castelar, según la fuente oficial de Trenes Argentinos <sup>34</sup>, y se calcula que genera un beneficio en los siguientes aspectos:

- Ahorrar **25 minutos en tiempos de viaje**. Hoy para ir de Once a Moreno se tardan 72 minutos.
- Mejorar la frecuencia del servicio, al reducir el intervalo hasta 3 minutos en hora pico.
- **Eliminar 52 pasos a nivel** en toda la traza, por los que circulan unos 20.000 vehículos en promedio cada hora, con demoras de hasta 20 minutos.
- Mejorar radicalmente la seguridad vial en la zona y reducir la siniestralidad en las zonas de cruces.
- Generar un **impacto urbanístico y transformador en la calidad de vida de todos los habitantes de las localidades que atraviesa**, ya que va a integrar ciudades que hoy están divididas por las vías del ferrocarril, como es el caso de la Av. Rivadavia en la zona oeste del GBA.

En la tabla 8 se describen los datos específicos en función del recorrido de la línea donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, la cantidad de estaciones y la tecnología de enclavamiento utilizada.

---

<sup>34</sup> (Trenes Argentinos, 2017) <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenesargentinos/soterramiento-del-sarmiento>

Se puede observar una dispersión muy grande de la frecuencia en cada recorrido, esto obedece a la demanda de uno respecto a otro.

Tabla 8: Detalles Línea Sarmiento

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia max.	Estaciones	Sistema de Señalamiento
Once – Moreno	36,4	210	10 min	19	a) Mixto Mecánico - Electromecánico: Tecnología inglesa del 1930, entre Once - Liniers. b) Electromecánico: tecnología francesa de 1974, entre Liniers - Moreno c) Comunicación Radial entre Merlo - Lobos y Moreno – Mercedes
Moreno – Mercedes	61,7	33	70 min	14	
Merlo – Lobos	68,5	30	180 min	12	

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 17)

## 2.5 Línea Mitre

Como descripción general se menciona que la Línea Mitre tiene tres ramales urbanos, los cuales parten de la estación cabecera de Retiro hasta Tigre, Mitre y José León Suarez. Se puede observar los ramales, las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha ancha:** 1676 mm

**Tracción:** Eléctrico con formaciones de 6 coches y Diesel desde Victoria a Capilla del Señor.

**Frecuencia de Trenes:** doce (12) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 119

Recientemente se inauguró el viaducto entre las avenidas Dorrego y Congreso de 3,9Km, que eliminó 8 barreras y abrió 4 calles. Fuente AUSA <sup>35</sup>.

En el marco de la licitación pública LP80 la unión transitoria de empresa formada por Tesur- Panedile – Siemens está realizando la modernización, renovación y ampliación de la playa de estación Retiro –Mitre e integración con el San Martín.

Esta obra incluye el reemplazo del sistema de señalización o enclavamiento existente que como lo indica la tabla 9 data del 1926, por un enclavamiento electrónico SIEMENS que permite mejorar como mínimo la frecuencia del servicio. Realizar este resulta mandatorio para mejorar el servicio de la línea, ya que actualmente el ingreso y egreso a la estación Retiro se realiza a una velocidad de 5km/h, produciendo un cuello de botella y limitando la velocidad de operación en toda la línea. Por otro lado si esta obra no se realiza toda la mejora introducida por la obra del viaducto de la referencia <sup>17</sup> no genera ningún beneficio a los usuarios, solo beneficia a los automovilistas por la eliminación de los pasos a niveles.

Tabla 9: Detalles Línea Mitre

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia a max.	Estaciones	Enclavamiento
Retiro – Mitre	16,9	66	30 min	11	a) Electro-Neumático: Tecnología inglesa del 1926 desde Retiro hasta Maldonado. b) Electromecánico: desde Maldonado a Tigre tecnología Siemens de 1974. c) Mecánico: desde Maldonado a JL Suarez Todos los sistemas muy deteriorados
Retiro - JL Suarez	22,5	144	15 min	15	
Retiro – Tigre	28,1	281	12 min	17	
Villa Ballester – Zarate	72,7	6		11	
Victoria Capilla del Señor	56,9	12	60 min	10	

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 19)

<sup>35</sup> (Ausa, 2019) URL: <https://www.ausa.com.ar/novedades/nuevo-viaducto-mitre-ramal-tigre>

## 2.6 Línea General Roca

Como descripción general se menciona que el Ferrocarril General Roca parte de la terminal de Constitución, en la ciudad de Buenos Aires y se dirige hacia el sur del conurbano, prestando servicio por diferentes ramales, que se puede observar en el **ANEXO VI** y se describen a continuación:

- **Plaza Constitución – Temperley** con trenes con tracción por locomotora diésel y eléctricos a través de una vía cuádruple no banalizada.
- **Temperley – Haedo** con trenes con tracción por locomotora diésel a través de una vía doble no banalizada.
- **Temperley – Ezeiza – Cañuelas** con trenes con tracción eléctrica hasta Ezeiza y con tracción por locomotora diésel a través de una vía doble no banalizada desde Ezeiza hasta Cañuelas.
- **Temperley – Alejandro Korn** con trenes con tracción eléctrica a través de una doble vía no banalizada.
- **Temperley – Bosques** con trenes con tracción por locomotora diésel y eléctricos a través de una vía doble no banalizada
- **Avellaneda – Berazategui - La Plata** el servicio se vio interrumpido por la obra de electrificación.
- **Berazategui – Bosques** con trenes con tracción por locomotora diésel a través de una vía doble no banalizada.
- **Bosques – Villa Elisa** con trenes con tracción por locomotora diésel a través de una vía doble no banalizada.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha ancha:** 1676 mm

En la Tabla 10 se describen los datos específicos en función del recorrido de la línea donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, la cantidad de estaciones y la tecnología de enclavamiento utilizada.

En el caso de la línea Roca, existen muchos ramales que se muestran en la mencionada tabla y por este motivo no se incluyen los datos de la frecuencia de servicio.

De los datos plasmados en la tabla 4 se observa que es la línea con el mayor nivel de puntualidad, una vez más se remarca que la fuente de dicha tabla es oficial de la CNRT sin ningún tipo de validación por otra entidad independiente.

Tabla 10: Detalles Línea Roca

Recorrido	Km	Trenes diarios	Estaciones	Sistema de Señalamiento
Constitución – Korn	39,5	157	14	a) Sistema automático japonés desde Constitución a Temperley y de Temperley hacia Ezeiza y hacia Glew. b) Sistema automático americano de normativa AREMA, desde Glew hacia A. Korn En el resto de los tramos se utiliza señalamiento mecánico de origen inglés de siglo XX
Constitución – Ezeiza	32,4	154	15	
Ezeiza – Cañuelas	31,6	43	9	
Temperley – Haedo	25,6	30	10	
Constitución – La Plata	52,6	No informado	19	

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 19)

## 2.7 Línea Urquiza

Como descripción general se menciona que la Línea Urquiza presta servicio con un único ramal entre las estaciones Federico Lacroze y General Lemos en un tramo de 25 Km electrificados por tercer riel sobre vía doble en todo su recorrido. Se puede observar los ramales, las estaciones terminales e intermedias en el **ANEXO VI**.

**Operado por:** Ferrocarriles Argentinos

**Trocha ancha:** 1676 mm

**Tracción:** Eléctrico.

**Frecuencia:** ocho (8) minutos

**Cantidad de Paso a nivel:** 23

En la Tabla 11 se describen los datos específicos de la línea donde se puede observar la frecuencia del servicio en operación normal, la cantidad de estaciones y la tecnología de enclavamiento utilizada.

En el caso de la línea Urquiza, se observa la mejor frecuencia de operación, es decir la más baja y este dato está alineado con el porcentaje de puntualidad indicado en la tabla 4 siendo de 87,7%, siendo de lo más alto de las siete líneas.

Tabla 11: Detalles Línea Urquiza

Recorrido	Km	Trenes diarios	Frecuencia max.	Estaciones	Sistema de Señalamiento
F. Lacroze - Gral. Lemos	25,6	184	8 min	23	a) Mecánico: entre Rubén Dario y Lemos b) Manual: c) Automático: entre Lacroze y Rubén Dario

Fuente: (Orts Pardo, Francisco, 2016, pág. 26)

La información de la puntualidad del servicio se obtuvo de la fuente Trenes Argentinos<sup>36</sup>, siendo ellos mismos los proveedores de este, con lo cual puede no resultar fiable, en este aspecto, la implementación de la digitalización va a permitir desarrollar aplicaciones abiertas donde los usuarios puedan verificar las métricas e indicadores de puntualidad, frecuencia, tiempo de espera, etc. de forma independiente a la información que brinde el operador.

Con lo cual la calidad del servicio va a poder ser medida de forma objetiva por los usuarios, evitando las percepciones subjetivas, otorgando al usuario un poder de

<sup>36</sup> (Trenes argentinos, 2019) <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

contralor y una posibilidad de tomar mejores decisiones a la hora de elegir un medio de transporte.

## 2.8 Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología en las siete Líneas del AMBA

Para tener una comprensión más global de la tecnología de los equipamientos que actualmente brindan servicio en la red ferroviaria del AMBA, resulta de interés analizar en cual estado del ciclo de vida se encuentran.

Por otro lado en las tablas 5 a 11 se realizó un resumen de las siete líneas ferroviarias haciendo referencia a la fecha a la cual pertenecen los sistemas de señalamiento de cada una de ellas, lo cual muestra que los sistemas son antiguos y en principio el ciclo de vida de la tecnología está agotado.

En la tabla 12, que se muestra a continuación, se identifican los indicadores para analizar de forma objetiva el ciclo de vida de esta tecnología, y de la misma se puede concluir la urgente necesidad que se tiene en nuestra red ferroviaria de realizar el cambio tecnológico hacia la transformación digital.

Contrariamente, la tecnología digital se encuentra en estado embrionario y pasando a la etapa de crecimiento, aun en desarrollo de nuevos productos, según veremos en el capítulo 6.

Como se puede apreciar los ciclos de vida en la industria ferroviaria son largos, una nueva tecnología permanece activa entre 50 y 100 años hasta que se produce el reemplazo de la misma por parte de los Operadores y el mercado en general, por lo tanto hay un proceso que lleva décadas hasta que los Operadores la adopten definitivamente.

Tabla 12: Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología AMBA

Indicadores	Embrionaria	Crecimiento	Madurez	Decadencia
Tasa de crecimiento				Negativa, en proceso de reemplazo (*)
Potencial de crecimiento				Nulo (*)
Línea de productos				En proceso de reemplazo (*)

Rol de la tecnología				No hay nuevos desarrollos. Se generó un cambio tecnológico basado en la digitalización (*)
Número de competidores				En declive (*)
Estabilidad de participación del mercado				Estable y Concentrada (*)
Barreras de entrada				Alta (***)
Lealtad de los usuarios (operadores ferroviarios)				Alta y estable (**)
Costo				Alta (***)
<b>Estrategia</b>				
				La Estrategia es avanzar hacia el reemplazo tecnológico debido a: 1. Las inversiones fueron amortizadas en el mercado existente 2. Debido a la antigüedad comienzan a surgir riesgos operativos 3. No hay repuestos, ni desarrollos nuevos

(\*) Fuente: Arques Paton José Luis. Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector Ferroviario. Ed. por Paperback. 2010.

(\*\*) Fuente: CNRT <https://www.argentina.gov.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

(\*\*\*) Fuente: Ing Menedez. Sistema electrónico de enclavamiento 2018. Página 1

Se puede mencionar que los datos registrados en los siete subcapítulos desarrollados en este capítulo son datos físicos y en su mayoría comprobables por el usuario, pero cuando se trata de señalamiento ferroviario y conceptos de seguridad ferroviaria aparecen distintas normativas que se deben cumplir para asegurar el traslado de trenes de forma segura, las cuales ya no son detectables físicamente y las mismas se desarrollan en el capítulo siguiente.

## CAPÍTULO 3: CONCEPTOS BÁSICOS DE SEÑALAMIENTO FERROVIARIO

La importancia de este capítulo radica en entender la necesidad de mover los trenes de forma segura siempre, no es admisible dejar librado al azar el avance o el frenado de una formación ferroviaria sin haber verificado que se cumplan ciertas condiciones de seguridad.

Cuanto más estrictas sean las condiciones para cumplir, mayor es el nivel de seguridad, pero menor es la cantidad de trenes que circulen, es decir cuanto más restrictiva sean las condiciones de circulación menor es la posibilidad de que circulen trenes.

Desde un pensamiento extremo, si no hay circulación de trenes o solo circula una formación no hay posibilidad de choque, obviamente esto no es aceptable.

La digitalización permite mejorar la circulación de trenes, por lo tanto su frecuencia, manteniendo las condiciones de seguridad.

El ferrocarril está clasificado como un sistema de transporte de “un grado de libertad”, dado que solo pueden moverse hacia adelante y hacia atrás sobre la vía, teniendo la incapacidad propia de los trenes de realizar giros, lo cual produce situaciones problemáticas para maniobrar, para cumplir con altas prestaciones operativas y de seguridad, resultando necesario un sistema de control que mantenga a los trenes en una relación correcta unos con otros. A tal sistema de control se lo llama “señalamiento ferroviario”.

Al diseñar estos sistemas, se deben considerar en todo momento la posibilidad de un error humano, y para reducir al mínimo dichos efectos se utilizan los elementos críticos que ya fueron mencionados en el capítulo 1:

**Circuitos de vías:** asegura que cualquier tren en la vía no pase sin ser detectado, observado y protegido.

**Señales:** para dar indicación de avance, velocidad de circulación y frenado al conductor.

**Enclavamiento:** conjunto de elementos físicos y lógicos que permite el armado de la ruta que garantiza el movimiento seguro de los trenes, de tal forma que imposibilita que se establezcan rutas conflictivas.

El objetivo del señalamiento ferroviario es proporcionar seguridad en la circulación de trenes y alcanzar la máxima eficiencia en el tráfico logrando movimientos rápidos y seguros.

Esto implica un control de tráfico para evitar la colisión entre trenes, esto requiere mantener una distancia segura entre dos trenes consecutivos sobre la misma vía o bien por realizar un cambio de vía invadiendo el espacio ocupado por otro tren, para entender cómo funciona dicho control, se mencionan algunos conceptos básicos tomados del Libro *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*. (MONTES PONCE DE LEÓN, 2011)

**Concepto 1: “Se autoriza el movimiento de un tren si se cumplen dos condiciones en forma simultánea”**

Si el punto destino más adelante está definido y reconocido.

Todas las posibilidades de peligro fueron excluidas y permanecen excluidas hasta que el tren haya alcanzado el punto destino.

El punto destino es también conocido como punto de peligro y no tiene que ser necesariamente un punto fijo, puede ser móvil como por ejemplo la cola del tren que circula adelante.

Ahora bien una vez que se autoriza el movimiento del tren, surgen otros conceptos necesarios.

**Concepto 2: “Los trenes no pueden colisionar sino comparten la misma sección de vías al mismo tiempo”**

Si bien una vía visualmente se observa como un elemento entero, la misma está sectorizada en bloques o secciones y en condiciones normales dicho bloque solo puede estar ocupado por un único tren, cuando esta condición por alguna anomalía no se cumple y existen dos o tres sobre un mismo bloque se está expuesto a una colisión de trenes.

- Cantón: tramo de vía reservado. En condiciones normales de circulación, se impide que otro tren pueda acceder a dicho cantón mientras que el primer tren no lo haya liberado.

La lógica del enclavamiento impide que otro tren pueda acceder a dicho cantón mientras permanezca ocupado, solo habilita el ingreso del tren si el tren precedente ya ha abandonado el tramo.

Por temas de seguridad la longitud de un bloque o sector debe ser mayor al largo de un tren. Si un tren frena demasiado suave o demasiado tarde puede invadir otra sección y/o alcanzar el punto de peligro, para evitar esto surge otro principio que es:

**Concepto 3: “La distancia de seguridad o solape”,** que es distancia indicativa de comienzo de frenado, para no alcanzar el punto de peligro.

Esta división de la vía en bloques evita la colisión de un tren con el que le precede básicamente por un espaciamiento de distancia.

Dado que no importa en que parte del bloque se encuentre el tren, esta forma de protección afecta negativamente la frecuencia del servicio, especialmente para bloques largos.

La longitud de estos bloques que normalmente pueden ser de 1 km en zonas urbanas define el tiempo de circulación del próximo tren, es decir cuanto mayor es la longitud, mayor será el tiempo de separación entre un tren y otro, por consecuencia desde el punto de vista del pasajero, mayor será el tiempo de espera.

Si de alguna manera se puede achicar la longitud de los bloques, manteniendo las condiciones de seguridad, se puede aumentar la frecuencia del servicio que es algo que se planteó en el principio.

La TRANSFORMACIÓN DIGITAL introducida por el estándar ERTMS Nivel 2, del inglés European Traffic Management System que se trata en el próximo capítulo, cambia completamente este concepto, ya que los trenes podrán operar con bloques móviles, reduciendo la distancia de separación de un tren con otro de acuerdo con la velocidad de circulación y distancia de frenado.

De acuerdo con la normativa ferroviaria, que se encuentra en el RITO<sup>37</sup>, los trenes poseen dos tipos de frenos en una formación, el de servicio que se utiliza en condiciones normales y el freno de emergencia que como su nombre lo indica se reserva para situaciones límites y genera el frenado brusco de toda la formación.

Para el cálculo de la distancia de frenado, de acuerdo con las leyes de la cinemática para un movimiento horizontal con aceleración constante (es este caso la aceleración es negativa o desaceleración)<sup>38</sup>, se utiliza la siguiente fórmula:

$$D(m) = Vi \cdot Tr + \frac{Vi^2 - Vf^2}{2 \left( d - 9,81 \cdot \frac{G}{1000} \right)}$$

Donde:

- D(m): Distancia de frenado
- Vi (m/s): Velocidad inicial
- Vf (m/s): Velocidad final
- d(m/s<sup>2</sup>): Desaceleración
- Tr(s) Tiempo de respuesta
- G: Gradiente de la línea por mil

Si se considera Tr=0, Vf=0 la fórmula se simplifica a:

$$D(m) = \frac{Vi^2}{2 \left( d - 9,81 \cdot \frac{G}{1000} \right)}$$

---

<sup>37</sup> RITO: Reglamento Interno Técnico Operativo – URL:  
<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/rito.pdf>

<sup>38</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=3sWsdsXAZrl>

Suponiendo un gradiente  $G=0$  y una velocidad inicial de 120Km/h con una capacidad de frenado  $d=0,8 \text{ m/s}^2$ , se tiene que la distancia de frenado es aproximadamente 700 metros, por lo tanto, no debería haber trenes con una distancia entre ellos menor a la mencionada.

Para asegurar el cumplimiento, se adopta que la distancia entre dos trenes debe ser mayor o igual a  $D(m) = D \text{ frenado} + \text{Longitud del bloque} + S$ , donde  $S$  es la distancia de seguridad.

Como se indicó en párrafos anteriores del presente capítulo, el sistema de señalamiento se diseña de modo tal de evitar la posibilidad de un error humano, pero esto no implica que el mismo sistema pueda fallar, con lo cual se enuncia el siguiente concepto:

**Concepto 4: “En caso de existir alguna falla en el sistema de señalamiento, esta debe ser siempre de forma segura”**

Es un concepto conocido como modo de falla segura, del inglés *Fail Safe* que literalmente significa fallo que en caso de ocurrir una falla de un equipo, el mismo está diseñado para que se quede en la en situación más segura, de tal manera que asegure la continuidad de la operación de la forma más restrictiva.

Como se puede apreciar, la seguridad en la circulación de trenes no es algo librado al azar, sino una premisa a cumplir con las más estrictas normativas de seguridad.

Por tratarse de sistemas críticos una falla puede poner en peligro cientos de vidas humanas y/o costosas inversiones. Por lo tanto se deben cumplir estrictos parámetros de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS, del inglés Reliability, Availability, Maintainability and Safety), durante todo el ciclo de vida. Para eso desde 2004 la comunidad europea ha establecido normas ferroviarias relacionadas con los parámetros RAMS, haciendo hincapié en la seguridad.

En este sentido, las tres normas principales son EN-50126 <sup>39</sup>(ciclo de vida), EN50128 <sup>40</sup> (técnicas de software) y EN-50129 <sup>41</sup> (técnicas de hardware)

Ninguna situación debe llevar a un riesgo intolerable o indeseable y en caso de que se produzca alguna, se debe mitigar el riesgo utilizando algún equipo o procedimiento apropiado.

En función del nivel de riesgo que es necesario mitigar, la normativa CENELEC establece cuatro niveles de seguridad en el diseño de los equipos llamados SIL<sup>42</sup> que se refiere al Nivel Integral de seguridad, del inglés Safety Integrity Level. Estos niveles son SIL1, SIL2, SIL3 y SIL4.

- SIL1: Unidades de mantenimiento y diagnóstico.
- SIL2: Cuadros de mando.
- SIL3: CTC.
- SIL4: Enclavamientos y circuitos de vía.

Un nivel SIL4 implica más seguridad que un nivel SIL1 y para sistemas ferroviarios modernos se requiere el nivel SIL4, dicho estándar se utiliza en otras industrias como son la petroquímica, la industria aeronáutica, entre otras.

### 3.1 Protección Automática de Trenes (ATP)

La señalización lateral o semáforos que acompaña al tren durante todo el recorrido tiene una serie de limitaciones respecto al nivel de protección.

---

<sup>39</sup> Asociación Española de Normalización (UNE). UNE-EN 50126-1:2018. Disponible: 2018-09-12. 2018. URL: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma>.

<sup>40</sup> Asociación Española de Normalización (UNE). UNE-EN 50128:2012. Disponible: 2012-03-21. 2012. URL: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma>

<sup>41</sup> Asociación Española de Normalización (UNE). UNE-EN 50129:2005. Disponible: 2005-03-16. 2005. URL: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma>.

<sup>42</sup> SIL Safety Integrity Level, se define como un nivel relativo de reducción del riesgo que provee una función de seguridad, o bien para especificar el nivel objetivo para la reducción de riesgo.

Una de ellas es que el maquinista no siempre es capaz de observar el aspecto de la señal correctamente, teniendo en cuenta que la información visual depende mucho de la climatología.

Por tal motivo puede pasar por distracción, pérdida de adherencia de los trenes o por excesiva velocidad que el tren no alcance a frenar antes de alcanzar la señal en rojo, que implica el punto de peligro.

Por otro lado los focos luminosos de los semáforos cumplen su ciclo de vida, se pueden romper y/o vandalizar.

Claramente para obtener una circulación de trenes de forma segura, no se puede permitir que la seguridad quede librada al comportamiento del maquinista, a las condiciones climáticas o bien a alguna falla técnica, según se mencionó.

Esta situación obligó a buscar sistemas que brinden mayor seguridad a la circulación, de este modo surge el sistema de Protección Automática de Trenes, del Inglés (ATP) *Automatic Train Protection*, que básicamente consta de equipos fijos instalados en vía (balizas) y equipos abordo de los trenes que supervisan la velocidad de circulación y actúan automáticamente en caso de ser necesario.

El equipamiento a bordo está formado por el sistema de captación, la conexión al freno de emergencia y la interfaz del maquinista en el tablero de control que está formada por pulsadores e indicaciones lumínicas y sonoras.

Los sistemas de ATP se desarrollan en primera medida para reducir la amenaza de sobrepasar una señal en rojo. Para evitar esto se actúa inicialmente en forma de aviso y en caso de que no exista reconocimiento por parte del maquinista se aplican los frenos de emergencia.

### **3.2 Parada Automática de Trenes (ATS)**

Como su nombre lo indica es un sistema de parada automática de trenes, del inglés *ATS Automatic Train Stop*, para entender su funcionamiento, primero se requiere entender cómo cambian los aspectos de los semáforos a medida que circulan los

trenes, como se observa en la figura 18 es un sistema de señales de tres aspectos, se observa que a medida que avanza el tren se protege hacia atrás con dos señales roja (a peligro), luego amarillo y luego verde.

Figura 18: Circulación de Trenes con semáforos de 3 aspectos



Fuente: (Ing Menedez, 2018)

Esto indica al próximo tren la velocidad de circulación máxima de acuerdo con la distancia del tren precedente.

Sobre la vía, al pie de cada semáforo se instalan balizas (formada por una inductancia y capacitancia) que se vinculan con el semáforo y en la cabina del tren se instala un equipamiento de captación.

Cada color de la señal indica una velocidad máxima de circulación y tiene asociada una frecuencia de resonancia en la bobina de vía.

Cuando un tren pasa por la bobina ubicada en la vía, se produce un acoplamiento magnético con la bobina de a bordo.

De esta manera esta última recibe una frecuencia que indica el aspecto de la señal, por tal motivo ahora el tren conoce el aspecto de la señal más allá de lo que pueda observar el maquinista.

Al conocer el aspecto, el tren conoce la velocidad máxima a la que puede circular y la compara con la velocidad real del tren, que es conocida por la indicación del velocímetro del mismo tren, en función de esta comparación el sistema ATS toma las siguientes decisiones, según se puede observar en la tabla 13:

- Si la velocidad instantánea del tren es menor a la de control, el tren continúa su marcha sin cambio.

