

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Métodos Constructivos de Superestructura Ferroviaria. Caso
Práctico Metro de Lima**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Alvaro Vidal Ruiz

ASESOR

Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, 17 de junio del 2020

RESUMEN

La presente investigación ha recopilado los principales conceptos de la ingeniería ferroviaria y explica los procesos constructivos de superestructura de ferrocarriles metropolitanos, como son la vía en balasto y vía en placa, tanto a nivel mundial como en el Perú, mediante el estudio de los procesos constructivos y soluciones de ingeniería aplicados en la Línea 1 y 2 del Metro de Lima. Del estudio de los proyectos del Metro de Lima, se evidencia la incidencia de los radios mínimos del trazado en la estabilidad de la vía, ya que generan mayores fuerzas centrífuga y producen ruido y vibraciones, lo que lleva a la aplicación de soluciones de ingeniería. Además, se ha determinado la situación actual de la ingeniería ferroviaria en el Perú, mediante una recopilación histórica y revisión del Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario del MTC, de los cuales se concluye que existe un futuro muy alentador para esta rama de la ingeniería. Por ello, se justifica la importancia del estudio de la construcción de superestructura y el objetivo principal de esta investigación, el cual ha sido elaborar una guía de los procesos constructivos de superestructura ferroviaria, para poder ser utilizada en el desarrollo de los próximos proyectos, como son la implementación de las líneas restantes de la Red Básica del Metro de Lima y otros proyectos propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme en mi formación personal y profesional, a los miembros de mi familia quienes me han acompañado a lo largo de toda mi carrera, y a mis amigos con quienes compartí mi vida universitaria.

A mi asesor el Ing. Iván Bragagnini por su tiempo, apoyo e interés en el desarrollo de este documento.

Un especial agradecimiento al Ing. Oscar Bravo Yabar por su tiempo, paciencia, apoyo e importantes aportes al presente documento. Y al Ing. Américo Soto por las agradables charlas de temas ferroviarios y por compartir su amplia experiencia. Gracias ingenieros por la ayuda brindada y su disposición, espero que este aporte académico motive al estudio de esta rama de la ingeniería y, al igual que ustedes, incentive a apostar por el desarrollo de proyectos ferroviarios en el Perú.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1: Marco Conceptual	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Justificación:.....	7
1.3 Preguntas de Investigación.....	7
1.4 Objetivos	8
1.5 Metodología	8
CAPÍTULO 2: Situación actual de los ferrocarriles en el Perú	12
2.1 Historia de los ferrocarriles en el Perú	12
2.2 Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario:.....	17
CAPÍTULO 3: Ingeniería Ferroviaria. Características Fundamentales	26
3.1 Clasificación de los ferrocarriles:.....	26
3.2 Superestructura ferroviaria.....	30
3.2.1 Consideraciones Generales de la vía:.....	31
3.2.2 Estructura de la vía.....	38
3.3 Consideraciones Generales del Material Rodante	51
CAPÍTULO 4: Procesos Constructivos de Superestructura .	54
4.1 Vía Sobre Balasto.....	54
4.2 Vía en Placa	68
CAPÍTULO 5: Casos Práctico Línea 1 del Metro de Lima ...	72
5.1 Descripción Actual De La Línea.....	72
5.2 Descripción Del Proyecto De Construcción	73
5.3 Procesos Constructivos De Superestructura	79
5.3.1 Rehabilitación de vía Tramo 1.....	79
5.3.2 Construcción de Nueva Vía Férrea Sobre Balasto.....	81
5.3.3 Construcción de Sistema Vía en Placa Sonnevile/LVT	84
CAPÍTULO 6: Casos Práctico. Línea 2 del Metro de Lima ..	88
6.1 Descripción De La Línea	88
6.2 Descripción Del Proyecto De Construcción	90
6.3 Procesos Constructivos De Superestructura	94
6.3.1 Patio Taller (Vía en Balasto).....	94

6.3.2 Vía en Placa en Túnel	98
CAPÍTULO 7: Conclusiones y recomendaciones	105
Situación Actual de los Ferrocarriles en el Perú	105
Ingeniería Ferroviaria y procesos constructivos	106
Recomendaciones	108
Referencias.....	110
Anexo 1.....	117
Anexo 2: El Consorcio Metrolima	121
Anexo 3: Plan Nacional Desarrollo Ferroviario.....	123
Anexo 4: Ferrocarriles en el Mundo	127
Anexo 5: Curva Granulométrica del Balasto	136
Anexo 6: Diseño Geométrico de Vía Férrea	137
Anexo 7: Industrialización de montaje de vía	141
Anexo 8: Proceso de Re-concesión de la Línea 1 del Metro de Lima	143
Anexo 9: Fotografías de Proceso Constructivo Línea 1	150
Rehabilitación de vía.....	150
Construcción de Nueva Vía Férrea Sobre Balasto.....	151
Construcción de Sistema Sonnevile/LVT	165
Construcción de Alto Impacto Línea 1 - Adenda N°4	172
Anexo 10: Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SAC	174
Anexo 11: Fotografías de Proceso Constructivo Línea 2	181
Patio Taller	181
Vía en Placa	186

Índice de Figuras

Figura 1.1: Esquema de Metodología de Investigación.....	9
Figura 2.1. Sistema actual de líneas férreas, según su condición (MTC, 2012).....	15
Figura 2.2: Red Básica del Metro de Lima y Callao	25
Figura 3.1: Diferencia entre Ferrocarriles Urbanos.....	28
Figura 3.2: Diferencia entre infraestructura y superestructura en viaducto.....	30
Figura 3.3: Transmisión de esfuerzos por la superestructura de vía	31
Figura 3.4: Anchos de vía más utilizados en el mundo.....	32
Figura 3.5: Medición de entrevía (E).....	32
Figura 3.6: Movimiento de ruedas cónicas en curva.....	33
Figura 3.7: Movimiento de lazo.....	34
Figura 3.8: Forma cónica de ruedas e inclinación de riel.....	34
Figura 3.9: Gálibo en alineación recta sin poste de catenaria central, Tranvía de Tenerife.....	35
Figura 3.10: Principales elementos en distintos tipos de línea aérea de contacto	36
Figura 3.11: Principales elementos en catenaria rígida	37
Figura 3.12: Tipos de contacto tercer carril.....	37
Figura 3.13: Partes de un riel (Riel Vignole).....	38
Figura 3.14: Riel Phoenix Ri.....	39
Figura 3.15: Diagrama de Momentos flectores a los que son sometidos todos los elementos de vía por un eje de carga.....	41
Figura 3.16: Durmientes de acero	42
Figura 3.17: Traviesa Bibloque.....	42
Figura 3.18: Traviesa Monoblock.....	43
Figura 3.19: Estructura de vía en placa	45
Figura 3.20: Sistema Edilon Riel Embebido	46
Figura 3.21: Sistema Sonnevile LVT.....	46
Figura 3.22: Sistema de Placa construida in Situ	47
Figura 3.23: Sujeción rígida. Escarpia y tirafondo.....	48
Figura 3.24: Sujeciones elásticas tipo grapa (Nabla) y clip (e Pandrol)	48
Figura 3.25: Placa de asiento elástica (a) y rígida (b).....	48
Figura 3.26: Componentes de un cambio de vía	49
Figura 3.27: Esquema de cruzamiento convencional.....	50
Figura 3.28: Combinaciones de aparatos de vía.....	50
Figura 3.29: Partes de un Bogie Motor	53
Figura 4.1: (a) Piquete sobre terreno; (b) Bulón roscado en poste de catenaria	55
Figura 4.2: Colocación de balasto con Spreader.....	55
Figura 4.3: Esquema de huella en eje de vía.....	56
Figura 4.4: Retroexcavadora con Porta durmientes	57
Figura 4.5: Carro colocador de Rieles MPR (Alineadora).....	57
Figura 4.6: Colocación de eclisa provisional	58
Figura 4.7: Pre-alineamiento con Track Lifting Slewing Machine (RV100).....	58
Figura 4.8: Tolve con balasto (Faccs-z).....	60
Figura 4.9: (a) Reguladora de Balasto (USP 2010 SWS); (b) Detalle de Paletas reguladora.....	61
Figura 4.10: Proceso de bateo por “Bateadora Niveladora”	61
Figura 4.11: Estabilización Dinámica	62
Figura 4.12: (a) Soldadura eléctrica de riel; (b) Camión de soldadura	63
Figura 4.13: Soldadura Aluminotérmica	63
Figura 4.14: Esmerilado de riel.....	64
Figura 4.15: Dilatación restringida del riel.....	65
Figura 4.16: Vía con defectos de alineación por concentración de esfuerzos	65
Figura 4.17: Liberación de tensión por tensores hidráulicos	66
Figura 4.18: Secuencia de trabajos de montaje de vía	67
Figura 4.19: Posicionamiento de malla de refuerzo, de los soportes y reparto de rieles	69
Figura 4.20: Colocación de las falsas traviesas (Traviesa Edilson Sedra).....	70

<i>Figura 4.21: Colocación de Tensores de alineación</i>	70
<i>Figura 5.1: Ruta Línea 1 del Metro de Lima</i>	72
<i>Figura 5.2: Tramos del proyecto de construcción de la Línea 1</i>	74
<i>Figura 5.3: Estaciones y progresivas del Tramo 1 y 2</i>	75
<i>Figura 5.4: Riel y clip corroídos en tramo a rehabilitar</i>	79
<i>Figura 5.5: Reguladora (utilizada como Locomotora) con plataformas sobre la vía derecha y bloques retirados</i>	80
<i>Figura 5.6: Tramo Sistema Soneville/LVT (Progresivas 12+267.221 a 12+588.685)</i>	84
<i>Figura 5.7: Ubicación de curva de R=200. Estación San Carlos Sistema. Soneville/LVT</i>	85
<i>Figura 5.8: Ubicación de curva de R=200. Entrada Patio de Maniobras y Cola de Vía. Sistema Soneville/LVT</i>	86
<i>Figura 6.1: Ruta Línea 2 y Ramal Faucett - Gambetta del Metro de Lima</i>	88
<i>Figura 6.2: Ruta Ramal Faucett – Gambetta del Metro de Lima</i>	89
<i>Figura 6.3: Puesta en Operación por Etapas Línea 2 y ramal Faucett – Gambetta</i>	90

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1</i>	18
<i>Tabla 2.2</i>	22
<i>Tabla 2.3</i>	24
<i>Tabla 3.1</i>	26
<i>Tabla 5.1</i>	73
<i>Tabla 6.1:</i>	92
<i>Tabla 6.2:</i>	92

Acrónimos

AATE	Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao
APP	Asociación Público Privada
ATP	<i>Automatic Train Protection</i>
AREMA	<i>American Railway Engineering and Maintenance of Way Association</i>
ADIF	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
BLS	Barra Larga Soldada
ENAFER	Empresa Nacional de Ferrocarriles del Perú
FRA	<i>Federal Railroad Administration</i>
INACAL	Instituto Nacional de la Calidad
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
OSITRAN	Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público
PNDF	Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario
RENFE	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles
UIC	<i>Union Internationale des Chemins de Fer</i>

CAPÍTULO 1: Marco Conceptual

1.1 Antecedentes

Desde el inicio de los ferrocarriles, en Inglaterra en 1830, estos han demostrado ser el mejor método de transporte tanto de mercancías como personas. Existen más de un millón de kilómetros de líneas férreas instaladas alrededor de todo el mundo, las cuales han permitido el desarrollo económico de muchos países y dieron solución al problema de transporte y congestión vehicular en las ciudades.

Las líneas férreas en el Perú datan del año 1851, con la apertura del primer ferrocarril del Pacífico Sudamericano. En su apogeo, la red ferroviaria del Perú, alcanzó una longitud de 4500 km. Al día de hoy, solo quedan 1930 km utilizadas principalmente para el transporte de mercancías (De la Cruz, 2012). Por más de medio siglo, no se han incorporado políticas de transporte que incentiven la explotación de este medio, por lo que la ingeniería ferroviaria en el Perú presenta un déficit de profesionales y normativas.

A partir de la creciente demanda de la minería y de la movilidad y transporte en las ciudades, en la última década el Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú [MTC] ha optado por políticas que promuevan la explotación ferroviaria en el país. Mediante la publicación del Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario en el 2015, se proponen nuevos proyectos y remodelaciones para fortalecer la Red Ferroviaria Nacional. Este plan involucra la implementación de nuevas líneas con el fin de conectar las regiones del país, la remodelación de vías existentes y líneas de interconexión internacionales con Chile, Bolivia y Brasil. En cuanto a zona metropolitana, el Plan Nacional optó como solución para el transporte público de la capital por la implementación de la Red Básica de Metro de Lima y Callao, formada por 6 líneas de trenes urbanos.

Frente a estas propuestas de crecimiento de la red nacional, la ingeniería ferroviaria en el Perú recobra importancia, no obstante, presenta un déficit de profesionales, normativa y reglamentos. Por estas razones, la presente investigación busca crear una base de conocimientos y guía de procedimientos constructivos para el montaje de vía de una línea férrea en el Perú, que permita desarrollar los proyectos propuestos por el Plan de Desarrollo Nacional. Como caso práctico se analizarán los métodos constructivos utilizados en las líneas 1 y 2 del Metro de Lima.

1.2 Justificación:

El Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015) presenta proyectos de construcción de nuevas líneas férreas para fortalecer la Red Ferroviaria Nacional, incluyendo el desarrollo de la Red Básica del Metro de Lima. Sin embargo, el Perú presenta un déficit de profesionales y normativas en esta área, consecuencia histórica de la falta de políticas públicas que impulsen la explotación y mejora del sector ferroviario. Por este motivo, la finalidad de esta investigación es crear una base de conocimientos y guía de procedimientos constructivos para el montaje de vía de una línea férrea en el Perú, que permitan desarrollar los proyectos propuestos por el Plan de Desarrollo Nacional.

1.3 Preguntas de Investigación

1. ¿Qué futuro le espera a la Ingeniería Ferroviaria?; ¿Qué factores limitan su desarrollo?
2. ¿Cuáles son los elementos de la vía? ¿Cómo se comporta la vía?
3. ¿Cómo se realiza el montaje de una vía férrea?
4. ¿Qué desafíos, respecto a la construcción de vías férreas, se han tenido en el desarrollo de las líneas del Metro de Lima? ¿Qué soluciones se aplicaron?

1.4 Objetivos

Objetivo general

El objetivo general del presente documento es crear una base de conocimientos y guía de procedimientos constructivos para el montaje de vía de una línea férrea en el Perú, que permitan desarrollar los proyectos propuestos por el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario.

Objetivos específicos:

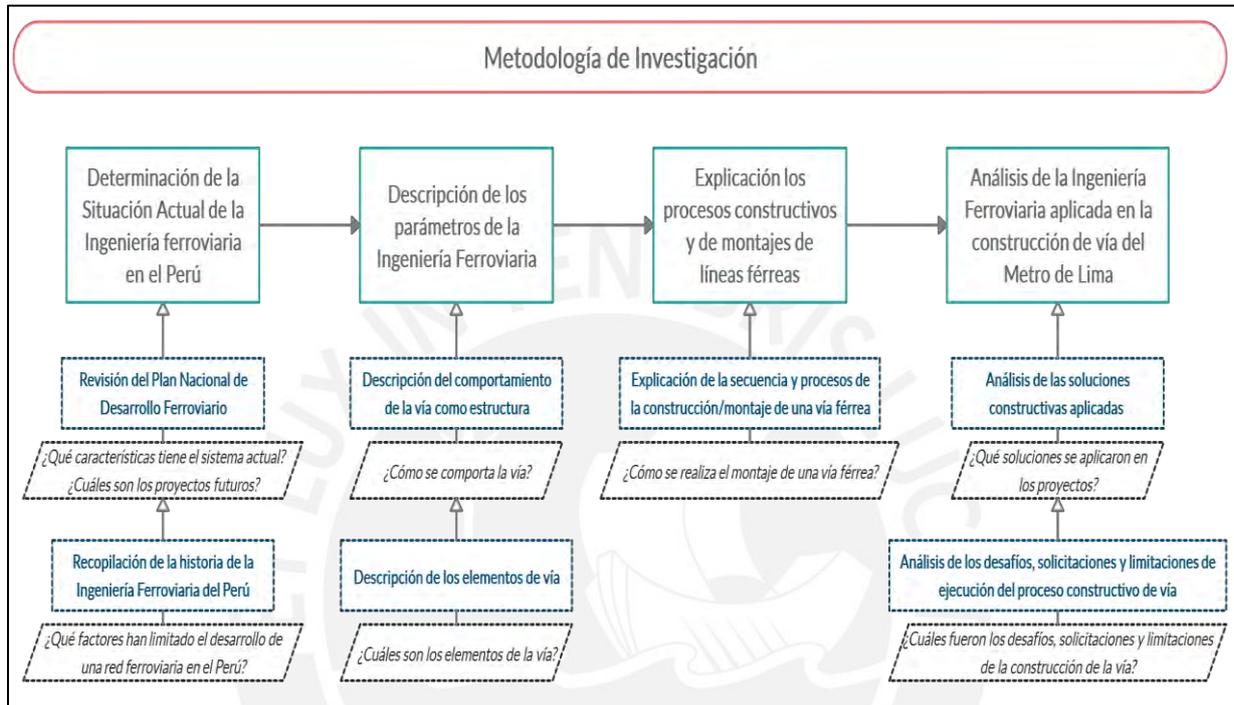
1. Determinar la situación actual de la Ingeniería Ferroviaria en el Perú
2. Describir los principales conceptos de la Ingeniería Ferroviaria.
3. Explicar los procesos constructivos y de montajes de líneas férreas
4. Analizar los desafíos y soluciones de la construcción de vía aplicados en los proyectos de la línea 1 y 2 del Metro de Lima.

1.5 Metodología

Para elaborar una base de conocimientos sobre la ingeniería ferroviaria y guía de los procesos constructivos en el Perú se realizará una revisión bibliográfica de normativas, documentos oficiales y literatura existente, además se realizarán visitas de obra de las líneas a estudiar en el caso práctico.

El documento se desarrolla en 4 etapas. (1) En primera instancia, se determinará la situación actual de la Ingeniería Ferroviaria en el Perú mediante la revisión de los antecedentes históricos para evidenciar los factores que han limitado el desarrollo de una red ferroviaria en el país. Del mismo modo, se revisará el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario para identificar las líneas existentes y los futuros proyectos. (2) La segunda etapa consiste en describir los conceptos de la Ingeniería Ferroviaria mediante la descripción de los elementos de vía y el comportamiento estructural de esta. (3) Luego, se explicarán los principales procesos constructivos y de montaje de una nueva vía férrea, tanto de vía sobre balasto como vía en

placa. (4) Finalmente, se analizarán los desafíos y soluciones de la construcción de vías aplicados en las líneas 1 (viaducto elevado) y línea 2 (subterráneo) del Metro de Lima. En la *Figura 1.1* se presenta el flujo lógico a seguir durante la investigación con las respectivas preguntas que motivan cada apartado a desarrollar.



*Figura 1.1: Esquema de Metodología de Investigación
Elaboración Propia*

Conclusiones

Como conclusiones se expondrá la situación actual de la Ingeniería Ferroviaria en el Perú y las recomendaciones más relevantes que ayuden a la ejecución de procesos constructivos en los próximos proyectos de Ingeniería Ferroviaria. Además de responder a las preguntas de investigación formuladas en el apartado anterior.

Limitaciones:

No se estudiará el montaje de catenarias ya que, a pesar de tener un componente de obra civil, la partida “montaje de sistemas de alimentación” corresponde a la electrificación de vías, tema que escapa del alcance del presente documento.

Justificación del Caso de estudio:

Se ha optado por analizar un ferrocarril metropolitano (el Metro de Lima), por sobre un ferrocarril convencional, ya que las construcciones de superestructura en zonas urbanas presentan limitaciones de espacio en obra, por ser desarrolladas en vías elevadas o túnel. Adicionalmente, en la actualidad la línea 2 se encuentra en estado de construcción, la cual cuenta con un tramo de vía ya montado (Tramo 1A). Este tramo será visitado para realizar un registro fotográfico de la vía.

Bibliografía y fuentes de información

En la primera etapa de la investigación, la bibliografía utilizada para la recopilación histórica de los ferrocarriles en el Perú ha sido principalmente el libro de Historia del Perú Contemporáneo de Carlos Contreras y Marcos Cueto, quienes narran los principales hitos en los ferrocarriles del Perú y evidencian la importancia de este, además del impacto político y económico. Seguido de la revisión histórica, para la identificación de las líneas actualmente existentes y próximos proyectos, se ha revisado el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario perteneciente al Ministerio de Transportes y Comunicación (2015), y las estadísticas actuales de tráfico ferroviario perteneciente a la Oficina de Estadística del MTC.

Para la segunda etapa, donde se describe las características fundamentales de la Ingeniería Ferroviaria, se ha utilizado bibliografía española, principalmente los libros de texto de “Ferrocarriles Metropolitanos” de Manuel Melis y Francisco Javier Gonzales, e “Infraestructura Ferroviaria” de Andrés López Pita. Dado que, la información de estos autores corresponde a una denominación extranjera, para la actualización de conceptos y teoría a la realidad peruana, se ha utilizado el Reglamento Nacional de Ferrocarriles del MTC.

La bibliografía utilizada para la etapa 3, para la explicación de los procesos constructivos de vía en balasto, se ha utilizado como referente los procedimientos utilizados en

España, publicados por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias [ADIF]. Para los procesos constructivos de vía en placa se utilizan como referente la Tesina de Bartolomé Adrover Grimalt, por la Universidad Politénica de Cataluya, quien estudió los procesos constructivos utilizados para la renovación de vía de balasto a vía en placa construida in situ en el Metro de Madrid.

Para la etapa 4, correspondiente al estudio de las líneas del Metro de Lima, la principal información recopilada corresponde a los documentos referentes a “Procedimientos Constructivos” elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para la línea 1 e informes mensuales de supervisión del Consorcio Cesel y Poyry; y para la línea 2, se ha revisado el Expediente Técnico Contractual de la Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SA, publicado en la plataforma web de OSITRAN. Además, se ha utilizado los documentos de procesos constructivos elaborados por Consorcio Obras de Metro (TRIA SA y ALVAC), quienes están realizando el montaje de vía para la Línea 2.

CAPÍTULO 2: Situación actual de los ferrocarriles en el Perú

2.1 Historia de los ferrocarriles en el Perú

Las líneas férreas en el Perú datan del año 1851, con la apertura del primer ferrocarril del Pacífico Sudamericano [Lima-Callao] de 13.7 km, promovida por el presidente Ramón Castilla, seguido del ferrocarril Tacna-Arica [1856, 62 km] y Lima-Chorrillos [1858, 15 km]. Sin embargo, fue Manuel Pardo en 1858, quien identificó el problema de la falta de vías de comunicación entre la capital y el interior del país, que limitaban el desarrollo de la industria nacional, especialmente del sector agrario y minero. Para ese entonces, el país se unía por caminos estrechos, donde circulaban llamas con una capacidad de carga de 45 kg (Contreras & Cueto, 2013).

Manuel Pardo impulsó la inversión del dinero del guano en la construcción de líneas férreas, dando así inicio a la fiebre del “caballo de acero”. Se contrató a Henry Meiggs, empresario estadounidense, quien contaba con la experiencia de la construcción de ferrocarriles en Chile, para la construcción de 10 líneas férreas simultáneamente, repartidas por todo el Perú [Ver Anexo 1, Tabla A1], que buscaban unir la costa con la sierra, para potenciar el transporte de mercancías mediante ferrocarriles de penetración (Pennano, S/F).

La complicada geografía de los Andes fue uno de los mayores desafíos para la construcción ferroviaria, por lo que el presupuesto de Meiggs y del Estado se agotó rápidamente, y el país quedó inmerso en una gran deuda externa. Las obras se paralizaron, solo logrando construir 1500 km de vía [ver Anexo 1-Mapa A1] (Contreras & Cueto, La República del Guano. Los Ferrocarriles: El gran proyecto de Inversión., 2013).

Cabe mencionar, que en 1878 el presidente Mariano Ignacio Prado inauguró el primer Tranvía de Lima, jalado por animales, para hacer frente a la movilidad y transporte de la ciudad, dando así inicio a los ferrocarriles urbanos en el Perú.