- Si la velocidad instantánea del tren es mayor a la de control el tren toma una acción de frenado según corresponda, freno de servicio o freno de emergencia según lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 13: Relación de aspectos de Señales y la Velocidad de circulación

Aspecto de la Señal		Velocidad Máxima	Frecuencia de Resonancia	Relación entre la velocidad del tren y el frenado
R0	Rojo Cero	0 Km/h	130 KHz	Acciona el freno de emergencia
R1	Rojo Uno	15 Km/h	122 KHz	Acciona el freno de emergencia si el tren circula a más de 15 km/h
N	Naranja	45 Km/h	114 KHz	Acciona el freno de servicio si el tren circula a más de 45 km/h
NN	Doble Naranja	80 Km/h	106 KHz	Acciona el freno de servicio si el tren circula a más de 80 km/h
V	Verde	120 Km/h	98 KHz	No acciona el freno, si la velocidad del tren supera los 125 km/h el sistema corta tracción reduciendo la velocidad hasta los 90 km/h

Fuente: (Gerencia de Control Técnico Ferroviario CNRT, 2016)

Este sistema que tecnológicamente no es tan complejo, adquiere una gran importancia desde el punto de vista de la seguridad ferroviaria, si se tiene en cuenta que si el mismo hubiera estado montado en la estación de Once Línea Sarmiento en el año 2012 hubiera evitado el fatal accidente con 51 muertos y 789 heridos, (Tragedia de Once, 2012) <sup>43</sup>, ya que al ingresar a zona de andenes a una velocidad mayor a la permitida hubiera actuado automáticamente el freno de emergencia, evitando que el tren impacte contra los paragolpes que tampoco funcionaban.

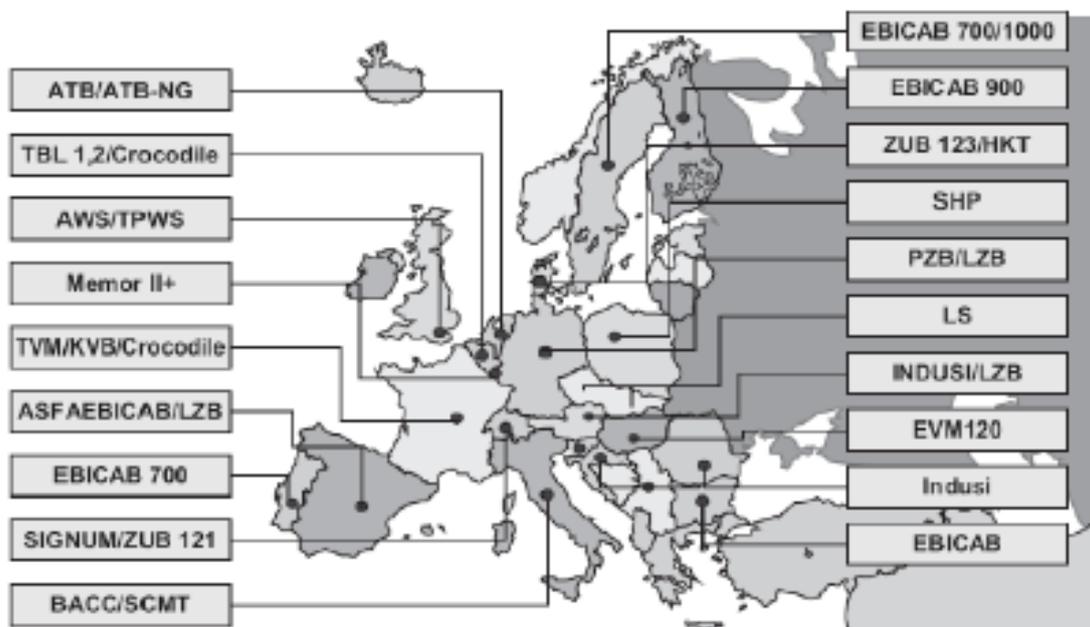
Estos sistemas de protección automática merecen un mayor nivel de análisis y lo desarrollado es a los fines de entender el funcionamiento básico de los mismos y servir de introducción al siguiente capítulo que representa un primer gran paso hacia la digitalización en la industria ferroviaria.

<sup>43</sup> Video del accidente URL <https://www.youtube.com/watch?v=NAWonyQIfOg>

## CAPÍTULO 4: INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE GESTIÓN DE TRÁFICO FERROVIARIO EUROPEO (ERTMS)

Al pasar de los años en Europa se desarrollaron diversos sistemas de protección automática de acuerdo con la normativa de cada país, estos sistemas llamados ATP como se explicó en el ítem anterior, fueron desarrollados por cada Operador, de cada país conforme a sus propias reglas operativas, en la figura 19 se puede observar el mapa de Europa donde se indican los sistemas de protección distintos de cada país.

Figura 19: Normas ferroviarias de los países europeos



Fuente: (Rameder, 2011)<sup>44</sup>

Cada sigla representa un sistema de operación, semejante cantidad de especificaciones técnicas distintas hacía imposible la interoperabilidad del servicio de trenes entre los distintos países, limitando el desarrollo del transporte ferroviario tanto para el transporte de cargas como para el de pasajeros.

<sup>44</sup> <https://www.globalrailwayreview.com/article/10104/etcs-for-obb-the-beginning-of-a-new-train-control-era-in-austria>

En el caso de que un tren traspase las fronteras de un país debía estar equipado con los sistemas de los países por donde iba a circular, lo cual resulta de mínima un extra-costo además de adicionar complejidad a la operación.

Con este mapa, queda claro que el principal problema del ferrocarril en Europa era la existencia de más de veinte sistemas de señalización.

Para superar este obstáculo, a fines de 1993 el Ministro de Transportes de Europa <sup>45</sup> crea el proyecto ERTMS - *European Rail Traffic Management System* - formado por un consorcio de expertos tecnológicos Alstom, Bombardier, CAF, Thales, Siemens, AZD Praha y Hitachi Rail STS en cooperación con la Unión Europea y la industria GSM-R de acuerdo con la información publicada por la web oficial de ERTMS <sup>46</sup> con los siguientes objetivos:

- Desarrollar un sistema de señalamiento único de gestión ferroviario.
- Aumentar la competitividad del ferrocarril frente a otros medios de transporte.
- Mejorar la Interoperabilidad ferroviaria en Europa.
- Aumentar los niveles de seguridad.
- Elevar la velocidad de circulación, consiguiendo así una reducción de los tiempos de viaje.
- Aumentar la capacidad de las líneas reduciendo el intervalo entre trenes.

Donde el principal objetivo se puede resumir en la sustitución de los diferentes sistemas nacionales de control y mando de trenes en Europa, por tal motivo el despliegue de ERTMS fue la base para la creación de un sistema ferroviario europeo sin fisuras y el aumento de la competitividad de los ferrocarriles europeos.

ERTMS tiene dos componentes básicos <sup>47</sup>:

- ETCS: Sistema Europeo de Control de Trenes, es un sistema de protección automático que reemplaza a los sistemas ATP existentes en cada país o región, del inglés *European Train Control System*.

---

<sup>45</sup> URL: <http://www.ertms.net/ertms-history.aspx>

<sup>46</sup> WEB ERTMS: URL: [http://www.ertms.net/?page\\_id=50](http://www.ertms.net/?page_id=50)

<sup>47</sup> URL [https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms_en)

- GSM-R: un sistema de radio que provee comunicaciones de voz y datos entre la vía y el tren, basado en el estándar, del inglés *Global System for Mobile Communications – Railway*. El sistema GSM, utiliza frecuencias reservadas especialmente para aplicaciones de vía.

#### 4.1 ERTMS a nivel mundial

Con estos objetivos logrados en abril del 2000, de acuerdo con lo informado por Comisión Europea <sup>48</sup> el ERTMS se transformó en un estándar internacional que brinda una plataforma de interoperabilidad global para el señalamiento ferroviario y es utilizado para líneas de alta velocidad y líneas convencionales, actualmente este sistema está siendo adoptado en otros países fuera de Europa, como son China, India, Taiwán, Corea del Sur y Arabia Saudita.

Si bien Argentina, hasta el momento no cuenta con ninguna línea ferroviaria que opere con ERTMS, ya el mismo aparece como un requisito técnico en las licitaciones públicas emitidas por el Ministerio de Transporte a través de ADIFSE <sup>49</sup>, como la entidad que define y publica los pliegos de los proyectos a ser realizados en materia de ferrocarriles, esta información es de acceso público a través de la página web de Trenes Argentinos <sup>50</sup>.

#### 4.2 Ventajas de ERTMS

El sistema ERTMS es el sistema de control de trenes más potente del mundo, se puede resumir con la frase “la unión hace la fuerza”, ya que fue la unión de siete tecnólogos europeos de diferentes países, sin dejar de mencionar el apoyo y decisión política de la Comunidad Europea.

Es posiblemente el sistema de control de trenes más eficaz del mundo y aporta ventajas significativas en términos de ahorro de costos de mantenimiento, seguridad,

---

<sup>48</sup> URL [https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms\\_en](https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms_en)

<sup>49</sup> Administración de Infraestructura Ferroviaria Sociedad Estado

<sup>50</sup> Trenes Argentinos URL: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos-infraestructur>

fiabilidad, puntualidad y capacidad de tráfico, explicando porqué ERTMS tiene cada vez más éxito fuera de Europa, como se mencionó anteriormente.

Se resumen las ventajas en el listado a continuación:

- **Interoperabilidad** de equipos de diferentes fabricantes.
- **Aumento de la capacidad** en las líneas existentes debido a la reducción de la distancia de separación entre trenes.
- **Mayor velocidad** de circulación permite hasta 500km/h.
- **Mayor fiabilidad** mejorando la puntualidad de partidas y arribos, algo crucial para el transporte de pasajeros.
- **Menores costos de fabricación** por ser un sistema estandarizado, lo que otorga mayor competitividad a la industria ferroviaria.
- **Menores costos de mantenimiento** dada que en el nivel 2 no se quieren señales luminosas sobre la vía.
- **Mercado abierto** lo que permite mayor oferta de proveedores, generando un mercado más competitivo.
- **Reducción del tiempo de entrega** debido a la reducción significativa en los procesos de la ingeniería y aprobación.
- **Mayor seguridad para los pasajeros**

#### 4.3 Niveles de ERTMS

El ERTMS es un sistema de control y protección de trenes con tres niveles de aplicación pensados para que progresivamente se pueda acceder desde la aplicación más sencilla (Nivel 1), a la más compleja (Nivel 3), compuesto por dos subsistemas: el subsistema del tren o equipo embarcado, y el subsistema de la vía.

A los tres niveles mencionados se le agregan dos niveles complementarios, nivel 0 y STM que se definieron como interfaz entre el equipamiento existente y el nuevo estándar ERTMS.

A continuación, se explica brevemente el funcionamiento y características de los niveles.

#### 4.3.1 ERTMS Nivel 0:

El nivel 0 surge de la necesidad de ponerle un nombre a la ausencia de nivel de ERTMS.

Se da en líneas donde no hay instalado ningún sistema ATP, pero los trenes en circulación están equipados con sistema ERTMS, esto generalmente se aplica en líneas antiguas que se vinculan con líneas modernas donde los trenes tienen instalado equipamiento ERTMS a bordo.

Con lo cual el nivel 0 permite a un tren equipado con ERTMS pueda continuar circulando a pesar de encontrarse en una zona sin equipamiento de vía.

En el Nivel 0 el maquinista es el único responsable de la seguridad del tren quien necesita mantener la atención al aspecto de la señal y no superar la velocidad máxima de acuerdo con dicho aspecto ya que no existe comunicación entre la vía y el tren.

#### 4.3.2 ERTMS Nivel 1:

El Nivel 1 es el primer nivel de supervisión de ERTMS y la autorización de movimiento la generan las balizas ubicadas al pie de las señales laterales.

Los circuitos de vía son los responsables de la detección y la integridad del tren.

En el Nivel 1 la información se transmite de forma unidireccional desde la vía al tren a través de grupos de balizas situadas a lo largo del recorrido. El grupo de balizas es el medio de transmisión puntual que transmite toda la información que el equipo de a bordo ERTMS necesita para garantizar el movimiento del tren. El tren al pasar por sobre la baliza, a través del captador que va emitiendo una frecuencia energiza el circuito resonante lo que hace que se transmita la información almacenada en la baliza.

Las balizas se conectan a elementos conocidos como Unidades Codificadoras (LEU) del inglés *Line Encoder Unit* que obtienen información del enclavamiento, las señales y la situación de la vía.

También existen balizas con información fija grabada con parámetros de vía de difícil modificación como, por ejemplo, las restricciones de velocidad por curvas y perfiles de gradientes.

En la figura 20 se pueden identificar los principales componentes de la solución:

*Track Circuit*, que representa al circuito de vía detector de la presencia del tren.

Balisas del inglés *Basile*.

Unidad codificadora de línea, del inglés *Unidad Encoder Línea* (LEU)

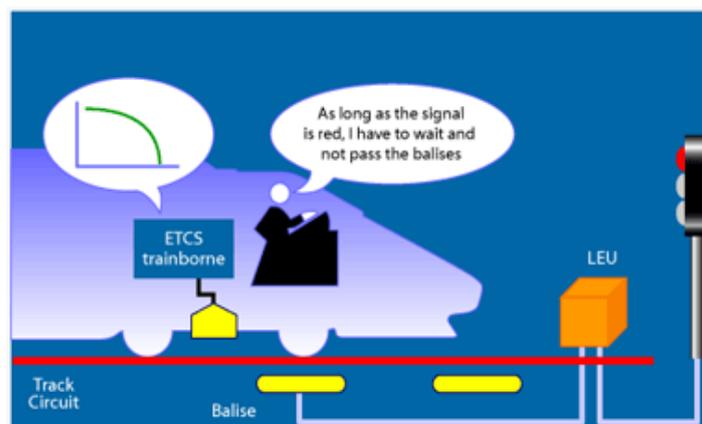
El elemento a bordo del tren indicado como *ETCS trainborne*

En dicha figura, como en las figuras 21, 22 y 23 tienen palabras en inglés ya que su fuente es la página web de ERMTS<sup>51</sup> por ser una fuente principal para este tema.

La información variable de las balizas está relacionada con la situación del tráfico ferroviario (por ejemplo, la autoridad de movimiento y restricciones de velocidad al paso por agujas), transmiten un telegrama controlado por el LEU que depende de la ruta asignada por el enclavamiento.

### Funcionalidad sin Bucle Relleno.

Figura 20: Elementos de ERTMS Nivel 1



Fuente: "Adaptado de <http://www.ertms.net/> - Traducido del Inglés Mientras la señal sea roja, tengo que esperar y no pasar las balizas"

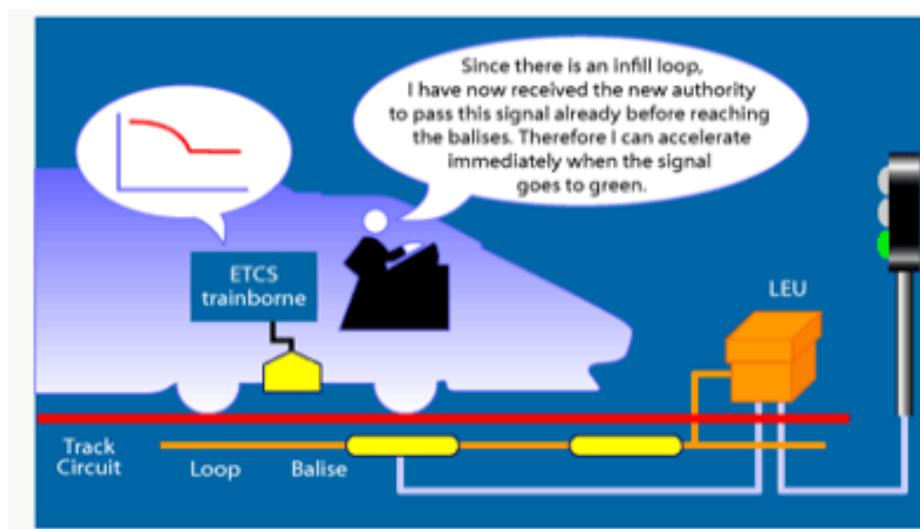
<sup>51</sup> (ERTMS, 2019) URL: [http://www.ertms.net/?page\\_id=50](http://www.ertms.net/?page_id=50)

El tren debe exceder o sobrepasar la eurobaliza para obtener información sobre la velocidad y condiciones de movimiento, una debilidad de este sistema es que la eurobaliza puede ordenar la detención del tren porque la señal está en rojo y en el momento que el tren comienza a frenar se produce un cambio de la señal a verde, lo que implica vía libre, por lo tanto el tren debe continuar con el proceso de frenado aunque el agente de conducción haya reconocido la vía libre, este es el mensaje que interpreta el maquinista traducido del inglés en la figura 20 *“Mientras la señal sea roja, tengo que esperar y no pasar las balisas”*.

Para resolver esto, se utiliza la funcionalidad de Bucle o *Loop* relleno que genera información continua, esto se puede observar en la figura 21, donde se agrega una especie de cable emisor de color naranja que conecta las balisas entre sí con el LEU, bajo esta funcionalidad el maquinista interpreta el siguiente mensaje traducido de la figura 21 *“Debido a que hay un bucle de relleno. He recibido la nueva autoridad para pasar esta señal antes de llegar a las balisas. Por lo tanto, puedo acelerar inmediatamente cuando la señal pase a verde”*

### Funcionalidad Bucle Relleno

Figura 21: Elementos de ERTMS Nivel 1 con Loop Relleno



Fuente: "Adaptado de <http://www.ertms.net/> - Traducido del Inglés: *Debido a que hay un bucle de relleno. He recibido la nueva autoridad para pasar esta señal antes de llegar a las balisas. Por lo tanto, puedo acelerar inmediatamente cuando la señal pase a verde”*

La información se envía al tren a una distancia de varios kilómetros antes de llegar a la señal vía el bucle de relleno, por lo tanto se adelanta el estado de la señalización antes de llegar al grupo de balizas situado al pie de la señal.

#### **4.3.3 ERTMS Nivel 2:**

El Nivel 2 es un nivel de operación basado en el envío de información desde la vía al tren de forma continua, ya no de forma puntal como el nivel anterior, con lo cual el equipo de abordaje tiene información instantánea de cualquier cambio en el estado de la vía.

La transmisión de información es bidireccional entre el equipo de abordaje y la vía, añadiendo la posibilidad de que el equipo de abordaje solicite información a la vía.

La información necesaria para la conducción del tren se recibe vía radio de forma continua desde el RBC del inglés *Radio Block Centre*. El RBC está situado a nivel de vía y se comunica con el enclavamiento que establece la ruta del tren de forma segura.

La información que envía el RBC al tren básicamente consiste en los datos geográficos de la ruta y la distancia al próximo obstáculo. A esto se le llama Autoridad de Movimiento.

El sistema radio está basado en la tecnología GSM-R, la cual es la tecnología de la telefonía móvil, pero usando una banda de frecuencias reservada para los ferrocarriles.

El EVC del inglés *European Vital Computer* transmite al RBC su identificación y su posición en la vía para que el RBC pueda enviarle la información de señalización correcta al tren. La gestión del envío de la posición del tren es controlada por el RBC a través de unos parámetros denominados *Position Report Parameters*, en caso de no recibir ningún parámetro, el EVC por defecto envía informes de localización al paso por baliza.

En este nivel ya no son necesarias las señales laterales, la información de conducción que recibe el equipo embarcado del RBC, es presentada al maquinista a través de la interfaz Conductor – Máquina del inglés *Driver Machine Interface (DMI)*, situado en el

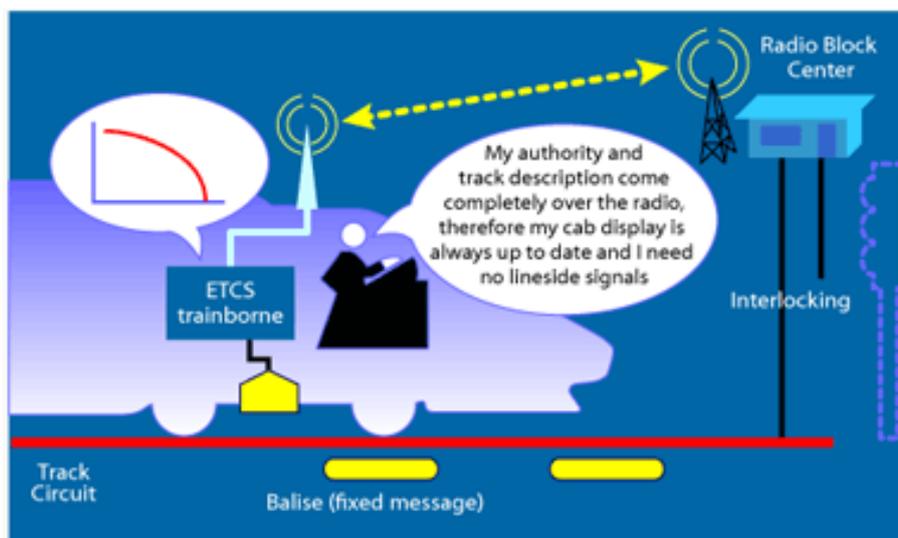
tablero de conducción, si el maquinista no atendiera a las indicaciones, el sistema avisa de forma sonora y visual y si aun así no la atendiera el sistema aplica automáticamente el freno de servicio. Las señales laterales opcionalmente pueden seguir activas a modo de respaldo o en caso de emergencia, por ejemplo, ante una caída del sistema GSM-R.

La detección de la posición del tren se sigue realizando por medio de los circuitos de vía, aunque la localización precisa del tren la realiza la propia Eurocabina, por medio del equipo de odometría, y balizas fijas en la vía que cumplen con dos funciones: determinar la posición del tren e informar del perfil estático de velocidad.

En la figura 22 se puede observar los elementos principales del nivel 2, donde se aprecia una disminución de elementos en vía respecto al nivel anterior, se eliminan las señales y LEU, por otro lado se agrega la comunicación vía radio con el enclavamiento del inglés *interlocking*.

Ahora el mensaje que recibe el maquinista es “*Mi autoridad de movimiento y el estado de la vía vienen completamente por radio, por lo que la información en mi tablero está siempre actualizada y ya no necesito señales laterales en la vía*”.

Figura 22: Elementos de ERTMS Nivel 2



Fuente: “Adaptado de <http://www.ertms.net/> - Traducido del Inglés: *Mi autoridad de movimiento y el estado de la vía vienen completamente por radio, por lo que la información en mi tablero está siempre actualizada y ya no necesito señales laterales en la vía*”

Aunque parezca un tema menor, esto no solo representa un avance tecnológico, sino también una reducción en costos para las operadoras, ya que al evitar la necesidad de las señales se produce un ahorro en costos de, al menos, los siguientes ítems:

- Costo de Señales
- Instalación de postes y/o pórticos
- Tendidos de cables desde el enclavamiento hasta la señal
- Zanjeos y canalizaciones, cruce bajo vías, etc.
- Evita Mantenimiento de los focos y materiales de repuesto
- Reduce robos y problemas de vandalismo

Para capacitar a los maquinistas en esta nueva tecnología, según la experiencia compartida por instructores españoles de Siemens Mobility <sup>52</sup>, empresa líder en el sector, se les tapa completamente el vidrio de la cabina y el conductor comienza a operar el tren “a ciegas”, es decir sin ver lo que está adelante, solamente obedeciendo las indicaciones del tablero.

La mejora principal de este nivel respecto al anterior es que el control del tren se hace de manera continua, ya que en todo momento hay comunicación de radio con el tren. Cada cambio en las condiciones de la vía es enviado al tren inmediatamente, con lo que se puede incrementar la velocidad y la seguridad.

No obstante, al controlarse la posición de los trenes mediante los circuitos de vía, la distancia de separación entre trenes no puede disminuirse sensiblemente.

#### **4.3.4 ERTMS Nivel 3:**

El Nivel 3 permite conseguir un sistema ferroviario de altas prestaciones e intercambio de información continua entre el RBC y el EVC. Se aclara que este sistema aún está en fase de desarrollo.

En general la mayor parte de la funcionalidad y las características del Nivel 3 son idénticas a las del Nivel 2, donde la diferencia fundamental es que en este nivel ya no

---

<sup>52</sup> Siemens Mobility URL: <https://www.mobility.siemens.com/>

existen más circuitos de vía., según puede apreciarse en la figura 23, donde el mensaje que recibe el maquinista traducido del inglés es *“La comprobación de la integridad del tren se hace en el propio tren, por lo que ya no se requieren circuitos de vía y puedo realizar la marcha de acuerdo a bloque móvil”*

El equipo a bordo del tren se auto localiza mediante los equipos de odometría y envía esta información al RBC.

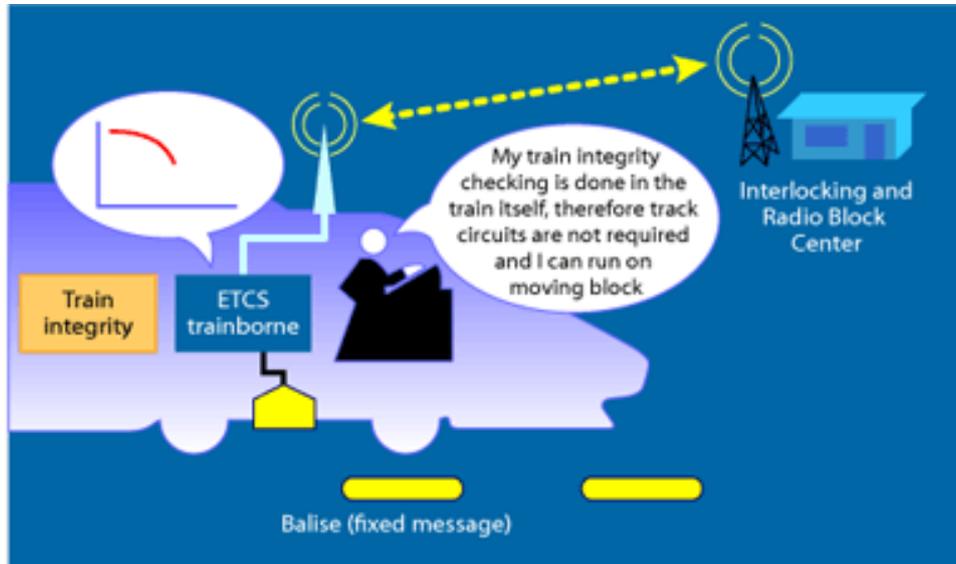
EL RBC utiliza esta información para referenciar al tren con relación a los trenes que circulan en la misma línea, también verifica la integridad del tren en todo momento, es decir controla que la longitud del tren se mantiene intacta.