La Guerra del Pacífico agravó fuertemente la deuda externa del Perú, y dejó más de 500 km de vía férrea destruida. Como solución a esta situación, se firmó el “Contrato Grace”, donde se adjudicaron los ferrocarriles existentes por 66 años, además de otros recursos y servicios, para saldar así la deuda. Los ferrocarriles fueron reparados y concluidos por la empresa londinense *Peruvian Corporation*, con la especial participación del Ing. Ernesto Malinosky. Esta empresa, gracias al crecimiento de la minería, realizó la extensión de las líneas férreas del Callao hasta Cerro de Pasco [1904], Huancayo [1908] y Mollendo-Puno hasta Cuzco [1908]. Este crecimiento del “Ferrocarril del Sur” [Arequipa, Puno y Cuzco] promovió el mercado de agricultura y exportación de lana, ya que conectaba con el puerto de Mollendo, potenciando así el crecimiento económico de la zona sur del país.

Durante el oncenio de Leguía en 1926, se construyeron las últimas líneas férreas, correspondientes a Huancayo-Huancavelica y la extensión del Ferrocarril del Sur del tramo Cuzco a Quillabamba [actual ruta Cusco-Aguascalientes]. Durante este mismo periodo gubernamental se iniciaron las construcciones de la carretera Central y Panamericana, las cuales introdujeron el uso de camiones, la mayor competencia económica a los ferrocarriles (Contreras & Cueto, 2013). Durante los gobiernos siguientes, hasta la actualidad, no se incrementó la infraestructura ferroviaria, pero se realizaron inversiones en migrar de locomotoras de vapor al petróleo [1930-1967].

En cuanto al tranvía de Lima, para inicios del gobierno de Leguía [1918], contaba con 39 km de vía electrificada y 42 carros operados por la empresa Eléctrica Santa Rosa. Para el año 1923, el tranvía contaba con más de 100 km de vías. Durante la década del 40, con la

migración andina, el tranvía cobró mucha importancia en el transporte urbano de la ciudad de Lima. Sin embargo, hacia 1960, las vías de tránsito rápido como la vía expresa, la crisis económica y constantes huelgas de los trabajadores, acabaron con los tranvías de Lima en 1965 (Hidalgo, 2010; Orrego, 2011). A partir del cierre definitivo del tranvía, la Municipalidad de Lima inició estudios de factibilidad de la construcción de un metro subterráneo, logrando en 1973 aprobar el anteproyecto de construcción de 4 líneas subterráneas, que conformaría el Metrolima [Ver Anexo 1-MetroLima]; pero a causa de la crisis económica e inestabilidad política, el proyecto fue rechazado por Morales Bermudez [1975], condenando, de esta manera, el futuro del transporte de Lima (El Comercio, 2014).

En cuanto a la *Peruvian Corporation*, esta llegó a su fin con las estatizaciones del periodo de Velasco [1972], pasando a formar la Empresa Nacional de Ferrocarriles del Perú [ENAFER], la cual pasó a hacerse cargo de todas las líneas férreas existentes en el Perú. En 1999, durante el gobierno de Alberto Fujimori, se realizó un proceso de privatización de la ENAFER, teniendo como resultado la siguiente repartición de líneas mostrada en la *Figura 2.1*.

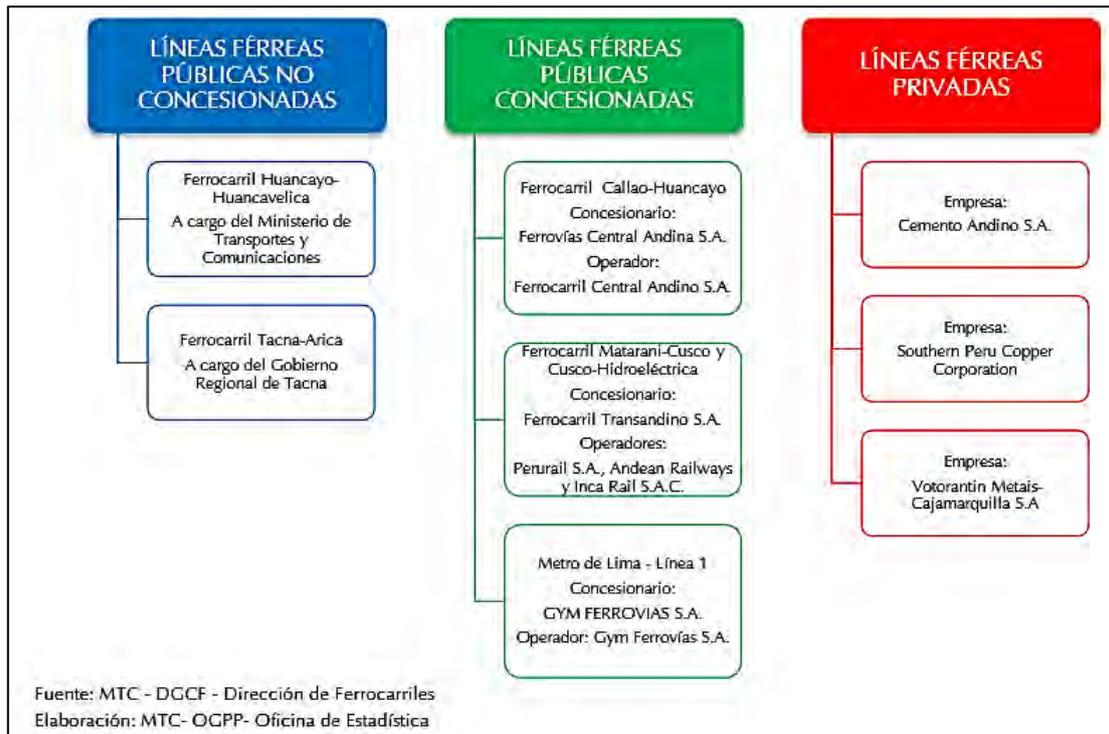


Figura 2.1. Sistema actual de líneas férreas, según su condición (MTC, 2012)
Fuente: MTC-Oficina de Estadística

Adicionalmente, se fundó el Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público [OSITRAN] en 1998, encargada de supervisar la calidad de servicio y asegurar que las concesionarias no abusen del servicio público de transporte (Contreras & Cueto, El Neoliberalismo y los retos del siglo XXI, 2013).

La privatización de los servicios de ferrocarriles, trajo como consecuencia retraso en la implementación de infraestructura férrea, ya que el Estado fijó un canon del 33.38% por derecho al uso de vía, generando así que las concesionarias aumenten el costo del flete y tengan baja competitividad versus el transporte por carretera (CEPAL, 2000). Para hacer frente a este retraso de infraestructura, el MTC en convenio con el Banco de Desarrollo de América Latina, presentaron en Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario [PNDF] en el 2015, con el objetivo de establecer lineamientos políticos y presentar una estrategia de proyectos ferroviarios para mejorar la productividad nacional. Este plan se abarcará con mayor detalle más adelante.

2.1.1 El Metro de Lima

En el primer gobierno de Alan García se retomó la iniciativa de la construcción del Metro de Lima, se fundó la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao [AATE], en 1986 (DS N°001-86-MIPRE). Se propuso una línea que recorriera desde Villa el Salvador hasta Comas, de una longitud de 33 km en viaducto elevado. La obra quedó inconclusa por razones económicas y crisis política de esos años. Fue durante el segundo gobierno de Alan García [2009], que se retomó el proyecto y se implementó el plan de la Red Básica del Metro de Lima por las autoridades AATE y el MTC, quienes propusieron 5 líneas de metro (DS N°059-2010-MTC).

En el 2012, durante el gobierno de Ollanta Humala se iniciaron los estudios de pre-factibilidad de la Línea 2 del Metro de Lima [primera línea subterránea] a cargo de PROINVERSION [Agencia de Promoción de la Inversión Privada en el Perú], y se aumentó la línea 6 al plan de la Red Básica del Metro de Lima (DS-009-2013-MTC). Actualmente, la línea 2 se encuentra en etapa de construcción por el Consorcio Nuevo Metro de Lima, desde el 2014, que se le otorgó la buena pro, y las líneas 3 y 4 se encuentran en estudios económicos por AATE (AATE, 2019).

2.2 Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario:

En el 2015, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] publicó el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario [PNDF] en cooperación con el Banco de Desarrollo de América Latina con el objetivo de establecer lineamientos políticos y estrategias para el desarrollo de un sistema ferroviario en el país, con el fin de atender la demanda de la actividad productiva nacional, el transporte al interior del país y del transporte de la ciudad de Lima. Como beneficios, este sistema debe ofrecer viajes de menor duración, menores costos de transporte de mercancías y tener respeto frente al medio ambiente.

El PNFD incluye el estudio del sistema nacional al 2015 [líneas existentes, oferta-demanda y estados económicos], las estrategias o lineamientos políticos a seguir y propuestas de proyectos para consolidar la red ferroviaria nacional. A continuación, se presentan los estudios del plan y datos actualizados al 2019.

2.2.1 Caracterización del Sistema Ferroviario

2.2.1.1 Oferta actual del sistema ferroviario [líneas existentes]:

Actualmente, el sistema ferroviario del Perú cuenta con 1930 km de uso público, con 1730 km concesionados. En el Anexo 2 se presenta el mapa de los ferrocarriles del Perú en operación a julio del 2018 y en la Tabla 2.1 se presentan los ferrocarriles operativos, la empresa encargada y su longitud.

Tabla 2.1

Ferrocarriles del Perú en operación

Ferrocarril	Empresa (Régimen de propiedad)	Longitud
Ferrocarril del Centro	Ferrovías Central Andina (Concesión)	490 km
Ferrocarril del Sur + Ferrocarril del Sur Oriente	Ferrocarril Trasandino S.A (Concesión).	990 km
Ferrocarril Huancayo - Huancavelica	MTC (Público)	129 km
Ferrocarril Tacna-Arica	Gobierno Regional de Tacna (Pública)	60 km
Ferrocarril Toquepala-Ilo-Cuajone	Souther Copper Corporation	218 km
Ferrocarril Santa Clara-Cajamarquilla	Votorantin Metais-Cajamarquilla S.A. (Privado)	7.3 km
Ferrocarril Caripa-Condorcocha	Cemento Andino S.A. (Privado)	13.6 km
Metro de Lima	GyM Ferrovías (Concesión)	33km

Fuente: MTC-Dirección de Ferrocarriles. Oficina de estadísticas. Infraestructura Ferroviaria por empresa, tramo y longitud.

2.2.1.2 Transporte de mercancías:

En cuanto al transporte de mercancías, se puede distinguir la dependencia con la explotación minera del país, ya que los productos provenientes de la minería son los más representativos en el transporte de mercancías. En la Gráfico 2.1 se muestran las toneladas transportadas e ingresos según empresa ferroviaria. En el caso del Ferrocarril Central, es el ácido sulfúrico y el concentrado de zinc los principales productos transportados, los cuales generan un ingreso de más de 71 millones de nuevos soles (MTC,2015).

En cuanto al caso de *Perú Rail*, en el 2007 este cobró importancia gracias a la incorporación de la Sociedad Minera Cerro Verde, la cual transporta concentrados de cobre al puerto de Matarani. A mediados del 2015, la *Perú Rail* aumentó el transporte de mercancías gracias a la duplicación de producción de cobre de esta minera.

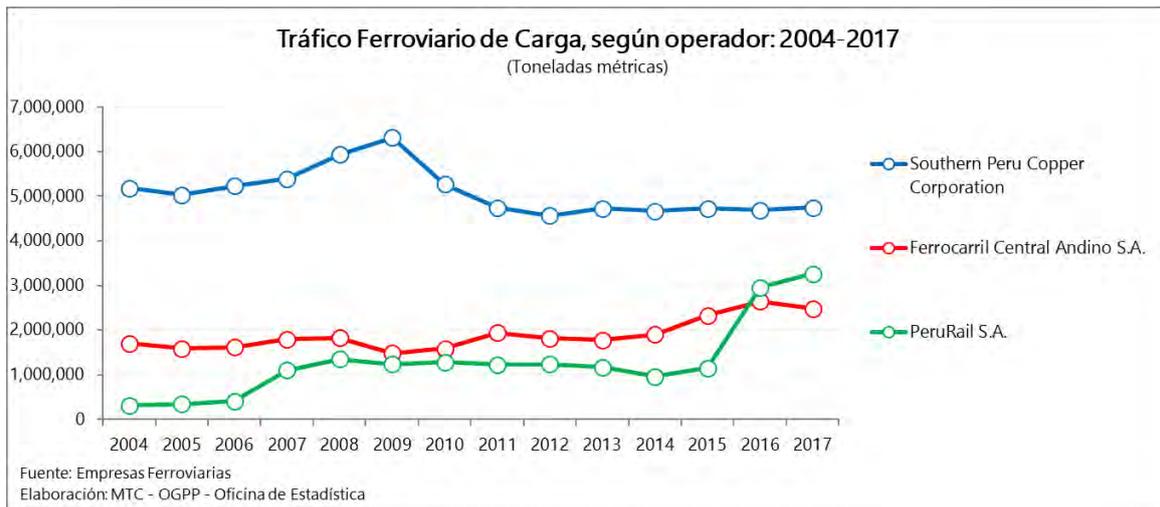


Gráfico 2.1: Tráfico ferroviario de carga, según operador: 2004-2017
Fuente: Adaptación propia a partir de MTC-Oficina de Estadística

Otro indicador importante a mencionar es las toneladas-kilómetro [indicador de tráfico ferroviario resultante de multiplicar la cantidad de toneladas transportadas por distancia recorrida en km] transportadas anualmente. Según el PNDF, durante el 2012 y 2014 se obtuvo un promedio de 479.5 millones de toneladas-kilómetro.

2.2.1.3 Transporte de pasajeros:

Con respecto al transporte de pasajeros, se aprecia una tendencia creciente de esta, ya que se encuentra relacionada directamente al aumento del turismo en el Perú. La línea Cusco-Machu Picchu/Aguas Calientes del Ferrocarril del Sur Oriente concentra el 97% del total de pasajeros transportados por líneas férreas. En la Gráfico 2.2 se muestra el tráfico de pasajeros del periodo 2000 al 2018. Se puede apreciar un incremento en el tráfico de pasajeros a partir del 2010, ya que se han implementado políticas del fomento del turismo en los últimos años, donde el mayor foco de atracción de turismo ha sido al Santuario Histórico de Machu Picchu (MINCETUR, 2018).



Gráfico 2.2: Tráfico ferroviario de pasajeros, según operador: 2004-2018
Fuente: Adaptación propia a partir de MTC-Oficina de Estadística

De manera similar al transporte de mercancías, es prudente mencionar los pasajeros-kilómetro transportadas anualmente. Durante el periodo del 2012 al 2014 se obtuvo un promedio de 120.792 miles de pasajeros-kilómetro.

En cuanto al Metro de Lima, en el 2018 se obtuvo 124 millones de viajes anuales en la línea 1. Se estima que se realizan más de 345'000 viajes diarios, los cuales representan solo un 3% del total de 12.7 Millones de viajes diarios en transporte público que se realizan en Lima Metropolitana. (Lima Cómo Vamos, 2018) Actualmente, la oferta de transporte de la línea 1 no logra satisfacer la demanda de la población, ya que la demanda de viajes diarios ha sobrepasado a la proyección de viajes que se estimaban para el 2035. (CAF, 2015) En la Gráfico 2.3 se presentan los viajes realizados anualmente desde la apertura de la línea, donde se aprecia el crecimiento de demanda en el tiempo.

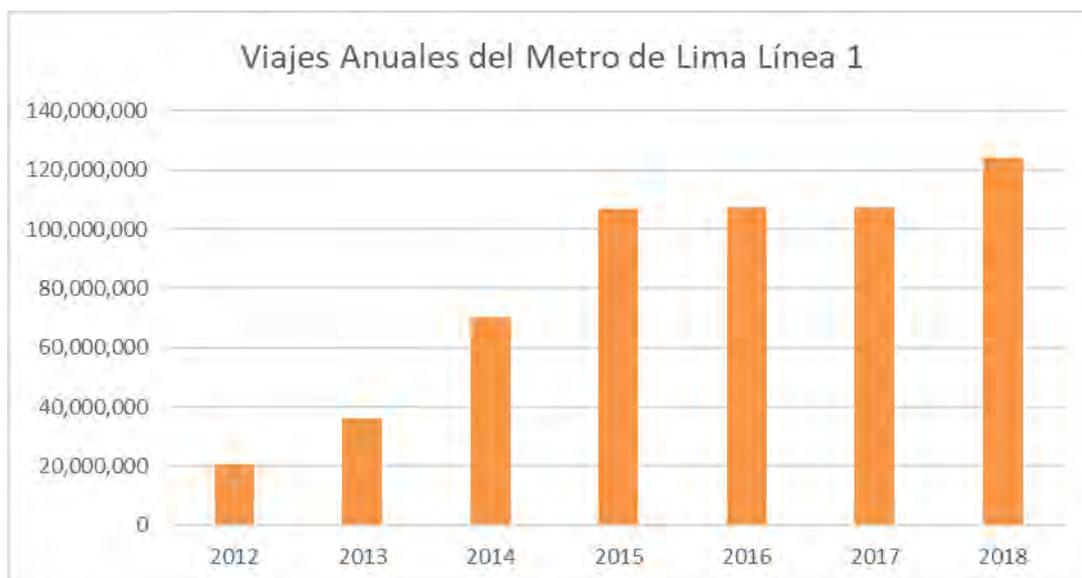


Gráfico 2.3: Viajes anuales del Metro de Lima Línea 1

Fuente: *Elaboración propia a partir de MTC-Oficina de Estadística*

2.2.2 Lineamientos políticos y estrategias de desarrollo

El PNDF concluyó que se debe buscar una mayor participación del transporte ferroviario en la movilización de los flujos masivos de carga, tanto con el mejoramiento de la infraestructura existente y la construcción de nuevas líneas, desde un enfoque multimodal de transporte, con el objetivo de diversificar los productos transportados y atender la demanda del sector agrario. En cuanto al transporte de pasajeros, se establece que el sistema de metro es la solución para los problemas de movilidad y de la congestión vehicular de las grandes ciudades, como es el caso de la ciudad de Lima. La red ferroviaria urbana debe ser aplicada con un enfoque multimodal, que permita crear un sistema integrado de transporte.

2.2.2.1 Normativas técnicas y reglamentos

Hasta el 2014, la ingeniería ferroviaria en el Perú había adoptado normativas y regulaciones del Norte de América, publicadas por la *Federal Railroad Administration* [FRA], y las recomendaciones de la *American Railway Engineering and Maintenance of Way*

Association [AREMA]; además de los reglamentos existentes del MTC, los cuales se muestran en la Tabla 2.2 Tabla 2.1. A partir de los estudios del PNDF, éste estableció la necesidad de adaptar las normativas internacionales a la realidad nacional, lo cual implica la actualización del Reglamento Nacional de Ferrocarriles [2005] y nuevas normas técnicas.

Tabla 2.2

Normativas y Reglamentos vigentes pertenecientes al MTC

Normativa y Reglamentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Año de publicación
Reglamento Nacional de Ferrocarriles	2005
Normas y Especificaciones Técnicas para el Diseño de Vías Férreas en el Perú	1978
Estándares Mínimos de Seguridad para Vías Férreas de Trocha de 914	2007
Reglamento Nacional del Sistema Eléctrico de Transporte de Pasajeros en vías férreas que formen parte del Sistema Ferroviario Nacional	2010

Fuente: MTC. Reglamentos y Normas complementarios

Por ello, en julio del 2015, se establece el Comité Técnico de Normalización de Ingeniería Ferroviaria CTN 141 IF, a cargo del Instituto Nacional de la Calidad [INACAL]. Este comité cuenta con el apoyo y supervisión de la AATE y está conformado por los sectores técnicos, consumo y producción. A la fecha el INACAL cuenta con 11 normas publicadas, las cuales se presentan en la

Tabla 2.3. Estas normativas buscan definir conceptos básicos, establecer medidas estándares de funcionalidad y estándares de calidad.



Tabla 2.3

Normas Técnicas Peruanas publicadas por el INACAL

Nombre de la Norma Técnica	Número de NTP
Sistemas de transporte ferroviario	NTP 522.005: 2016
Gálibos	NTP 382.004:2016
Gestión del transporte guiado urbano y sistemas de mando/control (GOA)	NTP 522.017: 2016
Instalaciones Fijas	NTP 522.002:2016/ NTP 522.003:2016/ NTP 522.006:2016/ NTP 522.007:2017/ NTP 522.008:2017/ NTP 522.015:2017/ NTP 522.011:2017
Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento	NTP 522.012:2018

Fuente: Publicaciones INACAL

2.2.3 Proyectos propuestos:

En el Anexo 3 se presentan los proyectos propuestos en el PNDF, correspondientes a ferrocarriles convencionales y el “Mapa de Ferrocarriles del Perú, existentes y proyectos del PNDF”. Los proyectos propuestos se clasifican en mejoramiento de infraestructura, nueva infraestructura y nueva infraestructura para conexión internacional.

Red Básica del Metro de Lima

El Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario incluye el desarrollo de la Red Básica del Metro de Lima, que consta de 6 líneas de metro. En la *Figura 2.2* se muestran la propuesta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao. Actualmente, de las 6 líneas se tiene solo en operación la Línea 1 [Villa el Salvador - San Juan de Lurigancho] y en construcción la Línea 2 [Ate – Callo] con el ramal Faucett - Gambeta correspondiente a la Línea 4. En cuanto a las líneas 3 y 4 se encuentran en estudios económicos por AATE (AATE, 2019).



Figura 2.2: Red Básica del Metro de Lima y Callao
Fuente: AATE. Planificación de la Red

CAPÍTULO 3: Ingeniería Ferroviaria.

Características Fundamentales

En este apartado se describirán los conceptos básicos de la ingeniería ferroviaria necesarios para la construcción de nuevas líneas férreas.

3.1 Clasificación de los ferrocarriles:

3.1.1 Clasificación según Reglamento Nacional

El Reglamento Nacional de Ferrocarriles del Perú clasifica las vías férreas por ámbito territorial, por titularidad de la vía y por la velocidad máxima de explotación.

1) Por ámbito territorial:

- *Vía férrea nacional*: Forma parte del sistema nacional de ferrocarriles y recorren más de una región.
- *Vía férrea regional*: Solo operan en una región. No forma parte del sistema nacional.
- *Vía férrea local*: Instalado en una sola provincia

2) Por Titularidad de la vía férrea

- Pública: El Estado es Titular, pueden tener condición de concesionada o no concesionada.
- Privada: El titular es una persona natural o jurídica privada.

3) Por máxima velocidad de explotación

En la Tabla 3.1 se clasifican en 5 clases de vía según la velocidad máxima permitida a circular en su recorrido.

Tabla 3.1
Clasificación por velocidad de explotación

Clase de Vía	Máxima Velocidad de Operación Permitida	
	Tren de Mercancías (Km/hora)	Trenes de Pasajeros (Km/Hora)
1	16	24
2	40	48
3	64	96
4	96	128
5	128	144

Fuente: Reglamento Nacional de Ferrocarriles del Perú. MTC

3.1.2 Clasificación General

Otra forma de clasificación de los ferrocarriles es en tres grandes grupos, como ferrocarril convencional, ferrocarriles urbanos y ferrocarriles de alta velocidad.

3.1.2.1 Ferrocarril Convencional

Lo definiremos como el medio de transporte a gran escala. El clásico ferrocarril remolcado por una locomotora, orientado al transporte de personas y mercancías por largas distancias en una vía exclusiva.

3.1.2.2 Ferrocarriles Urbanos

Los ferrocarriles urbanos, como su nombre lo indica, brindan el servicio de transporte a los núcleos urbanos de la ciudad, estos pueden circular por vía segregada o compartida. Los ferrocarriles urbanos se dividen en ferrocarriles metropolitanos [sistema de metros], tranvías o trenes ligeros y trenes de cercanías, los cuales se describen más adelante. En la Figura 3.1 se presenta una comparación entre los ferrocarriles urbanos, su capacidad de transporte y distancia entre estaciones.