La integridad del tren se refiere a la longitud del mismo según la cantidad de coches que tenga la formación, si por algún motivo el tren cambia su longitud se interpreta una pérdida en una integridad, en caso de detectar un fallo en la integridad del tren, el EVC se lo comunica de manera inmediata al RBC para que este tomara las acciones oportunas para asegurar la circulación ferroviaria en las inmediaciones del tren que ha perdido su integridad.

El nivel 3 responde al modo de funcionamiento llamado “bloque móvil”, del inglés *moving block*, al no requerir más circuitos de vía como elemento detector de trenes, ahora el RBC envía la autoridad de movimiento hasta la cola del tren precedente, con lo cual se achica considerablemente la distancia de separación entre trenes, esto se puede observar en la figura 24 donde para el caso del bloque fijo la distancia entre trenes es la curva de frenado más un bloque de separación, mientras que en el caso del bloque móvil, la distancia de separación está dado solo por la curva de frenado.

Este nivel sigue necesitando la existencia de balizas fijas para la relocalización y corrección de posibles errores del sistema de odometría.

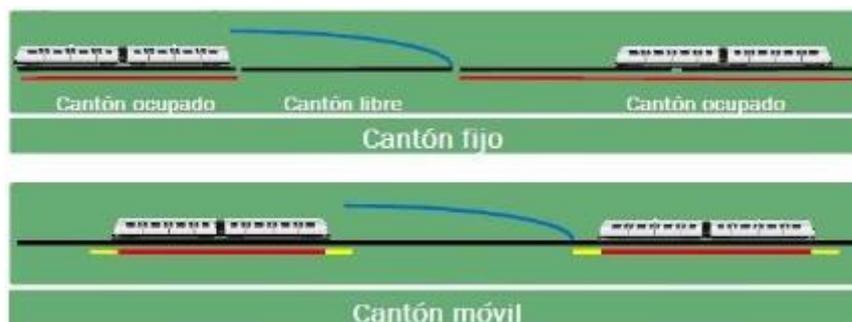
Figura 23: Elementos de ERTMS Nivel 3



Fuente: "Adaptado de <http://www.ertms.net/> - Traducido del Inglés: *La comprobación de la integridad del tren se hace en el propio tren, por lo que ya no se requieren circuitos de vía y puedo realizar la marcha de acuerdo a bloque móvil*"

El perfil dinámico de velocidad se traza de acuerdo con la velocidad y distancia del siguiente tren, con lo que el RBC sabe exactamente donde se encuentran en cada momento todos los trenes, y puede autorizar movimientos hasta la cola del tren precedente.

Figura 24: Distancias de separación de trenes con bloque fijo y móvil



Fuente: (Railwaysignalling, 2015)

Además, en este nivel -como ya era en el nivel anterior ERTMS Nivel 2- es totalmente prescindible la señalización lateral, al mismo tiempo estas señales pierden sentido debido a las velocidades que se pueden alcanzar, lo cual se hace imposible de detectar por el maquinista.

Como se ya mencionó este nivel aún está en desarrollo debido a que no existe en la actualidad un método totalmente fiable para detectar la posición y la integridad del tren.

Varios grupos de trabajo apuestan por el uso de GPS para reportar la posición de la cabeza y de la cola del tren - integridad del tren – aunque en las pruebas realizadas hasta el momento, los errores de localización a altas velocidades del sistema GPS han sido considerables, se adiciona el problema de la falta de cobertura satelital en las zonas donde los trenes necesitan mayor seguridad en la precisión de la localización, como son vaguadas y túneles.

No obstante, cuando se solventen estas dificultades, este nivel permite ofrecer grandes mejoras, como el hecho de que los trenes puedan transitar a grandes velocidades solo limitadas por la infraestructura. Aumentando la capacidad de tráfico, debido a que permite la circulación de mayor cantidad de trenes de forma simultánea sobre una misma línea ferroviaria.

Por ejemplo, donde antes por un tema de separación entre trenes podían circular diez formaciones de forma simultánea, ahora dado que la separación entre los mismos se reduce a la distancia de frenado se puede aumentar la cantidad de trenes, según un estudio de la automatización en las vías realizado por Siemens <sup>53</sup>, se estima un aumento del 20% en la cantidad de formaciones.

Otra ventaja del nivel 3 es el ahorro en infraestructura y mantenimiento. Se calcula que al prescindir de señalización lateral y de circuitos de vía, cableados, etc. el ahorro que se alcanza es de un 50% <sup>54</sup> en la infraestructura necesaria.

Cada nivel del ERTMS mejora las funcionalidades del anterior permitiendo menores intervalos entre trenes, aumentando la capacidad de la infraestructura, reduciendo los equipamientos de campo con sus costos asociados y permitiendo alcanzar mayores velocidades.

---

53 Paper: Siemens Mobility Big Data Opportunity – Pag 23

54 Paper: Siemens Mobility Big Data Opportunity – Pag 12

Un resumen comparativo entre los distintos niveles ERTMS, se puede apreciar en la tabla 14.

Tabla 14: Equipamiento necesario de los distintos niveles de ERTMS

Nivel	Balizas de control	Balizas de Posición	Circuitos de Vías	Señales Laterales	GSM-R	DMI	Bloque Móvil	Velocidad Máxima	Frecuencia de Trenes
ERTMS 1	Si	Si	Si	Si		Si		300Km/h	Aprox. 6"
ERTMS 2		Si	Si	Opcional	Si	Si		350Km/h	Aprox. 3"
ERTMS 3		Si			Si	Si	Si	500Km/h	Aprox. 1"

Fuente: Confección propia, según niveles ERTMS<sup>55</sup>

#### 4.4 ERTMS Subsistemas

Como se describió en los subcapítulos 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 el sistema ERTMS está compuesto principalmente por dos subsistemas:

- Subsistema de a bordo: corresponde al que se monta en el tren y está compuesta de diferentes elementos (interfaces, equipos informáticos y electrónicos de control).
- Subsistema de vía: instalado a lo largo de la vía.

A continuación, se mencionan los elementos de ambos subsistemas, con la salvedad de que dichos elementos pueden cambiar en cantidad y nombre de acuerdo con cada fabricante, pero esencialmente la funcionalidad es la misma.

##### 4.4.1 Subsistemas de a bordo

- EVC (*European Vital Computer*): núcleo central del ERTMS, realiza las funciones propias de ERTMS y controla al resto de los elementos.
- STM (*Specific Transmission Module*): ejecuta funcionalidad equipo nacional de vía.
- DMI (*Driver Machine Interface*): realiza las funciones de interfaz humana con el maquinista en el pupitre de conducción.

<sup>55</sup> URL niveles ERTMS: [http://www.ertms.net/?page\\_id=42](http://www.ertms.net/?page_id=42)

- JRU (*Juridical Recorder Unit*): realiza función de almacenamiento y registro de datos relevantes de la misión. Su uso principal es el esclarecimiento de responsabilidades en caso de accidente y para mantenimiento.
- TIU (*Train Interface Unit*): depende del tren, controla funciones específicas del tren.
- BTM (*Balise Transmission Module*): se ocupa de la recepción de información a través de eurobalizas.
- Euroradio: se ocupa de gestionar las comunicaciones radio GMS-R.
- Odometría: realiza la función de obtención de localización.

#### 4.4.2 Subsistema de vía

- Eurobalizas: elemento de transmisión de información puntual.
- Eurolazo: elemento de transmisión de información *Infill* de manera continua.
- RBC (*Radio Block Centre*): elemento de gestión de tráfico y generación de información de manera continua.
- Enclavamiento: elemento de gestión de tráfico ferroviario.
- LEU (*Line Encoder Unit*): elemento gestor de los telegramas de balizas.

Dada la inversión necesaria en equipamientos tanto en la vía como a bordo del tren y las condiciones actuales de la red ferroviaria en AMBA según la descripción realizada en el capítulo 2, la recomendación más lógica a las entidades estatales que administran la infraestructura ferroviaria sería implementar el nivel 1 de ERTMS en las tres líneas de mayor demanda de pasajeros, como son la línea Roca, línea Sarmiento y línea Mitre.

Una vez realizada la inversión se debe evaluar la evolución de las siguientes variables a fin de verificar si esta implementación digital produce el beneficio social acorde a lo esperado.

- Mejora de la calidad del servicio – percepción del usuario
- Aumento de la demanda de pasajeros
- Recupero de la inversión

- Reducción de la congestión en accesos y arterias principales

Las aplicaciones digitales que surgieron en el último tiempo, entrega a los usuarios el poder de evaluar la calidad del servicio y cuan satisfecho están, hacer reclamos *online*, comprar pasajes, tomar decisiones según demora y congestión, entre otras cosas y representan una gran oportunidad para dar el salto tecnológico que el servicio requiere.

## CAPÍTULO 5: INTRODUCCIÓN A LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

Con los temas desarrollados en los capítulos previos, donde en el capítulo 2 se describió el estado general del servicio ferroviario en AMBA, en el capítulo 3 los conceptos básicos de señalamiento y en el capítulo 4 el sistema ERTMS y sus distintos niveles, se considera un buen punto de partida para avanzar hacia el próximo paso que es la Digitalización y el impacto que podría tener en esta Industria.

Según datos de la consultora PwC Argentina <sup>56</sup>, la transformación digital, también conocida con el término de revolución industrial 4.0 no es una moda, o algo que esté de paso, sino que es una transformación del modelo de negocio que atraviesa a todas las industrias, en la tabla 15 se observa el porcentaje de digitalización por industria en Argentina, donde no menciona la industria ferroviaria.

Conceptos novedosos como la robótica, el *Big Data*, el Internet de las Cosas, del inglés *Internet of Things* (IoT), la Inteligencia Artificial, Cadena de Bloques, del inglés *Blockchain*, interactúan con personas y/o dispositivos alcanzando beneficios que antes eran impensados. En resumen, se puede decir que el concepto de industria 4.0 es la introducción de las tecnologías digitales en los procesos de fabricación. En Argentina de acuerdo con la investigación realizada por PwC en el Estudio Digital en Argentina la digitalización y sus ventajas tiene los siguientes niveles de familiarización por tipo de Industria.

Tabla 15: Niveles de Digitalización por Industria

Industria	Nivel de Familiarización
Automotriz	45%
Química	50%
Electrónica y Eléctrica	58%
Alimentos y Bebidas	66%
Construcción	40%
Construcción de Maquinaria	21%
Metalúrgica	65%

<sup>56</sup> PwC: Estudio de Digitalización en Argentina URL: <https://www.pwc.com.ar>

Transmisión de Energía	57%
Gas y Petróleo	25%
Retail/Venta Mayorista	33%

Fuente: Digitalización Encuesta y Argentina 2017 & Buchele CC GmbH

Si se realiza una perspectiva histórica, se observa que casi cualquier smartphone de la actualidad tiene una capacidad de procesamiento mayor a la que tenía un Mainframe IBM de hace 20 años, la cual estaba disponible solo para grandes compañías por su enorme costo, complejidad y volumen, esto sumado a la banda ancha móvil que permite una comunicación inmediata, otorga una conectividad e integración entre cualquier plataforma, objeto (IoT) y los usuarios.

Según un estudio realizado por la Universidad Complutense de Madrid<sup>57</sup> la integración entre las distintas fuentes generadoras de datos, como pueden ser: las redes sociales, las máquinas, los colectores de datos, el marketing web, las transacciones a través de dispositivos móviles y la conectividad genera un volumen de información con crecimiento exponencial que llamados Big Data, los cuales han de ser capturados, almacenados, analizados y procesados para tomar decisiones de forma correcta lo más pronto posible, de tal forma que el Big Data se convierta en *Smart Data* a través de otros niveles de procesamiento.

Esta transformación digital, claramente ya es parte de nuestra forma de vida, influye en la forma en que nos comunicamos y nos relacionamos, y por supuesto más tarde o más temprano también afectará al servicio ferroviario, la forma en que viajamos y como nos transportamos, en resumen, a nuestra movilidad.

Para un mayor entendimiento se definen términos asociados a la digitalización, que luego serán plasmado en casos reales, en algunas aplicaciones estos términos se interrelacionan entre sí de acuerdo con el tipo de solución o desarrollo implementado.

---

<sup>57</sup> URL: <https://www.masterbigdataucm.com/que-es-big-data/>

## **Big Data**

Existen varias definiciones de Big Data, intuitivamente el término se refiere a grandes volúmenes de datos que son procesados de forma inteligente para obtener información y mejorar la toma de decisiones.

Se adopta la definición de las 3 Vs de la fuente Armentia, Gorka<sup>58</sup>, dado que resulta precisa y descriptiva:

- Volumen: grandes volúmenes de información
- Variado: información de tipos y fuentes muy diversas
- Velocidad: la información se genera a gran velocidad

Según Orange <sup>59</sup>, empresa líder en servidores de internet, cada día se generan 2,5 trillones de bytes de información y el 90% de los datos de todo el mundo se han producido los últimos 2 años. En un segundo se generan 2,9 millones de emails, en un día se generan 50 millones de tuits y en un mes se navegan 700 billones de minutos en Facebook. El crecimiento del tamaño de la información que se genera es exponencial. Todos estos datos provienen de aplicaciones, transacciones, dispositivos móviles o de escritorio, redes sociales, portales de contenidos, correo electrónico, sensores, etc.

El Big Data abre un abanico de posibilidades en diferentes sectores, desde la prevención de epidemias, la mejora en la recaudación de impuestos, la seguridad en la vía pública, el control de masas, la industria retail, la recolección de residuos, etc. y obviamente la congestión del tránsito donde los proveedores de servicio pueden utilizarlo para mejorar la planificación y la disponibilidad del servicio, el mantenimiento y la experiencia al pasajero, como veremos más adelante.

---

<sup>58</sup> (Armentia , Gorka) – URL: [www.consultec.es](http://www.consultec.es)

<sup>59</sup> Orange URL: <http://blog.orange.es/red/datos-mundo/>

## **IoT (*Internet of Things*)**

El Internet de las Cosas, resulta un concepto bastante abstracto, por lo tanto para un mejor entendimiento se tomaron dos definiciones, una de Wikipedia<sup>60</sup> y otra de una empresa líder en análisis de datos llamada Software y Soluciones de Analítica (SAS)<sup>61</sup>, ya que son complementarias y ayudan a una mejor definición.

Según Wikipedia, IoT es un concepto que se refiere a una interconexión digital de objetos cotidianos con la internet, en definitiva, es la conexión de internet orientada a los objetos y no a las personas.

Según Software y Soluciones de Analítica, IoT se refiere a un vasto número de "cosas" que están conectadas a Internet para que puedan compartir datos con otros dispositivos conectados, máquinas y más. Los dispositivos conectados a Internet utilizan sensores incorporados para recoger datos y en algunos casos, actuar en consecuencia.

## **Computación en la Nube (*Cloud Computer*)**

La computación en la nube se refiere a la entrega de recursos de computación (servidores, almacenamiento, base de datos, software, análisis, etc.) a través de internet, ubicados en la nube y donde se abona por su uso, con lo cual se reduce los costos y se maximizan los recursos.

En la computación en nube una aplicación no accede a recursos directamente, sino que accede indirectamente a través de un servicio, que a su vez compromete los recursos físicos necesarios para responder a la aplicación.

La ventaja principal es que permite almacenar gran capacidad de datos por tener una arquitectura distribuida, sin inversión de capital, simplemente a través de un abono

---

<sup>60</sup> (Wikipedia, 2020) URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Internet\\_de\\_las\\_cosas](https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas)

<sup>61</sup> SAS URL: [https://www.sas.com/content/dam/SAS/en\\_us/doc/whitepaper1/non-geek-a-to-z-guide-to-internet-of-things-108846.pdf](https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper1/non-geek-a-to-z-guide-to-internet-of-things-108846.pdf)

mensual a un servicio de *web-service-storage* como los que brinda Amazon<sup>62</sup>, Microsoft<sup>63</sup>, entre otras.

Estos conceptos, en la industria ferroviaria son completamente novedosos, abriendo oportunidades a un universo de aplicaciones, como por ejemplo, el caso Cloud Computer junto con IoT fueron las herramientas tecnológicas para el impulso del Enclavamiento Digital que veremos en el capítulo 6.5.

El caso práctico de Big Data es que permite realizar el análisis de los datos para adquirir un conocimiento más profundo en la operación de trenes, la causa raíz de fallas, el comportamiento de los pasajeros para mejorar la planificación del servicio, el mantenimiento, etc.

### **5.1 Transformación del modelo de negocio de la movilidad urbana:**

A partir de las tecnologías digitales se produce un cambio de paradigma en la movilidad urbana y dicho cambio es conocido como movilidad como un servicio, del inglés *Mobility as a Service (MaaS)*, donde el foco está puesto en el usuario, tratando de ofrecer la solución más eficiente en cada momento del traslado, integrando datos procedentes de distintas fuentes de información a fin de generar una intermodalidad fácil y sencilla, donde el servicio de trenes representa una alternativa más de transporte, entre otras disponibles y es el usuario, quien a través de una ampliación tiene la posibilidad de optar la forma de movilizarse, según le resulte más conveniente.

A partir del análisis de los datos surgen un sin número de oportunidades, con el objetivo de entender mejor las necesidades del usuario, ayudando a la planificación del viaje desde el punto de inicio hasta lugar de destino.

En la actualidad existen diferentes aplicaciones que entregan información de acuerdo con el servicio que ofrece cada una, en la figura 25 se pueden apreciar las aplicaciones

---

<sup>62</sup> Amazon URL: <https://aws.amazon.com/products/storage/>

<sup>63</sup> Microsoft URL: <https://azure.microsoft.com/>

de uso más común entre los usuarios, pero la interacción entre ellas no existe o es mínima en algún caso.

Figura 25: Aplicaciones de movilidad urbana



Fuente: Imágenes de Internet de acuerdo con cada aplicación <sup>64</sup>

Si se pudiera integrar los datos de las aplicaciones indicadas en la figura 25 en una única plataforma abierta que concentre la información en tiempo real y la ofrezca de forma ordenada y útil permitiría que el usuario pueda tomar las mejores decisiones para su traslado.

A partir de este cambio de concepto en la movilidad, los gobiernos y/o operadores de servicio a través de una plataforma digital multimodal pueden ofrecer servicios con valor agregado, como por ejemplo:

- Brindar facilidades en la compra del ticket, realizándola desde la aplicación.
- Personalizar el servicio, ofreciendo promociones según el perfil del usuario
- Brindar información al usuario de las mejores rutas disponibles
- Brindar alertas en caso de demoras, congestión y/o imprevistos.

---

<sup>64</sup> **Moovit**: es una aplicación que brinda todas las opciones de transporte local, de forma cómoda, inteligente y sencilla. Ha sido nombrada una de las mejores aplicaciones del año en 2016 y 2017 por Google Play y Apple Stores - [www.moovitapp.com](http://www.moovitapp.com)

**SUBE**: tarjeta necesaria para viajar en tren, subte y colectivos. [www.tarjetasube.sube.gob.ar](http://www.tarjetasube.sube.gob.ar)

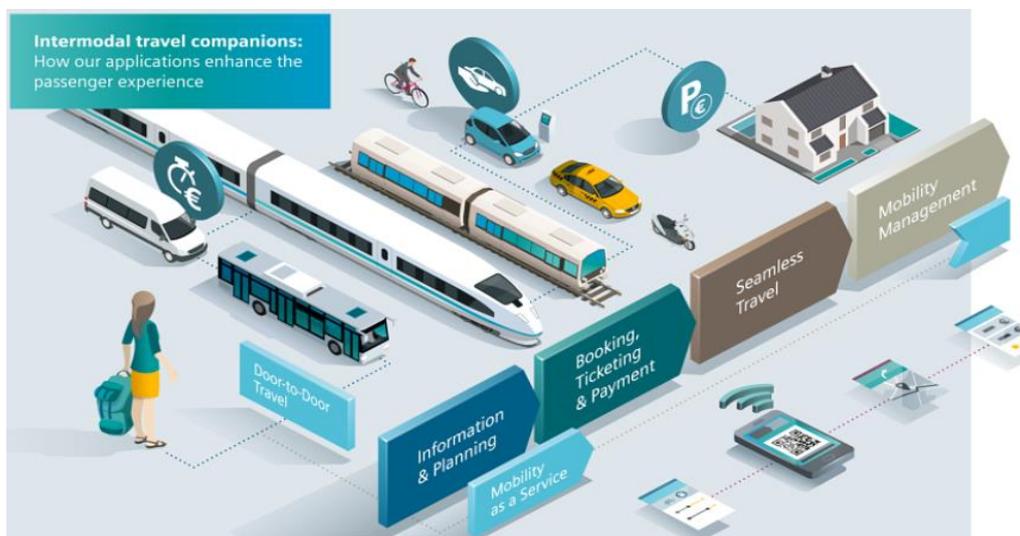
**Trenes Argentinos**: es una aplicación que informa el estado del servicio de las líneas de trenes, en cuantos minutos llega el próximo tren a la estación, y envía alertas del servicio en caso de imprevistos. <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos/app>

**BA Subte**: es una aplicación que brinda el estado del subte en tiempo real y envía alerta en caso de demoras o interrupciones. <https://www.buenosaires.gob.ar/aplicacionesmoviles/ba-subte>

**Google Maps**: es una aplicación que brinda el estado del tráfico, información de transporte público y la distintas formas de llegar a un destino. Permite compartir la ubicación en tiempo real y se alimenta de las contribuciones de los usuarios. <https://www.google.com/maps>

La figura 26 visualiza el concepto que se viene desarrollando, donde los diferentes medios de transporte convergen en un solo punto, que es la aplicación y en el caso que surja un nuevo sistema de transporte, como pueden ser la EcoBici <sup>65</sup> y los monopatines eléctricos <sup>66</sup> en Capital Federal, esto no implica que reemplace a otro sistema preexistente, sino más bien aumenta la oferta disponible, ofreciendo otras alternativas de movilidad integradas resultando en beneficio a los usuarios de acuerdo con las necesidades y preferencias.

Figura 26: Concepto de Servicio multimodal



Fuente: (Siemens Mobility, 1996 – 2020)

En el caso de los trenes que ofrecen viajes a gran distancia tiene la dificultad de que no pueden ofrecer un servicio puerta a puerta o de última milla y los servicios alternativos pueden brindar esta facilidad.

Claramente el nuevo concepto de Movilidad como Servicio, centrado en el usuario final, cambia el paradigma de la movilidad, ya que genera una interacción entre proveedor del servicio y el usuario, donde ambos aportan y reciben información.

<sup>65</sup> EcoBici: URL <https://www.baecobici.com.ar/es/inicio>

<sup>66</sup> URL: <https://movo.me/ar/>

Un ejemplo sencillo de lo mencionado es la calificación de la calidad del servicio que realiza usuario, de esta manera informa al operador los puntos o área de mejora, al mismo tiempo que brinda información al resto de los usuarios.

El caso de la ciudad de Nueva York, EE.UU. con el servicio de bus de la empresa (del inglés *Metropolitan Transportation Authority*, MTA) <sup>67</sup>, es un buen ejemplo de cómo un gobierno utiliza los datos abiertos para favorecer el ecosistema de los distintos medios de transporte permitiendo el desarrollo de aplicaciones abierta por la comunidad de los desarrolladores.

El acceso irrestricto a los datos impulsó a desarrolladores independientes a desarrollar aplicaciones de movilidad con el fin de brindar información que mejore la experiencia de los viajeros. Estos conjuntos de datos han sido publicados en un formato de Google GTFS<sup>68</sup>, dado que posibilita la aplicación de los mismos algoritmos para implementar soluciones a través de diferentes modos de transporte incluyendo coordenadas geográficas, horarios, datos de demanda de tickets e información de llegada y salida en tiempo real de cualquier medio de transporte.

De acuerdo con lo informado por las Naciones Unidas <sup>69</sup>, respecto a las estimaciones de crecimiento a nivel mundial, la población crecerá un 15% y la economía un 25% para el 2035, la cantidad de viajes aumentó de 403.000 a 447.000 por día entre 2011 y 2014 y los diferentes medios de transporte juegan un rol clave para apoyar dicho crecimiento.

Para continuar con este apasionante viaje, se citan diferentes casos de implementación de la digitalización en distintas ciudades del mundo, con el objetivo de mostrar el abanico de oportunidades de mejoras en el servicio ferroviario.

Un buen punto de partida puede ser salir de una Estación Digital que se desarrolla en subcapítulo 7.1.

---

<sup>67</sup> (MTA) URL: <http://web.mta.info/developers/developer-data-terms.html>

<sup>68</sup> GTFS (Google, 2020) URL: <https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=es-419>

<sup>69</sup> (Naciones Unidas, 2018) URL: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

## CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Como se indicó en la introducción la metodología de investigación fue de tipo cualitativa de tipo documental y descriptiva.

El criterio adoptado fue comenzar con los conceptos básicos de trenes y señalamiento ferroviario, ya que se consideran necesarios para nivelar conocimientos a cualquier lector ajeno al tema.

En lo que respecta a datos del servicio, se buscó información de fuentes y base de datos oficiales, acotando el alcance a las siete líneas que brindan el servicio urbano en el AMBA, a partir de la descripción de la situación actual del servicio se tomaron ejemplos de operadores europeos y asiáticos a fin de demostrar las ventajas de la transformación digital. Es importante mencionar que en el país no hay instalaciones digitales en infraestructura ferroviaria, por lo que necesariamente se tuvieron que adoptar casos de otros países.