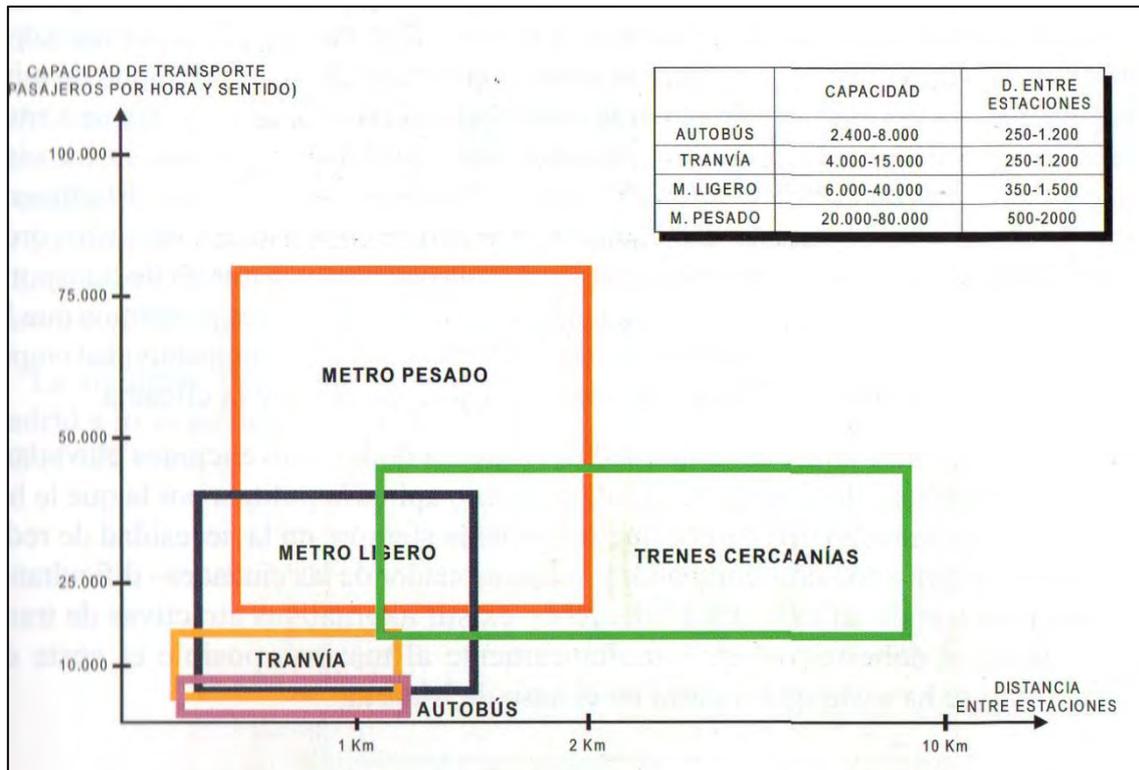


Figura 3.1: Diferencia entre Ferrocarriles Urbanos

Fuente: Melis & Gonzales, 2002

a) Ferrocarriles Metropolitanos

Se denomina Metro o Ferrocarril metropolitano a los sistemas ferroviarios de transporte masivo de pasajeros que operan en grandes ciudades, con el objetivo de unir zonas del radio urbano. El servicio brindado es de alta capacidad y frecuencia, y es separado de otros sistemas de transporte [vía exclusiva]. Las redes de metro pueden desarrollarse de manera subterránea, en viaducto y, en zonas alejadas de baja demografía, a nivel de calle, pero deben mantener la exclusividad de vía.

b) Tranvía y trenes ligeros

Los tranvías y trenes ligeros son sistemas que circular a nivel de calle en áreas urbanas por vía reservada y compartida. Realiza paradas seguidas y cuenta con menor capacidad que los metros. La diferencia entre estos radica en que los trenes ligeros [Light rail

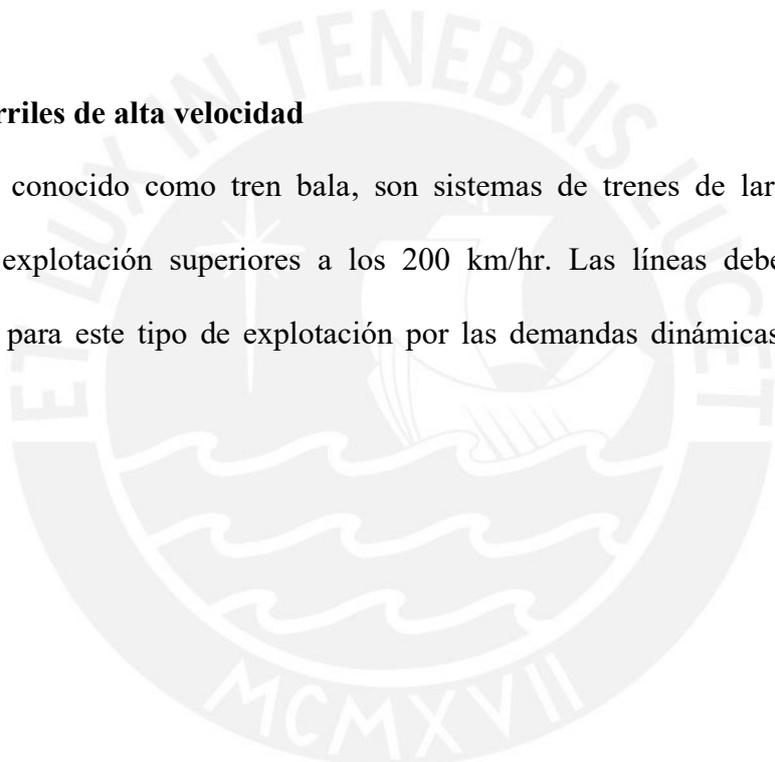
Transit] pueden disponer de sistemas de protección [ATP] y circular de manera subterránea en algunos tramos.

c) Trenes de Cercanía

Los trenes de cercanías, también denominados trenes suburbanos, son sistemas de transporte de personas para distancias de hasta 70 km. Estos sistemas buscan conectar núcleos urbanos importantes alejados del centro de la ciudad, con alta demanda de transporte diario entre estas.

3.1.2.3 Ferrocarriles de alta velocidad

También conocido como tren bala, son sistemas de trenes de larga distancia con velocidades de explotación superiores a los 200 km/hr. Las líneas deben ser diseñadas específicamente para este tipo de explotación por las demandas dinámicas a las que serán expuestas.



3.2 Superestructura ferroviaria

Los proyectos de obra civil ferroviaria son usualmente divididos en dos partes: la construcción de infraestructura y superestructura. La construcción de infraestructura es el conjunto de obras como túneles, estaciones, pozos y/o terraplenes que servirán de base o plataforma sobre la que se apoyará la vía. En cuanto a la superestructura, esta se encuentra constituida principalmente por los rieles, el balasto, los durmientes y las sujeciones de vía, entre otros. En la Figura 3.2 se ilustra la diferencia entre infraestructura y superestructura en ferrocarriles urbanos por viaducto.

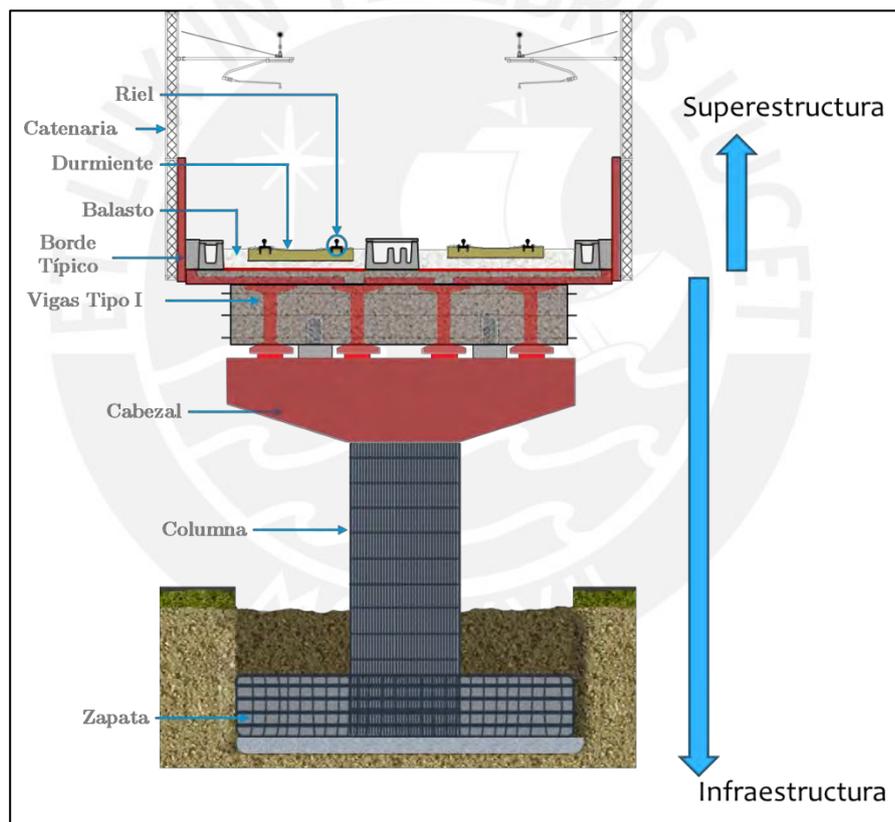


Figura 3.2: Diferencia entre infraestructura y superestructura en viaducto

Fuente: Consorcio Tren Eléctrico

A continuación, se explicará con más detalle cada elemento de la superestructura y su funcionamiento.

3.2.1 Consideraciones Generales de la vía:

3.2.1.1 La vía como estructura

La vía está conformada por los rieles, los cuales están fijados a las traviesas o durmientes que se apoyan, tradicionalmente, sobre una capa de balasto, como se muestra en la Figura 3.3. La función principal de la superestructura de vía es guiar el camino del tren y absorber gradualmente las tensiones verticales aplicadas por las ruedas del ferrocarril, de tal manera que el terreno sea capaz de soportar estos esfuerzos.

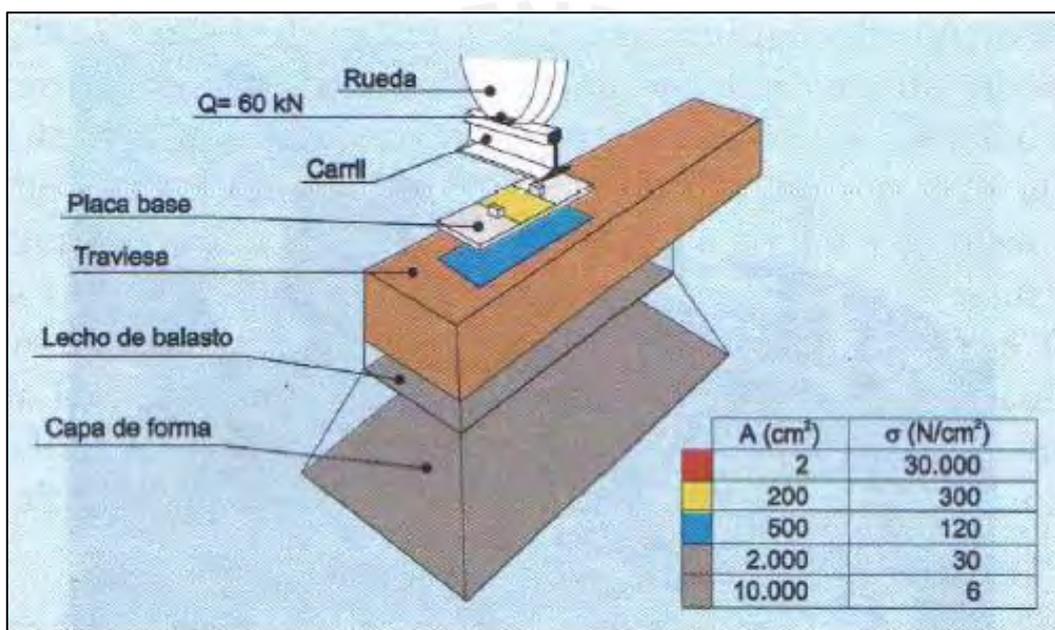


Figura 3.3: Transmisión de esfuerzos por la superestructura de vía
Fuente: Ferrocarriles Metropolitanos, Melis & Gonzales (2002)

De las partes que conforman la vía, el riel es el elemento resistente que soporta las cargas de las ruedas directamente del tren y realiza el guiado de este. En cuanto a los durmientes, estos permiten mantener la separación constante de los rieles en todo el trazado y transmiten los esfuerzos de la rueda al balasto. Finalmente, el balasto transmite y reparte sobre el terreno las cargas de los trenes.

3.2.1.2 Ancho de vía:

El ancho de vía [o trocha] es la distancia entre las caras internas de los rieles, expresado en milímetros. Los anchos de vías más utilizados son los siguientes:

- Trocha Angosta: 914mm
- Trocha Métrica: 1000mm
- Trocha Estándar [UIC]: 1435mm
- Ancho Ibérico [líneas de la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles RENFE]: 1668mm

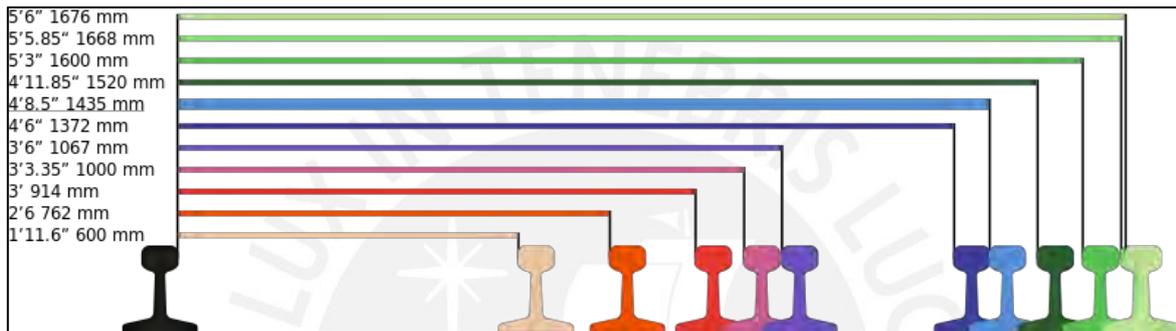


Figura 3.4: Anchos de vía más utilizados en el mundo

Fuente: *Trenvista*

Entrevía: Se define como la distancia entre ejes de vías férreas paralelas, expresada en mm.

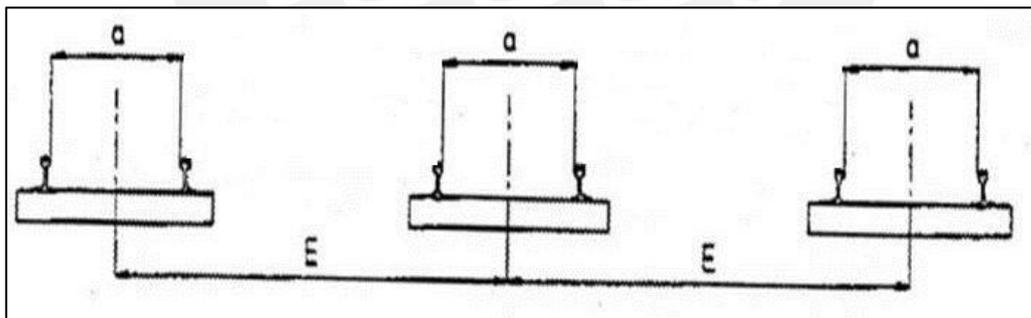


Figura 3.5: Medición de entrevía [E]

Fuente: *José Manuel García Díaz de V. 2009-2010*

3.2.1.3 Conicidad de las ruedas:

Los ejes de las ruedas de los trenes no cuentan con diferenciales, como los automóviles, las ruedas se encuentran unidas por ejes rígidos montados en los llamados bogies o boguies, sobre los que se apoya la caja del material rodante.

Para poder tomar las curvas con seguridad, las ruedas cuentan con una forma cónica de pendientes de 1/20 a 1/40, las cuales, al entrar a una curva, la rueda exterior tiene un mayor radio y recorre una mayor distancia en comparación que la rueda interior [como se muestra en la Figura 3.6], cumpliendo un efecto similar al de un eje diferenciado.

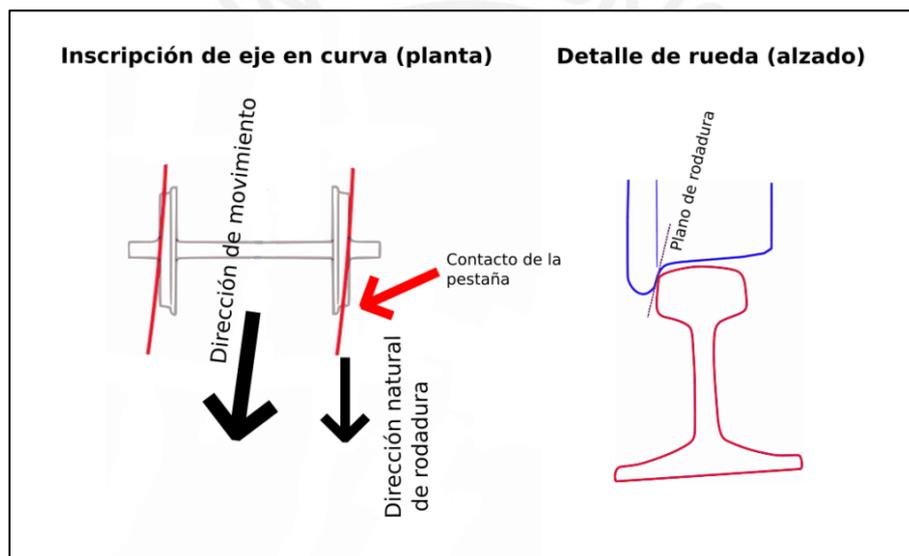


Figura 3.6: Movimiento de ruedas cónicas en curva

Fuente: Ivan Rivera, SF

Estos sistemas de ruedas cónicas tienen movimiento transversal oscilatorio en forma de lazo, como se muestra en la Figura 3.7, generado por el paso por las curvas. Este movimiento puede generar descarrilamientos, desgaste en las ruedas y rieles por el movimiento relativo entre estos y discomfort en los viajeros.

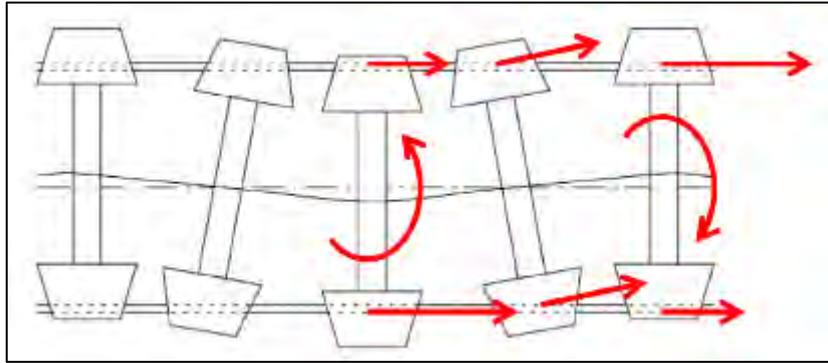


Figura 3.7: Movimiento de lazo
Fuente: Carlos Casanueva

Para reducir este fenómeno, los rieles son instalados con una inclinación de 1/20 a 1/40 que coinciden con las de las ruedas, como se muestra en la Figura 3.8, lo que reduce el movimiento relativo entre las ruedas y el riel, y el desgaste entre estos.

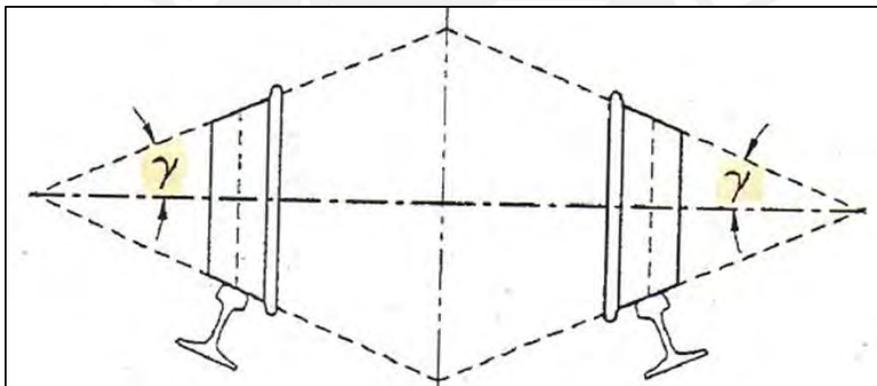


Figura 3.8: Forma cónica de ruedas e inclinación de riel
Fuente: José Manuel García Díaz de V. 2009-2010

3.2.1.4 Gálibos:

Se define gálibo a la máxima sección transversal del material rodante para pasar por un túnel o puente o la sección que debe quedar libre de obstáculos para permitir la circulación.

Existen diversos gálibos, que se definen a continuación bajo la normativa UIC 505:

- *Gálibo Estático:* Curva envolvente de todas las posiciones posibles del tren parado.
- *Gálibo dinámico:* envolvente de las posiciones del tren cuando éste se encuentra en movimiento.

- *Gálbo libre de obstáculos*: espacio en el cual no debe existir ningún obstáculo externo. Usualmente 15 cm, también llamado lámina de aire.
- *Gálbo de implementación de obstáculos*: entorno final necesario para la instalación de catenarias y otros servicios. Este gálbo es utilizado para el dimensionamiento de infraestructura (túneles y puentes).

En la Figura 3.9 se presenta los distintos gálbos utilizados en el tranvía de Tenerife.

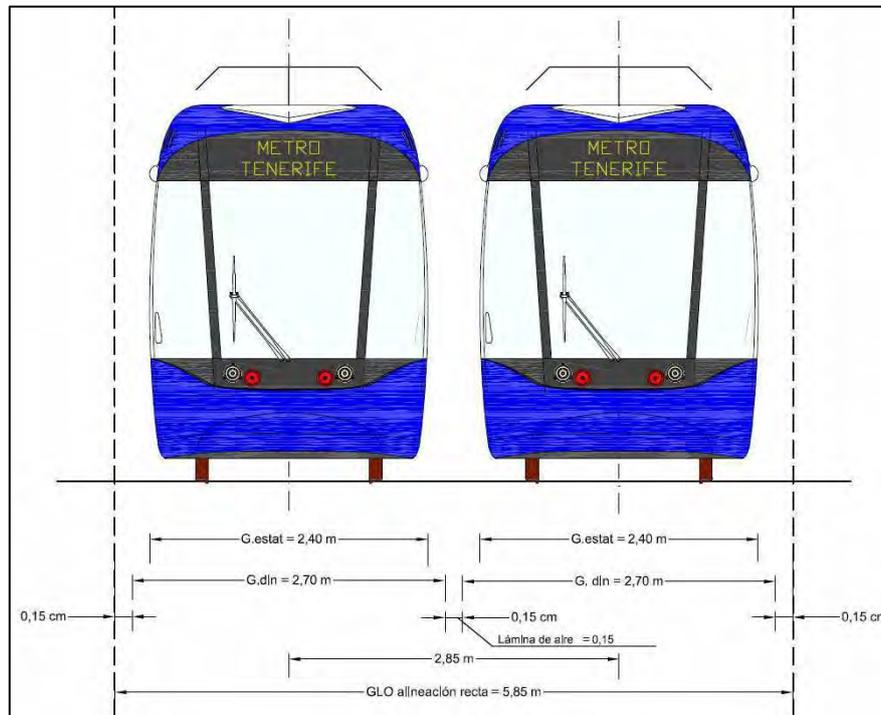


Figura 3.9: Gálbo en alineación recta sin poste de catenaria central, Tranvía de Tenerife
Fuente: Instrucciones Técnica MTSA

3.2.1.5 Distribución de energía

La Catenaria

La catenaria es el sistema aéreo de electrificación del material rodante. La corriente es conducida por un hilo de contacto elevado y sostenido por postes a lo largo de toda la vía. Los trenes, a través del pantógrafo [brazo articulado en el techo de las locomotoras o coches tractivos], se abastecen de energía de la catenaria. Se puede clasificar las catenarias en catenaria flexible [convencional] o rígida.

a) *Catenaria flexible*: consisten en hilos de cobre colgado de péndolas y un sustentador que da la forma de catenaria, el cual toma la corriente del feeder.