También se realizaron visitas y relevamientos a estaciones y a dos centros de operaciones, Línea Mitre y Línea San Martín, en las que se pudo comprobar que los equipos instalados datan del 1900 y aunque les correspondería estar en un museo de antigüedades, sin embargo continúan en operación. En contraste con esto se visitaron centros de operaciones en España, donde los equipos que brindan el servicio de trenes urbanos o de cercanía son propio de la tecnología actualmente disponible, según lo descrito en el capítulo 4.

Respecto a la tecnología propiamente dicha, se investigó la información de páginas web y organismos oficiales como es el caso de Unión Europea y el desarrollo ERTMS.

Los ejemplos prácticos en los que se pudo verificar la utilidad e impacto de la digitalización, por la aplicación de *Big Data*, *IoT*, *Cloud Computer*, se tomaron en su mayoría de publicaciones de la empresa Siemens Mobility, la misma tiene una posición de liderazgo en el sector, especialmente en los conceptos de digitalización.

Se excluyó de la presente tesis el análisis de la inversión y retornos financieros de la inversión necesaria para implementar la DIGITALIZACION, sino que se limitó a indicar las ventajas y beneficios que esta representa.

El instrumento utilizado fueron entrevistas a expertos en el rubro ferroviario, con amplia experiencia y conocimiento en la materia.

### 6.1 Entrevistas a expertos

Llamativamente en la industria ferroviaria, la digitalización con los conceptos previamente vertidos no ha avanzado como en el resto de las industrias y prácticamente se ha mantenido inalterable.

Tal vez una posible causa del retraso se deba a que los Operadores del Servicio tiendan a implementar en sus servicios, tecnologías con un “probado uso ferroviario”, generalmente con al menos diez años de maduración.

Para entender mejor como la Digitalización puede impactar en el transporte ferroviario, se realizó entrevistas a cinco expertos, con vasta experiencia comprobable en la industria, su nivel de conocimiento técnico hace que en el sector se los considere como personas de consulta permanente.

A continuación se lista las personas entrevistadas, el cargo y la empresa en la cual trabajan:

Apellido	Nombre	Cargo	Empresa
Cafiero	Miguel	CEO	Siemens Mobility Argentina
Viale	Diego	Head Project	Siemens Mobility Argentina
Reques	Juan José	Head R&D Software	Siemens Mobility España
Sartori	Javier	Gerente Ingeniería Señalamiento	ADIF
Garcia	Ricardo	Gerente Transporte Línea Mitre	SOFSE

A las que se les preguntó lo siguiente:

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes?
2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y la experiencia al usuario que justifiquen la inversión?
3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, como se implementó en otras industrias?

Las respuestas con la transcripción completa están registradas en el **ANEXO VII**.

En base a las respuestas recibidas, se realiza un análisis por dimensiones, según la tabla 16, lo que permite observar la información más importante de lo dicho por cada uno y compararla entre ellos.

Tabla 16: Análisis por dimensiones

<b>Dimensión</b>	<b>Cafiero</b>	<b>Viale</b>	<b>Reques</b>	<b>Sartori</b>	<b>Garcia</b>
<b>Tecnologías para la digitalización</b>	Disponible al usuario y operador de forma incipiente en aplicaciones móviles	En fase de desarrollo, pero con impacto positivo al usuario y operador	Depende de los tecnólogos	Requiere capacitación del operador. Cambio cultural	Requiere capacitación del operador
<b>Cambios que trae la digitalización en el servicio de trenes</b>	Optimizan la operación	Los operadores pueden actuar de forma preventiva	Logra un cambio radical integrando servicios	Optimiza el mantenimiento	Elimina la tecnología analógica
<b>Cambios en rendimiento</b>	Aumenta, en base a lo ocurrido en otras industrias	Aumenta, mejorando la percepción	Aumenta, permitiendo ajustar el servicio en forma dinámica	Aumenta, dado el gran volumen de datos permite tomar decisiones más óptimas	Aumenta, por los ahorros que se generan
<b>Cambios en disponibilidad</b>	Aumenta, en base a lo ocurrido en otras industrias	Aumenta, ya que garantiza un mejor servicio	Aumenta, dado que se ajusta	Aumenta	Aumenta, disminuyendo el nivel de fallas

			según demanda		
<b>Experiencia del usuario con las nuevas tecnologías</b>	Favorable, como parte de una evolución lógica	Favorable, con Información disponible en tiempo real	Mejora en todo sentido	Representa un salto en la calidad y seguridad del servicio	Exitosa, según experiencia previa
<b>Implementación de tecnologías en ferrocarriles</b>	Es la operadora ferroviaria quien interpreta las necesidades de los usuarios y focaliza donde realizar la implementación para cerrar la brecha tecnológica	Está sujeta a fondos económicos disponibles para su implementación	Logra un cambio radical en el servicio y los beneficios hacia el usuario	Genera un ahorro sustancial a mediano y largo plazo	Será favorable en todo sentido

Se puede mencionar que la transformación digital tiene un impacto directo en el usuario del servicio, en el operador y en la transformación del modelo de negocio tal como se conoce en la actualidad.

Llama la atención el alto nivel de coincidencia entre las opiniones de los expertos entrevistados, siendo esto una indicación clara de que la digitalización responde de forma favorable a las preguntas que nos hicimos en la introducción, página 12.

## **6.2 Análisis FODA<sup>70</sup> de la transformación digital en la industria ferroviaria**

Resulta oportuno introducir dos análisis FODA, uno de la situación actual y otro a partir de la implementación de la digitalización que permita mostrar de forma objetiva las cuatro áreas que dicho análisis abarca con el objetivo de identificar las características

<sup>70</sup> Matriz FODA: Matriz de Fortaleza – Oportunidades – Debilidades – Amenazas creada por Albert S. Humphrey

internas (Fortalezas y Debilidades) y las situaciones externas (Oportunidades y Amenazas) de esta implementación.

Generalmente este análisis se aplica a una empresa, pero también es válido aplicarlo a un proyecto o a un desarrollo tecnológico como en el presente estudio.

Las fuentes de la siguiente Matriz FODA se citan haciendo referencia a páginas de la presente tesis, a partir de lo ya desarrollado y las fuentes precitadas.

### FODA Situación actual:

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<p>Capacidad de trasladar gran cantidad de pasajeros por largas distancias y a muy bajo costo. Fuente: Tabla 1 en Página 36</p> <p>No tiene impacto en el medio ambiente por ser eléctrico. Fuente: Páginas 22 a 25</p> <p>Tiene una barrera muy alta respecto a la aparición de competencia o servicios complementarios por la infraestructura necesaria. Fuente: Subcapítulo 1.1 Página 15</p> <p>Sistema de compra de tickets muy accesible a través de la tarjeta SUBE. Fuente: Figura 25 en Página 82</p>	<p>Realizar el cambio tecnológico en los sistemas de enclavamiento. Fuente: Página 76</p> <p>Mejorar la infraestructura de vías, estaciones y material rodante. Fuente: Página 76</p> <p>Adaptar sus funcionalidades de acuerdo con la afluencia de pasajeros. Fuente: Subcapítulo 7.4.1 en Página 108</p> <p>Mejorar la calidad de servicio. Fuente: Subcapítulo 7.4</p>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<p>Muchas interrupciones o cancelaciones de servicio.</p> <p>Poca frecuencia de trenes</p> <p>Poca información al usuario</p> <p>Poca interconectividad con otros medios de transporte.</p> <p>Hacinamiento en el viaje en horarios pico.</p>	<p>El surgimiento de otros servicios más flexibles como son el <i>Car Pooling</i>, las EcoBici, u otros medios compartidos. Fuente: Figura 26 Página 83.</p> <p>Poca inversión en obras de infraestructura para servicios alternativos basados en aplicaciones.</p>

<p>Problemas operativos de forma frecuente. Poca exactitud en los horarios de partida. Fuente: Nota al Pie 28 Página 36</p> <p>No ofrece servicio puerta a puerta o de última milla. Fuente: Página 83</p> <p>Personal antiguo, sin capacitación en las nuevas tecnologías. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Riesgo de accidente por malas condiciones de la infraestructura. Fuente: Página 60</p>	<p>Fuente: Nota al Pie 65 y 66 en Páginas 81 y 86</p> <p>Alta sensibilidad a los problemas sindicales. Fuente: Página 37.</p> <p>Las inversiones necesarias dependen de las políticas del gobierno de turno y la situación económica existente. Fuente: Tabla 16 Página 87</p>
--	--

### FODA con la implementación de la digitalización:

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<p>Brinda información al pasajero del estado de servicio, arribo del próximo tren. Fuente: Subcapítulo 7.1.2 Páginas 94 y 95</p> <p>Brinda máxima seguridad operativa. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Adapta automáticamente la cantidad de trenes en servicios de acuerdo con la afluencia de pasajeros. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Posiciona a un servicio público de necesidad primaria a la vanguardia de la tecnología. Fuente: Capítulo 4</p>	<p>Capacitar al personal en las nuevas tecnologías. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Mejorar la frecuencia de trenes. Fuente: Subcapítulo 7.1.1 Páginas 93 y 94</p> <p>Desarrollar aplicaciones que integren este servicio con otros servicios transporte para lograr una movilidad intermodal. Fuente: Figura 26</p> <p>Disminuir sustancialmente los tiempos de traslado. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Disminuir sustancialmente el hacinamiento en las horas pico. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Disminuir la congestión de tránsito en los accesos debido a una mayor preferencia por parte de los usuarios a partir de la</p>

	<p>mejora en la calidad de servicio. Fuente: Página 10</p> <p>Reducir los gastos por mantenimiento</p> <p>Fuente: Subcapítulo 7.3</p>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<p>No soluciona el problema del transporte en la última milla. Fuente: Página 83</p> <p>Personal poco capacitado en la tecnología, con poco conocimiento para realizar la operación de esta tecnología. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Implica un cambio cultural para el personal actualmente en servicio. Fuente: Tabla 16 Página 87</p>	<p>Requiere de alta inversión de capital y mucho tiempo para su recuperación. Fuente: Subcapítulo 4.4.2 Página 76</p> <p>Puede existir oposición al cambio tecnológico por parte de los actores sindicales, ya que requiere menor cantidad de trabajadores. Fuente: Página 37</p> <p>Las inversiones necesarias dependen de las políticas del gobierno de turno y la situación económica existente. Fuente: Tabla 16 Página 87</p> <p>Implementación por parte de las empresas de políticas de teletrabajo que desalienten el uso del transporte público.<sup>71</sup></p>

<sup>71</sup> URL: <https://www.clarin.com/tema/home-office.html>

## **CAPÍTULO 7: ÁREAS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN**

En este capítulo se desarrollan las áreas específicas en el servicio de trenes en las cuales se pueden identificar implementaciones de la digitalización que brindan un cambio positivo en el servicio.

Cada subcapítulo desarrolla una implementación, donde en algunos casos se plantean conceptos innovadores y en otros se citan casos reales de lugares donde fueron implementados y se comparten los resultados obtenidos.

### **7.1 Digitalización en las Estaciones**

Las estaciones ya sean terminales o intermedias son los nodos más importantes en cualquier línea de trenes, ya que en base a la ubicación de estas es que se puede acceder al transporte de tren, también estas permiten la transferencia de forma segura a otros modos de transporte, un ejemplo es la conexión en la estación Retiro Línea Mitre con el subte línea C y Línea E.

Si la transferencia entre distintos transportes públicos en una estación se realiza de forma confiable, sin contratiempos y sin tiempos de esperas excesivos, esto convierte al servicio ferroviario más atractivo y popular. Una estación digital puede ofrecer mayores funcionalidades, una gestión más eficiente de la infraestructura, información en tiempo real al usuario y optimización en la operación, permitiendo una reducción de costos operativos y un mayor confort en la experiencia al usuario.

#### **7.1.1 Control de acceso**

Con la ayuda de sensores en las puertas de ingreso se puede conocer de forma bastante precisa la cantidad de personas que ingresan y egresan de una estación en tiempo real y a partir de esta información se puede adaptar en forma automática los siguientes servicios:

- Ajuste de la velocidad de las escaleras automáticas
- Ajuste de la temperatura del aire acondicionado
- Ajuste de cantidad de luces encendidas
- Asignación dinámica de trenes en servicio

Ayudando a alcanzar el objetivo de optimizar la capacidad y la infraestructura disponible en la estación, logrando una significativa mejora en la experiencia al pasajero.

Por ejemplo, en caso de un evento deportivo, cercano a una estación genera un pico de demanda de pasajeros al comienzo y final del evento, generando un cuello de botella, hacinamiento, oferta de trenes insuficiente, con la consecuente demoras en liberar la zona y si los ánimos están alterados como ocurre frecuentemente en los partidos de fútbol, esta demora pico de demanda puede ocasionar daños mayores.

Una Estación Digital tiene la posibilidad de adaptar sus servicios e infraestructura de forma inteligente, ayudando a liberar la zona de forma rápida en caso de tumulto. Por citar un ejemplo se puede mencionar la Estación Ciudad Universitaria de la Línea Belgrano Norte, muy próxima a un estadio de fútbol, que los días de evento deportivo recibe una altísima concurrencia.

De acuerdo con lo informado por la web de Trenes Argentinos <sup>72</sup>, la frecuencia del día domingo, es de un tren cada 25 minutos a las 13hs y un tren cada 20 minutos a las 20hs. El detalle de los horarios se puede observar en el **ANEXO V**.

Para el evento deportivo, se espera una concurrencia de aproximadamente 60.000 – 70.000 personas. No se tienen datos precisos de que porcentaje arriba al estadio a través del tren, por tal motivo se estableció un criterio razonable suponiendo que el 7% de las personas usan el servicio de trenes para arribar y volver del estadio, bajo dicho criterio la demanda es 4900 personas aproximadamente.

Para calcular la oferta del servicio, se considera la capacidad de una formación de 6 coches, que es de 1474 personas, se puede considerar que el tren o está vacío y tiene una ocupación previa del 40% al pasar por la Estación Ciudad Universitaria, con lo cual la capacidad real disponible es de 884 personas.

---

<sup>72</sup> (Trenes Argentinos Infraestructura, 2020) URL: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos-infraestructura>

Para trasladar a las 4900 personas al momento de finalizar el evento, ya que todas parten de la misma estación se requiere de 5,54 formaciones de trenes (6 servicios), que llevado a tiempo implica 120 minutos = (6 formaciones x 20 minutos), necesarios para liberar la zona.

A través de la estación Digital, se puede realizar la asignación dinámica del servicio según afluencia de público, considerando una frecuencia de no más de 7 minutos de espera (algo similar a las frecuencias de días hábiles en horarios pico).

Se recalcula el tiempo de liberación de la zona con los nuevos criterios:

Capacidad real disponible:  $1474 \times 60\% = 884$  personas (ya está ocupado un 40%)

Frecuencia: 1 tren cada 7 minutos.

Demanda de 4900 personas

Oferta necesaria:  $4900 / 796 = 5,54$  formaciones de trenes (6 servicios), que llevado a tiempo implica 42 minutos = (6 formaciones x 7 minutos), necesarios para liberar la zona.

Este simple ejercicio muestra como una característica de la digitalización permite reducir el tiempo de liberación de 120 minutos a 42 minutos.

### **7.1.2 Servicio de Información al Usuario**

Un agente financiero diría que contar con información confiable otorga previsibilidad y ayuda a la toma de decisiones, lo mismo aplica para un usuario de transporte público que tiene que ir a trabajar de forma diaria cumpliendo un horario de ingreso para no perder parte del sueldo o afectar su productividad.

En la actualidad, las estaciones de trenes no cuentan con un sistema de información al usuario que indique información básica, como ser horario de la próxima salida, del próximo arribo, plataforma de salida, etc.

Llegar a una estación a tomar un tren, y no conocer cuánto es el tiempo de espera del próximo tren resulta inadmisibile dada la tecnología disponible en la actualidad.

Un método bastante común que usan los usuarios es preguntar a otra persona que espera sobre el andén si hace mucho tiempo que está esperando y en base a eso calcular un tiempo estimado de arribo, bien coloquial, claramente no es aceptable.

Tampoco se entiende porque los operadores no brindan esta información, haciendo que los mismos usuarios se terminen adaptando o resignando a este tipo de servicio, sin ningún tipo de previsibilidad, como si no fuera importante conocer el tiempo de espera y en consecuencia el tiempo total de viaje.

A través de monitores en las estaciones, que brinden información clara del estado del servicio se mejora sustancialmente la experiencia del usuario, esto se puede implementar conociendo la ubicación y velocidad del tren, (utilizando ETCS nivel 1 o 2) de modo tal de calcular fácilmente los horarios de arribo.

En los monitores ubicados en plataformas, que se operan de forma remota desde el centro de control, se puede brindar la siguiente información:

- Fecha y Horario actual
- Tiempo de partida de los próximos trenes
- Tiempo de arribo a las estaciones destinos (todas las estaciones de la línea)
- Número de plataforma de arribo/partida de los siguientes trenes
- Campo de texto para notificar eventos o situaciones imprevista

Por otro lado, con sensores de conteo bidireccionales ubicados en las puertas de los coches, se puede conocer de forma bastante precisa la cantidad de pasajeros que están de modo tal que, al aproximarse el tren, los usuarios puedan conocer cuál es el vagón que tiene mayor espacio disponible, por lo menos con anterioridad a que se produzca el descenso de los pasajeros en esa estación.

Si bien este sistema de contar los pasajeros a través de sensores bidireccionales no sería exacto, ya que tendría errores de contero por ingresos y egresos simultáneos, el mismo tipo de error ocurriría en todas las puertas, con lo cual sería un error sistémico que se compensa y una metodología útil a los fines que se busca, que es la de mejorar la experiencia del viaje.

## 7.2 Digitalización en Paso a nivel

Desde el punto de vista del servicio ferroviario, una estación y un paso a nivel representan los puntos de interfaces hacia otro tipo de movilidad, ya sea peatonal o motorizada. En el caso de la estación, es el punto de acceso del pasajero y el caso del paso a nivel hacia el resto de las movilidades que cruzan sobre las vías.

Está claro que un paso a nivel es un punto de conflicto para la circulación de trenes, y también para automóviles y peatones.

Existe un peligro natural dado que confluyen en un único punto distintos medios de transporte. Para cualquier automovilista o peatón el momento de atravesar las vías resulta de altísimo riesgo y desconfianza por no saber si el paso a nivel está funcionando correctamente, a que distancia se encuentra el tren, cuanto tiempo tardará en pasar, etc.

Por otro lado, puede existir falta de mantenimiento y vandalismo, resultando en ausencia o mal funcionamiento de la barrera, la señal sonora o señal lumínica.

El tiempo que permanece la barrera baja es excesivo, ya que generalmente se baja cuando el tren se encuentra en la estación anterior o aún muy lejos del cruce, esto tienta a los automovilistas apurados a cruzar las vías generando el potencial riesgo de accidente.

A los fines descriptivos y para dar una orden de magnitud acerca de la peligrosidad de los cruces de vías se indican estadísticas de Paso a Nivel de Estados Unidos publicadas por el Departamento de Transporte <sup>73</sup>, ya que no se pudieron conseguir datos oficiales de los trenes locales.

- Cada 3hs una persona o un vehículo es golpeado por un tren.
- Casi el 73% de los accidentes en Paso a Nivel ocurren con buenas condiciones climáticas

---

<sup>73</sup> (United States Department of Transportation, 2016) URL: <https://railroads.dot.gov/highway-rail-crossing-and-trespasser-programs/railroad-crossing-safety/safety-data-statistics>

- El 94% de las muertes en las vías férreas ocurren en los cruces peatonales, considerando los últimos 10 años.
- Solo el 54% de los cruces son ACTIVOS (incluyen barreras, campanillas y luces intermitentes), mientras que el otro 46% son PASIVOS (con carteles y cruz de San Andrés), con lo cual un tren podría aparecer en cualquier momento, sin alerta alguna.
- En el 2016 ocurrieron 260 accidentes fatales con automóviles, un incremento de 20% respecto al año anterior.

Se pueden mencionar diferentes ejemplos y situaciones que en definitiva describen una situación de peligro que pueden ser “salvables” incorporando tecnología digital en los pasos a niveles.

### 7.2.1 Procesamiento de imagen en el paso a nivel

Incorporando cámaras de video con un algoritmo de procesamiento de imagen en tiempo real se pueden determinar los distintos “elementos” que están confluyendo en el cruce al mismo tiempo, en la figura 27 se puede observar como una cámara puede identificar una imagen de acuerdo con sus dimensiones.

Estas imágenes transmitidas vía GPRS del inglés General Packet Radio Service <sup>74</sup> o LTE del inglés Long Term Evolution <sup>75</sup> y procesadas son presentadas en un monitor en un centro de control lo que permite al operador detectar cualquier evento de riesgo antes que el tren se aproxime al cruce, de esta manera de forma anticipada se puede dar una alerta al maquinista de objeto o una situación anómala en vía, y este podría disminuir la marcha y accionar otro mecanismo de alerta como ser la activación de bocina y/o luces altas o el freno de emergencia según se requiera.

---

<sup>74</sup> GPRS es una extensión de la tecnología de comunicaciones móviles GSM. En ella la información es dividida en pequeños bloques, los que posteriormente se reagrupan al llegar a destino. Este tipo de transmisión permite una mayor capacidad y velocidad.

<sup>75</sup> LTE Long Term Evolution (evolución a largo plazo) y hace referencia a la tecnología de banda ancha inalámbrica que sirve para la transmisión de datos con la finalidad de dar acceso a Internet a los dispositivos móviles.

Figura 27: Paso a nivel con procesamiento de imagen



Fuente: (Siemens AG, 2016)

Este procesamiento de imágenes no solo resulta útil para la seguridad del cruce, sino que agrega la capacidad de aprovechar los datos en forma de video para automatizar las inspecciones, la detección de intrusos y la detección de obstrucciones de forma inmediata.

La correlación temporal de datos y videos genera un registro que puede resultar útil, adicionalmente como prueba judicial.

Por otro lado, desde el punto de vista de las operadoras permite gestionar de forma centralizada la seguridad en la operación y los activos de la compañía, observando en tiempo real el estado de las barreras, luces, cabinas, etc.

Al mismo tiempo permite optimizar el mantenimiento, implementándose en cruces donde realmente resulte necesario, cambiando sustancialmente el problema de los pasos a niveles en zonas rurales o descampadas que en muchos casos se produce el vandalismo de las barreras.<sup>76</sup>

<sup>76</sup> <https://www.argentina.gob.ar/noticias/linea-mitre-se-renovo-el-paso-nivel-de-la-calle-san-martin-en-vicente-lopez>

Según la fuente de Estadísticas Transporte Ferroviario, 2019 <sup>77</sup> en el AMBA se totalizan 2.211 pasos o cruces, considerando los 642 paso a nivel, 963 paso vehicular y 606 paso peatonal.

### **7.2.2 Internet de las cosas en paso a niveles**

Como se mencionó, uno de los problemas más críticos es el excesivo tiempo con la barrera baja esperando que pase el tren, esto genera malestar por la pérdida de tiempo, congestión vehicular y un mayor riesgo que pasen vehículos aun con la barrera baja.

Otro ejemplo de cómo la tecnología digital puede ayudar a reducir sustancialmente el tiempo de espera consta de equipamiento y sensores ubicados en el paso a nivel que emite un pulso de baja frecuencia sobre la vía cada N segundos, de modo que si no hay un tren que se aproxime el pulso no retorna, pero si hay un tren aproximándose, el pulso retorna en forma de corriente.

De acuerdo con la ubicación del tren respecto al paso a nivel, donde está el equipo emisor y receptor, va cambiando la longitud de la vía y por lo tanto resistencia eléctrica del circuito y en consecuencia la corriente que circula, con lo cual a través de una tabla de conversión y correlación se puede conocer con precisión la distancia y velocidad del tren.

De esta manera se puede automatizar la bajada de barrera cuando la distancia del tren sea la mínima necesaria para el frenado, más una distancia de seguridad, disminuyendo considerablemente el tiempo de la barrera baja.

---

<sup>77</sup> (Estadísticas Transporte Ferroviario, 2019)  
<https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

### 7.3 Digitalización en el Mantenimiento

Básicamente existen dos tipos de mantenimientos, el mantenimiento correctivo, que actúa una vez producida la falla y el preventivo que como su nombre lo indica actúa para anticipar una posible falla antes que ocurra, un ejemplo claro de este último es el que se realiza a los automóviles cada cierta cantidad de kilómetros a fines de evitar roturas mayores. Se adopta una definición de estos tipos de mantenimiento de la industria petroquímica <sup>78</sup> ya que nos resulta más apropiada en base a un entorno industrial con alto nivel de disponibilidad de servicio.

**Mantenimiento Correctivo:** El mantenimiento realizado después de la identificación de un defecto y destinado a poner un producto en una condición en la que pueda realizar una función requerida.

**Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

Con la incorporación de la digitalización, surge un nuevo tipo de mantenimiento que se conoce como predictivo, este cambia radicalmente el concepto, permitiendo un uso más eficiente de los recursos.

**Mantenimiento Predictivo:** El mantenimiento que permite conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad y detectar desvíos del desempeño normal. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues

---

<sup>78</sup> (Garrido, 2012) URL <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>

requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

El mantenimiento en el servicio de trenes resulta vital y no puede ser algo librado al azar por tratarse de un servicio público, una falla en la infraestructura o en el material rodante puede generar desde pequeñas demoras en el servicio, interrupciones parciales, totales hasta un accidente catastrófico.

Generalmente el presupuesto asignado al mantenimiento por parte de las operadoras no resulta suficiente, no se pudo obtener datos oficiales del presupuesto anual asignado para el mantenimiento, pero si se conocen de los problemas de servicio que ocurren frecuentemente por desperfectos técnicos, lo cual se puede asociar a falta de presupuesto.