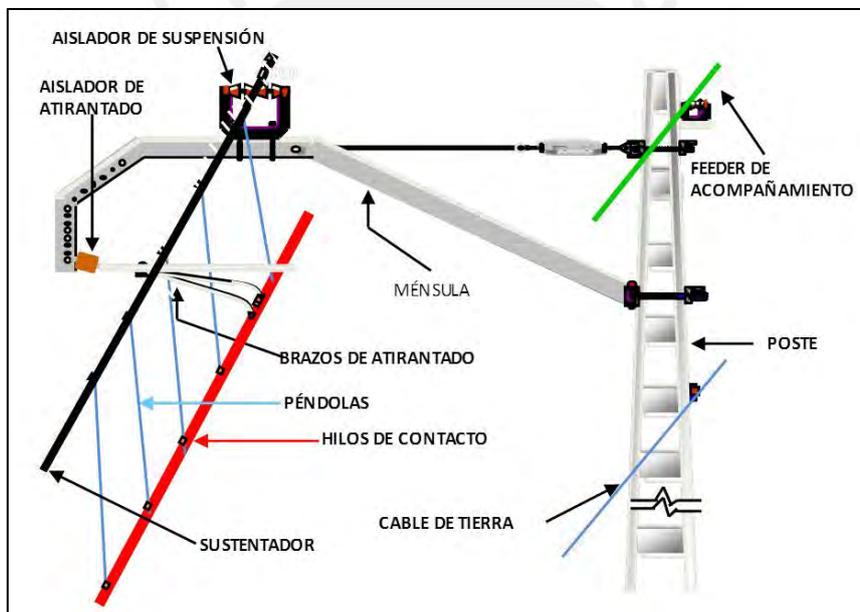


Figura 3.10: Principales elementos en distintos tipos de línea aérea de contacto

Fuente: ADIF

b) *Catenaria rígida*: consisten en un perfil de aluminio, en el que en la parte inferior se fija el hilo de contacto.

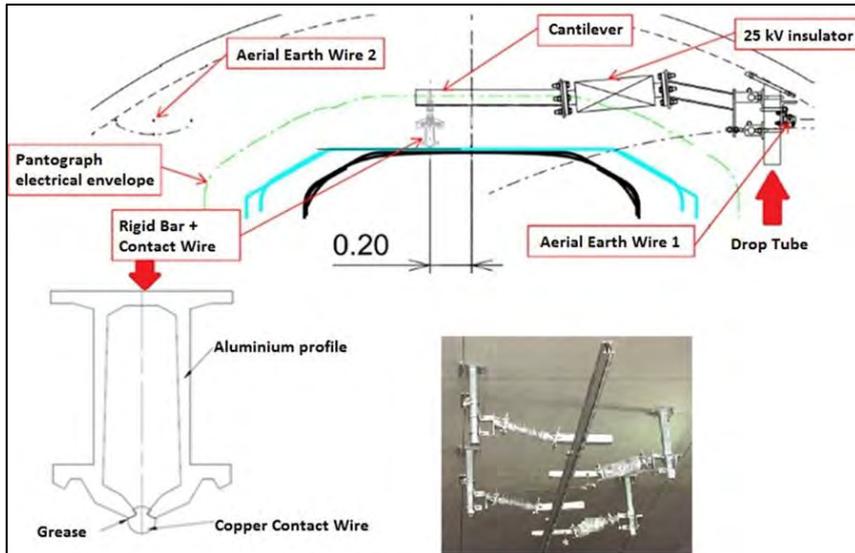


Figura 3.11: Principales elementos en catenaria rígida
Fuente: Crossrail

Tercer Carril

Como su nombre lo indica, la distribución de energía se realizará por un tercer carril lateral paralelo a la vía férrea. Para este sistema, los trenes cuentan con captadores de energía [zapatas] ubicados en el lateral del boguie.

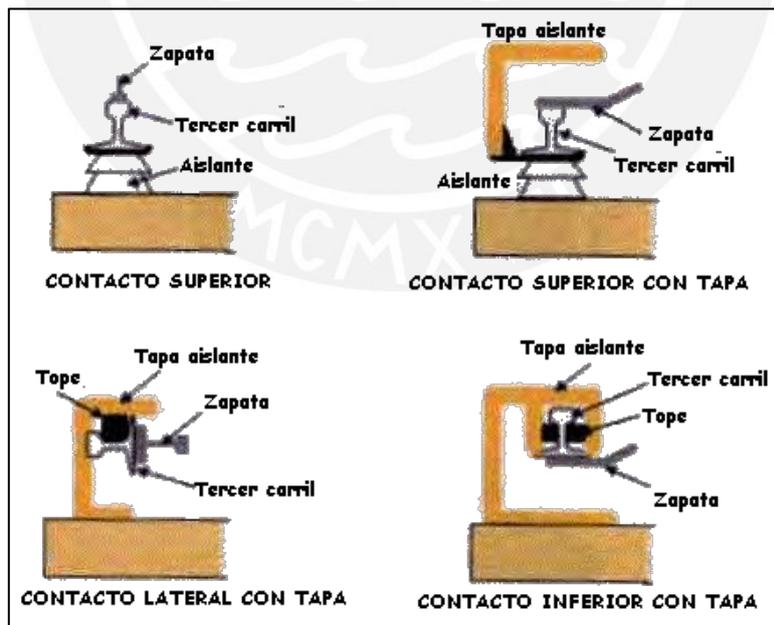


Figura 3.12: Tipos de contacto tercer carril
Fuente: Rafael Estrada Gómez

3.2.2 Estructura de la vía

3.2.2.1 El Riel

El riel es el elemento fundamental del camino de rodadura, éste se encarga de soportar directamente el peso de los vehículos que circulan sobre él y las fuerzas dinámicas generadas por la velocidad de estos mismos. El riel consta de 3 partes, como se presenta en la Figura 3.13, se distinguen la cabeza, alma y patín.

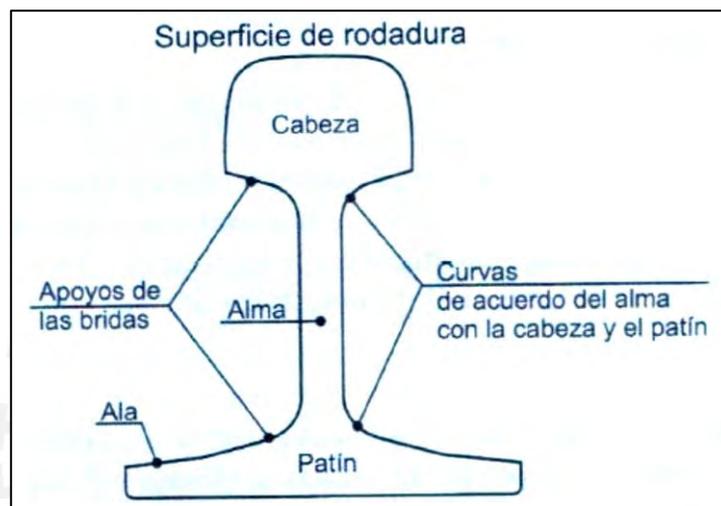


Figura 3.13: Partes de un riel [Riel Vignole]
Fuente: Ferrocarriles Metropolitanos, Melis & Gonzales (2002)

En cuanto a los perfiles del riel más utilizados son el Riel Vignole [patín plano] para ferrocarriles convencionales, como el presentado en la Figura 3.13 y el Riel Phoenix [también denominado “Ri”] para tranvías y cruces a nivel de trenes ligeros, presentado en la *Figura 3.14*.

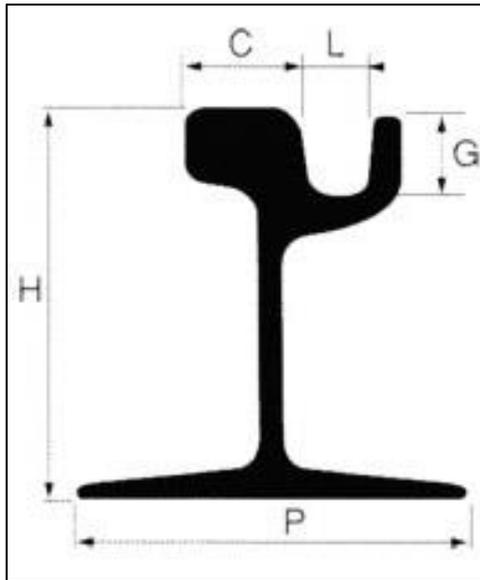


Figura 3.14: Riel Phoenix Ri

La denominación de los rieles se efectúa por su forma y por su peso [kg/m o lb/yd]. Los tipos de rieles se encuentran estandarizados y clasificados por normas internacionales o de cada país como, por ejemplo, la UIC [por sus siglas en francés de Union Internationale des Chemins de Fer], actualmente reemplazada por la denominación EN, que es utilizada mayormente en Europa, y la AREMA [*American Railway Engineering and Maintenance of Way Association*], utilizada en Estados Unidos.

Las longitudes normalizadas de presentación de los rieles son de 12, 18, 24 o 36 metros, la limitación de estas distancias corresponde a la necesidad de dejar una junta de dilatación para efectos de temperatura y el manipuleo de estos.

Los rieles, para satisfacer las sollicitaciones externas, deben contar con las siguientes características:

- Rigidez y flexibilidad: Debe tener la rigidez suficiente que evite su flexión por cargas del tren y la flexibilidad suficiente para evitar roturas frágiles por el efecto dinámico del paso de los trenes.
- Peso por metro: A mayor peso por metro, se tendrá mayor resistencia a la fatiga.
- Baja adherencia rueda-riel: Permite mover los vehículos a menor coste energético.

Los rieles son de acero soldable [aleación de hierro con altas proporciones de carbono] y, usualmente, el acero cuenta con las siguientes características:

- Peso específico: 7.83 kg/dm^3
- Coeficiente de dilatación: $1.05 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}$
- Módulo de elasticidad: $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$



3.2.2.2 Durmientes

Los durmientes o traviesas son los elementos transversales al eje de la vía que sostiene y mantienen la posición del riel; además, estas transmiten las fuerzas del riel al balasto, absorbiendo algunas de estas y generándose fuerzas internas como se presenta en la *Figura 3.15*. Los durmientes pueden ser de diferentes materiales como madera, acero, concreto armado, concreto pretensado y polímeros. Estos se colocan a un espaciamiento mínimo de 50 cm para permitir el bateado del balasto.

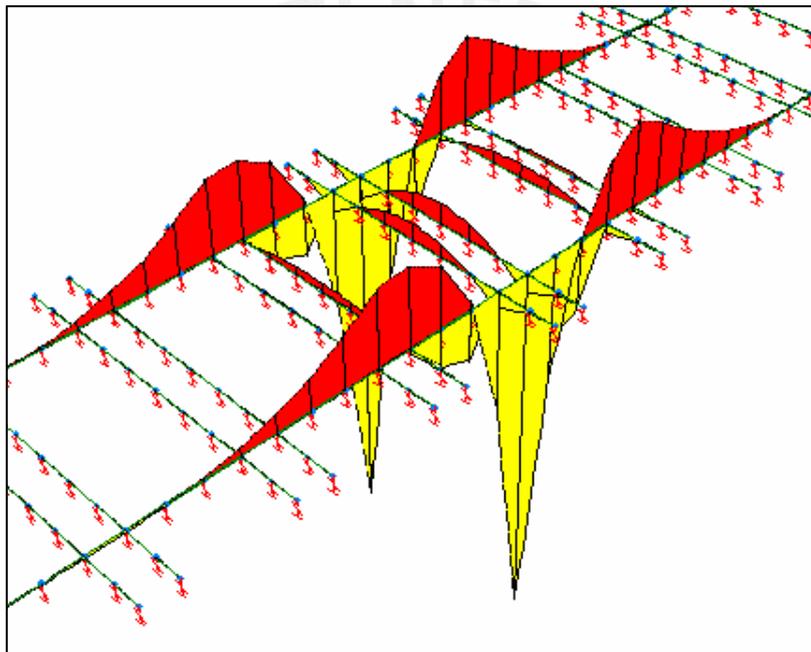


Figura 3.15: Diagrama de Momentos flectores a los que son sometidos todos los elementos de vía por un eje de carga

Fuente: Análisis de una vía con traviesa cuadrado, Fernando Romero (2010)

A continuación, se presenta una breve descripción de los tipos de durmientes más utilizados en la actualidad:

- *Durmientes de madera:* su uso está en decaimiento, pero existen muchos kilómetros construidos con estas. Las ventajas de la madera es su resistencia al deslizamiento, ya que el balasto se clava en esta, y tiene poco peso lo que permite un fácil manipuleo. Como inconvenientes se tiene el envejecimiento rápido de la misma [15 años] y la debilitación de las sujeciones.

- *Durmientes de concreto armado:* presentan rotura frágil y reducida resistencia a la fatiga por la inversión de signo de momentos. Fueron utilizadas durante la segunda guerra mundial, pero han sido reemplazadas por concreto pre-tensado o post-tensado, logrando que el durmiente solo trabaje a compresión, con lo que han logrado alcanzar un tiempo de servicio de 50 años.
- *Durmientes de acero:* Con forma del perfil en U, estos durmientes cuentan con una larga duración de 60 años de servicio. Su principal inconveniente es el no aislar eléctricamente cada riel, por lo que no pueden ser utilizados en áreas de circuitos de vía y por su peso ligero [80 kg] no son aptos para vías rápidas.



Figura 3.16: Durmientes de acero
Fuente: Agico Group China

- *Durmiente bibloques:* Consisten en un durmiente conformado por dos bloques de concreto, unidos mediante una riostra metálica, como se presenta en la Figura 3.17. Tienen como ventaja la facilidad de fabricación y buena resistencia lateral, pero como inconvenientes se presenta el riesgo de corrosión y una mala capacidad para mantener el ancho de vía.

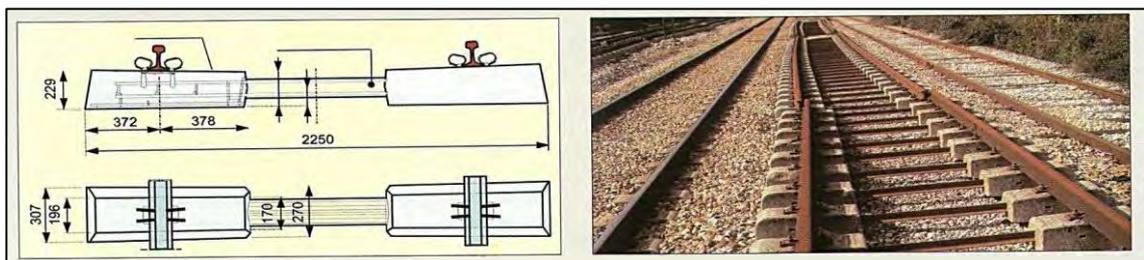


Figura 3.17: Traviesa Bibloque
Fuente: Andrés Lopez Pita

- *Durmiente monoblock*: Son usualmente de concreto pretensado, formando una única pieza que trabaje a compresión, como se muestra en la Figura 3.18.

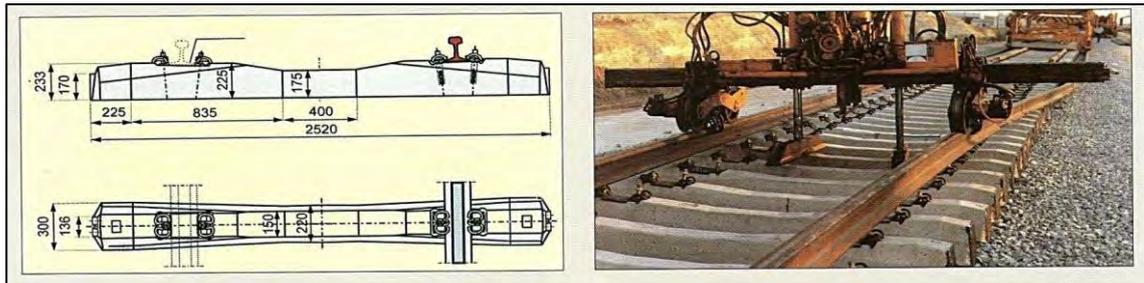


Figura 3.18: Traviesa Monoblock
Fuente: Andrés Lopez Pita

3.2.2.3 El Balasto

El balasto es la capa de material granular que se coloca bajo los durmientes, envolviendo a los durmientes en 5 de sus 6 caras, con espesores de 25 a 35 cm por debajo de la cara inferior. Este elemento de vía desempeña un papel muy importante en el comportamiento de la vía férrea, ya que distribuye las fuerzas transversales y verticales ejercidas por el material rodante, y brinda la elasticidad necesaria a la vía. Además, el balasto facilita el drenaje de lluvias, lo que evita posibles cortocircuitos del sistema de señalización.

Las principales fuerzas que ejerce el material rodante de manera transversal a la vía son producto de la fuerza centrífuga y el movimiento de lazo; en cuanto a las fuerzas longitudinales, son producidas por las aceleraciones y frenados del mismo material rodante. El efecto de distribución de cargas y elasticidad del balasto es logrado gracias a su conformación granular, ya que las partículas ante las vibraciones por el paso del tren, pueden moverse y reacomodarse entre ellas. Para obtener estos efectos, el balasto debe cumplir algunas características técnicas que se presentan a continuación.

Características:

- *Naturaleza*: Las piedras para balasto deben provenir preferiblemente de rocas ígneas o silíceas, estas deben ser insolubles y resistentes a los sulfatos.

- *Fabricación:* El balasto debe de provenir del chancado y tamizado de bancos sanos de los tipos de roca mencionados.
- *Dimensiones:* El tamaño de las piedras de balasto deben rondar los 30 a 60mm y la forma de las piedras debe aproximarse a una forma cúbica, ya que las formas achatadas facilitan el deslizamiento de los durmientes. La granulometría de las piedras se presenta en el Anexo 3. No se admiten tamaños menores a 30mm, ya que se colman los huecos entre balasto y se crean capas impermeables.
- *Resistencia a la abrasión:* Deben resistir largos ciclos de golpeteo entre las mismas piedras de balasto, y estas con el durmiente, durante el paso del material rodante.

3.2.2.4 Vía en placa

La vía en placa puede definirse como la sustitución del balasto por el concreto armado, formando una losa, esta configuración transmite las fuerzas provenientes del riel de manera uniforme al terreno. El concreto a utilizar debe tener una resistencia a la compresión mayor a 250 kg/cm², para satisfacer los valores de tensión y compresión de carga de hasta 23 ton/eje y una vida de servicio adecuada para las condiciones normales de túnel y estación.

La principal ventaja que presenta el uso de la vía en placa frente al balasto es en el coste de mantenimiento y conservación, a diferencia del balasto, este sistema no demanda mucha mano de obra ni materiales adicionales en el mantenimiento. En la Figura 3.19 se presenta la estructura típica de una vía en placa. A continuación, se define cada elemento:

- *Plataforma:* Superficie de apoyo de los elementos que conforman la vía en placa.
- *Placa Base:* Capa sobre la plataforma que proporciona una base uniforme y mejora el reparto de cargas.
- *Placa Principal:* Soporta los rieles y su carga directa. Los rieles pueden estar apoyados directamente en la losa o en durmientes embutidos en esta losa.

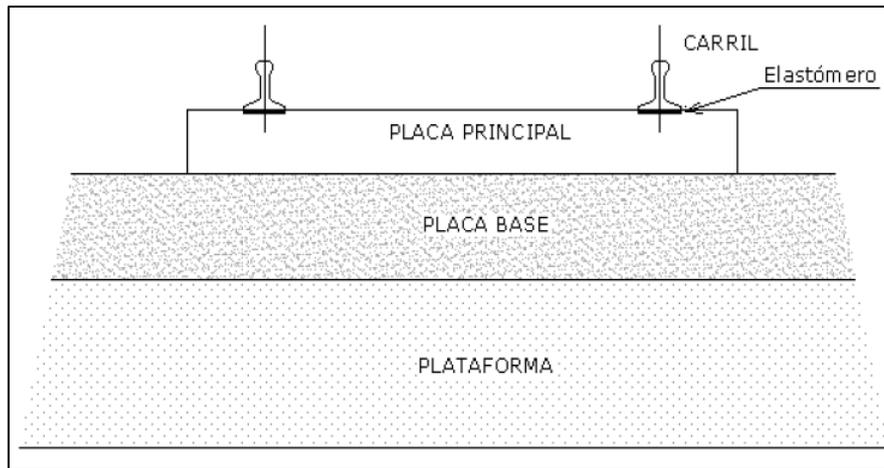


Figura 3.19: Estructura de vía en placa

Fuente: Miquel, J. 1981

Existen diversas variaciones de soluciones de vía en placa. Donde las principales variables son los niveles elásticos que se utilizan [elastómeros] y el tipo de apoyo del riel (embutido, apoyo sobre durmiente embutido, sobre durmiente apoyado, o sobres bloques, etc.).

A continuación, se describirán algunos de los sistemas más comerciales:

- Vía en placa con carril embebido continuo [Edilon]
- Sistema Sonnevile LVT [Bloques embutidos recubiertos de elastómero]
- Sistema de placa construido in situ

Vía en placa con riel embebido continuo:

Los sistemas de riel embebido se caracterizan por la sujeción continua del riel. Actualmente el sistema más empleado es el Edilon que consta de una canaleta embebida en la losa de concreto donde se introduce el riel y se rellena de un elastómero que fija el riel y le brinda propiedades elásticas que amortiguan las vibraciones producidas por el paso de los trenes (Pañero Huerga). Este sistema tiene la ventaja de permitir la circulación de vehículos sobre la vía y a través de ella, lo que es ideal para cruces a nivel en zonas metropolitanas.



Figura 3.20: Sistema Edilon Riel Embebido

Fuente: Jose Antonio Pañero Huerga

Sistema Sonneville LVT [Low Vibration Track]:

Este sistema combina los durmientes bibloque con la vía en placa, consta de dos bloques de concreto independientes embutidos en la losa. Cada bloque de concreto va dentro de una “galocha” o bota de caucho [rubber boot] con una almohadilla elástica [elastómero] entre ellos. Esta configuración disminuye las vibraciones producidas por el paso del material rodante.

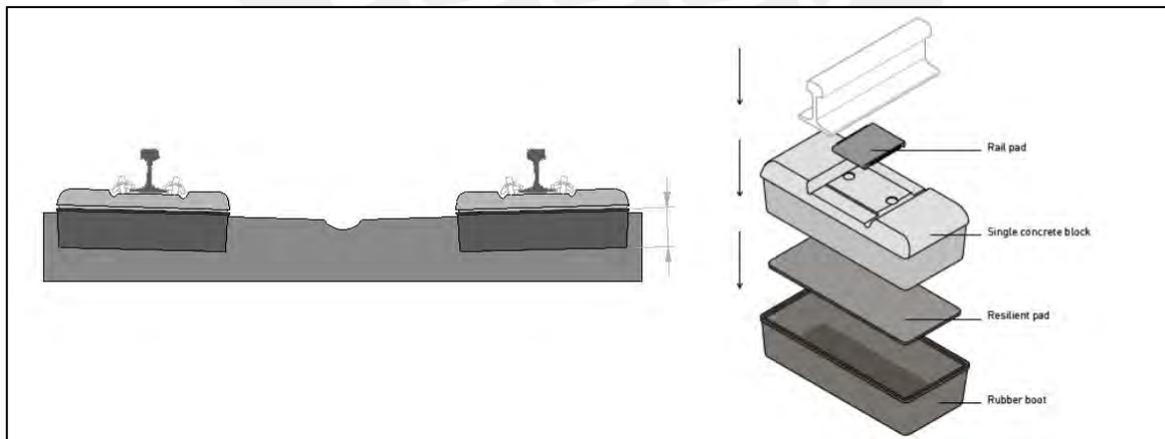


Figura 3.21: Sistema Sonneville LVT

Fuente: Concrem SAC

Sistema de Placa Construido In Situ:

Estos sistemas se caracterizan por la sujeción directa del riel a la placa principal mediante una placa de asiento y tirafondos embutidos en la losa.