De acuerdo con lo informado por Trenes Argentinos <sup>79</sup>, respecto a las estadísticas del servicio en el año 2019, la tasa promedio de cancelaciones y retrasos del servicio para las siete líneas es del 20,80% manteniéndose en torno a dicha tasa los últimos cinco años, siendo del 36,79% en el año 2013, el peor año de los últimos 27. En el **ANEXO IV** se puede observar el detalle de las mismas.

La digitalización en el área de mantenimiento se puede implementar de diversas formas a modo de ejemplo a continuación se citan algunos casos prácticos.

### **7.3.1 Mantenimiento predictivo utilizando Big Data**

Estas aplicaciones básicamente consisten en la instalación de sensores con conectividad a internet montados en lugares específicos de la vía y/o el material rodante de modo que permita la captura de muchos datos en tiempo real, para luego ser analizados y procesados de forma correcta a fin de detectar fallas o anomalías de funcionamiento de forma anticipada.

---

<sup>79</sup> URL: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

Por otro lado, este gran volumen de datos permite analizar correlaciones a los efectos de encontrar explicaciones a las fallas con algún tipo de patrón de comportamiento o bien sacar conclusiones más precisas acerca de un análisis de falla o causa raíz.

Desde el punto de vista del operador del servicio, el mantenimiento predictivo evita realizar rutinas de mantenimiento innecesarias, además que permite mejorar la disponibilidad del servicio ya que se actúa sobre algún elemento en horarios programados solo cuando realmente sea necesario, evitando salidas de servicio de forma intempestiva, reduciendo el costo operativo, requiriendo menor stock de repuestos en almacenes y prolongando el ciclo de vida útil del equipamiento.

Esto significa que se puede monitorear las condiciones mecánicas y eléctricas, más allá del horario de prestación del servicio, mejorando la eficiencia y otros indicadores de rendimiento.

Se resumen los beneficios directos al operador:

- a. reducción de costos
- b. menor necesidad de repuestos y manejo de stock
- c. mayor disponibilidad del servicio
- d. maximización de la vida útil del equipo
- e. generación de información para análisis de fallas

A continuación, se mencionan parámetros críticos que se podrían monitorear con sensores específicos, en la figura 28 se brinda una idea de cómo actúa el sensor, que dependiendo el tipo de sensor puede montarse en la zona de los bogíes<sup>80</sup> o bien ser parte del equipamiento a bordo.

- Peso por eje
- Disbalance por eje
- Temperatura de rueda
- Temperatura de rodamiento

---

<sup>80</sup> Bogíe es un conjunto de dos pares de ruedas, montadas sobre sendos ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se utilizan en ambos extremos de los vehículos de gran longitud destinados a circular sobre carriles.

- Temperatura del vagón
- Detección de impacto por rueda plana
- Mecanismo de apertura y cierre de puertas

En las operadoras con trenes de alta velocidad <sup>81</sup>, la auscultación de vías, pantógrafos, etc. se realiza con trenes de pasada que corren sobre la vía en horario nocturno, cuando no hay servicio, los cuales tienen instalados los instrumentos de medición para realizar las verificaciones del estado de la vía.

Figura 28: Sensores sobre rueda del tren



Fuente: (Siemens AG Mobility Division, 2016)

### 7.3.2 Casos prácticos de utilización de BIG DATA en el ferrocarril

En base a millones de datos capturados por los sensores, el análisis posterior puede detectar inminentes fallos de las piezas, asegurando que el mantenimiento es sólo hecho cuando sea necesario (pero antes de que se produzca un fallo).

El conocimiento profundo de los componentes con mayor probabilidad de falla en un futuro cercano permite aumentar la disponibilidad, ya que permite planificar la reparación cuando las unidades están fuera de servicio. Reduciendo la necesidad de reservas operacionales, aumentando capacidad efectiva del servicio, ya que los Operadores suelen mantener una reserva operativa del 5-15% de trenes como reserva en caso de fallo operacional.

Por otro lado, que los componentes sean reemplazados cuando realmente sea necesario y no cuando el manual lo sugiere, produce una utilización óptima,

---

<sup>81</sup> (Renfe, s.f.) <http://www.renfe.com/>

reduciendo el gasto de repuestos y los costos de mano de obra asociados con mantenimiento.

En resumen, el Mantenimiento Predictivo en los trenes permite predecir las cancelaciones utilizando el análisis de datos para minimizar las averías y asegurar la máxima disponibilidad.

A continuación se citan dos casos de Operadoras europeas donde se implementó *Big Data* para realizar el mantenimiento, la fuente para ambos casos es una publicación de la empresa Siemens Mobility <sup>82</sup> :

### **Caso: Eurostar**

Contexto: Eurostar es una compañía que ofrece servicio de trenes de alta velocidad que conecta Londres con París y otras ciudades francesas <sup>83</sup>. El servicio enfrenta a una mayor competencia con la posibilidad de que otros operadores comiencen a utilizar el túnel del que actualmente funciona sólo al 50% de su capacidad. Eurostar quiere mantener su posición de liderazgo como el principal operador ferroviario entre el Reino Unido y el continente europeo, para eso está buscando reforzar la calidad de los servicios en términos de puntualidad, fiabilidad y comodidad.

Solución: Eurostar decidió mejorar su flota existente y ordenó la compra de 17 nuevos trenes equipados con tecnología de mantenimiento predictivo. Los sensores montados en los componentes críticos del tren generan más de 1.000 millones de datos por año, ayudando a Eurostar a entender la condición de los componentes. El análisis de estos datos puede ser utilizado para predecir fallas de los componentes y llevar a cabo un análisis de la causa raíz cuando se producen fallos, apoyando la mejora continua de componentes y procesos. Esto permite la planificación del mantenimiento, la mejora de la disponibilidad y la reducción de los costos generales de mantenimiento. Esto mejoró la puntualidad y fiabilidad, mejorando la experiencia del cliente y ayudando a Eurostar a defender su posición de liderazgo en el mercado.

---

<sup>82</sup> <https://www.mobility.siemens.com/global>

<sup>83</sup> (The Channel Tunnel, s.f.) URL: <https://www.eurostar.com/rw-en/train/france/paris>

## **Caso: Renfe Madrid-Barcelona**

Contexto: Renfe es el principal operador ferroviario de España, proporcionando servicios de pasajeros y de carga y viene operando durante mucho tiempo una ruta entre Madrid - Barcelona.<sup>84</sup>

Originalmente, esta ruta tomaba 5:30hs y servía solamente a 800.000 pasajeros por año, dado que la ruta aérea de Iberia era de alta frecuencia diaria y mucho más rápida 1:30hs, esto hizo que Iberia capture el 80% del mercado entre las dos ciudades a pesar de ser la opción más cara.

Solución: Renfe abrió una nueva ruta de tren de alta velocidad entre Barcelona y Madrid en 2008, utilizando ERTMS nivel 1, con velocidades de hasta 310 km/h. Esto redujo el tiempo de viaje a menos de 3 horas, haciendo que los viajes en avión y tren sean comparables, dando a los pasajeros una segunda opción de transporte, además Renfe aplicó una estrategia de marketing apuntando a capturar directamente a los pasajeros de las rutas aéreas ofreciendo el reembolso completo por cualquier viaje que se haya retrasado más de 15 minutos.

Esto resultó muy popular y atractivo para los pasajeros, pero expuso a Renfe a un riesgo financiero considerable en el caso de trenes retrasados.

La garantía de los 15 minutos de retraso requiere que Renfe pueda asegurar la disponibilidad de trenes, sin interrupciones imprevistas o muy pocas posibilidades de fallo mecánico en ruta para lo cual el mantenimiento predictivo aseguró la fiabilidad necesaria.

En los hechos prácticos, luego de 2300 viajes realizados, solo en un viaje no cumplió con la garantía de los 15 minutos y Renfe tuvo que hacer el reembolso, obteniendo una disponibilidad de 99,96%, protegiendo el balance final de Renfe mientras que les ayudó a aumentar su participación en el mercado de Madrid pasando de 20% a 60%.

---

<sup>84</sup> (Renfe, s.f.) URL: <http://www.renfe.com/>

Los pasajeros se beneficiaron por contar con otra opción de traslado interurbano de mejor fiabilidad y puntualidad y por otro lado, se redujeron las emisiones de carbono de la ruta aérea.

#### **7.4 Digitalización en la Planificación de la Infraestructura ferroviaria**

La base de un servicio público eficiente que pueda cubrir de forma satisfactoria la demanda es una correcta planificación de la infraestructura. Como se conoce la demanda del servicio es variable y tiene sus máximos en las horas pico los días hábiles.

La movilidad urbana, como es de suponer, no es ajena a la portabilidad en las comunicaciones y a la explosión en la generación de datos. Los consumidores de servicios de transporte dentro de las ciudades también demandan información en cualquier momento y en cualquier lugar.

Los usuarios, desean contar con información precisa que les permita planear mejor sus desplazamientos, durante la ejecución de los viajes desean mantenerse “*on line*” y tener la posibilidad de realizar actividades alternativas mientras que viajan, además de poder pagar electrónicamente y poder compartir y calificar la experiencia del viaje.

Desde el punto de vista de los proveedores de servicios de transporte, la cantidad de datos generada por los pasajeros les permite identificar patrones de consumo, preferencias, desempeño y oportunidades de mejora en los servicios que proveen.

Por definición la oferta del servicio público no se puede almacenar, es algo que se brinda en un momento dado y se tiene que utilizar en el tiempo que se ofrece, con lo cual, si la oferta del servicio no coincide temporalmente con la demanda, la misma se pierde, generando un servicio poco eficiente desde el punto de vista de costos y rentabilidad.

Un razonamiento por los extremos sería planificar un servicio de máxima calidad sacando un tren cada 5 minutos durante todo el día, con lo cual estaría subocupado la mayor cantidad de tiempo a excepción de los horarios pico, resultado un servicio poco rentable. En el otro extremo, se podría planificar un servicio de trenes cada 60 minutos o cuando los vagones se completan, con lo cual el servicio estaría sobre

ocupado, logrando la máxima eficiencia, pero sin calidad de servicio, haciendo que los usuarios se vuelquen a otros medios de transporte, y deje de ser rentable.

Los operadores planifican la oferta asignando un mayor número de trenes al momento de mayor necesidad, pero esta planificación es rígida y no contempla la afluencia instantánea de gente.

Las seis líneas de trenes tienen la planificación que se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Frecuencia del servicio de trenes

Horarios	Sarmiento	Mitre	Roca	San Martín	Belgrano Sur	Belgrano Norte
<b>Pico</b>	5 - 10 min	11 min	16 min	15 min	8 min	10 -15 min
<b>No Pico</b>	10 - 20 min	15-19 min	19 min	30 min	21 min	30 min

Servicio	Once - Moreno	Retiro - Tigre	Constitución - La Plata	Retiro - Pilar	Sáenz - Gral. Belgrano	Retiro - Villa Rosa

Fuente: confección propia según datos oficiales de la CNRT y Ferrovías <sup>85</sup>

A través de la Digitalización se puede automatizar la frecuencia de los trenes, es decir asignar los trenes en forma dinámica según la demanda, esto permite aumentar la capacidad, mejorar la puntualidad, la frecuencia de trenes y la experiencia al usuario.

Los trayectos de trenes de la actualidad fueron diseñados hace más de 100 años cuando la ciudad de Buenos Aires y GBA tenían un desarrollo y densidad poblacional muy inferior al actual y para poblaciones con diferentes hábitos de comportamiento.

Como se explicó en la Introducción, la infraestructura y la tecnología que se utiliza en la operación tiene más de 100 años y es mandatorio la implementación de tecnología digital para mejorar los servicios de trenes.

Dicha implementación representa un aporte a la movilidad urbana necesario para el servicio actual, ya que permite reducir la aglomeración en plataforma, el hacinamiento

<sup>85</sup> <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias> y Ferrovías para la Línea Belgrano Norte (Horario Lunes a Viernes Hábiles, 2020)

en viajes y reducir los tiempos de traslado, mejorando claramente la calidad de vida de los usuarios.

Desde la perspectiva del Operador, la automatización en los ferrocarriles optimiza la eficiencia de la red y le aporta la flexibilidad necesaria a una estructura rígida. Al aumentar la capacidad aumenta la venta de tickets y mejora la facturación, generando un ciclo virtuoso donde el aumento de los ingresos ayudaría a financiar futuros proyectos.

En Argentina los proyectos ferroviarios siempre fueron financiados por entidades exógenas a la operadora, ya sea con créditos del Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo o fondos del Tesoro Nacional, entre otros, con lo cual una financiación de un proyecto con fondos propios de la operadora marcaría un punto de inflexión abriendo otras posibilidades de desarrollos futuros.

A través de la digitalización, los operadores pueden coleccionar datos de los servicios de transporte a través de la tarjeta SUBE que se utiliza para trenes, subte y colectivos, también de fuentes alternativas, como la telefonía móvil, redes sociales y sensores de tráfico flujos para modelar los movimientos de los pasajeros con un alto grado de precisión, y adaptar la infraestructura existente a las necesidades de los ciudadanos.

#### **7.4.1 Casos Prácticos de Digitalización en el servicio ferroviario**

Como en nuestro país los casos prácticos de digitalización en la planificación del servicio de trenes son prácticamente nulos, a fin de ejemplificar con mayor claridad el beneficio que esto representa, a continuación, se citan cuatro casos prácticos donde la digitalización permitió cambiar de forma radical la utilización de la infraestructura.

Similar al caso del mantenimiento predictivo, los ejemplos se tomaron de Operadoras europeas y una operadora asiática <sup>86</sup>.

---

<sup>86</sup> Fuente: <https://www.mobility.siemens.com/global> (Siemens AG Mobility Division, 2016)

## **Caso: Tren ligero de Utrecht**

Contexto: El distrito Uithof en Holanda está teniendo una gran expansión en negocios, universidades, instituciones de gobierno. El área metropolitana tiene en la actualidad aproximadamente 650.000 habitantes y espera un crecimiento de 800.000 para el 2040. El número de viajeros diarios se incrementó desde 20.000 en el 2011 hasta 45.000 en el 2019. Utrecht tiene la red de colectivos más ocupada de Holanda, lo cual impacta negativamente en la calidad del aire de la ciudad y la mala calidad de servicio. El único transporte que enlaza la estación central de Utrecht con el distrito de Uithof es el autobús línea 12, y se viaja de forma hacinada.

Solución: inicialmente las autoridades locales consideraron dos opciones principales para aliviar el exceso de capacidad en la línea 12; un nuevo carril de autobús o un tren ligero.

Para conocer cuál de las dos opciones era la más conveniente se llevó a cabo un análisis de costo-beneficio, analizando el volumen de datos aportado por los tickets del transporte público con sus registros de la hora de salida y llegada para obtener un pronóstico detallado de la demanda, esto demostró que un solo autobús no era suficiente para cubrir la misma - incluso funcionando a plena capacidad, ya que, dada la demanda existente, seguiría siendo escaso y los viajes continuarían con el hacinamiento conocido en las horas pico. El tren ligero, con una capacidad de transportar cinco veces más pasajeros que un autobús, era una clara elección.

La información detallada de la demanda permitió hacer predicciones precisas de la fiabilidad de que el servicio será eficiente, dando a las autoridades la confianza y la información suficiente para financiar el ferrocarril ligero con el conocimiento anticipado de que sería bien utilizado.

Los beneficios hacia el pasajero son la reducción en los tiempos de espera y evitar el hacinamiento en los viajes, mejorando la experiencia del usuario; por otra parte las autoridades se benefician por el correcto uso de los recursos públicos.

### **Caso: Colectivo Nocturno en Seúl**

Este caso se apoya en la digitalización para favorecer el uso y el recorrido de un colectivo para satisfacer la demanda nocturna, ya que el nivel de afluencia no justifica el costo de activar el servicio del metro.

Contexto: Seúl construyó una extensa red de metro desde la apertura de su primera línea. Sin embargo, este sistema cierra durante la noche hasta la mañana, lo que significa que los taxis han sido la única opción para personas que viajan a casa entre estos tiempos. Esto afectó de manera desproporcionada a los grupos de menores ingresos, ya que las tarifas de los taxis aumentan durante la noche y muchos de los trabajadores viven lejos del centro de la ciudad. Además, el alta nivel de demanda de taxis a menudo significaba tarifas exorbitantes y un mayor nivel de inseguridad en el viaje.

Solución: Seúl planeaba introducir autobuses nocturnos, pero su presupuesto era limitado y el transporte público nocturno no era rentable debido a la baja afluencia, por tal motivo el gobierno metropolitano de Seúl y Telecom Corea trabajaron en la correlación de datos de la telefonía móvil y el uso de taxis para determinar cuáles eran las rutas nocturnas más transitadas. Se colectaron más de 3.000 millones de datos para trazar las rutas de viaje óptimas.

El autobús llamado Owl Bus, entró en servicio en septiembre de 2013, permitiendo a los viajeros viajar a casa a bajo precio durante la noche, las rutas del servicio se planificaron para maximizar la utilidad para los ciudadanos ahorrando colectivamente el equivalente del 2% del PBI (USD 1.500 al año representa el 2% promedio, per cápita de Corea del Sur) y el tiempo de espera de los taxis de 197.266 minutos por día.

Los ciudadanos de Seúl experimentan ahorros significativos, mayor seguridad y aumento del rendimiento a medida que más personas utilizan el autobús.

## Caso: Automatización del Metro de París

Si bien, la presente tesis está orientada al servicio de trenes, resulta de interés tomar un caso basado en el subte de París, ya que a los fines de automatización aplican los mismos criterios.

Contexto: El metro de París es uno de los más transitados y antiguos del mundo, se inauguró en el 1900 y la red transporta más de 1.500 millones de pasajeros por año.

La Línea 1 tiene 120 años de antigüedad y es la de mayor demanda, transportando hasta 750.000 pasajeros por día. Similar a la situación actual de nuestros trenes, los equipamientos instalados inicialmente no tenían la posibilidad de satisfacer las necesidades actuales, con lo cual la línea estaba a menudo superpoblada.

Solución: La mejora de la Línea 1 requería una solución radical que cambiara completamente la forma en que la línea fue organizada, minimizando la interrupción de los servicios existentes y habilitando por etapas la infraestructura renovada.

Por lo tanto, las autoridades decidieron incorporar la tecnología digital similar a ERTMS Nivel 2, que en subte se conoce como CBTC<sup>87</sup> del inglés *Communications-Based Train Control*, esto permitió automatizar la línea. El proyecto implicó la automatización del material rodante, el cambio del sistema de señalamiento por el CBTC, la instalación de puertas automáticas en andenes y la construcción de una sala de control centralizada.

En CBTC la transmisión de datos juega un papel clave en el ajuste de la velocidad de los trenes y la ubicación exacta de cada tren. Los datos son recogidos por los sensores a bordo y transmitidos por radio al centro de control.

---

<sup>87</sup> Un sistema CBTC (del inglés *Communications-Based Train Control*), en español sistema de 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. De esta forma, la posición exacta de un tren en una línea es conocida con mayor precisión que en los sistemas de control tradicionales y, con ello, dicha gestión del tráfico ferroviario se lleva a cabo de una forma más eficiente y segura.

Las computadoras monitorean constantemente y pueden asignar la autoridad de movimiento para cada tren. Esto permite un avance más corto optimizando la velocidad y requiere menos energía.

Si bien se cuenta con una tabla de horario estándar, conocida como itinerario de trenes, cuando hay un cambio imprevisto de la demanda, la disponibilidad de trenes se adapta de forma automática, aumentando o disminuyendo la cantidad de trenes en servicio.

Con esta implementación digital, en el caso de aumento de la demanda, se estima que la capacidad efectiva del servicio aumenta un 20% mejorando la experiencia al pasajero por menor aglomeración y menores tiempos de espera y de viaje. De forma inversa si la demanda baja, se liberan menos trenes y el beneficiado es el operador.

Cabe aclarar que en Buenos Aires el subte H, tiene CBTC Siemens y la línea C, habilitó al público un sistema similar el 03 febrero 2020, de marca Siemens, según la publicación en el diario Infobae.<sup>88</sup>

### **Caso: Automatización de Thameslink en Londres**

Contexto: Londres tiene una población de 8,6 millones de habitantes, y aumenta a una tasa del 3% anual.

De forma similar a lo que ocurre en Buenos Aires, se requieren más viajes de la ciudad capital hacia el conurbano; en el caso de Londres, la población está viajando a Londres desde ciudades vecinas como Watford, Sevenoaks y Brentwood. En el 2015 se registraron 1.580 millones viajes de ferrocarril en toda la red de transporte de Londres.

Para aumentar la capacidad, se analizaron varios proyectos, incluyendo una revisión del servicio de Thameslink<sup>89</sup>(<https://www.thameslinkrailway.com/>, 2020), que atiende una de las principales rutas de la ciudad, y tiene un indicador de performance, del

---

<sup>88</sup> (Walter Dario Vazquez, 2020) <https://www.infobae.com/sociedad/2020/01/31/el-lunes-reabrira-la-linea-c-del-subte-como-es-el-nuevo-sistema-de-senalizacion-que-reemplazo-al-de-1934/>

<sup>89</sup> (<https://www.thameslinkrailway.com/>, 2020)

inglés *Key Performance Indicator* (KPI), de satisfacción al cliente de sólo el 46% debido a la sobreutilización y hacinamiento en viajes.

Solución: Se incorporaron a la flota existente, 115 trenes con tecnología digital, (marca Siemens, modelo Desiro class 700) con capacidad para transportar 2000 personas, puertas anchas y sistemas de información a bordo.<sup>90</sup>

Lo novedoso de estos trenes es que poseen sistemas de a bordo que permiten monitorizar la cantidad de pasajeros para ajustar el aire acondicionado y sensores de carga que miden el nivel de aglomeración en cada vagón y ayudan a dirigir a los viajeros a los coches menos ocupados a través del sistema de información a bordo. Por otro lado, el modelo de tren mencionado tiene incorporado los sensores necesarios para realizar el mantenimiento predictivo que maximiza disponibilidad de la flota.

En los países de la región se puede mencionar un caso de Big Data en Santiago de Chile, donde se realizó la instalación de paneles solares para iluminar las paradas del Transantiago. (Ibarra, 2016)<sup>91</sup>

El Big Data fue clave para seleccionar los paraderos con mayor cantidad de flujo nocturno de pasajeros, para esto se correlacionó la información obtenida de las tarjetas Bip (tarjeta utilizada como forma de pago en el Transantiago) e información del GPS<sup>92</sup> de cada bus.

Todavía hay mucho por hacer y por aprender en el manejo de **Big Data**. Lo que está claro es que todos somos beneficiados, los usuarios y los proveedores.

El sector público se beneficia ya que puede monitorear el desarrollo de políticas y disposiciones tomadas e incluso puede anticipar retos futuros, el sector privado se beneficia ofreciendo servicios más eficientes, ajustados a las necesidades del cliente con menores costos.

---

<sup>90</sup> [www.siemens.com/press/thameslink](http://www.siemens.com/press/thameslink), 2015

<sup>91</sup> <http://www.economiaynegocios.cl>

<sup>92</sup> GPS Sistema de Posicionamiento Global basado en comunicación satelital

## 7.5 Enclavamiento Digital

En el ítem 1.6 en las páginas 30 a 34, se comentó brevemente en qué consisten los distintos enclavamientos y como se fueron desarrollando a medida que avanzaba la tecnología mientras otros caían en desuso o se volvían obsoletos; se mencionaron los enclavamientos mecánicos, eléctrico, electromecánico y electrónicos.

A partir del concepto de computación en la nube, del inglés Cloud Computer desarrollado en el capítulo 5 y conectividad, como parte de la Digitalización, en este subcapítulo se introduce la idea del enclavamiento Digital, siendo este un desarrollo superior al Electrónico, este nuevo estándar traslada la lógica de control literalmente de una sala de equipamientos a la nube.

Esta digitalización permite simplificar de forma inteligente la complejidad técnica del sistema ferroviario.

Si se extiende esta visión fuera de la sala de control, pasando a los elementos de campo se plantea la digitalización de la infraestructura de transporte ofreciendo la posibilidad de una optimización radical de los recursos durante la instalación y el funcionamiento.

Esto implica que gran parte de los elementos de campo del señalamiento (señales, circuitos de vías, contadores de ejes, detectores de trenes) deje de existir ya que estos elementos se virtualizan pudiendo ser gestionados en forma remota, permaneciendo solamente los accionamientos o máquinas de cambio.

Los trenes reportan su posición vía GSM-R a la nube, similar al estándar ERTMS y de forma dinámica se ajusta el tráfico de trenes de forma de lograr la menor frecuencia de trenes según las condiciones de tráfico en cada momento.

La migración hacia un enclavamiento digital con una arquitectura distribuida basado en la nube permite una reducción sustancial del hardware, generando un ahorro sustancial en los operadores al momento de financiar la ejecución de proyectos como así también en las rutinas de mantenimiento y la reducción de hardware de repuesto.

La figura 29 muestra cómo y cuánto se puede reducir el hardware necesario con la implementación de un enclavamiento digital y una arquitectura distribuida basada en la nube.

Figura 29: Comparación de Hardware entre Enclavamiento Electrónico y Digital



Fuente: (Siemens AG Mobility Division, 2016)

Se menciona este tipo de enclavamiento como parte de la transformación digital, pero no se observa que resulte de implementación en Argentina dado que ni siquiera se ha implementado la tecnología previa - enclavamiento electrónico - lo cierto es que esta tecnología está disponible y en otras ciudades del mundo ya es una realidad, tal es el caso del servicio en la ciudad de Annaberg-Buchholz al sudeste de Alemania que desde Abril del 2018 comenzó a utilizar un enclavamiento que transmite sus comandos basados en una red IP a los elementos de campo del sistema.