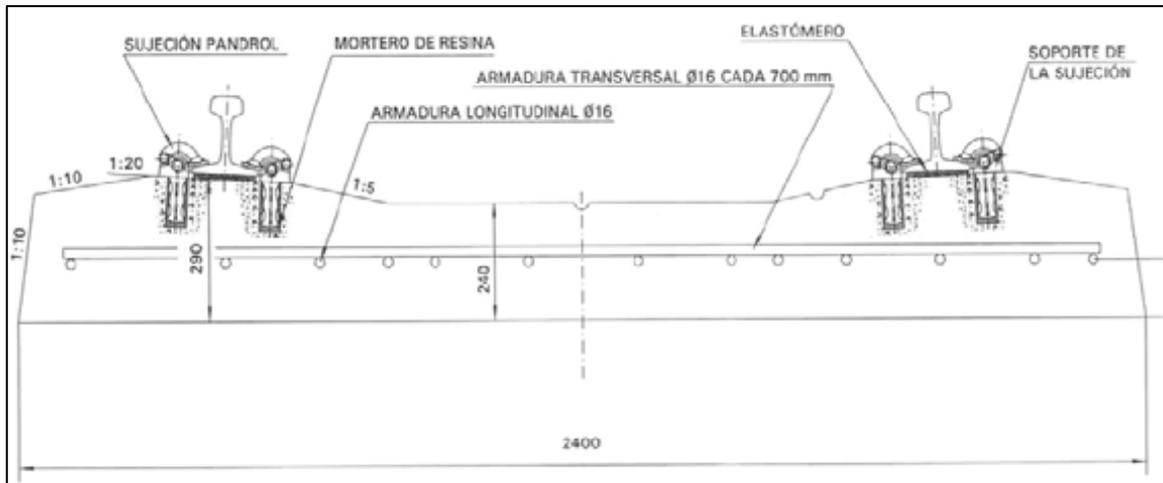


Figura 3.22: Sistema de Placa construida in Situ

Fuente: José Antonio Pañero Huerga

3.2.2.5 Sujeciones

Las sujeciones, también llamadas fijaciones o uniones, son los elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía, su objetivo principal es evitar el vuelco del riel y su desplazamiento sobre los durmientes. Las sujeciones son los elementos más numerosos en una vía y tienen una influencia importante en el coste de mantenimiento. Las vibraciones producidas por el paso del material rodante, tienden a aflojar las sujeciones, por lo que es necesario realizar reajustes, como procedimiento de mantenimiento de vía.

Las sujeciones pueden ser clasificadas como sujeciones rígidas o elásticas.

- *Sujeciones Rígidas:* Son utilizados para durmientes de madera, ya que la sujeción se realiza mediante elementos rígidos, clavados o atornillados. Los más utilizados son las escarpas [clavo rielero] y tirafondos, presentadas en la Figura 3.23. El mayor inconveniente de estos es que se aflojan con los ciclos del paso del material rodante.



Figura 3.23: Sujeción rígida. Escarpia y tirafondo
Fuente: Mardones-BPB

- *Sujeciones Elásticas:* la sujeción se realiza mediante elementos que puedan deformarse frente a los movimientos del riel sin aflojarse. Los más utilizados son los tipos grapa y clip, los cuales se muestran en la Figura 3.24.

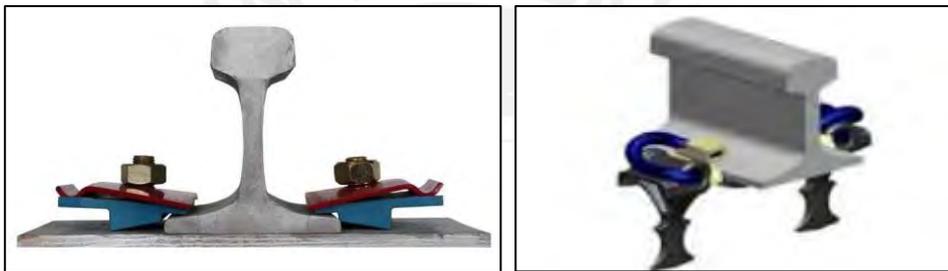
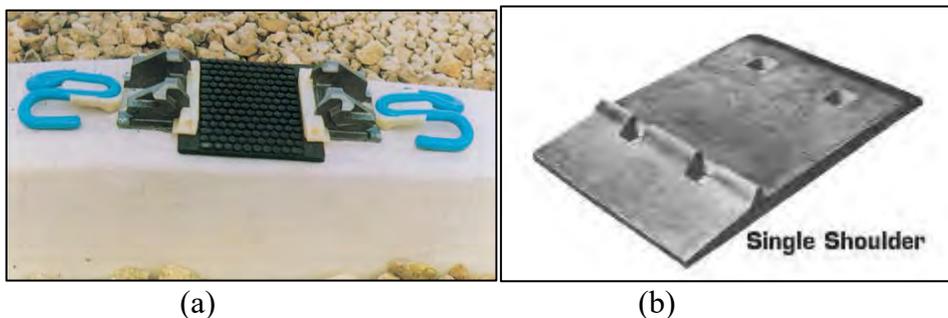


Figura 3.24: Sujeciones elásticas tipo grapa [Nabla] y clip [e Pandrol]
Fuente: Suyu Group China. Railfasteners

Placa de asiento

Se colocan placas de asiento entre el riel y el durmiente para reducir las presiones que son transmitidas e inducir la inclinación correcta de riel. En el caso de durmientes de madera, las placas de asiento son metálicas y rígidas. Para los durmientes de concreto se utiliza placas elásticas de caucho.



(a) (b)
Figura 3.25: Placa de asiento elástica (a) y rígida (b)
Fuente: Andrés López Pita y Agico Group China

3.2.2.6 Aparatos de Vía

Para la explotación comercial de las líneas férreas, es necesario que los trenes puedan pasar de una vía a otra, sin perder la continuidad del guiado, para ello se introducen aparatos de vía, que permiten la conexión y cruce entre distintas líneas. Se cuenta con dos configuraciones básicas que son los desvíos y las travesías.

Desvíos:

Los desvíos permiten el paso de una vía a otra, se distinguen principalmente dos etapas el cambio y el cruzamiento. En la etapa de cambio, el tirante, accionado de manera eléctrica o manual, mueve la punta de las agujas hasta topar con una contraaguja para establecer la ruta que seguirá el tren [ver la Figura 3.26]. La etapa de cruzamiento, tiene un especial énfasis ya que puede producir descarrilamientos, debido a que en la zona de la laguna una de las ruedas no tendrá apoyo en el centro de esta. Para evitar los descarrilamientos, se instalan los contrarrieles [contracarriles] frente a la laguna, como se muestra en la Figura 3.27.

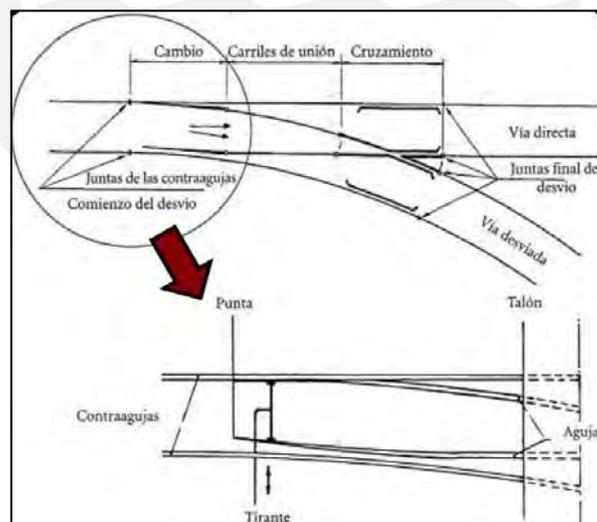


Figura 3.26: Componentes de un cambio de vía

Fuente: Andrés López Pita

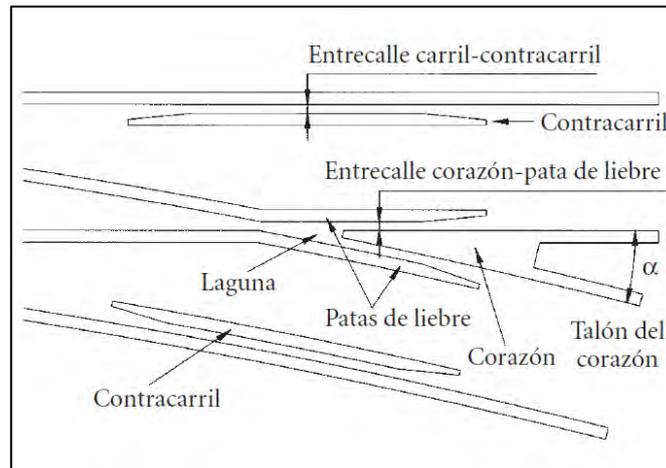


Figura 3.27: Esquema de cruzamiento convencional
 Fuente: Andrés López Pita

Travesías:

Las travesías son aparatos de vía compuesto por varios cruzamientos combinados. Existen varios tipos de aparatos de vía, en la Figura 3.28 se presentan las configuraciones más comunes.

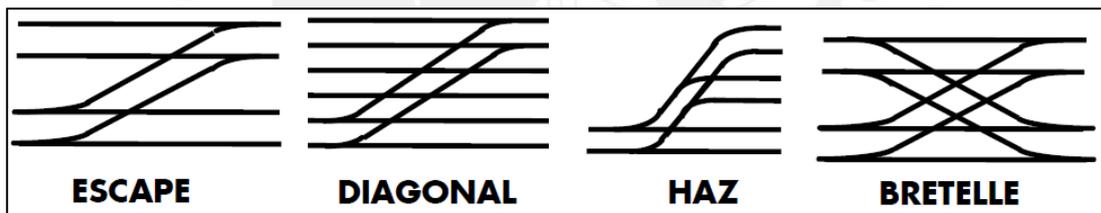


Figura 3.28: Combinaciones de aparatos de vía
 Fuente: Manual de ADIF. Aparatos de vía

3.3 Consideraciones Generales del Material Rodante

Se define material rodante o material móvil a todo vehículo con ruedas que circula sobre una vía férrea. La ingeniería ferroviaria, de modo tradicional, clasifica al material rodante en tres grupos: el primero referente al material que proporciona la tracción al tren [locomotoras]; el segundo y el tercer grupo están referidos al material remolcado, como son al transporte de pasajeros [coches] y para el transporte de mercancías [vagones], respectivamente (López Pita, 2010).

A continuación, se explicará las características de cada grupo de material rodante y sus clasificaciones específicas.

3.3.1 Locomotora

Se define locomotora al material rodante que cuenta con motor y brinda la tracción al tren. Estas se pueden clasificar según el tipo de tracción instalado.

Clasificación por tipo de tracción:

- *Diésel:* La locomotora cuenta con un motor de combustión que está unido mecánicamente a las ruedas motrices.
- *Diésel-eléctrica:* Consisten en un motor diésel que mueve un generador eléctrico trifásico, el cual transmite la energía a los motores de tracción.
- *Eléctrica:* La locomotora es alimentada por una fuente externa eléctrica, por catenaria o tercer carril.

3.3.2 Material Remolcado

Se denomina material remolcado a los vehículos ferroviarios que no aportan tracción y deben ser remolcados por las locomotoras. El material remolcado se puede clasificar según la carga a transportar, sea pasajeros [material remolcado denominado “coche”] o mercancías [“vagones”]. Existen muchos tipos de coches y vagones disponibles en mercado, que responden a las exigencias de las administraciones ferroviarias.

3.3.3 Bogies

Los bogies son el conjunto de pares de ruedas montadas sobre ejes paralelos que guían al material rodante sobre los rieles dispuestos en la vía, como clasificación primaria se pueden diferenciar entre bogies con motor y bogies remolques [sin motor].

Partes de un bogie

- *Bastidor*: Estructura metálica que fija los ejes, ruedas, motores, suspensiones, etc.
- *Suspensión primaria*: cumple dos funciones primordiales, reducir el nivel de vibraciones que soporta el bastidor y repartir homogéneamente las cargas sobre las ruedas (Jurado Zurro, 2010).
- *Suspensión secundaria neumática*: controla los movimientos de la caja del vehículo, la cual se une al bogie mediante un pivote.
- *Reductor [caja reductora]*: Sistema de mecanismos para corregir la velocidad y potencia implantada por el motor a los ejes.
- *Sistema de Frenos*: pueden ser de zapata o disco. También se utiliza el frenado por corrientes de Foucault, pero se limita su uso a sistemas de emergencia.
- *Zapata de limpieza*: zapata blanda que limpia la rueda al girar, esta no interfiere con la rodadura. Las impurezas en las ruedas generan disminución de adherencia y golpeteos (AMETSIS Ingeniería y Asesoría Técnica).
- *Ruedas*: el rodamiento puede ser con ruedas de acero o mediante ruedas neumáticas.

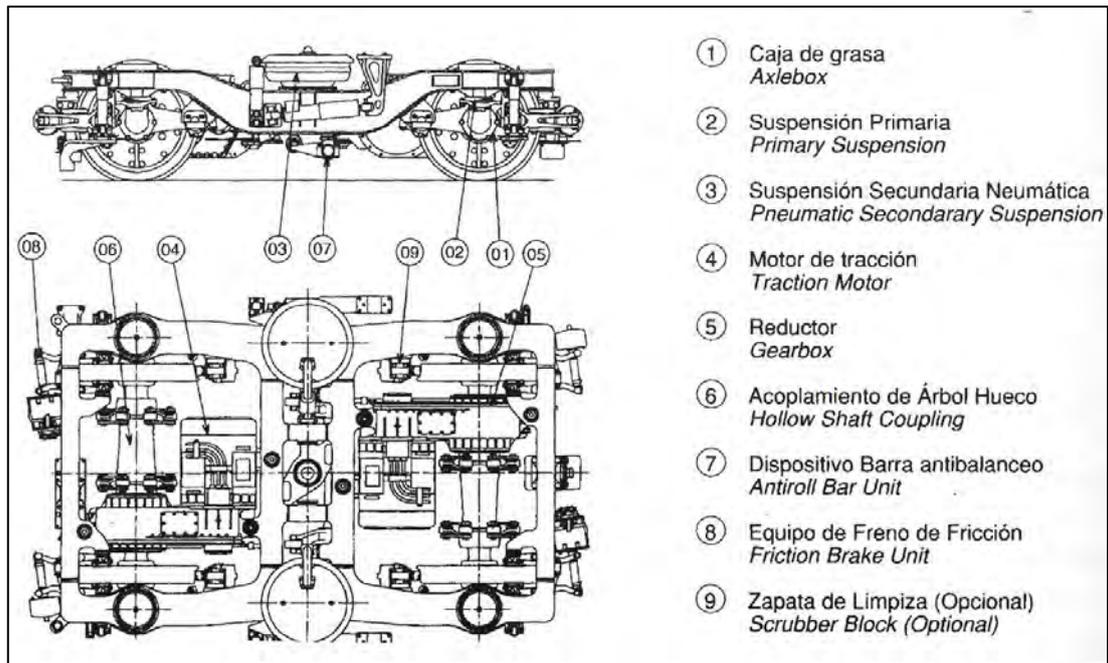
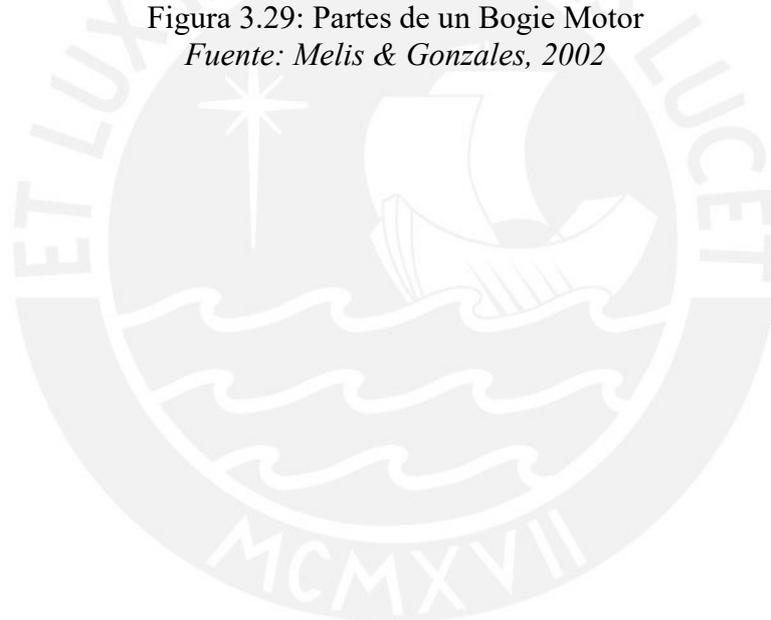


Figura 3.29: Partes de un Bogie Motor
 Fuente: Melis & Gonzales, 2002



CAPÍTULO 4: Procesos Constructivos de Superestructura

A continuación, se explicarán los procesos del montaje de elementos sueltos de una ferrovía, tanto en balasto como en vía en placa, más utilizados. Cabe mencionar que existen procesos más industrializados y cadenas de producción, como el montaje de aparejos, que involucran maquinaria muy especializada, en el Anexo 7 se explican y detallan estos procesos.

4.1 Vía Sobre Balasto

4.1.1 Topografía: Replanteo de vía

El replanteo de vía tiene como finalidad establecer un sistema de marcas [o puntos] que sirvan de referencia para el montaje de la vía y el tendido de balasto. Estos puntos deben ser permanentes, ya que servirán para el mantenimiento futuro de la vía.

Las fases del replanteo son las siguientes:

1. *Comprobación de la plataforma ejecutada:* Se verifica en planta y alzado la plataforma sobre la que se montará la vía.
2. *Comprobación y encaje de la traza:* Se comprueba que se puede ejecutar la traza (planta) del proyecto. En caso contrario, se realizan los ajustes necesarios tanto de traza como alzado, se deben verificar que los nuevos parámetros de la vía cumplan con el diseño geométrico.
3. *Puntos de Marcaje:* Se realizan las marcas de referencia materializados por “piquetes” [postes de 60cm clavados al terreno] o pernos tipo bulón de acero inoxidable.

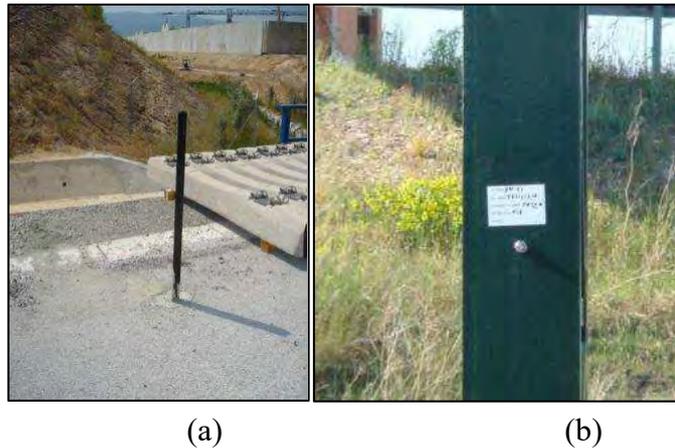


Figura 4.1: (a) Piquete sobre terreno; (b) Bulón roscado en poste de catenaria
Fuente: Norma NAV 3-4-3.0, ADIF España

4.1.2 Pre-lanzamiento de balasto

El pre-lanzamiento de balasto consiste en esparcir una capa inicial de balasto [subbalasto] de aproximadamente 13 a 20 cm. El espesor de la capa de subbalasto está en función del espesor de balasto bajo durmiente especificado en el proyecto [30 a 35cm usualmente]. Este proceso puede realizarse con una “Extendedora” [similar al utilizado en pavimentos]. La capa debe compactarse con un rodillo liso de 5tn estático [sin vibración]; ya que la vibración segregaría la capa de balasto.



Figura 4.2: Colocación de balasto con Spreader
 Fuente: TECSA. Argentina

Se debe realizar una huella [pequeño surco] de 5cm de profundidad y 70cm de ancho en los ejes de vía, como se muestra en la Figura 4.3. Para que el durmiente se apoye en sus extremos [cabezas] y no se generen momentos positivos.

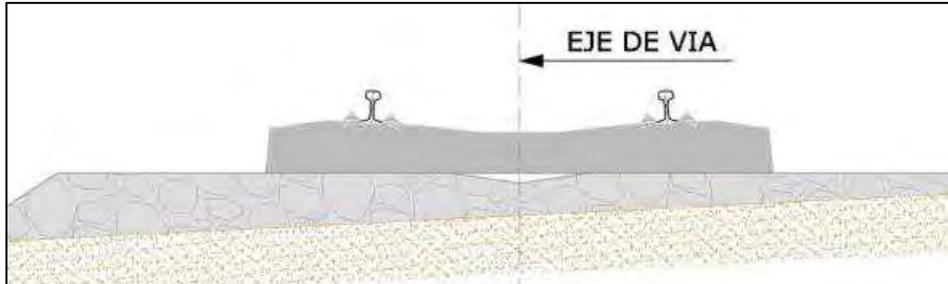


Figura 4.3: Esquema de huella en eje de vía

Fuente: ADIF

4.1.3 Pre-posicionamiento de rieles

Deben presentarse los rieles a un ancho mayor al de la vía a construir. La presentación del largo de los rieles puede variar entre 12m y 18m. Es recomendable el uso de grúas y contar con un plan de izaje para no dañar los elementos.

4.1.4 Posicionamiento de durmientes

El posicionamiento de los durmientes consiste en la ubicación previa de cada durmiente, cumpliendo las especificaciones de espaciamiento entre cada elemento [usualmente 65cm]. Este trabajo puede hacerse por acarreo manual o utilizando una retroexcavadora apoyada sobre orugas [para no dañar la capa de balasto] equipada con un “porta durmientes”, el cual permite mover grupos de 8 durmientes a la vez.



Figura 4.4: Retroexcavadora con Porta durmientes

Fuente: VORTOK, 2012

4.1.5 Montaje de rieles

Se presentan los rieles paralelamente a los durmientes, para luego manual o mecánicamente con una “Alineadora” proceder a montarlos sobre los durmientes.

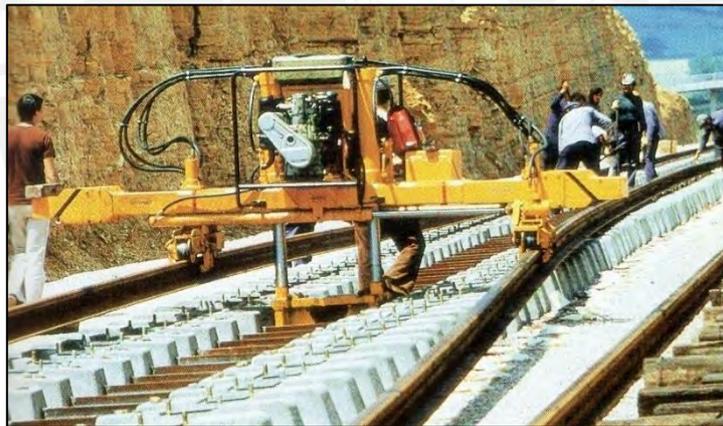


Figura 4.5: Carro colocador de Rieles MPR [Alineadora]

Fuente: Geismar

4.1.6 Fijación de riel y durmiente

Una vez colocado los rieles sobre los durmientes, estos deben fijarse con las sujeciones establecidas en el proyecto. Cada tipo de sujeción tiene un procedimiento de montaje y ajuste particular detallado por el fabricante. Existe maquinaria especializada o herramientas para colocar cada tipo de sujeción.

Para un correcto montado, se unen los rieles mediante eclisas provisionales, que darán continuidad al riel. Esto permite circular trenes de servicio con una velocidad de hasta 20km/h.



Figura 4.6: Colocación de eclisa provisional

Fuente: Fotografía de Supervisión de Obras Tren Eléctrico

4.1.7 Pre-Alineamiento de escalera

Este proceso consiste en alinear lateralmente la vía [riel y durmientes]. Usualmente, se utiliza un *Track Lifting Slewing Machine*, pórtico con garras que sujetan el riel [previamente unido con los durmientes], y mediante gatas hidráulicas eleva al conjunto y lo ubica lateralmente. La ubicación de la vía tendrá una tolerancia de 30mm de su ubicación definitiva en planta, se deben utilizar los puntos de marcaje topográfico como referencia (ADIF, 2015). Más adelante se posicionará la vía de manera definitiva.

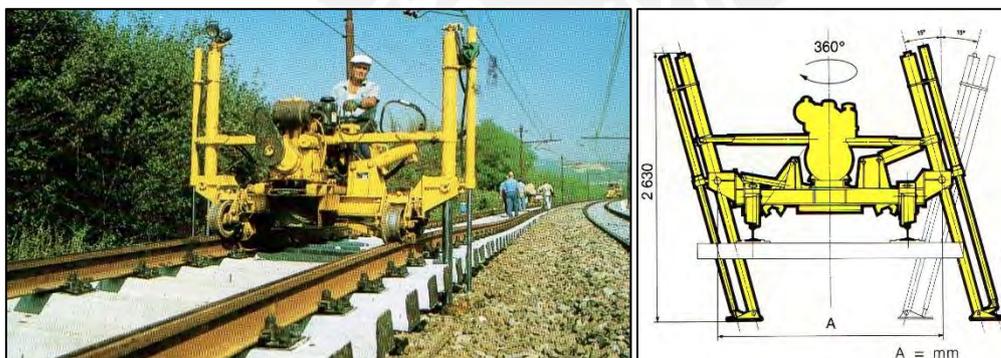


Figura 4.7: Pre-alineamiento con Track Lifting Slewing Machine [RV100]

Fuente: Geismar

4.1.8 Levante y alineación de vía a geometría definitiva

Una vez regado la primera capa de balasto, se debe ubicar la vía en la posición final de planta y alzado. Para ello, se realizan ciclos de levante y alineación de la vía hasta llegar al nivel de rasante definitivo.

Los ciclos de levante y alineación consisten en:

1. *Descargas de balasto*: se irá completando el balasto con pasadas de tolvas.
2. *Perfilado*: Se distribuye homogéneamente la capa de balasto sobre la vía. Se elimina el balasto sobre las cabezas de los rieles y se descubren los durmientes.
3. *Bateo*: Se eliminan vacíos bajo los durmientes y se nivela verticalmente la vía. El máximo levante recomendado por ciclo es de 45mm o 2”.
4. *Perfilado*: Se distribuye homogéneamente la capa de balasto sobre la vía. Se elimina el balasto sobre las cabezas de los rieles y se descubren los durmientes.

Se distinguen 3 fases del levante y alineación, puede ser necesario realizar varios ciclos para alcanzar cada fase:

- Nivelación Previa: se alcanza una diferencia de -140mm respecto a la cota de cabeza de riel definitiva.
- Primera nivelación: Con sucesivas pasadas de la bateadora se alcanza una diferencia de -20mm respecto a la cota de cabeza de riel definitiva.
- Segunda nivelación: Se sueldan los rieles, se liberan tensiones y se estabiliza la vía. Se alcanza la cota definitiva.

Las tolerancias de geometría dependerán de la velocidad a la que se explotará la vía.

4.1.8.1 Descargas de balasto

Para esparcir el balasto sobre la vía se utilizan vagones tipo tolva. Estos tienen una rampa de descarga inferior que permite ir esparciendo el balasto a lo largo de la vía.



Figura 4.8: Tolva con balasto [Faccs-z]
Fuente: Ferrocarril de Albacete

4.1.8.2 Perfilado de balasto

Después de la pasada del tren de tolvas debe perfilarse y regularse el balasto, para que este quede distribuido de manera homogénea, ya que es el componente mecánico que evita los pandeos de la vía y transmite las fuerzas al terreno, una falta de balasto o una deficiente distribución reduce la calidad del sistema vía y produce mayor desgaste. (Plasser Theurer)

Además, se debe retirar el balasto sobre los rieles ya que, si las partículas de balasto quedan atrapadas entre una rueda y el riel, por el paso de vehículos, pueden dañar gravemente el perfil de la cabeza del riel. Para ello se utilizan “Reguladoras de balasto”, maquinaria pesada de vía que cuenta con paletas que perfilan el balasto uniformemente y dan la inclinación del talud al balasto. Estas cuentan con paletas que eliminan el balasto sobre los rieles, y otras que descubren las cabezas de los durmientes para luego realizar el bateo de estos.



(a)

(b)

Figura 4.9: (a) Reguladora de Balasto [USP 2010 SWS]; (b) Detalle de Paletas reguladora

Fuente: Plasser & Theurer

4.1.8.3 Bateo del balasto

El bateo consiste en la aplicación de golpes con varillas de acero o vibraciones mecánicas para acomodar el balasto bajo el durmiente, para asegurar que este quede bien apoyado en la capa de balasto. La forma más común de realizar este proceso es mediante el equipo pesado de vía denominado “Bateadora Niveladora”. Este equipo cuenta con paletas verticales que se introducen alrededor del durmiente, con unas tenazas la máquina eleva el riel un máximo de 45mm [por pasada], y por acción de vibración de los brazos el balasto se acomoda bajo el durmiente.

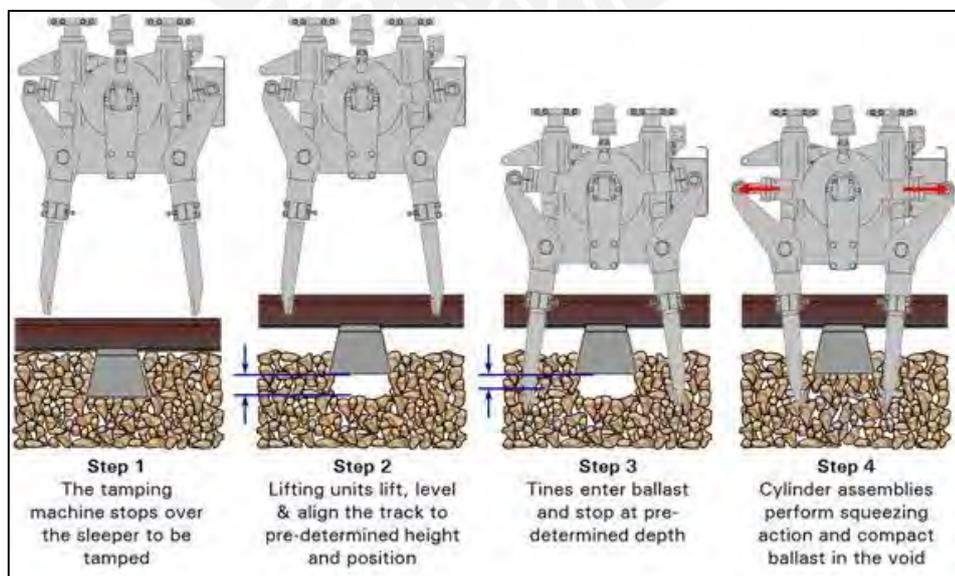


Figura 4.10: Proceso de bateo por “Bateadora Niveladora”

Fuente: *El Bateo. Plasser & Theurer*

4.1.8.4 Estabilización de vía

Para obtener una mayor estabilidad de la vía, se debe compactar el balasto [previamente bateado] con la circulación de vehículos sobre las vías. Se recomienda circular un total de 100'000 toneladas que los durmientes se terminen de acomodar sobre el balasto. Otra opción es utilizar estabilizadoras dinámicas, que mediante cilindros hidráulicos generan vibraciones sobre la vía generando que el balasto se reordene y quede una estructura más compacta.

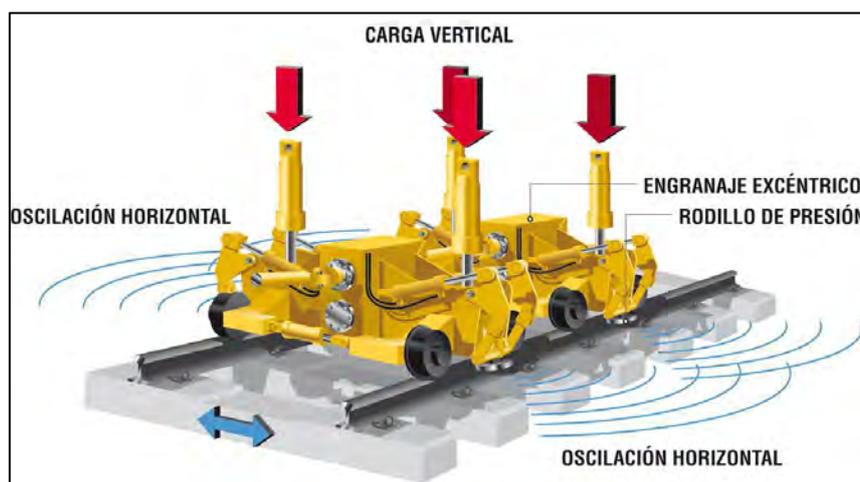


Figura 4.11: Estabilización Dinámica

Fuente: *Plasser & Theurer*

4.1.9 Soldadura de rieles

Como se han instalado rieles en barras de 12 a 18m, unidos mediante eclisas, estos deben ser soldados para tener una vía continua y homogénea [barras largas]. Existen dos tipos de soldadura de vía, la soldadura eléctrica por chisporroteo y la soldadura aluminotérmica. La principal diferencia entre estas es que la soldadura eléctrica no aporta material adicional, une los rieles mediante la fusión de estos; mientras que en la aluminotérmica agrega una mezcla de acero al carbono para unir los rieles.

- *Soldadura Eléctrica*: La soldadura eléctrica se obtiene mediante la aplicación de una diferencia de tensión eléctrica entre los extremos de los rieles a soldar. Esta diferencia genera una corriente de gran intensidad y elevadas temperaturas que funden los

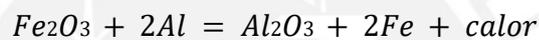
extremos del riel, permitiendo su unión. Es necesario montar un camión que transporte el equipo de soldadura.



Figura 4.12: (a) Soldadura eléctrica de riel; (b) Camión de soldadura

Fuente: Amexder, Mexico

- *Soldadura Aluminotérmica*: Esta soldadura se basa en la reacción química del óxido de hierro con el aluminio, presentada a continuación:



El resultado de esta reacción química forma óxido de aluminio [corindón] y libera hierro, el cual unirá los extremos de riel. (Fundación Laboral para la Construcción, 2014)



Figura 4.13: Soldadura Aluminotérmica

Fuente: TECSA, Argentina

Se recomienda soldar los rieles por tramos [semi barras largas], siendo estos no menores a 150m. Para luego del alivio de tensiones unir todas las semi barras. Luego de la soldadura de

rieles es necesario lijar y eliminar las rebabas de la soldadura. Existen herramientas específicas para facilitar este trabajo.



Figura 4.14: Esmerilado de riel

Fuente: Trabajos de Vía. Opema

4.1.10 Alivio de Tensiones

Al soldarse los tramos de riel se obtiene una barra larga, en esta configuración el riel se vuelve más vulnerable a los cambios de temperatura, los cuales pueden ser por la exposición al sol o por los mismos procesos de soldado. Como el riel está fijado a los durmientes por las sujeciones, al dilatarse el riel, el balasto por trabazón mecánica del durmiente, impide su dilatación libre, como se muestra en la Figura 4.15. Este comportamiento mecánico genera esfuerzos longitudinales que producen el efecto de pandeo y deforman la vía en planta y en el alzado.

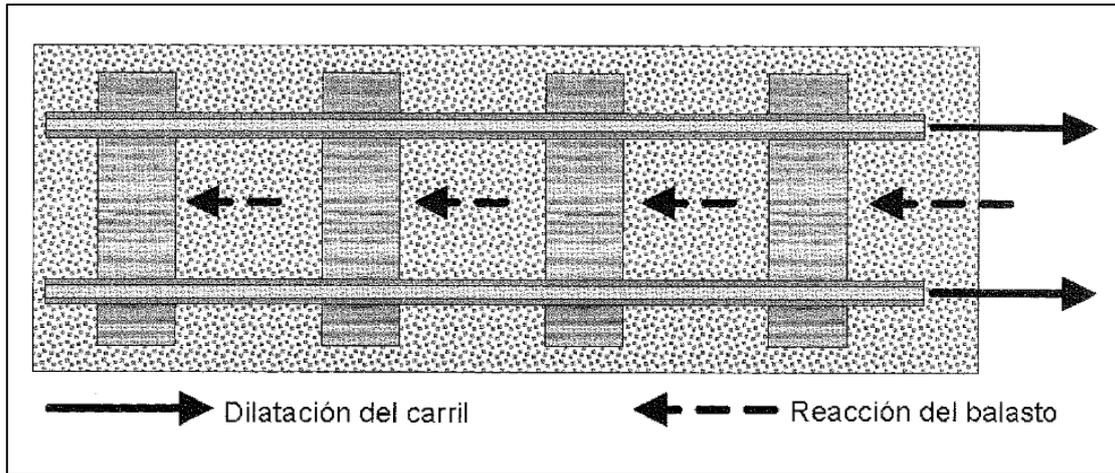


Figura 4.15: Dilatación restringida del riel

Fuente: José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009

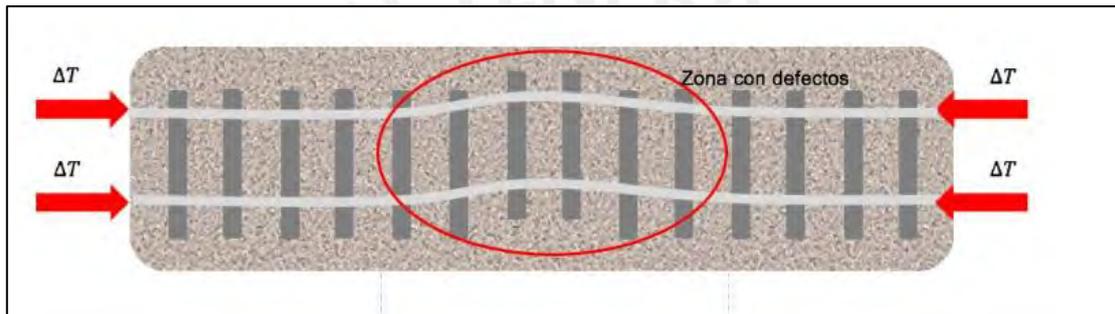


Figura 4.16: Vía con defectos de alineación por concentración de esfuerzos

Fuente: Study, Analysis And Determination Of Buckling Load In Dual Gauge Tracks Through Analytical And Numerical Methods Villaba I. (2017)

Para evitar la acumulación de esfuerzos de compresión en la vía y que estos lleguen a deformarla, es necesario realizar una liberación de las tensiones acumuladas. Para ello, primero se debe establecer una “Temperatura de Neutralización” que será la temperatura a la que se homogenizará toda la barra larga [o semi barra]. La Temperatura de Neutralización se calcula mediante el promedio de la temperatura máxima del riel y la temperatura mínima, más 5° C; usualmente las temperaturas de neutralización oscilan entre los 25 a 30 °C (ADIF, 2009).

$$T_n = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 5^{\circ}C$$

Para liberar los esfuerzos de compresión de la barra larga [o semi barra], primero se debe medir la temperatura del riel con termómetros de contacto, ubicándolo en el alma de este. Se marcan los tramos con esfuerzos de compresión [temperaturas menores a la de neutralización].

Luego, en medio del tramo con esfuerzos de compresión, se corta el riel, se debe retirar un pedazo de este, ya que al liberar las tenciones el riel se extenderá, es preferible cortar donde exista una soldadura previa, la longitud del pedazo a cortar y retirar dependerá del tipo de riel. Se aflojan las sujeciones del tramo marcado y se liberan las tensiones por alguno de los 3 métodos explicados a continuación:

- Por calentamiento: Se calienta el riel por máquinas o por el sol hasta la temperatura de neutralización, y se permite la libre dilatación del riel.
- Por tracción: Consiste en dar al riel la longitud que teóricamente le correspondería a la temperatura de neutralización por medio de tensores hidráulicos.
- Por golpeteos de riel: Consiste en darle golpeteos al riel con mazos de bronce o de acero con goma, para que este vaya liberando las tensiones acumuladas.



Figura 4.17: Liberación de tensión por tensores hidráulicos
Fuente: Penas, N. (2017) & Railtech Mexico

Finalmente, se suelda el riel formando nuevamente la barra larga. El procedimiento se debe realizar simultáneamente en los dos rieles.

4.1.11 Resumen del proceso

Se presenta como resumen del proceso el siguiente diagrama, para el montaje de 2 vías. Se recomienda construir primero una vía, para poder utilizar equipos de vía para el montaje de la segunda vía.

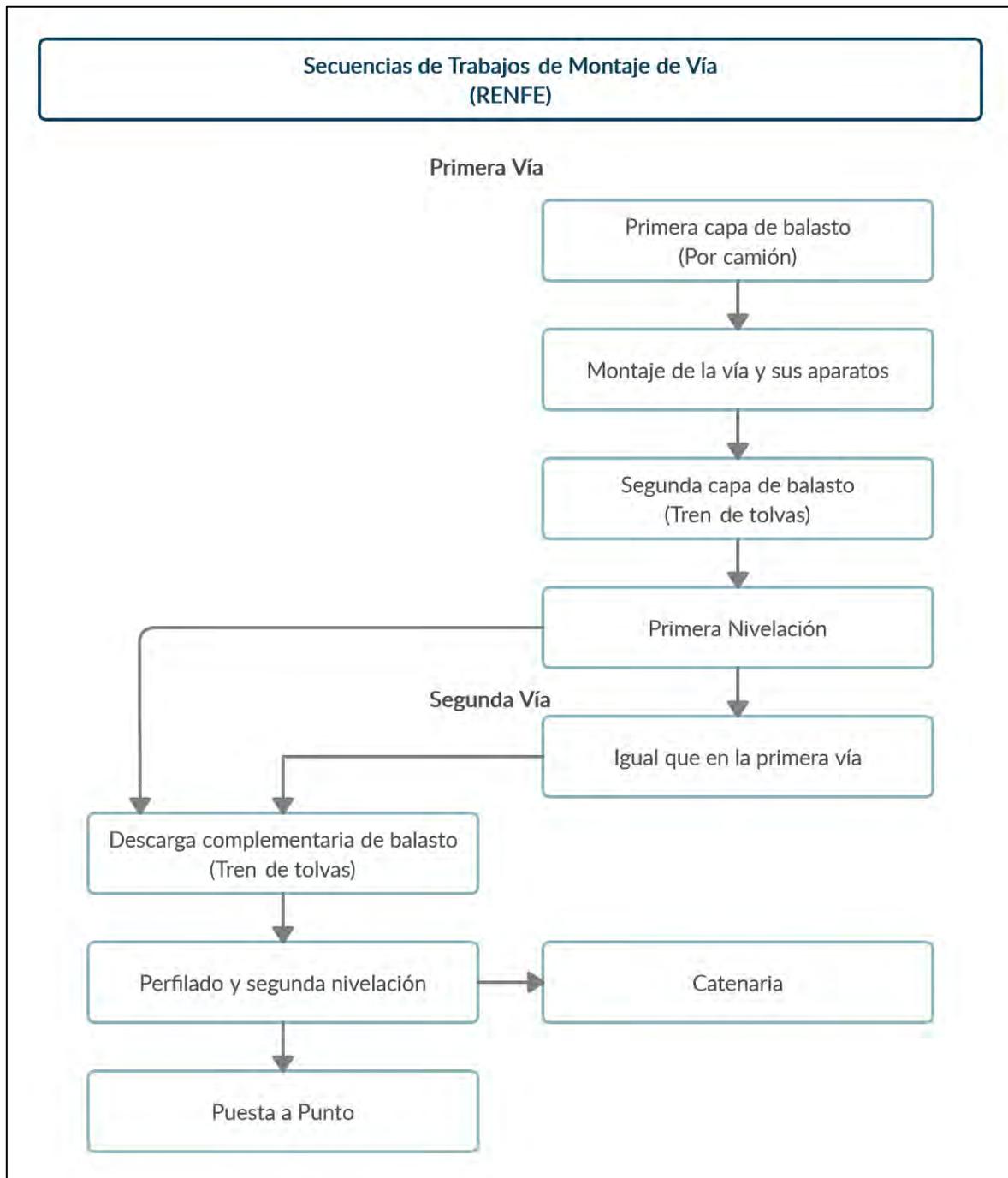


Figura 4.18: Secuencia de trabajos de montaje de vía

Fuente: Normativa Renfe Vía N.R.V. 7-1-0.0 Primera edición: 20 de julio de 1993.

4.2 Vía en Placa

Existen diferentes configuraciones de vía en placa, como se ha presentado previamente en el Capítulo 3 – Superestructura Ferroviaria, en el presente apartado se detallarán los procesos constructivos para el sistema de vía en placa construido in situ, ya que las otras soluciones presentadas derivan de esta.

4.2.1 Vaciado de Nivelación

Una vez recibida y verificada la topografía de la infraestructura, se procede a realizar un vaciado de nivelación [o también llamado “limpieza” o presolera] con concreto pobre, sobre el cual se apoyará la superestructura ferroviaria. En el caso de túneles, este vaciado se realiza sobre la contra-bóveda, y en caso de viaductos sobre el tablero. Esta capa de concreto, dependiendo del diseño, llegará a una altura de 10 cm bajo la capa del inserto [capa donde quedará embutida la fijación].

4.2.2 Replanteo Topográfico y Piqueteado de vía

Se realiza el replanteo de vía al igual que en el apartado anterior. Cabe mencionar que el replanteo también se puede realizar por la colocación de piquetes materializados en clavos tipo Spit, en los puntos notables del trazado. Además, se colocan piquetes en los ejes de cada vía, y en los extremos para verificar la nivelación de vía. Usualmente, se piquetea cada 10m en rectas y cada 5m en curvas.

4.2.3 Distribución y soldadura de rieles

Se distribuyen los rieles [barras de 18m] sobre el tramo replanteado, se pueden utilizar pórticos sobre ruedas para el transporte de estos. Una vez distribuidos, se procede a soldar los tramos de rieles para configurar la BLS [barra larga soldada].

4.2.4 Malla de refuerzo y Soportes provisionales

Se ubica la malla de refuerzo que irá embutida en la losa principal sobre la losa de nivelación, y encima de esta se colocan tacos de madera que ayudarán al posicionamiento de los rieles y de las falsas traviesas, como se muestra en la Figura 4.19. (Adrover Grimalt, 2008) La malla de refuerzo instalada evitará que la losa principal se fisure por retracción del concreto y por la acción de fuerzas de la vía.

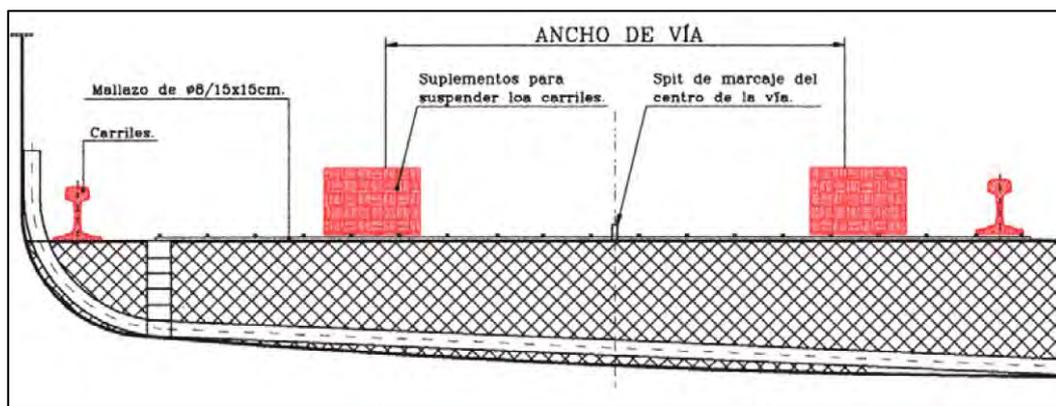


Figura 4.19: Posicionamiento de malla de refuerzo, de los soportes y reparto de rieles
Fuente: La implementación de la vía en placa en líneas con balasto en explotación comercial. Adrover, B. 2008

4.2.5 Montado con falsas Traviesas

Las falsas traviesas [o pórtico de nivelación] es un travesaño [perfil de acero, forma U] con tenazas regulables a los extremos, que permiten sujetar los rieles de una vía desde sus cabezas [hongos]. Este dispositivo permite regular el ancho de vía, nivelación e inclinación del riel. La falsa traviesa se apoya con 2 fierros roscados verticales sobre la presolera, estos permiten regular la altura de los rieles. Los fierros de apoyo deben colocarse dentro de tubos de PVC, para evitar que estos queden embutidos en la losa principal; los tubos de PVC cumplirán la función de encofrado perdido. En la Figura 4.20 se presenta el posicionamiento de los rieles sobre los tacos de madera y el montaje de la falsa traviesa.