Esto permite una flexibilidad completamente nueva en la planificación, el uso de elementos de campo inteligentes y efectos de costo positivos a largo plazo. Todo esto se consigue, a la vez que se cumplen las normas de seguridad más estrictas para las operaciones como las mencionadas en el capítulo 3 (SIL4).

Al ser este el primer enclavamiento digital en Europa resulta un caso de análisis de como aumenta la capacidad de transporte, la puntualidad en el servicio y la reducción del consumo de energía.

Básicamente la nueva arquitectura de enclavamiento recibe y trasmite las órdenes de conmutación a través de sensores distribuidos en las vías que se conectan a la red IP<sup>93</sup>.

Estos sensores, se pueden interpretar como contactos digitales que a través de una red de telecomunicaciones redundante se vinculan a la nube y le brindan al enclavamiento la información necesaria para autorizar o no el movimiento de un tren, su velocidad, el armado de la ruta, etc.

De esta manera se eliminan parcialmente los elementos de campo y los cableados individuales a dichos elementos evitando el tendido de miles de kilómetros de cables.

El enclavamiento en la nube es un concepto novedoso que ofrece al operador beneficios sin precedentes respecto a la flexibilidad, ahorro de costos respecto a la infraestructura sin afectar la seguridad y eficiencia.

### **7.5.1 Caso Noruega**

Como parte de un desarrollo futuro, en Noruega se ha proyectado digitalizar toda la red de transporte ferroviario, algo curioso pero indicativo de lo importante que resulta para ellos la Digitalización es que en dicho país existe el Ministerio de Digitalización<sup>94</sup>

---

<sup>93</sup> IP del inglés Internet Protocol, en nuestro idioma, Protocolo de Internet. Se trata de un estándar que se emplea para el envío y recepción de información mediante una red que reúne paquetes conmutados

<sup>94</sup> Ministro de Digitalización: Nikolai Astrup URL: <https://enoru.cancilleria.gob.ar/es/visita-al-ministro-de-digitalizaci%C3%B3n>

y a través de este se planifica realizar un megaproyecto de digitalizar toda la red ferroviaria iniciando en el año 2022 hasta el 2034.

El proyecto básicamente prevé instalar 4.200 kilómetros de vías, 375 estaciones, un enclavamiento digital con el Sistema Europeo de Control de Trenes ETCS Nivel 2 que controle el transporte de todo el territorio, según se describe en la figura 30.

Figura 30: Digitalización Integral de la red Ferroviaria de Noruega



Fuente: (Siemens AG, 2016)

Este proyecto no tiene precedentes en la industria ferroviaria ya que permite al sistema noruego prescindir de las señales en las vías con la implementación del sistema de enclavamiento ETCS nivel 2.

Se prevé que la comunicación de los trenes sea vía radio y toda la información relevante para un tren en movimiento se muestre de forma constante a los conductores en la cabina a través de la interface HMI<sup>95</sup>.

Para los usuarios de la red ferroviaria, esto significa una mayor disponibilidad, mayor frecuencia y la conexión de Noruega con la Red Ferroviaria Europea, ya que no se requiere un cambio de locomotora para vincular Noruega con Sicilia.

<sup>95</sup> HMI: Interface Hombre Máquina

Para los operadores esto simplifica sustancialmente el mantenimiento en comparación con los sistemas convencionales ya que elimina considerablemente la cantidad de hardware y repuestos necesarios como se indicó en la figura 29. Además el enclavamiento digital y los elementos de campo se comunican entre sí a través del protocolo IP, vía red fibra óptica reduciendo significativamente los costos de cables.

Todo esto se implementa a través de un sistema conocido como gemelo digital, o en inglés *Digital Twin*, aplicado a la infraestructura ferroviaria, para lo cual se montó un laboratorio en Oslo.

Dicho sistema tiene una primera fase que consiste en escanear la infraestructura ferroviaria utilizando cámaras especiales - una especie de radar tridimensional – y el GPS instalado en la locomotora.

Utilizando la tecnología de modelado de información de construcción del inglés *Building Information Modeling* (BIM)<sup>96</sup>, se crea un trazado ferroviario digital lo que permite virtualizar toda la red.

Esta herramienta de ingeniería otorga la posibilidad de probar todos los sistemas desde la perspectiva de seguridad, pruebas funcionales y recorrer todos los escenarios posibles antes de entrar en funcionamiento.

En la segunda fase se realizan las pruebas directamente en campo, ya sea sobre los rieles o en las estaciones individuales.

---

<sup>96</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=kyNRONtgzSQ>

## **CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES**

Por lo expuesto en el presente trabajo, donde se describió la situación actual de siete líneas del servicio ferroviario de pasajeros en el AMBA y se introdujeron las ventajas que la digitalización ofrece en la industria ferroviaria, se pueden realizar las siguientes conclusiones.

Surge un contraste muy grande entre la tecnología que actualmente opera el servicio ferroviario en el AMBA con relación a la tecnología disponible en la actualidad.

El ciclo de vida de la tecnología instalada está completamente agotado y requiere un cambio tecnológico urgente.

La urgente necesidad de modernizar el servicio ferroviario se debe a que en su mayoría los sistemas de enclavamiento datan del siglo XVIII, XIX y principios del siglo XX y ya no se cuentan con repuestos y personal de mantenimiento que pueda repararlos.

Además estos viejos sistemas son los responsables de que los trenes no puedan circular a una mayor velocidad y por lo tanto a una mejor frecuencia.

Dado que las siete líneas del servicio ferroviario totalizan aproximadamente 1500 Km de vías, 272 estaciones, 2211 pasos a nivel y todos los subsistemas asociados, una primer recomendación para comenzar con la modernización o reemplazo tecnológico sería iniciar por las líneas con mayor demanda de usuarios, éstas son la Línea Roca, Sarmiento y Mitre en el orden mencionado.

El contraste tecnológico permitió identificar deficiencias y oportunidades de mejora, que se mencionan a continuación:

Para los usuarios:

1. Mejora la frecuencia del servicio
2. Mejora la puntualidad y confiabilidad
3. Aumenta los niveles de seguridad
4. Asigna trenes en forma dinámica acorde a la afluencia

5. Mejora la experiencia al usuario
6. Brinda un servicio de información al usuario, como por ejemplo el tiempo de arribo del próximo tren
7. Disminuye el hacinamiento en viaje
8. Permite el desarrollo de aplicaciones por parte de los usuarios
9. Favorece la intermodalidad con otros medios de transporte

Para los operadores:

1. Aumenta los niveles de prestación del servicio
2. Aumenta los niveles de seguridad operativa
3. Disminuye los costos de mantenimiento
4. Reduce los cuellos de botella en la red y especialmente en las estaciones cabecera
5. Disminuye el desgaste del material rodante y la infraestructura
6. Disminuye la posibilidad del error humano
7. A través del Big Data, permite obtener información para mejorar la planificación, detectar causa raíz de fallas
8. Reduce la cantidad de elementos en campo (señales, circuitos de vía)
9. Permite predecir la demanda

Para la comunidad:

1. Contribuye al medio ambiente, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono
2. Disminuye la congestión de tránsito en accesos, calles y avenidas
3. Aporta a la salud pública por la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y la reducción de estrés.
4. Contribuye a la seguridad vial a través de paso a niveles o cruces más seguros
5. Favorece al desarrollo de la economía por varios aspectos, el aumento de la productividad al arribar al trabajo en horario y la disminución de tiempos muertos por congestión.
6. Libera tiempo para realizar otra actividad extralaboral

Debido a la falta de experiencia en el mercado local, se citaron casos de éxitos de Operadores europeos y asiático con el fin de ejemplificar las ventajas de digitalización.

Estos ejemplos otorgan el probado uso ferroviario, que es la base para que en Argentina se realice la decisión estratégica de avanzar hacia la transformación digital en los ferrocarriles.

A través de la digitalización surgen conceptos novedosos y los mencionados en la presente tesis representan una muestra incipiente de lo que puede ocurrir a medida que se avance en el desarrollo de nuevas soluciones.

Es importante poder definir un criterio lógico para priorizar las inversiones, por ejemplo no tendría ningún sentido contar con Estaciones Digitales que pretendan mejorar la experiencia del usuario si la frecuencia del servicio es deficiente, por lo tanto una segunda recomendación sería comenzar con la renovación de los sistemas de señalamiento a través del sistema ERTMS Nivel 1, con un enclavamiento electrónico, en las tres Líneas mencionadas dejando sentadas las bases para continuar con los niveles superiores del ERTMS.

Luego de la mencionada recomendación, resulta lógico continuar con la implementación del sistema ERMTS nivel 1 en las otras cuatro Líneas acorde a la demanda de cada una. Según los datos actuales la prioridad es la siguiente Línea San Martín, Urquiza, Belgrano Norte y Belgrano Sur.

El sistema ERTMS desarrollado en el capítulo 4 permite aumentar la velocidad de circulación hasta 310km/h, (actualmente la máxima posible es de 120Km/h, aunque la velocidad real de circulación ronda los 45km/h), transformando una línea convencional en línea de alta velocidad, este aumento de velocidad por sí mismo no es algo que se persiga en el AMBA dado que no trata de servicios de larga distancia.

Estas implementaciones digitales producen un cambio de paradigma respecto a la movilidad urbana y surgen los conceptos de transporte multimodal y Movilidad como Servicio en el cual se destacan dos cambios específicos:

- Cambio del sistema centrado en automóviles a un sistema multimodal, con varios servicios disponibles.
- Cambio de la estructura de la oferta, pasando de un sistema regulado por entes de gobierno a un sistema donde la oferta se adapta a las necesidades y demanda de los usuarios.

Aunque los sistemas de enclavamiento existentes en la red son antiguos, como aspecto positivo de la infraestructura de rescatan que mantienen la seguridad de las operaciones, los recursos humanos están capacitados en la operación de la misma, el material rodante es relativamente nuevo a partir de compras realizadas a la empresa China CSR en el 2014 , se están instalando bobinas ATS en todas las líneas para mejorar la seguridad, se comenzaron a licitar proyectos que contemplan la implementación de los sistemas ERTMS en reemplazo de los existentes y por último pero no menos importante es que se puede iniciar la implementación de sistemas digitales basado en la experiencia desarrollada por otros países.

Es importante mencionar la coincidencia en las respuestas de los cinco expertos consultados acerca de los beneficios que tiene la digitalización donde básicamente se menciona que este avance ya penetró en distintas industrias, áreas operativas y comportamientos sociales, por tal motivo y sin lugar a duda más tarde o más temprano impactará en la movilidad.

Este consenso de los especialistas sobre la digitalización es una señal indicativa a los entes de gobiernos para que prioricen la inversión en la incorporación de la misma en los ferrocarriles sobre cualquier otro medio de transporte, esta inversión junto a políticas públicas que incentiven el uso del transporte público de pasajeros seguramente facilite la circulación de las personas que se movilizan en los horarios pico.

También se detectó como una fuerte debilidad la necesidad de capacitación para el personal que realiza la operación y mantenimiento debido al cambio tecnológico que esto representa, la falta de personal capacitado puede ser una causa crítica en la implementación de la digitalización.

La TRANSFORMACION DIGITAL es más que una digitalización, ya que como su nombre lo indica consiste fundamentalmente en una transformación cultural y de hábitos utilizando la tecnología disponible.

En esta transformación no solo debe considerar una planificación de los recursos disponibles de una manera más eficiente y económica por parte del operador, sino que también se debe considerar al usuario y a la ciudadanía como parte de la toma de decisión. Por tanto, la coordinación entre las administraciones públicas y la ciudadanía es esencial para que se puedan desarrollar políticas de urbanismos sustentables hacia el futuro.

Esta transformación no ha afectado a todas las industrias de igual modo, en las industrias donde ya se avanzó en esta dirección los beneficios logrados ya son demostrables.

Si bien la industria ferroviaria viene algo demorada en la implementación, se puede decir que cuando la digitalización se implemente, los beneficios serán multicausales, ya que un beneficio va a impactar sobre otro produciendo un ciclo virtuoso, en resumen se puede concluir que la transformación digital produce una mejora de la calidad de vida.

## CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA

ADIF. (s.f.). Obtenido de ADIF: <https://www.youtube.com/watch?v=U-DSzdlIjtM>

ADIF. (s.f.). ADIF. Recuperado el 2019, de ADIF: [http://www.adif.es/es\\_ES/comunicacion\\_y\\_prensa/fichas\\_de\\_actualidad/ficha\\_actualidad\\_00070.shtml](http://www.adif.es/es_ES/comunicacion_y_prensa/fichas_de_actualidad/ficha_actualidad_00070.shtml)

Armentia , Gorka. (s.f.). [www.consultec.es](http://www.consultec.es). Recuperado el 2020

Ausa. (Junio de 2019). (Ausa, Productor) Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.ausa.com.ar/novedades/nuevo-viaducto-mitre-ramal-tigre/>

Ausa. (2019). <https://www.ausa.com.ar>. Obtenido de <https://www.ausa.com.ar/novedades/nuevo-viaducto-mitre-ramal-tigre/>

BUENO, C. (Julio de 2013). Recuperado el 2019, de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17989/PFC\\_Cesar\\_Clemente\\_Bueno.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17989/PFC_Cesar_Clemente_Bueno.pdf?sequence=1)

Buenos, G. d. (2019). <https://www.buenosaires.gob.ar>. Obtenido de <https://www.buenosaires.gob.ar/baobras/viaducto-mitre>

CENACAF. (2015). (C. N. FERROVIARIA, Editor) Recuperado el 2019

CNRT, D. G. (Marzo de 2019). Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=29193>

Diario La Nacion. (8 de junio de 2017). <https://www.lanacion.com.ar/>. Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.lanacion.com.ar/buenos-aires/como-sera-el-viaducto-que-elevara-al-tren-san-martin-entre-palermo-y-paternal-nid2031768>

Encuesta de Cohesion y percepción social - Secretaria Area Metropolitana, C., & Ciudad de Buenos Aires, E. S. (2014). *Encuesta de Cohesion y percepción social*. Ciudad Autónoma Buenos Aires. Recuperado el Septiembre de 2019,

de <http://metropolitana.org.ar/presentaron-el-estudio-de-cohesion-social-en-la-region-metropolitana-bsas/>

errere. (2020). Obtenido de eeee

ERTMS. (2019). <http://www.ertms.net/>. (THE EUROPEAN RAIL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM) Obtenido de [http://www.ertms.net/?page\\_id=50](http://www.ertms.net/?page_id=50)

Estadísticas Transporte Ferroviario. (2019). <https://www.argentina.gob.ar>. Recuperado el 2019, de <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

Exceltic. (s.f.). Recuperado el 2020, de Exceltic: <https://www.youtube.com/watch?v=Imi60yo6k7A>

Exceltic. (Febrero de 2017). Recuperado el 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=Imi60yo6k7A>

Forlenza, C. (2020). Buenos Aires: Metrovías. Recuperado el Febrero de 2020, de <https://youyu.be/tS234yYdUd8>

Garrido, S. G. (2012). <http://www.mantenimientopetroquimica.com>. Recuperado el Febrero de 2019, de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>

Gerencia de Control Técnico Ferroviario CNRT. (2016). *Implementación de un Sistema de Detención Automática de Trenes (Paratren), de uso comprobado y de urgente contratación , en toda la red ferroviaria de AMB*. CNRT, Gerencia Técnica, Buenos Aires.

Gonzalez Fernandez, F. J. (2009). *“Senalización Ferroviaria” Ed. Piscegraf, Madrid Espana, Año 2009*. Madrid.

Gonzalez Fernandez, F. J. (2009). *Señalización ferroviaria: del guardagujas a la operación sin conductor*. Madrid, Madrid, España: F.J. González. Recuperado el Septiembre de 2019

Google. (2020). <https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=es-419>. Obtenido de <https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=es-419>:  
<https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=es-419>

<http://www.spaintrainzrutas.com/download/index.php?cid=34&sortvalue=date&order=DESC&limit=30>. (2013). Recuperado el 2019, de <http://www.spaintrainzrutas.com/download/index.php?cid=34&sortvalue=date&order=DESC&limit=30>:  
<http://www.spaintrainzrutas.com/download/index.php?cid=34&sortvalue=date&order=DESC&limit=30>

<https://www.eurostar.com/rw-en/train/france/paris>. (s.f.). Obtenido de <https://www.eurostar.com/rw-en/train/france/paris>:  
<https://www.eurostar.com/rw-en/train/france/paris>

<https://www.thameslinkrailway.com/>. (2020). Obtenido de <https://www.thameslinkrailway.com/>: <https://www.thameslinkrailway.com/>

<https://www.trenbelgrano.com.ar/>. (2020). Recuperado el Febrero de 2020, de <https://www.trenbelgrano.com.ar/>:  
<https://www.trenbelgrano.com.ar/norte/horarios/index.php>

Ibarra, A. (27 de Octubre de 2016). <http://www.economiaynegocios.cl>. Recuperado el Noviembre de 2019, de <http://www.economiaynegocios.cl>:  
<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=302651>

Indec. (2010). <https://www.indec.gob.ar/>. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.indec.gob.ar/>: <https://www.indec.gob.ar/>

Ing Menedez, M. (2018). *Sistema electrónico de enclavamiento*. Buenos Aires.

Lerman, J. (Septiembre de 2012). Hora Pico: un enemigo que impacta la salud. *Clarín*. Recuperado el Febrero de 2020, de [https://www.clarin.com/sociedad/hora-pico-enemigo-impacta-salud\\_0\\_BJ5Wz7enwXe.html](https://www.clarin.com/sociedad/hora-pico-enemigo-impacta-salud_0_BJ5Wz7enwXe.html)

Luis, A. P. (2010). *Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario*. Paperback.

Ministerio de Transporte. (2019). <https://www.argentina.gob.ar/>. (T. A. Operaciones, Editor) Recuperado el Febrero de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/>: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos/horarios-tarifas-y-recorridos/areametropolitana/>

MONTES PONCE DE LEÓN, F. (2011). *Los sistemas de control de tráfico y señalización en el ferrocarril*. Madrid, España.

MTA. (s.f.). *MTA DAta Feeds*. New York. Recuperado el 2020, de <http://web.mta.info/developers/developer-data-terms.html>

Naciones Unidas. (16 de Mayo de 2018). [www.un.org](http://www.un.org). Recuperado el Septiembre de 2019, de <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

Orts Pardo, Francisco. (2016). *Proceso de modernización de los sistemas de señalamiento ferroviario en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. BID. Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado el Junio de 2019

Propia. (2019). *Tercer Riel*. Vías Línea Mitre, Vicente López, Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 2019

PwC Argentina. (2017). *Estudio de Digitalización en Argentina*. Buenos Aires.

Railwaysignalling. (Abril de 2015). <http://www.railwaysignalling.eu>. Recuperado el 2020, de <http://www.railwaysignalling.eu/cbtc-standardization-mixed-operation-on-shared-lines-in-accordance-with-ertms-ets-standards>

Rameder. (Agosto de 2011). <https://www.globalrailwayreview.com/>. (System Integration Officer for the ÖBB ETCS Programme, ÖBB-Infrastruktur AG) Recuperado el 2019, de <https://www.globalrailwayreview.com/>: <https://www.globalrailwayreview.com/article/10104/etcs-for-obb-the-beginning-of-a-new-train-control-era-in-austria/>

Renfe. (s.f.). <http://www.renfe.com/>. Obtenido de <http://www.renfe.com/>:  
<http://www.renfe.com/>

SAS. (s.f.). [sas.com](http://sas.com). Recuperado el Febrero de 2020, de  
[https://www.sas.com/content/dam/SAS/en\\_us/doc/whitepaper1/non-geek-a-to-z-guide-to-internet-of-things-108846.pdf](https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper1/non-geek-a-to-z-guide-to-internet-of-things-108846.pdf)

Scalise. (Noviembre de 2014). *railwaysignalling.eu*. Obtenido de [railwaysignalling.eu](http://www.railwaysignalling.eu):  
<http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2015/07/circuitos-de-v%C3%ADa-esp.pdf>

Siemens AG. (Julio de 2015). [www.siemens.com/press/thameslink](http://www.siemens.com/press/thameslink). Recuperado el  
Octubre de 2019, de [www.siemens.com/press/thameslink](http://www.siemens.com/press/thameslink):  
<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/first-siemens-built-thameslink-train-arrives-london>

Siemens AG. (2016). <https://new.siemens.com/global/en/products/mobility.html>.  
Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/products/mobility.html>:  
<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/stories/the-rail-network-of-the-future-is-taking-shape-in-norway.html>

Siemens AG Mobility Division. (2016). <https://www.mobility.siemens.com/global>. (S. A.  
2016, Ed.) Recuperado el 2019, de <https://www.mobility.siemens.com/global>.

Siemens AG. (s.f.). [www.siemens.com](http://www.siemens.com). Obtenido de  
[www.siemens.com/press/thameslink](http://www.siemens.com/press/thameslink)

Siemens. (s.f.). *Equipo TCM 100*.

Siemens Mobility. (1996 – 2020). <https://new.siemens.com>. Obtenido de  
<https://new.siemens.com>:  
<https://new.siemens.com/global/en/products/mobility/integrated-mobility.html>

*Tragedia de Once* (2012). [Película]. Argentina. Obtenido de  
<https://www.youtube.com/watch?v=NAWonyQlfOg>

Trenes Argentinos. (2017). (Ministerio de Transporte, Productor) Recuperado el Agosto de 2019, de argentina.gob.ar: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenesargentinos/soterramiento-del-sarmiento>

Trenes argentinos. (2019). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt/estadisticas-ferroviarias>

Trenes Argentinos. (2019). <https://www.argentina.gob.ar>. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar>: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/>

Trenes Argentinos. (Enero de 2020). [www.trenbelgranonorte.com.ar](http://www.trenbelgranonorte.com.ar). (T. Argentinos, Productor, & Línea Belgrano norte) Recuperado el Febrero de 2020, de [www.trenbelgranonorte.com.ar](http://www.trenbelgranonorte.com.ar): <https://www.trenbelgrano.com.ar/norte/horarios/domingos-y-feriados-retiro-villa-rosa.php>

Trenes Argentinos Infraestructura. (Enero de 2020). <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos-infraestructura>. (ADIF) Recuperado el Febrero de 2020

United States Department of Transportation. (23 de Junio de 2016). <https://railroads.dot.gov/>. Recuperado el Febrero de 2020, de <https://railroads.dot.gov/highway-rail-crossing-and-trespasser-programs/railroad-crossing-safety/safety-data-statistics>

*Viaducto, Línea San Martín*. (14 de Enero de 2019). Obtenido de <https://www.lanacion.com.ar/2210564-tren-a-mar-del-plata-la-flota-renovada-que-se-opera-con-maniobras-de-1900>

Vías, M. I. (Ed.). (2014). *Manual Integral de Vías*. NCA. Obtenido de [http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL\\_INTEGRAL\\_DE\\_VIAS.pdf](http://www.alaf.int.ar/publicaciones/MANUAL_INTEGRAL_DE_VIAS.pdf)

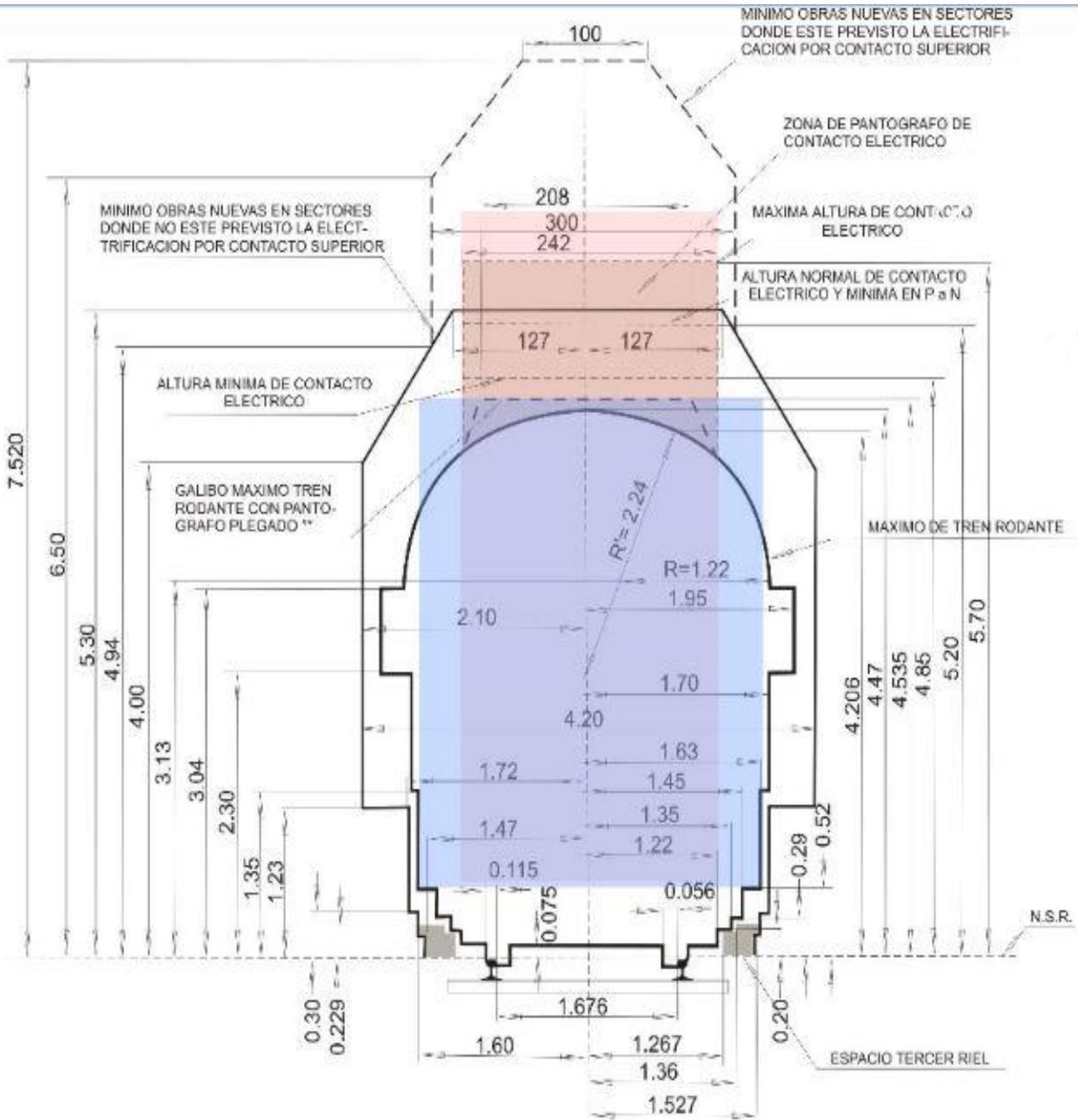
Walter Dario Vazquez. (30 de Enero de 2020). [infobae.com](http://infobae.com). (W. D. Vazquez, Editor) Recuperado el 1 de Febrero de 2020, de [infobae.com](http://infobae.com):