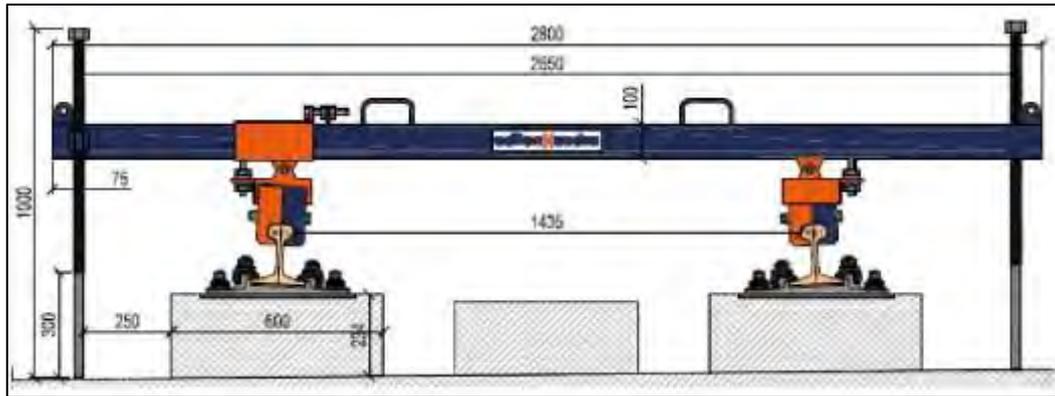


Figura 4.20: Colocación de las falsas traviesas [Traviesa Edilson Sedra]

Fuente: Procedimientos Montaje de vía. Consorcio Obras de Metro

4.2.6 Montaje de Sujeciones

Una vez elevado el riel sobre los tacos de madera, se procede a ajustar la falsa traviesa y a posicionar el riel en su altura definitiva con margen de unos ± 5 mm de su posición definitiva. Se montan las sujeciones, se retiran los tacos de madera y se posiciona la malla de refuerzo.

4.2.7 Alineación Horizontal

Se instalan tensores que se acoplan a un extremo de la falsa traviesa y se anclan en la pared del túnel o lateral del viaducto, mediante pernos de anclaje, como se muestra en la Figura 4.21.

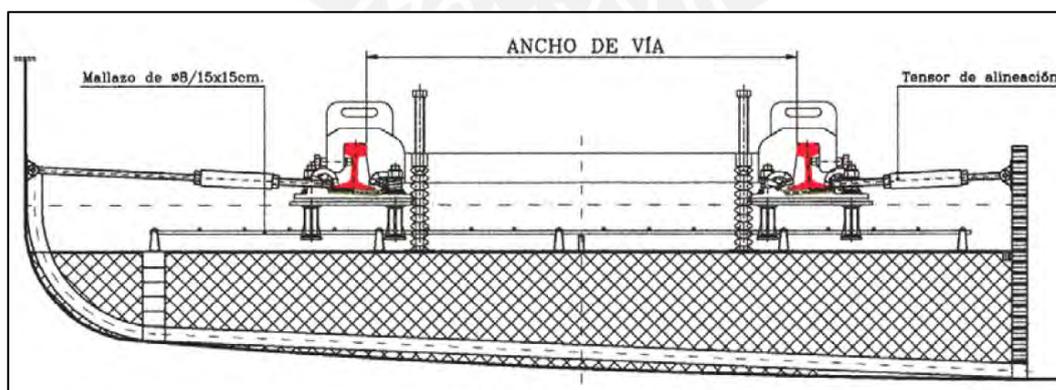


Figura 4.21: Colocación de Tensores de alineación

Fuente: La implementación de la vía en placa en líneas con balasto en explotación comercial. Adrover, B. 2008

4.2.8 Verificación de geometría y ajuste final de vía

En la construcción de vía en placa debe verificarse exhaustivamente la geometría de vía del tramo a vaciar (altura y planimetría), los espacios entre las fijaciones, el ancho de la vía e inclinación del riel. Ya que, luego del vaciado, no se podrá corregir significativamente la geometría, a diferencia de la vía sobre balasto la cual se puede corregir mediante el bateo.

4.2.9 Vaciado de Concreto

Se procede a encofrar el costado de vía con paneles fenólicos o de madera tratada, y se realizan los últimos ajustes de nivel y alineación con verificación por estación total y puntos topográficos. Se debe proteger los rieles y sujeciones con plásticos para evitar que el concreto deteriore los componentes.

El vaciado de concreto debe ser uniforme y sin generar segregación de las partes de este. Se debe compactar mediante vibrado, con la precaución de evitar golpear la vía para no desalinéarla, se debe asegurar que el concreto penetre bajo las sujeciones, ya que estas son los puntos de apoyo. Se debe dar un acabado uniforme a la losa, por lo que se recomienda dar un acabado de frotachado.

Pasada las 48 horas del vaciado se pueden retirar los tensores y falsas traviesas, se verifica el nivel topográfico de la vía, y en caso de ser necesario se regula la posición de la vía mediante el afloje y ajuste de las sujeciones. Como parte del procedimiento del vaciado de concreto, debe mantenerse el concreto hidratado para evitar daños por retracción térmica y que este alcance su resistencia nominal.

CAPÍTULO 5: Casos Práctico Línea 1 del Metro de Lima

En el presente capítulo se presentan los desafíos de ingeniería ferroviaria y soluciones aplicadas en la construcción de vía aplicados en la Línea 1 del Metro de Lima.

5.1 Descripción Actual De La Línea

La Línea 1 del Metro recorre Lima desde el Sur en Villa el Salvador hacia el Noreste, en San Juan de Lurigancho. Tiene una extensión 34.6 km de vía principal y 26 estaciones, cuenta con 01 patio taller en Villa el Salvador y 01 patio de maniobras en Bayóvar. Actualmente, la línea 1 es operada por el consorcio GyM Ferrovías [unión de Graña y Montero Perú con la empresa argentina Ferrovías SAC, con una distribución de 75% y 25%, respectivamente].



Figura 5.1: Ruta Línea 1 del Metro de Lima

Fuente: Metro de Lima y Callao

En cuanto a la oferta de transporte, la línea realiza alrededor de 124 millones de viajes anuales y se estima que se transporta 554'000 pasajeros diarios (Andina, 2019). El recorrido

de los trenes tiene una frecuencia de 3 minutos en hora punta y 06 minutos en hora valle, a una velocidad comercial de 35 km/hr. (Diario Gestión, 2017) Con respecto a la flota de material rodante, al 2020 la línea cuenta con 44 unidades que se describen en la Tabla 5.1, según modelo. Las primeras 5 unidades, de la marca italiana Ansaldo Breda, fueron adquiridas en la primera concesión de la línea en 1986, por la empresa Tralima. El resto de unidades han sido adquiridas por GyM Ferrovías, quienes optaron por la marca francesa Alstom, estos fueron adquiridos en dos ocasiones, 19 trenes para el inicio de operaciones y 20 trenes adicionales mediante la Adenda N°4.

Tabla 5.1

Flota de Trenes Línea 1

Ansaldo Breda MB-300 (1989-1994)	5 unidades
Alstom Metrópolis 9000 (2011-2018)	39 unidades
Número de trenes	44 unidades

5.2 Descripción Del Proyecto De Construcción

La línea 1 del Metro de Lima presentó muchos problemas económicos y políticos para su ejecución, los cuales repercutieron en la ingeniería de la misma. En el Anexo 8 se explica el complicado proceso de re-concesión del proyecto y los cambios en la ingeniería.

Para la construcción de la línea 1, esta se dividió en dos fases: el Tramo 1, con inicio en el 2010, y Tramo 2, con inicio a mediados del 2011. Ambos fueron adjudicados al consorcio Tren Eléctrico [Odebrecht-Gra a y Montero], quien culminó la obra para mayo del 2014. El Tramo 1 comprendía la rehabilitación de la infraestructura abandonada y la construcción de los tramos faltantes desde el patio taller de Villa el Salvador a la estación Grau; y el Tramo 2 comprendía la construcción desde la estación Grau a el patio de maniobras en Bayobar. En la Figura 5.2 se muestra un esquema de la división del proyecto.



Figura 5.2: Tramos del proyecto de construcción de la Línea 1

Fuente: Metro de Lima, CAF 2015

Con respecto a la superestructura ferroviaria a instalar, para la vía principal se utilizaron rieles de 100 y 115 libras/yarda, sobre durmientes monoblock de concreto pretensado con fijación elástica del tipo Pandrol con aisladores y almohadillas. En la Tabla 5.2 se presentan las características técnicas de la vía principal. Cabe mencionar que, en algunas zonas, las cuales se detallan más adelante, se utilizó el sistema de vía en placa Sonnevile/LVT para hacer frente a las solicitudes de resistencia y estabilidad de vía.

Tabla 5.2: Características Técnicas de la vía principal en balasto

Ítem	Característica
Ancho de vía	Trocha estándar UIC (1435 mm)
Entrevía mínima	3.80m (línea principal) y 4.00m (estaciones)
Durmientes	Monobloque de Concreto Pretensado (espaciados a 60cm)
Espesor de balasto	25cm
Rieles	Tipo Vignole de 100 y 115 libras/yarda
Sujeción	Clip e de Pandrol
Radio mínimo de diseño	200m

Fuente: Memoria Descriptiva Tramo 1 y Tramo 2. Consorcio Tren Eléctrico

A continuación, en la Figura 5.3, se presentan las estaciones de la línea 1 con sus respectivas progresivas.

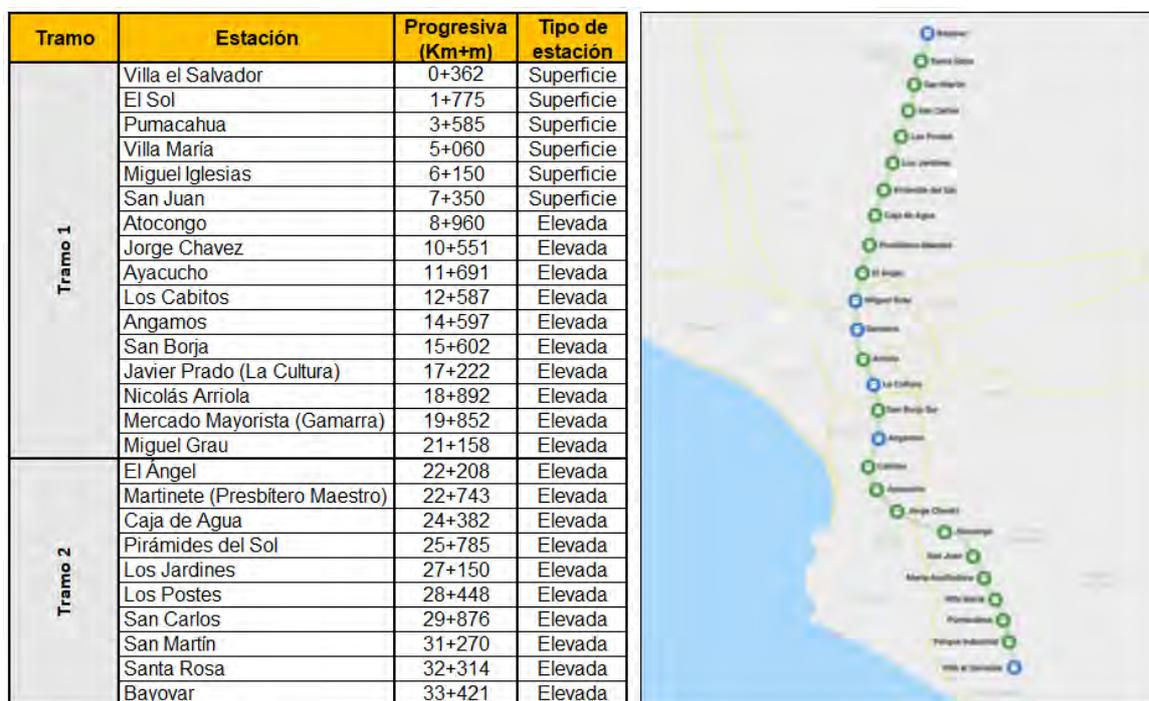


Figura 5.3: Estaciones y progresivas del Tramo 1 y 2

Fuente: Elaboración propia con datos de Especificaciones para Licitación 2009

Es importante mencionar que luego de la apertura total de la línea, esta sufrió una demanda de viajes diarios mucho mayor a lo que se estimaba en los estudios de demanda del contrato de concesión. En el 2015 se alcanzó la demanda estimada para el 2035, transportándose alrededor de 320'000 pasajeros diarios. Esta sobredemanda generó problemas operativos y de servicio, por lo que para julio del 2016 se firmó la Adenda N°4, la cual implicaba la ejecución de obras de ampliación y mejora de la capacidad de la línea, además de la adquisición de nuevo material rodante.

5.2.1 Descripción del Tramo 1: Villa el Salvador – Av. Grau

El proyecto del Tramo 1 comenzó la ejecución de obras en enero del 2010 y se inauguró en julio del 2011. Este proyecto comprendía la habilitación de tramos ya construidos, con la remodelación de las estaciones existentes y el Patio Taller de Villa el Salvador; y la construcción de la continuidad de la línea. En cuanto a la infraestructura, se contaba con un tramo construido desde el km 0+364 [Villa el Salvador] hasta el km 10+841 de la futura estación Jorge Chávez. En la Av. Tomás Marsano faltaba construir aproximadamente 1.82 km para conectar con el tramo de la Av. Aviación. En el tramo de la Av. Aviación hacia la Av. Miguel Grau se encontraba construido 1.55 Km. de viaducto elevado a nivel de tablero, seguidos de 1.69 km de solo columnas, quedando sin ningún avance 4.53 km (Provías Nacional, 2007).

En cuanto a las estaciones, el Tramo 1 comprendía 16 estaciones: 6 en superficie [ya construidas] y 10 en elevación [una ya construida]. Además, se incluía la construcción de dos edificaciones en la zona del patio taller: “El Taller de reparaciones mayores de material rodante” y “El Taller de instalaciones fijas” (Provías Nacional, 2007).

Con respecto a la superestructura, se debía rehabilitar el tramo construido de vía principal entre las estaciones Villa el Salvador y Pumacahua, ya que los rieles y durmientes presentaban corrosión severa. Además, se construiría la continuidad de la línea en vía sobre balasto y se aplicaría el sistema Sonnevile/LVT para la curva de radio mínimo entre las estaciones Ayacucho y Cabbitos.

5.2.2 Descripción del Tramo 2: Av. Grau – San Juan de Lurigancho

El Tramo 2 recibió la buena pro en junio del 2011, para inicio de las obras, y estas concluyeron en mayo del 2014. Este tramo comprendía la construcción y equipamiento

electromecánico de aproximadamente 12.4 km de Viaducto elevado, incluyendo 2 Puentes (sobre el Puente existente Huáscar y sobre el Río Rímac), 10 Estaciones de Pasajeros y el Patio de Maniobras en San Juan de Lurigancho.

Con respecto a la superestructura, se debía dar continuidad a la línea, se mantuvieron las mismas características de la vía principal seguidas en el Tramo 1. Además, se construiría una Tercera Vía de 405 m de longitud, entre las progresivas km 26+344.591 hasta km 26+749.591 [entre las estaciones Pirámides del Sol y Los Jardines], con cambiavías sobre durmientes de madera.

5.2.3 Ampliaciones de la Adenda N°4

La Adenda N° 4 firmada en el 2016 consistía en la ejecución de 5 obras de ampliación y en la adquisición de nuevo material rodante.

Las obras ejecutadas fueron las siguientes: (MTC, 2016)

- Obra N° 1: Remodelación de 5 estaciones (Villa El Salvador, La Cultura, Gamarra, M. Grau y Bayoyar), para mejorar el flujo de ingreso y salida de los usuarios.
- Obra N° 2: Mejoras en el sistema eléctrico: Refuerzo de catenaria Tramo 1.
- Obra N° 3: Construcción de segundo acceso por viaducto elevado al Patio Taller Villa El Salvador
- Obra N° 4: Ampliación de vías para estacionamiento (5 para trenes y 1 para maquinaria de servicio) en Patio de Maniobras Bayoyar.
- Obra N° 5: Construcción de 8 nuevos enlaces en vía principal para flexibilizar la operación (instalación de cambiavías).

En cuanto al material rodante, se adquirió 20 trenes nuevos de 5 coches, y 39 coches motrices intermedios para sumarlos a la flota existente, formando así trenes de 6 coches.

Las obras de construcción para la instalación de los cambiavías fueron realizadas mediante trabajos denominados de alto impacto, ya que se realizaron en ventanas de 12 horas de sábado a domingo, durante 16 fines de semana, para no interrumpir el funcionamiento de los servicios de la línea 1.



Figura 5.4: Nuevo Ingreso Elevado Patio Taller Villa El Salvador

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Procesos Constructivos De Superestructura

A continuación, se analizarán las soluciones aplicadas para la construcción de vía en la línea 1, a partir de los desafíos mencionados en la descripción de los proyectos de construcción. En el Anexo 9 se adjuntan secuencias de fotografías de los procesos a describir.

5.3.1 Rehabilitación de vía Tramo 1

La rehabilitación de vía consistió en el cambio de rieles, durmientes, fijaciones y el saneamiento del balasto de toda la vía principal existente entre la estación “Villa el Salvador” y la estación “Pumacahua”, progresivas 0+643 a 3+645 [tramo en superficie]. Ya que, la presencia de corrientes vagabundas y la acumulación de agua de lluvias produjo corrosión en los rieles y en las riostras de los durmientes bloques. La corrosión de los rieles generó hasta una pérdida del 40% del espesor, como se muestra en la Figura 5.5. Fue necesario el saneamiento de toda la capa de balasto, ya que esta se encontraba contaminado con finos.



Figura 5.5: Riel y clip corroídos en tramo a rehabilitar

Fuente: Informe de Inspección y evaluación del estado de corrosión de los rieles de la vía férrea del tren urbano. Instituto de Corrosión y Protección PUCP

Proceso Constructivo de Rehabilitación de Vía

Primero se realizó el cambio y rehabilitación de la vía izquierda [en el sentido de las progresivas], para poder utilizar un vehículo de mantenimiento con plataformas para el acarreo de los rieles y durmientes extraídos por la vía existente derecha, como se muestra en la Figura 5.6. Una vez rehabilitado el lado izquierdo, se procedió al cambio de la vía derecha.



Figura 5.6: Reguladora con plataformas sobre la vía derecha y bloques retirados

Fuente: Informe Mensual de Supervisión. Consorcio Tren Eléctrico

Los procedimientos ejecutados para el cambio de vía fueron los siguientes:

1. *Retiro de rieles existentes:* Se cortaron los rieles a una distancia de 18m con equipos de oxicorte y se retiraron las fijaciones utilizando Pampullers y combas. Para el acarreo de los rieles extraídos se utilizaron plataformas ferroviarias con tecles y una locomotora de maniobras [Remolcador *TrackMobile*-Titán de ancho estándar 1435mm].
2. *Retiro de durmientes existentes:* De la misma manera que con los rieles, se utilizó las plataformas con tecler para el izado y transporte de los durmientes bloque.
3. *Saneamiento del balasto existente:* Se circularon cisternas con mangueras de agua a presión para la limpieza del balasto existente con el objetivo de limpiar los finos acumulados del balasto.
4. *Construcción de nueva vía férrea:* Luego del retiro total de la vía existente se procedió a la construcción de una nueva vía de durmientes monoblock sobre balasto.

5.3.2 Construcción de Nueva Vía Férrea Sobre Balasto

La vía principal, desde el patio taller de Villa el Salvador a la estación San Juan, se encuentra a nivel de superficie. A partir de la estación San Juan [Av. Los Héroes], la vía comienza a circular en viaducto elevado para poder atravesar la Av. San Juan. La vía mantiene esta configuración de viaducto elevado hasta la última estación [Bayovar] y el ingreso al Patio de Maniobra.

La construcción de vía en superficie y viaducto cumplen los mismos procesos, pero se diferencian en el acarreo de materiales y en el espacio de trabajo. A continuación, se presenta el proceso constructivo seguido para la vía principal en balasto en viaducto, ya que este es el predominante en la vía y presenta mayores desafíos que la vía en superficie.

Proceso Constructivo Nueva Vía Férrea

1. *Topografía:* Previo al inicio de las obras, se materializó los puntos del replanteo topográfico utilizando hitos y marcas en el tablero elevado.
2. *Colocación de sistema Anti-Vibratorio:* Para reducir las vibraciones y la bulla generada por el paso de material rodante se instaló el sistema *RockBallast Vibration Isolation*. Este sistema consiste en placas de lana de roca y manta de geotextil que absorben las vibraciones. (RockDelta)
3. *Pre-lanzamiento de balasto:* Mediante el uso de fajas transportadores se acarreo el balasto desde el nivel de pista hasta la altura de tablero. El balasto era recibido por dumpers o minicargadores con los que se esparcía el balasto sobre las mantas de geotextil. Seguido del esparcido, se utilizó un rodillo liso [sin vibración] para el correcto nivelado de la capa.

4. *Colocación de durmientes sobre el balasto:* Se izaron los durmientes desde en nivel de pista a nivel de tablero utilizando eslingas o portadurmientes. Una vez sobre el tablero, los durmientes se posicionaban de forma manual, utilizando tenazas ferroviarias.
5. *Posicionamiento de rieles:* Se izaron los rieles desde el nivel de pista al tablero de la infraestructura utilizando una estructura metálica que sujetaba al riel en 2 a 4 puntos, para evitar generar esfuerzos durante el izado. Una vez en el tablero, los rieles se acarrearaban de forma manual a su posición final utilizando rodillos.
6. *Instalación de fijaciones:* Con el uso de Pampullers se instalaron las fijaciones tipo Clip de Pandrol de forma manual.
7. *Pre alineamiento de escalera:* Se utilizó un *Track-Lifting Slewing Machine* de Geismar modelo RV-100, con el cual se levantaba la parrilla de vía y se posicionaba horizontalmente utilizando de referencia la marcación topográfica.
8. *Balasto a complementar:* Al tener la vía pre alineada, se puede circular vehículos de servicio sobre esta [a una velocidad máxima de 20 km/hr], por lo que se utilizó vagones Hopper dotados de compuertas para descargas laterales y centrales. Estos vagones eran movilizadas por una locomotora de servicio Titán. El carguío de material a los vagones era realizado con un cargador de neumáticos en el extremo de la vía ya construida, donde se encontraba el acopio de balasto.
9. *Correcciones geométricas y compactación de balasto:* Una vez descargado balasto sobre la vía, se realizaba el perfilado mediante una Reguladora de Balasto marca Kershaw, para obtener una distribución homogénea de balasto. Seguido de esto, se realizaba el bateo de balasto y la nivelación-alineación automática mediante una Bateadora Harsco Mark IV. Se estableció que el equipo realizaría levantes máximos de 40mm por pasada, y para la última estabilización no se superara los 20mm.
10. *Soldadura de rieles:* Se utilizaron en simultaneo 2 tipos de soldadura, eléctrica y aluminotérmica. La soldadura eléctrica fue utilizada para la unión de los rieles y conformar la BLS (Barra Larga Soldada) de una longitud de 216 metros. La soldadura aluminotérmica fue utilizada para unir estas BLS, luego del alivio de tensiones.