<https://www.infobae.com/sociedad/2020/01/31/el-lunes-reabrira-la-linea-c-del-subte-como-es-el-nuevo-sistema-de-senalizacion-que-reemplazo-al-de-1934/>

Wigger, P. (s.f.). <http://www.railway-research.org/>. Recuperado el Febrero de 2020, de <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/043.pdf>

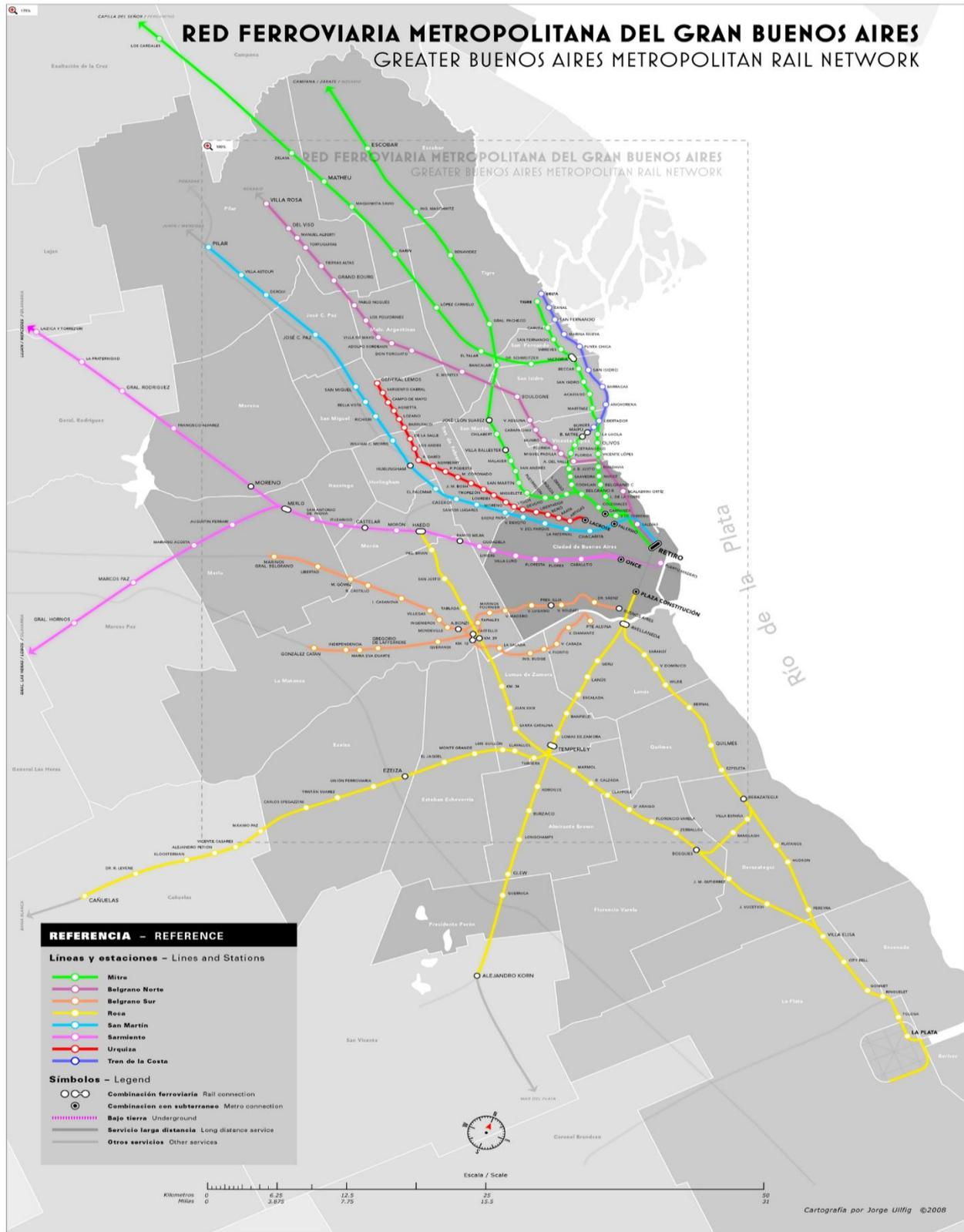
Wikipedia. (Enero de 2020). <https://es.wikipedia.org>. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Internet\\_de\\_las\\_cosas](https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas)

**ANEXO I – Dimensiones de gálibo**



**GALIBOS MAXIMO DE TRENES Y MINIMO DE OBRAS EN VIAS COMUNES Y ELECTRIFICADAS TROCHA ANCHA (1.676 m.)**

## ANEXO II – Red Ferroviaria GBA



## ANEXO III – Cantidad de pasajeros transportados 1993 - 2019

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Pax.	Total % Var. Anual
1993	15.451.305	15.044.852	18.336.122	17.788.097	18.311.583	17.579.832	18.087.037	17.819.606	18.383.358	18.221.973	18.669.210	18.390.000	212.082.975	
1994	16.160.948	15.643.871	18.686.469	18.515.768	20.595.574	20.454.845	21.437.215	22.971.705	22.945.908	22.825.879	23.628.780	22.276.065	246.143.027	16,1%
1995	21.752.164	22.243.249	27.425.212	25.786.318	27.701.581	29.125.049	30.928.326	32.493.786	32.279.981	33.490.038	33.662.628	32.712.125	349.600.457	42,0%
1996	30.112.257	30.114.040	34.978.474	34.773.989	36.748.835	33.161.150	35.496.799	35.368.204	33.945.368	39.018.020	37.379.181	35.821.524	416.917.841	19,3%
1997	32.474.230	31.951.774	37.739.347	40.015.304	39.785.394	36.443.593	40.080.856	38.611.095	40.882.315	42.381.414	39.496.242	39.429.384	459.290.948	10,2%
1998	36.094.618	34.384.250	41.459.155	40.530.721	40.721.354	39.347.009	41.735.528	41.920.770	41.273.234	42.659.897	40.534.663	39.399.754	480.060.953	4,5%
1999	34.540.780	33.871.543	41.604.619	40.232.904	41.303.479	39.889.540	40.745.926	41.174.567	42.247.856	42.311.416	42.474.227	40.758.888	481.155.745	0,2%
2000	35.054.826	35.965.453	42.999.498	39.729.690	40.291.487	38.981.764	40.339.845	42.263.151	41.765.436	41.954.345	40.110.054	38.237.445	477.692.994	-0,7%
2001	34.211.755	33.664.492	39.201.891	37.476.271	38.700.748	36.901.238	35.845.120	37.886.155	36.384.375	37.099.243	36.182.609	28.486.347	432.040.244	-9,6%
2002	27.266.244	26.200.523	29.245.908	29.450.499	31.107.974	29.085.074	31.212.113	30.899.082	29.860.309	31.326.665	31.766.880	30.897.488	358.318.759	-17,1%
2003	26.486.399	25.764.189	29.836.855	32.244.080	32.429.277	31.269.232	32.932.680	32.468.105	34.175.267	35.443.643	33.141.959	33.117.441	379.309.127	5,9%
2004	28.628.005	29.427.746	35.205.646	31.999.273	33.331.117	31.586.456	33.293.223	33.651.799	35.404.866	35.227.264	35.318.600	34.916.856	397.990.851	4,9%
2005	28.944.540	29.710.433	35.085.305	35.941.685	36.004.983	34.431.340	34.656.669	34.727.051	36.339.390	36.222.035	36.304.453	36.378.711	414.746.595	4,2%
2006	31.429.065	30.963.611	36.980.308	35.678.415	37.257.949	35.299.098	37.073.988	38.259.241	38.468.281	38.268.786	39.172.025	35.903.419	434.754.186	4,8%
2007	33.209.893	33.834.406	34.796.244	34.011.922	35.438.339	34.230.871	34.414.905	35.570.811	34.536.890	37.078.760	38.320.269	36.631.379	422.074.689	-2,9%
2008	33.917.077	34.111.512	35.478.662	38.401.354	38.958.468	36.011.152	38.813.011	38.987.606	38.837.079	40.123.055	38.053.746	37.325.142	449.017.864	6,4%
2009	33.551.917	32.479.022	37.090.375	36.064.782	36.308.805	35.742.052	33.126.492	36.171.049	37.772.347	39.009.454	37.550.102	36.932.092	431.798.489	-3,8%
2010	31.332.889	31.312.491	38.197.055	37.046.534	34.332.602	35.692.335	35.309.978	37.275.376	38.115.241	36.151.879	34.760.442	30.752.506	420.279.328	-2,7%
2011	26.151.926	24.745.983	28.132.505	28.463.214	29.490.843	29.212.755	28.098.987	29.752.936	32.118.088	30.843.751	29.865.821	27.846.747	344.723.556	-18,0%
2012	25.114.269	23.227.415	26.996.945	23.215.199	25.345.438	24.819.383	25.323.367	23.283.732	20.846.556	22.292.423	22.269.954	20.367.833	283.102.515	-17,9%
2013	18.595.125	16.737.792	20.170.550	20.810.802	21.616.460	19.647.894	19.869.609	20.328.972	19.261.047	21.685.845	20.166.779	17.681.611	236.571.988	-16,4%
2014	17.275.909	17.645.163	19.872.386	20.689.472	20.844.100	21.239.381	22.427.143	23.372.763	26.717.752	27.250.329	24.439.837	24.580.120	266.354.355	12,6%
2015	22.106.207	21.907.170	26.135.432	29.195.086	27.815.229	27.699.822	29.611.850	28.523.995	30.713.542	30.378.945	29.052.568	27.207.515	330.347.361	24,0%
2016	24.829.555	24.260.482	30.564.525	31.253.778	31.006.038	29.190.812	28.840.164	32.246.696	32.245.357	31.751.706	32.568.080	29.936.999	358.694.192	8,6%
2017	27.024.054	24.062.971	33.019.139	30.213.459	33.073.995	31.948.617	32.554.767	35.497.035	34.959.058	36.503.649	37.308.807	32.054.770	388.220.321	8,2%
2018	30.764.884	29.122.622	37.558.112	36.121.967	37.366.893	33.464.649	34.010.786	39.087.952	36.439.010	40.775.411	36.083.882	33.387.364	424.183.532	9,3%
2019	32.572.622	31.857.506	35.018.942	34.687.163	37.769.933	34.065.006	37.888.888	39.799.048	39.351.951	40.251.894	37.751.415	35.251.751	436.266.119	2,8%

## ANEXO IV – Cumplimiento de la Programación de Trenes 1993-2019

### RED FERROVIARIA DE PASAJEROS DEL AREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

año	Regularidad Global		Cump. de Programa	Cantidad de trenes #					Tasa Incumplimiento  (Cancelados + Atrasados) / Prog
	Absoluta	Relativa		Progra- mados	Cancela- dos	Corridos	Puntuales	Atrasa- Dos	
	Punt/Prog	Punt/Corr	Corr/Prog						
1993	77,25%	88,66%	87,14%	652.012	83.876	568.136	503.702	64.434	22,75%
1994	79,10%	88,94%	88,94%	652.692	72.192	580.500	516.271	64.229	20,90%
1995	90,87%	93,81%	96,87%	670.674	20.974	649.700	609.465	40.235	9,13%
1996	94,30%	96,64%	97,58%	737.955	17.877	720.078	695.885	24.193	5,70%
1997	95,79%	96,88%	98,88%	790.693	8.880	781.813	757.408	24.405	4,21%
1998	96,61%	97,76%	98,83%	839.883	9.864	830.019	811.433	18.586	3,39%
1999	96,56%	97,46%	99,07%	870.787	8.103	862.684	840.798	21.886	3,44%
2000	95,18%	97,01%	98,11%	879.270	16.645	862.625	836.846	25.779	4,82%
2001	93,81%	96,78%	96,93%	910.295	27.927	882.368	853.923	28.445	6,19%
2002	86,54%	94,58%	91,50%	853.464	72.550	780.914	738.588	42.326	13,46%
2003	85,70%	91,46%	93,70%	771.252	48.611	722.641	660.949	61.692	14,30%
2004	82,24%	88,07%	93,38%	767.912	50.815	717.097	631.530	85.567	17,76%
2005	82,65%	86,59%	95,45%	744.980	33.895	711.085	615.746	95.339	17,35%
2006	82,25%	86,13%	95,49%	753.933	34.004	719.929	620.087	99.842	17,75%
2007	78,83%	83,11%	94,85%	758.435	39.063	719.372	597.873	121.499	21,17%
2008	84,32%	87,81%	96,03%	763.306	30.333	732.973	643.587	89.386	15,68%
2009	86,40%	88,91%	97,18%	794.481	22.438	772.043	686.436	85.607	13,60%
2010	85,40%	88,59%	96,39%	800.746	28.883	771.863	683.829	88.034	14,60%
2011	77,85%	82,56%	94,30%	803.302	45.755	757.547	625.396	132.151	22,15%
2012	68,95%	77,63%	88,82%	805.202	90.019	715.183	555.225	159.958	31,05%
2013	63,21%	74,41%	84,95%	733.831	110.447	623.384	463.840	159.544	36,79%
2014	69,76%	77,76%	89,71%	690.462	71.039	619.423	481.680	137.743	30,24%
2015	75,03%	82,67%	90,76%	678.438	62.718	615.720	509.019	106.701	24,97%
2016	79,46%	84,63%	93,90%	699.906	42.729	657.177	556.163	101.014	20,54%
2017	79,88%	85,34%	93,60%	716.433	45.833	670.600	572.292	98.308	20,12%
2018	78,34%	85,11%	92,04%	748.952	59.632	689.320	586.697	102.623	21,66%
2019	79,20%	85,39%	92,75%	643.823	46.686	597.137	509.879	87.258	20,80%

## ANEXO V – Horario Trenes de Lunes a Viernes

### HORARIOS Servicio Retiro - Tigre

Vigente desde el 22/12/19

**Lunes a viernes**
**Trenes a Tigre**


TREN N°	RETIRO	L. DE LA TORRE	BELGRANO C	NÚÑEZ	RIVADAVIA	VTE. LÓPEZ	OLIVOS	LA LUCILA	MARTINEZ	ACASSUSO	SAN ISIDRO	BECCAR	VICTORIA	VIRREYES	SAN FERNANDO	CARUPÁ	TIGRE
3001	05:01	05:12	05:14	05:16	05:19	05:21	05:24	05:26	05:28	05:31	05:34	05:38	05:41	05:43	05:45	05:47	05:52
3003	05:12	05:23	05:25	05:27	05:30	05:32	05:35	05:37	05:39	05:42	05:45	05:49	05:52	05:54	05:56	05:58	06:03
3005	05:23	05:34	05:36	05:38	05:41	05:43	05:46	05:48	05:50	05:53	05:56	06:00	06:03	06:05	06:07	06:09	06:14
3007	05:34	05:45	05:47	05:49	05:52	05:54	05:57	05:59	06:01	06:04	06:07	06:11	06:14	06:16	06:18	06:20	06:25
3009	05:45	05:56	05:58	06:00	06:03	06:05	06:08	06:10	06:12	06:15	06:18	06:22	06:25	06:27	06:29	06:31	06:36
3011	05:57	06:08	06:10	06:12	06:15	06:17	06:20	06:22	06:24	06:27	06:30	06:34	06:37	06:39	06:41	06:43	06:48
3013	06:08	06:19	06:21	06:23	06:26	06:28	06:31	06:33	06:35	06:38	06:41	06:45	06:48	06:50	06:52	06:54	06:59
3015	06:19	06:30	06:32	06:34	06:37	06:39	06:42	06:44	06:46	06:49	06:52	06:56	06:59	07:01	07:03	07:05	07:10
3017	06:30	06:41	06:43	06:45	06:48	06:50	06:53	06:55	06:57	07:00	07:03	07:07	07:10	07:12	07:14	07:16	07:21
3019	06:41	06:52	06:54	06:56	06:59	07:01	07:04	07:06	07:08	07:11	07:14	07:18	07:21	07:23	07:25	07:27	07:32
3021	06:53	07:04	07:06	07:08	07:11	07:13	07:16	07:18	07:20	07:23	07:26	07:30	07:33	07:35	07:37	07:39	07:44
3023	07:04	07:15	07:17	07:19	07:22	07:24	07:27	07:29	07:31	07:34	07:37	07:41	07:44	07:46	07:48	07:50	07:55
3025	07:15	07:26	07:28	07:30	07:33	07:35	07:38	07:40	07:42	07:45	07:48	07:52	07:55	07:57	07:59	08:01	08:06
3027	07:26	07:37	07:39	07:41	07:44	07:46	07:49	07:51	07:53	07:56	07:59	08:03	08:06	08:08	08:10	08:12	08:17
3029	07:37	07:48	07:50	07:52	07:55	07:57	08:00	08:02	08:04	08:07	08:10	08:14	08:17	08:19	08:21	08:23	08:28
3031	07:48	07:59	08:01	08:03	08:06	08:08	08:11	08:13	08:15	08:18	08:21	08:25	08:28	08:30	08:32	08:34	08:39
3033	08:00	08:11	08:13	08:15	08:18	08:20	08:23	08:25	08:27	08:30	08:33	08:37	08:40	08:42	08:44	08:46	08:51
3035	08:11	08:22	08:24	08:26	08:29	08:31	08:34	08:36	08:38	08:41	08:44	08:48	08:51	08:53	08:55	08:57	09:02
3037	08:22	08:33	08:35	08:37	08:40	08:42	08:45	08:47	08:49	08:52	08:55	08:59	09:02	09:04	09:06	09:08	09:13
3039	08:33	08:44	08:46	08:48	08:51	08:53	08:56	08:58	09:00	09:03	09:06	09:10	09:13	09:15	09:17	09:19	09:24
3041	08:44	08:55	08:57	08:59	09:02	09:04	09:07	09:09	09:11	09:14	09:17	09:21	09:24	09:26	09:28	09:30	09:35
3043	08:56	09:07	09:09	09:11	09:14	09:16	09:19	09:21	09:23	09:26	09:29	09:33	09:36	09:38	09:40	09:42	09:47
3045	09:07	09:18	09:20	09:22	09:25	09:27	09:30	09:32	09:34	09:37	09:40	09:44	09:47	09:49	09:51	09:53	09:58
3047	09:18	09:29	09:31	09:33	09:36	09:38	09:41	09:43	09:45	09:48	09:51	09:55	09:58	10:00	10:02	10:04	10:09
3049	09:29	09:40	09:42	09:44	09:47	09:49	09:52	09:54	09:56	09:59	10:02	10:06	10:09	10:11	10:13	10:15	10:20
3051	09:40	09:51	09:53	09:55	09:58	10:00	10:03	10:05	10:07	10:10	10:13	10:17	10:20	10:22	10:24	10:26	10:31
3053	09:51	10:02	10:04	10:06	10:09	10:11	10:14	10:16	10:18	10:21	10:24	10:28	10:31	10:33	10:35	10:37	10:42
3055	10:03	10:14	10:16	10:18	10:21	10:23	10:26	10:28	10:30	10:33	10:36	10:40	10:43	10:45	10:47	10:49	10:54
3057	10:14	10:25	10:27	10:29	10:32	10:34	10:37	10:39	10:41	10:44	10:47	10:51	10:54	10:56	10:58	11:00	11:05
3059	10:25	10:36	10:38	10:40	10:43	10:45	10:48	10:50	10:52	10:55	10:58	11:02	11:05	11:07	11:09	11:11	11:16
3061	10:38	10:49	10:51	10:53	10:56	10:58	11:01	11:03	11:05	11:08	11:11	11:15	11:18	11:20	11:22	11:24	11:29
3063	10:54	11:05	11:07	11:09	11:12	11:14	11:17	11:19	11:21	11:24	11:27	11:31	11:34	11:36	11:38	11:40	11:45
3065	11:10	11:21	11:23	11:25	11:28	11:30	11:33	11:35	11:37	11:40	11:43	11:47	11:50	11:52	11:54	11:56	12:01
3067	11:26	11:37	11:39	11:41	11:44	11:46	11:49	11:51	11:53	11:56	11:59	12:03	12:06	12:08	12:10	12:12	12:17
3069	11:42	11:53	11:55	11:57	12:00	12:02	12:05	12:07	12:09	12:12	12:15	12:19	12:22	12:24	12:26	12:28	12:33
3071	11:58	12:09	12:11	12:13	12:16	12:18	12:21	12:23	12:25	12:28	12:31	12:35	12:38	12:40	12:42	12:44	12:49
3073	12:14	12:25	12:27	12:29	12:32	12:34	12:37	12:39	12:41	12:44	12:47	12:51	12:54	12:56	12:58	13:00	13:05
3075	12:30	12:41	12:43	12:45	12:48	12:50	12:53	12:55	12:57	13:00	13:03	13:07	13:10	13:12	13:14	13:16	13:21
3077	12:46	12:57	12:59	13:01	13:04	13:06	13:09	13:11	13:13	13:16	13:19	13:23	13:26	13:28	13:30	13:32	13:37
3079	13:02	13:13	13:15	13:17	13:20	13:22	13:25	13:27	13:29	13:32	13:35	13:39	13:42	13:44	13:46	13:48	13:53
3081	13:18	13:29	13:31	13:33	13:36	13:38	13:41	13:43	13:45	13:48	13:51	13:55	13:58	14:00	14:02	14:04	14:09
3083	13:34	13:45	13:47	13:49	13:52	13:54	13:57	13:59	14:01	14:04	14:07	14:11	14:14	14:16	14:18	14:20	14:25
3085	13:50	14:01	14:03	14:05	14:08	14:10	14:13	14:15	14:17	14:20	14:23	14:27	14:30	14:32	14:34	14:36	14:41
3087	14:06	14:17	14:19	14:21	14:24	14:26	14:29	14:31	14:33	14:36	14:39	14:43	14:46	14:48	14:50	14:52	14:57
3089	14:22	14:33	14:35	14:37	14:40	14:42	14:45	14:47	14:49	14:52	14:55	14:59	15:02	15:04	15:06	15:08	15:13
3091	14:38	14:49	14:51	14:53	14:56	14:58	15:01	15:03	15:05	15:08	15:11	15:15	15:18	15:20	15:22	15:24	15:29
3093	14:54	15:05	15:07	15:09	15:12	15:14	15:17	15:19	15:21	15:24	15:27	15:31	15:34	15:36	15:38	15:40	15:45
3095	15:10	15:21	15:23	15:25	15:28	15:30	15:33	15:35	15:37	15:40	15:43	15:47	15:50	15:52	15:54	15:56	16:01
3097	15:26	15:37	15:39	15:41	15:44	15:46	15:49	15:51	15:53	15:56	15:59	16:03	16:06	16:08	16:10	16:12	16:17
3099	15:42	15:53	15:55	15:57	16:00	16:02	16:05	16:07	16:09	16:12	16:15	16:19	16:22	16:24	16:26	16:28	16:33
3101	15:58	16:09	16:11	16:13	16:16	16:18	16:21	16:23	16:25	16:28	16:31	16:35	16:38	16:40	16:42	16:44	16:49
3103	16:14	16:25	16:27	16:29	16:32	16:34	16:37	16:39	16:41	16:44	16:47	16:51	16:54	16:56	16:58	17:00	17:05

3105	16:25	16:36	16:39	16:42	16:45	16:47	16:50	16:53	16:56	16:59	17:02	17:05	17:08	17:10	17:12	17:14	17:19
3107	16:36	16:47	16:50	16:53	16:56	16:58	17:01	17:04	17:07	17:10	17:13	17:16	17:19	17:21	17:23	17:25	17:30
3109	16:47	16:58	17:01	17:04	17:07	17:09	17:12	17:15	17:18	17:21	17:24	17:27	17:30	17:32	17:34	17:36	17:41
3111	16:58	17:09	17:12	17:15	17:18	17:20	17:23	17:26	17:29	17:32	17:35	17:38	17:41	17:43	17:45	17:47	17:52
3113	17:09	17:20	17:23	17:26	17:29	17:31	17:34	17:37	17:40	17:43	17:46	17:49	17:52	17:54	17:56	17:58	18:03
3115	17:21	17:32	17:35	17:38	17:41	17:43	17:46	17:49	17:52	17:55	17:58	18:01	18:04	18:06	18:08	18:10	18:15
3117	17:32	17:43	17:46	17:49	17:52	17:54	17:57	18:00	18:03	18:06	18:09	18:12	18:15	18:17	18:19	18:21	18:26
3119	17:43	17:54	17:57	18:00	18:03	18:05	18:08	18:11	18:14	18:17	18:20	18:23	18:26	18:28	18:30	18:32	18:37
3121	17:54	18:05	18:08	18:11	18:14	18:16	18:19	18:22	18:25	18:28	18:31	18:34	18:37	18:39	18:41	18:43	18:48
3123	18:05	18:16	18:19	18:22	18:25	18:27	18:30	18:33	18:36	18:39	18:42	18:45	18:48	18:50	18:52	18:54	18:59
3125	18:17	18:28	18:31	18:34	18:37	18:39	18:42	18:45	18:48	18:51	18:54	18:57	19:00	19:02	19:04	19:06	19:11
3127	18:28	18:39	18:42	18:45	18:48	18:50	18:53	18:56	18:59	19:02	19:05	19:08	19:11	19:13	19:15	19:17	19:22
3129	18:39	18:50	18:53	18:56	18:59	19:01	19:04	19:07	19:10	19:13	19:16	19:19	19:22	19:24	19:26	19:28	19:33
3131	18:50	19:01	19:04	19:07	19:10	19:12	19:15	19:18	19:21	19:24	19:27	19:30	19:33	19:35	19:37	19:39	19:44
3133	19:01	19:12	19:15	19:18	19:21	19:23	19:26	19:29	19:32	19:35	19:38	19:41	19:44	19:46	19:48	19:50	19:55
3135	19:12	19:23	19:26	19:29	19:32	19:34	19:37	19:40	19:43	19:46	19:49	19:52	19:55	19:57	19:59	20:01	20:06
3137	19:24	19:35	19:38	19:41	19:44	19:46	19:49	19:52	19:55	19:58	20:01	20:04	20:07	20:09	20:11	20:13	20:18
3139	19:35	19:46	19:49	19:52	19:55	19:57	20:00	20:03	20:06	20:09	20:12	20:15	20:18	20:20	20:22	20:24	20:29
3141	19:51	20:02	20:04	20:06	20:09	20:11	20:14	20:16	20:18	20:21	20:24	20:28	20:31	20:33	20:35	20:37	20:42
3143	20:07	20:18	20:20	20:22	20:25	20:27	20:30	20:32	20:34	20:37	20:40	20:44	20:47	20:49	20:51	20:53	20:58
3145	20:23	20:34	20:36	20:38	20:41	20:43	20:46	20:48	20:50	20:53	20:56	21:00	21:03	21:05	21:07	21:09	21:14
3147	20:39	20:50	20:52	20:54	20:57	20:59	21:02	21:04	21:06	21:09	21:12	21:16	21:19	21:21	21:23	21:25	21:30
3149	20:55	21:06	21:08	21:10	21:13	21:15	21:18	21:20	21:22	21:25	21:28	21:32	21:35	21:37	21:39	21:41	21:46
3151	21:11	21:22	21:24	21:26	21:29	21:31	21:34	21:36	21:38	21:41	21:44	21:48	21:51	21:53	21:55	21:57	22:02
3153	21:27	21:38	21:40	21:42	21:45	21:47	21:50	21:52	21:54	21:57	22:00	22:04	22:07	22:09	22:11	22:13	22:18
3155	21:43	21:54	21:56	21:58	22:01	22:03	22:06	22:08	22:10	22:13	22:16	22:20	22:23	22:25	22:27	22:29	22:34
3157	21:59	22:10	22:12	22:14	22:17	22:19	22:22	22:24	22:26	22:29	22:32	22:36	22:39	22:41	22:43	22:45	22:50
3159	22:15	22:26	22:28	22:30	22:33	22:35	22:38	22:40	22:42	22:45	22:48	22:52	22:55	22:57	22:59	23:01	23:06
3161	22:31	22:42	22:44	22:46	22:49	22:51	22:54	22:56	22:58	23:01	23:04	23:08	23:11	23:13	23:15	23:17	23:22
3163	22:47	22:58	23:00	23:02	23:05	23:07	23:10	23:12	23:14	23:17	23:20	23:24	23:27	23:29	23:31	23:33	23:38
3165	23:03	23:14	23:16	23:18	23:21	23:23	23:26	23:28	23:30	23:33	23:36	23:40	23:43	23:45	23:47	23:49	23:54

# HORARIOS Servicio Pza. Constitución - La Plata

Vigente desde noviembre 2019

## Lunes a viernes

### Trenes a La Plata

TREN Nº	PZA. CONSTITUCIÓN	D. SANTILLAN Y M. KOSTERZI Est. de combinación	SARANDI	V. DOMINICO	WILDE	DON BOSCO	BERNAL	QUILMES	EZPELETA	BERAZATEGUI Est. de combinación	PLATANOS	HUDSON	PEREYRA	V. ELISA	CITY BELL	GONNET	RINGULET	TOLDOSA	LA PLATA					
4035	04:38	04:44	04:48	04:51	04:54	04:56	04:59	05:03	05:09	05:13	05:17	05:20	05:27	05:30	05:34	05:38	05:41	05:45	05:48					
2039	04:54	05:00	05:04	05:07	05:10	05:12	05:15	05:19	05:25	05:29	Servicio a Bosques													
4043	05:02	05:08	05:12	05:15	05:18	05:20	05:23	05:27	05:33	05:37	05:41	05:44	05:51	05:54	05:58	06:02	06:05	06:09	06:12					
2047	05:18	05:24	05:28	05:31	05:34	05:36	05:39	05:43	05:49	05:53	Servicio a Bosques													
4051	----	----	----	----	----	----	----	05:51	05:57	06:01	06:05	06:08	06:15	06:18	06:22	06:26	06:29	06:33	06:36					
2055	05:42	05:48	05:52	05:55	05:58	06:00	06:03	06:07	06:13	06:17	Servicio a Bosques													
4059	05:50	05:56	06:00	06:03	06:06	06:08	06:11	06:15	06:21	06:25	06:29	06:32	06:39	06:42	06:46	06:50	06:53	06:57	07:00					
2063	06:06	06:12	06:16	06:19	06:22	06:24	06:27	06:31	06:37	06:41	Servicio a Bosques													
4067	06:14	06:20	06:24	06:27	06:30	06:32	06:35	06:39	06:45	06:49	06:53	06:56	07:03	07:06	07:10	07:14	07:17	07:21	07:24					
2071	06:30	06:36	06:40	06:43	06:46	06:48	06:51	06:55	07:01	07:05	Servicio a Bosques													
4075	06:38	06:44	06:48	06:51	06:54	06:56	06:59	07:03	07:09	07:13	07:17	07:20	07:27	07:30	07:34	07:38	07:41	07:45	07:48					
2079	06:54	07:00	07:04	07:07	07:10	07:12	07:15	07:19	07:25	07:29	Servicio a Bosques													
4083	07:02	07:08	07:12	07:15	07:18	07:20	07:23	07:27	07:33	07:37	07:41	07:44	07:51	07:54	07:58	08:02	08:05	08:09	08:12					
2087	07:18	07:24	07:28	07:31	07:34	07:36	07:39	07:43	07:49	07:53	Servicio a Bosques													
4091	07:26	07:32	07:36	07:39	07:42	07:44	07:47	07:51	07:57	08:01	08:05	08:08	08:15	08:18	08:22	08:26	08:29	08:33	08:36					
2095	07:42	07:48	07:52	07:55	07:58	08:00	08:03	08:07	08:13	08:17	Servicio a Bosques													
4099	07:50	07:56	08:00	08:03	08:06	08:08	08:11	08:15	08:21	08:25	08:29	08:32	08:39	08:42	08:46	08:50	08:53	08:57	09:00					
2103	08:06	08:12	08:16	08:19	08:22	08:24	08:27	08:31	08:37	08:41	Servicio a Bosques													
4107	08:14	08:20	08:24	08:27	08:30	08:32	08:35	08:39	08:45	08:49	08:53	08:56	09:03	09:06	09:10	09:14	09:17	09:21	09:24					
2111	08:30	08:36	08:40	08:43	08:46	08:48	08:51	08:55	09:01	09:05	Servicio a Bosques													
4115	08:38	08:44	08:48	08:51	08:54	08:56	08:59	09:03	09:09	09:13	09:17	09:20	09:27	09:30	09:34	09:38	09:41	09:45	09:48					
2119	08:54	09:00	09:04	09:07	09:10	09:12	09:15	09:19	09:25	09:29	Servicio a Bosques													
4123	09:02	09:08	09:12	09:15	09:18	09:20	09:23	09:27	09:33	09:37	09:41	09:44	09:51	09:54	09:58	10:02	10:05	10:09	10:12					
2127	09:18	09:24	09:28	09:31	09:34	09:36	09:39	09:43	09:49	09:53	Servicio a Bosques													
4131	09:26	09:32	09:36	09:39	09:42	09:44	09:47	09:51	09:57	10:01	10:05	10:08	10:15	10:18	10:22	10:26	10:29	10:33	10:36					
2135	09:42	09:48	09:52	09:55	09:58	10:00	10:03	10:07	10:13	10:17	Servicio a Bosques													
4139	09:50	09:56	10:00	10:03	10:06	10:08	10:11	10:15	10:21	10:25	10:29	10:32	10:39	10:42	10:46	10:50	10:53	10:57	11:00					
2143	10:07	10:13	10:17	10:20	10:23	10:25	10:28	10:32	10:38	10:41	Servicio a Bosques													
4147	10:16	10:22	10:26	10:29	10:32	10:34	10:37	10:41	10:47	10:51	10:55	10:58	11:05	11:08	11:12	11:16	11:19	11:23	11:26					
2151	10:39	10:45	10:49	10:52	10:55	10:57	11:00	11:04	11:10	11:13	Servicio a Bosques													
4155	10:48	10:54	10:58	11:01	11:04	11:06	11:09	11:13	11:19	11:23	11:27	11:30	11:37	11:40	11:44	11:48	11:51	11:55	11:58					
4159	11:09	11:15	11:19	11:22	11:25	11:27	11:30	11:34	11:40	11:43	----	----	----	----	----	----	----	----	----					
4163	11:22	11:28	11:32	11:35	11:38	11:40	11:43	11:47	11:53	11:57	12:01	12:04	12:11	12:14	12:18	12:22	12:25	12:29	12:32					
2167	11:39	11:45	11:49	11:52	11:55	11:57	12:00	12:04	12:10	12:13	Servicio a Bosques													
4171	11:54	12:00	12:04	12:07	12:10	12:12	12:15	12:19	12:25	12:29	12:33	12:36	12:43	12:46	12:50	12:54	12:57	13:01	13:04					
2175	12:09	12:15	12:19	12:22	12:25	12:27	12:30	12:34	12:40	12:43	Servicio a Bosques													
4179	12:24	12:30	12:34	12:37	12:40	12:42	12:45	12:49	12:55	12:59	13:03	13:06	13:13	13:16	13:20	13:24	13:27	13:31	13:34					
2183	12:39	12:45	12:49	12:52	12:55	12:57	13:00	13:04	13:10	13:13	Servicio a Bosques													
4187	12:54	13:00	13:04	13:07	13:10	13:12	13:15	13:19	13:25	13:29	13:33	13:36	13:43	13:46	13:50	13:54	13:57	14:01	14:04					
2191	13:09	13:15	13:19	13:22	13:25	13:27	13:30	13:34	13:40	13:43	Servicio a Bosques													
4195	13:24	13:30	13:34	13:37	13:40	13:42	13:45	13:49	13:55	13:59	14:03	14:06	14:13	14:16	14:20	14:24	14:27	14:31	14:34					
4199	13:39	13:45	13:49	13:52	13:55	13:57	14:00	14:04	14:10	14:13	----	----	----	----	----	----	----	----	----					
4203	13:54	14:00	14:04	14:07	14:10	14:12	14:15	14:19	14:25	14:29	14:33	14:36	14:43	14:46	14:50	14:54	14:57	15:01	15:04					
2207	14:09	14:15	14:19	14:22	14:25	14:27	14:30	14:34	14:40	14:43	Servicio a Bosques													
4211	14:24	14:30	14:34	14:37	14:40	14:42	14:45	14:49	14:55	14:59	15:03	15:06	15:13	15:16	15:20	15:24	15:27	15:31	15:34					
2215	14:39	14:45	14:49	14:52	14:55	14:57	15:00	15:04	15:10	15:13	Servicio a Bosques													

4219	14:54	15:00	15:04	15:07	15:10	15:12	15:15	15:19	15:25	15:29	15:33	15:36	15:43	15:46	15:50	15:54	15:57	16:01	16:04
2223	15:07	15:13	15:17	15:20	15:23	15:25	15:28	15:32	15:38	15:41	Servicio a Bosques								
4227	15:24	15:30	15:34	15:37	15:40	15:42	15:45	15:49	15:55	15:59	16:03	16:06	16:13	16:16	16:20	16:24	16:27	16:31	16:34
2231	15:40	15:46	15:50	15:53	15:56	15:58	16:01	16:05	16:11	16:14	Servicio a Bosques								
4235	15:54	16:00	16:04	16:07	16:10	16:12	16:15	16:19	16:25	16:29	16:33	16:36	16:43	16:46	16:50	16:54	16:57	17:01	17:04
2239	16:06	16:12	16:16	16:19	16:22	16:24	16:27	16:31	16:37	16:41	Servicio a Bosques								
4243	16:15	16:21	16:25	16:28	16:31	16:33	16:36	16:40	16:46	16:50	16:54	16:57	17:04	17:07	17:11	17:15	17:18	17:22	17:25
2247	16:30	16:36	16:40	16:43	16:46	16:48	16:51	16:55	17:01	17:05	Servicio a Bosques								
4251	16:38	16:44	16:48	16:51	16:54	16:56	16:59	17:03	17:09	17:13	17:17	17:20	17:27	17:30	17:34	17:38	17:41	17:45	17:48
2255	16:54	17:00	17:04	17:07	17:10	17:12	17:15	17:19	17:25	17:29	Servicio a Bosques								
4259	17:02	17:08	17:12	17:15	17:18	17:20	17:23	17:27	17:33	17:37	17:41	17:44	17:51	17:54	17:58	18:02	18:05	18:09	18:12
2263	17:18	17:24	17:28	17:31	17:34	17:36	17:39	17:43	17:49	17:53	Servicio a Bosques								
4267	17:26	17:32	17:36	17:39	17:42	17:44	17:47	17:51	17:57	18:01	18:05	18:08	18:15	18:18	18:22	18:26	18:29	18:33	18:36
2271	17:42	17:48	17:52	17:55	17:58	18:00	18:03	18:07	18:13	18:17	Servicio a Bosques								
4275	17:50	17:56	18:00	18:03	18:06	18:08	18:11	18:15	18:21	18:25	18:29	18:32	18:39	18:42	18:46	18:50	18:53	18:57	19:00
2279	18:06	18:12	18:16	18:19	18:22	18:24	18:27	18:31	18:37	18:41	Servicio a Bosques								
4283	18:14	18:20	18:24	18:27	18:30	18:32	18:35	18:39	18:45	18:49	18:53	18:56	19:03	19:06	19:10	19:14	19:17	19:21	19:24
2287	----	----	----	----	----	----	----	----	----	19:05	Servicio a Bosques								
4291	18:38	18:44	18:48	18:51	18:54	18:56	18:59	19:03	19:09	19:13	19:17	19:20	19:27	19:30	19:34	19:38	19:41	19:45	19:48
2295	18:54	19:00	19:04	19:07	19:10	19:12	19:15	19:19	19:25	19:29	Servicio a Bosques								
4299	19:02	19:08	19:12	19:15	19:18	19:20	19:23	19:27	19:33	19:37	19:41	19:44	19:51	19:54	19:58	20:02	20:05	20:09	20:12
2303	19:18	19:24	19:28	19:31	19:34	19:36	19:39	19:43	19:49	19:53	Servicio a Bosques								
4307	19:26	19:32	19:36	19:39	19:42	19:44	19:47	19:51	19:57	20:01	20:05	20:08	20:15	20:18	20:22	20:26	20:29	20:33	20:36
2311	19:42	19:48	19:52	19:55	19:58	20:00	20:03	20:07	20:13	20:17	Servicio a Bosques								
4315	19:50	19:56	20:00	20:03	20:06	20:08	20:11	20:15	20:21	20:25	20:29	20:32	20:39	20:42	----	----	----	----	----
2319	20:09	20:15	20:19	20:22	20:25	20:27	20:30	20:34	20:40	20:43	Servicio a Bosques								
4323	20:23	20:29	20:33	20:36	20:39	20:41	20:44	20:48	20:54	20:58	21:02	21:05	21:12	21:15	21:19	21:23	21:26	21:30	21:33
2327	20:38	20:44	20:48	20:51	20:54	20:56	20:59	21:03	21:09	21:12	Servicio a Bosques								
4331	20:55	21:01	21:05	21:08	21:11	21:13	21:16	21:20	21:26	21:30	21:34	21:37	21:44	21:47	21:51	21:55	21:58	22:02	22:05
2335	21:09	21:15	21:19	21:22	21:25	21:27	21:30	21:34	21:40	21:43	Servicio a Bosques								
4349	21:25	21:31	21:35	21:38	21:41	21:43	21:46	21:50	21:56	22:00	22:04	22:07	22:14	22:17	22:21	22:25	22:28	22:32	22:35
2353	21:43	21:49	21:53	21:56	21:59	22:01	22:04	22:08	22:14	22:17	Servicio a Bosques								
4353	21:57	22:03	22:07	22:10	22:13	22:15	22:18	22:22	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4357	22:17	22:23	22:27	22:30	22:33	22:35	22:38	22:42	22:48	22:52	22:56	22:59	23:06	23:09	23:13	23:17	23:20	23:24	23:27

## ANEXO VI – Red de Estaciones de las siete Líneas AMBA

Línea San Martín



Línea Belgrano Sur



Línea Belgrano Norte



**Línea Sarmiento**



**Línea Mitre**



**Línea Roca**



### Línea Urquiza



## ANEXO VII – Entrevista a expertos ferroviarios

**Ing. Miguel Cafiero – CEO Siemens Mobility Argentina**

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes Urbanos AMBA?

*Creo que ya empezó. Hoy contamos con aplicaciones para el celular basadas en tecnologías de digitalización donde podemos identificar el estado de la circulación en las líneas de trenes urbanos AMBA. Entendiendo que esto es recién la base de muchas otras aplicaciones que se irán clasificando y categorizando ya sea para pasajeros, personal de operación, de mantenimiento, seguridad, etc. La interconexión de equipos y sistemas y el manejo inteligente de los datos disponibles irán optimizando las operaciones del ferrocarril. Está claro que en nuestra realidad todavía faltan superar algunas barreras tecnológicas, por ejemplo, los sistemas de señalamiento obsoletos y la falta de conectividad de muchos sectores de las líneas, pero no impide que ya pensemos en el impacto que tendrá. Desde mi punto de vista es la misma operadora ferroviaria que podrá ir vaticinando los mayores desafíos al momento de decodificar las necesidades de los usuarios y pasajeros y las posibilidades actuales de su propia infraestructura. A partir de ese relevamiento, quedará claro donde debe enfocarse la inversión para cerrar la brecha.*

2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y experiencia al usuario que justifiquen la inversión?

*Considero que sí. De hecho, es lo que muestran las experiencias en otros países y operadoras que han tomado la delantera en este sentido. La exposición en distintas ferias y congresos así lo expone y se debe también a que el ámbito ferroviario no es una isla respecto del resto de otras actividades de la sociedad. Vemos en, prácticamente todos los ámbitos, como ha habido aumento de rendimiento y disponibilidad en servicios a usuarios y operadores. El usuario del servicio ferroviario es el mismo que utiliza otros servicios, por ejemplo, el bancario, el comercial, etc. Compra, vende, pide un turno en el médico, retira sus estudios y hace operaciones de todo tipo en plataformas digitales. ¿Por qué no ampliar esa experiencia a la mejora en*

su viaje diario? Es una consecuencia lógica de lo que se impone hoy en casi todos los niveles.

3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, así como se implementó en otras industrias?

*Entiendo que es casi una obligación. El mundo ferroviario siempre ha sido un poco reticente a cambios por varios motivos. Pero hoy vemos una tendencia generalizada a aceptar la necesidad del cambio en distintos niveles y plataformas. El tema está en saber por dónde comenzará y con qué profundidad. Desde hace años, pero hoy aún más, se imponen los sistemas digitales de señalamiento para el transporte masivo, de alta capacidad y también para sistemas más livianos. Asimismo, las arquitecturas de alimentación eléctrica son protegidas, controladas y operadas por sistemas digitales. Las telecomunicaciones son un ejemplo de alto grado de digitalización. Este avance se ha estado dando de manera ininterrumpida. El siguiente paso es, a partir de estas piedras fundamentales, como evolucionar en el sentido que hoy exige la digitalización sumando los pilares del ferrocarril a otros servicios que ya hoy tienen una alta evolución en digitalización y permitir unir todo esto en soluciones a los usuarios y operadores.*

**Ing. Diego Viale – Head Proyecto Siemens Mobility Argentina**

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes?

*Para mí la digitalización es el nexo entre la tecnología y la gente, por lo que sin duda tendrá un efecto más que positivo en el servicio de trenes. Desde el punto de vista del usuario, en la medida que la digitalización aporte información realística en tiempo real, mejorará la percepción del servicio. En la otra cara de la moneda, los operadores teniendo los datos del material rodante y la infraestructura podrán prever situaciones y accionar de manera preventiva/proactiva garantizando un mejor servicio.*

2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y experiencia al usuario que justifiquen la inversión?

*Por supuesto, pero en países como el nuestro dónde hay otras necesidades más prioritarias (en materia de infraestructura, material rodante, etc.) la disponibilidad de*

*fondos será más lenta y estará sujeta a que esas obras prioritarias se vayan concretando. Igualmente hay una tendencia natural a digitalizar y en la medida que ese poco que se dé de forma natural muestre sus beneficios dará pie a nuevos proyectos que se vayan desarrollando.*

3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, así como se implementó en otras industrias?

*Las ventajas de la digitalización exceden el rubro o la industria donde están, obviamente los desafíos son distintos ya que no es lo mismo una industria donde está todo confinado en una planta a una línea de unos cuantos kilómetros con trenes funcionando a 160km/h.*

**Ing. Juan Jose Reques – Head R&D Siemens Mobility España**

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes?

*Permitirá la integración de servicios que hasta ahora están dispersos, como por ejemplo: gestión de oferta de transporte (número de trenes), basados en afluencia real de viajeros, cálculo dinámico de los tiempos de parada también dependiendo de afluencia, integración con sistemas de suministro de energía (por ejemplo en caso de incidencias), gestión más adecuada del consumo energético en marcha de trenes, basado en afluencia real de viajeros en siguientes paradas y tiempo previsto de embarque y desembarque para esa afluencia.*

2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y experiencia al usuario que justifiquen la inversión?

*En rendimiento y disponibilidad, sí habrá impacto, conforme comentado en el punto anterior. Desde el punto de vista del usuario, permitirá una puntualidad mayor de las circulaciones, al utilizar los sistemas de gestión de tráfico datos externos, además de suministrar otras informaciones al pasajero, como afectaciones en medios de transporte de enlace, eventos, etc.*

3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, así como se implementó en otras industrias?

*Por supuesto, sobre todo con suministradores de soluciones completas, como SIEMENS con su plataforma MindSphere.*

**Ing. Javier Sartori – Gerente de Ingeniería de Señalamiento ADIF**

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes?

*La digitalización en la industria ferroviaria impacta en gran medida y de forma positiva como por ejemplo el mantenimiento predictivo de las instalaciones fijas y del material rodante con todos los beneficios que trae aparejado.*

2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y experiencia al usuario que justifiquen la inversión?

*Claramente traerá cambios en el rendimiento, ya que nos permite tener gran cantidad de datos en tiempo real y capacidad de procesar los mismo utilizándolos para la toma de decisión en tiempos que se ajustan a los requerimientos de la realidad del servicio operativo. Todos los datos recogidos nos permiten realizar mantenimiento predictivo y en su defecto mantenimiento correctivo para algún caso particular, esto no solo justifica la inversión debido a que hace mucho más eficiente las intervenciones del mantenimiento, sino que evita hacerlo en forma sistemática por mantenimiento preventivo con lo que conlleva al ahorro sustancial en horas hombre y aumento de la disponibilidad de los sistemas.*

3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, así como se implementó en otras industrias?

*Por supuesto que se podrá implementar en la industria ferroviaria, pero demandará un plan para su implementación en forma orgánico y sistemática que deberá incluir una capacitación de alta performance de los recursos humanos y en algunos casos tal vez implique reubicación de personal a otras tareas debido a que probablemente requiera de personal con habilidades en herramientas informáticas de última generación. Por todo lo antes detallado estas nuevas tecnologías presentarán un gran*

*desafío para la industria ferroviaria, pero a su vez implicará un salto de nivel en calidad y seguridad de los servicios de pasajeros.*

**Lic. Ricardo Garcia - Gerente de Transporte Línea Mitre – SOFSE**

1. ¿Como consideras que la digitalización impactara en el servicio de trenes?

*Favorablemente, no sólo por el costo que hoy significa mantener equipos analógicos, sino que el nivel de fallas observado en los sistemas que se han digitalizado es muy inferior a los sistemas analógicos, además el mantenimiento y detección de averías es mucho más simple.*

2. ¿Consideras que habrá cambios en el rendimiento, disponibilidad y experiencia al usuario que justifiquen la inversión?

*Sin lugar a duda, las experiencias de las que participé han indicado esta tendencia, si bien en un comienzo se necesita de un importante nivel de capacitación, luego rápidamente los resultados indican que la inversión inicial, la cual es sin duda elevada, se justifica plenamente por los rendimientos y disponibilidades que se logran.*

3. ¿Consideras que la digitalización se podrá implementar en la industria ferroviaria, así como se implementó en otras industrias?

*Sin ninguna duda, de hecho, en Argentina las implementaciones ya adoptadas han sido un éxito con resultados muy confiables en el tiempo.*