11. *Alivio de tensiones de los rieles largos soldados*: La AATE estableció como temperatura neutra 28°C, por lo que, con la medición de temperatura o esfuerzos en los rieles con termómetros especiales, se identificaron los rieles con acumulación de tensiones, estos fueron cortados, se retiraron las sujeciones, y se instalaron rodillos y tensores Geismar con los que se estiraba el riel a su posición teórica. Otro procedimiento utilizado para la liberación de tensiones, en vez del uso de tensores, es el de golpeteos de riel con martillos con cabeza de goma. Se golpea la vía hasta que esta se acomode y se liberen las tensiones acumuladas. Al finalizar cualquiera de los procedimientos de liberación de tensiones, estos se soldaban nuevamente mediante soldadura aluminotérmica.



Tramo 2:

En el Tramo 2 se utilizó el sistema Sonnevile/LVT en 3 ubicaciones: entrada estación San Carlos, la Cola de Vía y la Entrada al Patio de Maniobras.

Estación San Carlos:

Entre las progresivas 29+853.591 y 30+017.591, donde se tiene una curva de radio mínimo, ver Figura 5.8.

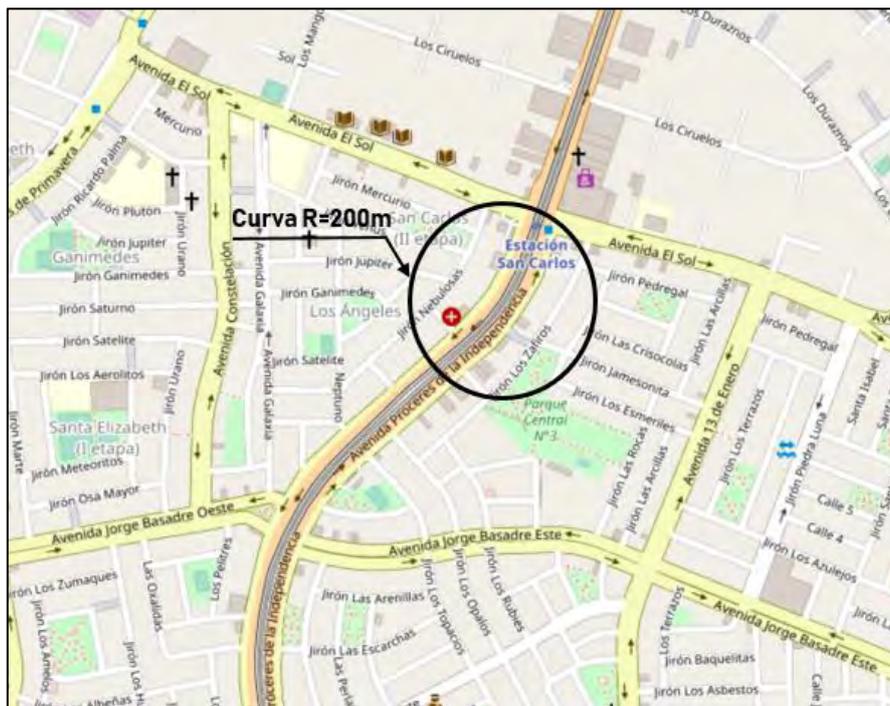


Figura 5.8: Ubicación de curva de R=200. Estación San Carlos Sistema. Sonnevile/LVT
Fuente: Elaboración Propia

Cola de vía:

La vía, luego de la estación Bayovar y la bifurcación para el Patio de Maniobras, desciende a nivel superficie siguiendo la geometría de la av. Próceres de la Independencia, formando la cola de vía. Esta zona es utilizada como estacionamiento y espacio para maniobras, por lo que el diseño geométrico contempló un radio mínimo de 75m. Con el objetivo de no generar un impacto negativo sobre la avenida, se aplicó este radio mínimo a la curva final de

Proceso Constructivo Sonneville/LVT

1. *Izamiento y distribución de los rieles y durmientes:* Mediante el uso de una grúa se izaron los rieles a lo largo del tramo a construir. Los bloques Sonneville se izaron en parihuelas portando 16 unidades cada una. Una vez sobre el tablero, se ubicaron los bloques a lo largo de la vía con un espaciamiento de 650mm.
2. *Habilitación de bloques:* Los bloques de concreto fueron posicionados dentro de las galochas y sellados provisionalmente con cinta adhesiva, para evitar que el concreto penetre entre estos y las galochas durante el vaciado.
3. *Instalación de soportes provisionales:* Se instalaron y fijaron las falsas traviesas y tensores a los extremos de la plataforma del viaducto.
4. *Montaje y fijación de los rieles sobre los soportes:* Con el uso de las falsas traviesas, se posicionó el riel en alineamiento y cota y se colocaron soportes metálicos unidos al riel por pernos.
5. *Soldadura de rieles:* Se realizó soldaduras eléctricas para conformar la BLS, y aluminotérmicas para la unión de las BLS
6. *Alzado y fijación de bloques de durmientes:* Se fijaron los bloques de concreto con la galocha al riel mediante fijación Pandrol, quedando suspendidos.
7. *Vaciado de concreto:* Se utilizó concreto con $f'c=350$ kg/cm² con una bomba de concreto. Durante el vaciado del concreto se realizó el control topográfico permanente por cuanto una vez vaciado no se pueden realizar correcciones geométricas.
8. *Retiro de falsas traviesas:* Luego de 12 horas del vaciado de concreto se retiran los soportes provisionales y se cortan las varillas ancladas a la losa.
9. *Alivio de tensiones:* Se realizó los alivios de tensiones en tramos con esfuerzos concentrados.
10. *Verificación final:* Se procede a verificar la topografía de la vía.

CAPÍTULO 6: Caso Práctico. Línea 2 del Metro de Lima

En el presente capítulo se presentan los desafíos de ingeniería ferroviaria y soluciones aplicadas en la construcción de vía aplicados en la Línea 2 y Ramal Faucett – Gambetta de la línea 4 del Metro de Lima, ambos en estado de construcción.

6.1 Descripción De La Línea

La Línea 2 del Metro de Lima recorrerá la ciudad de Este a Oeste de manera subterránea a lo largo de 27 km, conectando los distritos de Ate y Callao, con 27 estaciones y un patio-taller en Santa Anita. Esta línea se interconectará con la Línea 1 en la estación 28 de Julio (próxima a construirse); con el Metropolitano en la Estación Central y con la Línea 4 en la estación Carmen de la Legua. Además, se ha considerado en el trazado las interconexiones con las futuras líneas de la Red Básica del Metro de Lima, como son las Líneas 3 y 6, como se muestra en la Figura 6.1.



Figura 6.1: Ruta Línea 2 y Ramal Faucett - Gambetta del Metro de Lima

Fuente: ProInversión

En cuanto al ramal Av. Faucett- Av. Gambetta correspondiente a la Línea 4, transcurrirá de manera subterránea desde la estación Carmen de la Legua de la línea 2 [ubicada en el cruce de las av. Oscar Benavides con la av. Elmer Faucett], en dirección norte, bajo eje de la av. Faucett, para conectar el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez y barrios adyacentes, como se muestra en la Figura 6.2, hasta el Óvalo “200 Millas”. El ramal contará con 8 km de vía, 8 estaciones y un patio-taller, ubicado en el cruce de las avenidas Faucett y Bocanegra.

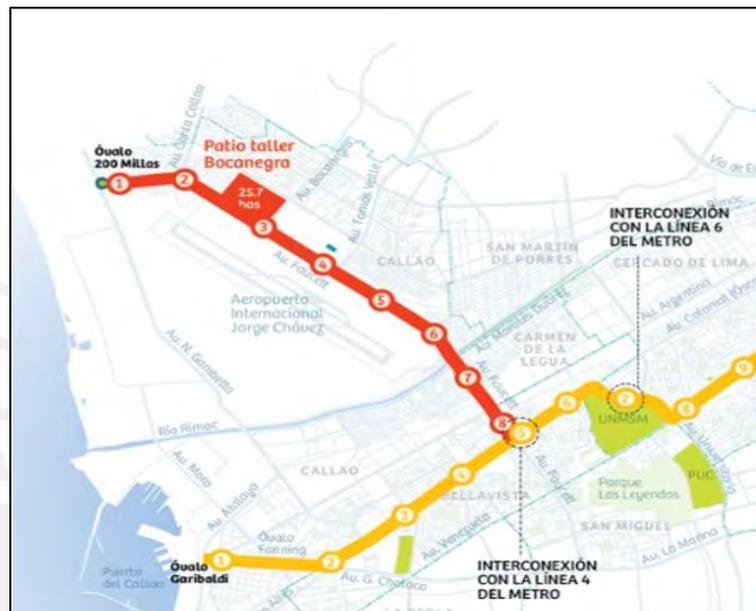


Figura 6.2: Ruta Ramal Faucett – Gambetta del Metro de Lima

Fuente: ProInversión

En cuanto a la oferta de transporte, se estima que el conjunto Línea 2 y el ramal Faucett-Gambetta transportará alrededor de 660'000 pasajeros diarios, con un horizonte de 1'200'000 pasajeros diarios. El recorrido de los trenes tendrá una frecuencia mínima de 90 segundos en hora punta, a una velocidad comercial de 36 km/hr. (MTC, 2016) En cuanto a la flota de material rodante, se contará inicialmente con un total de 42 trenes [35 trenes correspondientes a la explotación de la Línea 2 y 7 unidades para el ramal de la Línea 4], de la marca Ansaldo Breda (Hitachi Rail Italy). A medida que la demanda se incremente se incorporarán trenes adicionales.

La construcción y explotación de la Línea 2 y el ramal Faucett – Gambetta, fue adjudicada en marzo del 2014 a la Sociedad Concesionaria “Metro de Lima Línea 2 S.A.C.”, bajo la modalidad de Asociación Público-Privada [APP] en modalidad de concesión cofinanciada por el diseño, construcción, financiación, operación, mantenimiento y transferencia [DCFOMT], por un periodo de 35 años [incluyendo el tiempo de construcción]. En el Anexo 10 se presenta más información sobre el consorcio “Metro de Lima Línea 2 SAC”.

6.2 Descripción Del Proyecto De Construcción

El proyecto de la Línea 2 y del ramal Faucett – Gambetta se dividió en 3 etapas para su construcción y puesta en operación, de forma que se pueda ir brindando un servicio progresivo. En la Figura 6.3 se presenta un esquema de la secuencia para la puesta en operación y el método constructivo a utilizar para el túnel. Las fechas presentadas en la figura corresponden al Nuevo Cronograma Actualizado de Ejecución presentado en la Adenda N°2 del Contrato de Concesión [ver Anexo 10]. (OSITRAN, 2018)



Figura 6.3: Puesta en Operación por Etapas Línea 2 y ramal Faucett – Gambetta

Fuente: Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SAC

6.2.1 Métodos de excavación de túnel

Para la construcción del túnel se ha previsto la utilización de 3 métodos de excavación, los cuales son importantes mencionar, ya que tiene una afectación en el diseño geométrico de la vía, especialmente en los radios mínimos y gálibos, tanto horizontales como verticales. El proyecto contempla la utilización de métodos de excavación convencional de avance y destroza [Método NATM], utilizando principalmente para la Etapa 1A y para el tramo de Mercado Santa Anita a la Municipalidad de Ate. Para el resto de túnel [resto de la etapa 1B y 2], se excavará por medio de 2 tuneladoras [*Tunnel Boring Machine* -TMB] con sistema presurizado; una de ellas del tipo EPB (Escudo de Presión de Tierras) concebida para la excavación sin presencia de napa freática, y la otra del tipo hidroescudo con presión de lodos [*Bentonite Slurry Shield*], para la excavación en zona de presencia de napa freática. (Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2, 2015) Para las estaciones se utilizará el método *Cut and Cover* en la modalidad Top-Down, para reducir las afectaciones al tráfico y a la población.

6.2.2 Superestructura ferroviaria

Con respecto al trazado, dado que los métodos constructivos de túnel son distintos, se ha considerado como radio mínimo horizontal 280m, radio que permitirá los giros de las TBMs para acomodarse al trazado previsto, y brindará un buen nivel de confort a los usuarios.

Para la superestructura de vía principal se ha considerado un ancho estándar [1435mm] con por rieles tipo Vignole UIC [60 kg/m, equivalente a 120 libras/yarda], sobre sistema de vía en placa construida in situ; con la cual se reduce la necesidad de mantenimiento en la etapa de explotación de la red, y los costos del mismo. En cuanto a los sistemas de sujeción para vía en placa, se optó por el sistema de fijación directa Vossloh 336 y Vossloh 336 SD, los cuales se detallan más adelante. En la Tabla 6.1 se presenta un resumen de las características técnicas de la vía principal.

Tabla 6.1:

Características Técnicas de la vía principal Línea 2 y Ramal Faucett - Gambetta

Ítem	Característica
Ancho de vía	Trocha estándar [1435 mm]
Entrevía mínima	3.80m
Rieles	Tipo Vignole UIC 60 E1
Tipo de vía	Vía en placa in situ
Sujeción	Vossloh 336 y Vossloh 336 SD
Radio mínimo horizontal de diseño	280m
Catenaria	Aérea Rígida
Electrificación (Tensión Nominal)	1500 vcc

Fuente: Parámetros de Diseño. Propuesta Técnica. Contrato Final de Concesión. ProInversión.

Para la vía de los patios talleres, tanto Santa Anita y Bocanegra, se ha considerado la aplicación de vías sobre balasto con durmientes monobloque de concreto pretensado, con el sistema de sujeción Vossloh W21. En la Tabla 6.2 se presenta un resumen de las características de la vía en patio talleres.

Tabla 6.2:

Características Técnicas de la vía en Patio-Taller Santa Anita y Bocanegra

Ítem	Característica
Ancho de vía	Trocha estándar [1.435 mm]
Entrevía mínima	4m
Rieles	Tipo Vignole UIC 60 E1
Tipo de vía	Vía en Balasto
Durmientes	Monobloque de Concreto Pretensado
Espesor min. de balasto	30cm
Sujeción	Vossloh W21 clip SKL
Radio mínimo de diseño	90m
Catenaria	Aérea Rígida
Electrificación (Tensión Nominal)	1500 vcc

Fuente: Superestructura de Vía de los patios talleres. Propuesta Técnica. Contrato Final de Concesión. ProInversión.

6.2.2.1 Terceras Vías:

Se ha considerado la instalación de terceras vías en los dos sentidos [actualmente se han modificado a 4 vías en la sección] de 470m de longitud en las estaciones Oscar Benavides, Parque Murillo y San Juan de Dios, para el estacionamiento y maniobra de trenes en la etapa de operación y explotación. Esta implementación de terceras vías en cada sentido permitirá la circulación de 42 trenes/hora durante la explotación en horas punta de la mañana, para la proyección de explotación al 2038.

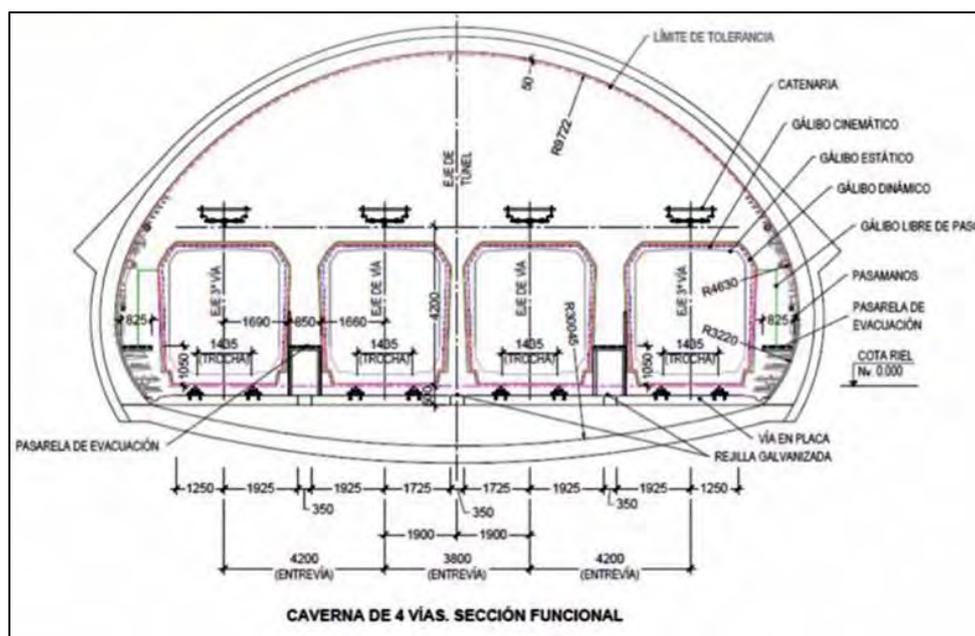


Figura 6.4: Sección transversal de 4 vías
Fuente: Página oficial Metro de Lima-News

6.3 Procesos Constructivos De Superestructura

A continuación, se analizarán las soluciones aplicadas para la construcción de vía principal en la línea 2 y el ramal Faucett – Gambetta de la línea 4. En el Anexo 11 se adjuntan secuencias fotográficas de los procesos a describir. A la fecha, la vía principal se encuentra montada en todo el tramo 1A. La empresa responsable de la construcción de la superestructura de vía es el consorcio “Obras de Metro”, conformado por las empresas Tría Ingeniería y ALVAC S.A.

6.3.1 Patio Taller (Vía en Balasto)

El Patio Taller de Santa Anita (Línea 2) y Bocanegra (Línea 4) han sido concebidos en vía sobre balasto, dado a la disponibilidad de espacio y cantidad de desvíos; con durmientes monoblock de concreto pretensado y sujeciones Vossloh W21. En la Figura 6.5 se muestra la distribución del Patio Taller de Santa Anita, este cuenta con un área de 235 000 m², donde se ubica el Taller Principal de Mantenimiento [A], una subestación eléctrica [C] para la alimentación del Tramo 1A, patio de parqueo de trenes [D], una nave auxiliar de material rodante [E] y un edificio para Puesto Central de Operaciones y oficinas administrativas [F].

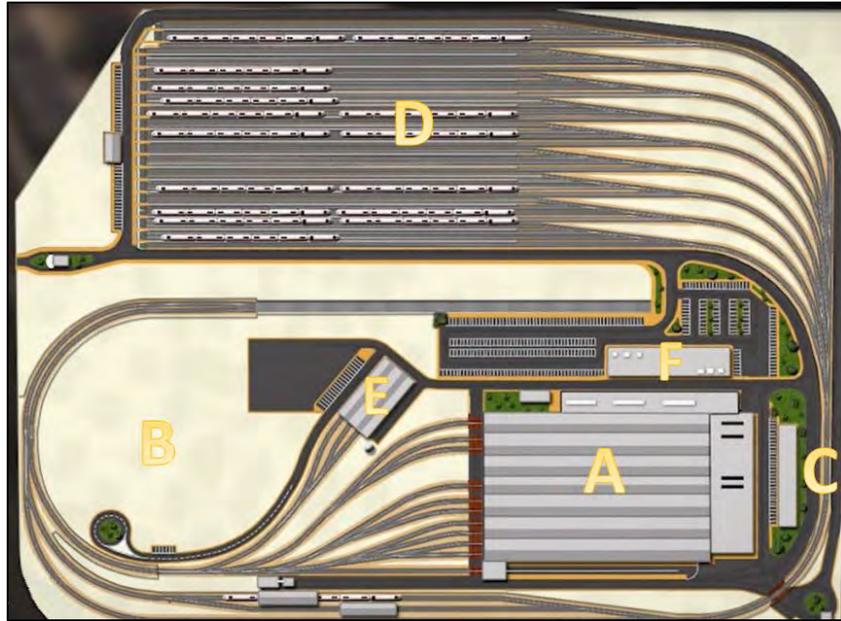


Figura 6.5: Distribución de Patio Taller Santa Anita

Fuente: Metro de Lima y Callao – News

El Patio Taller de Bocanegra cumple una distribución similar al de Santa Anita, contará con un taller principal y auxiliar para el material rodante, oficinas y el parqueadero de trenes, como se muestra en la Figura 6.6.

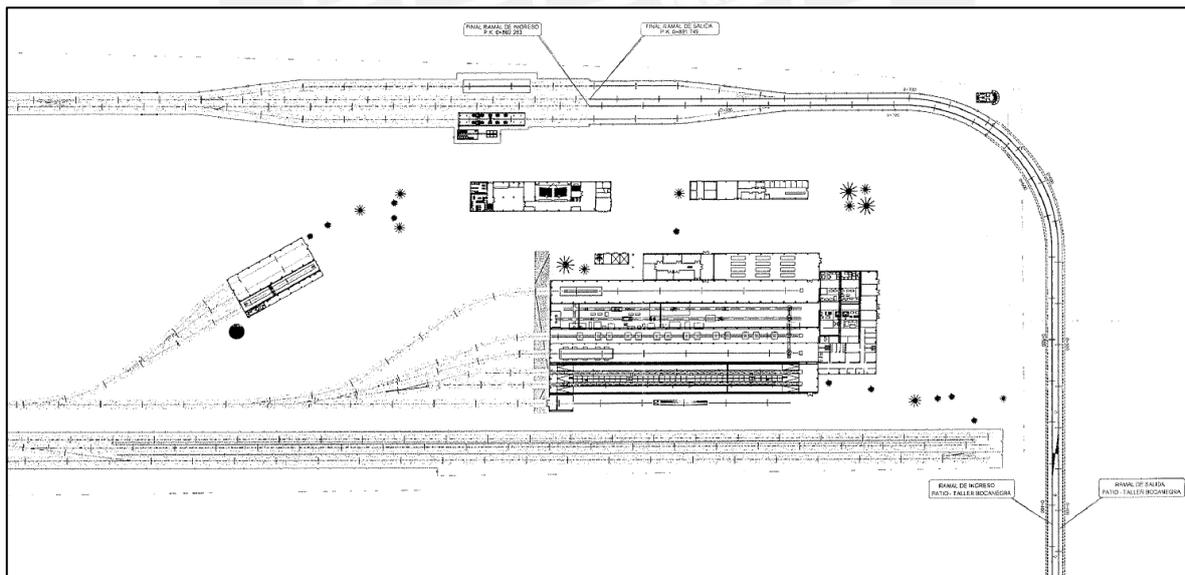


Figura 6.6: Patio Taller de Bocanegra

Fuente: Propuesta Técnica. Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2

6.3.1.1 Sujeción Vossloh W21

El tipo de sujeción seleccionado para la vía en balasto fue el sistema Vossloh W 21 por las ventajas de reducción de ruidos y bajo costo en mantenimiento. Como se muestra en la Figura 6.7, este sistema va fijado al durmiente mediante tirafondos y utiliza una combinación de placas elastómericas de asiento que reducen el ruido y las vibraciones generado por el paso de material rodante. La fijación del riel al durmiente es mediante un clip SKL, el cual tiene la ventaja de ser un clip de libre mantenimiento, ya que este siempre trabaja a tensión, evitando que se salga de su posición por las vibraciones de la vía.

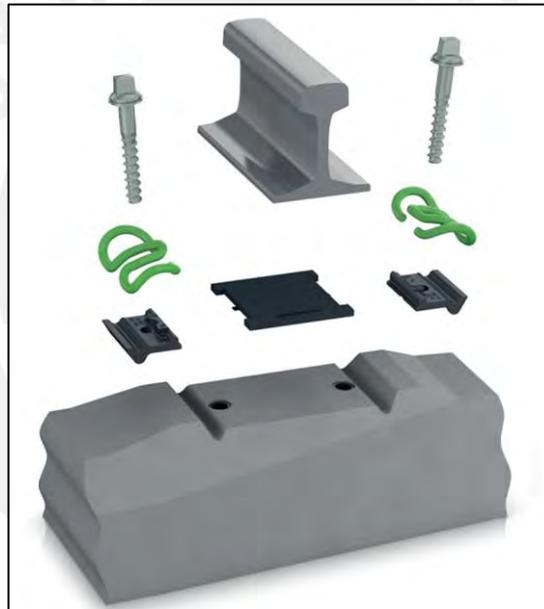


Figura 6.7: Partes del Sistema Vossloh W21

Fuente: Ficha Técnica Vossloh W21

6.3.1.2 Proceso Constructivo Vía en balasto

La vía a construir en los patios talleres se apoyarán sobre el terreno natural, por lo que es necesario realizar unas obras preliminares de compactación del terreno. Una vez lista la superficie se procede a la construcción de la superestructura. En la Figura 6.8 se resumen los trabajos a realizar, los cuales son iguales a los detallados en la construcción de vía en balasto de la Línea 1.

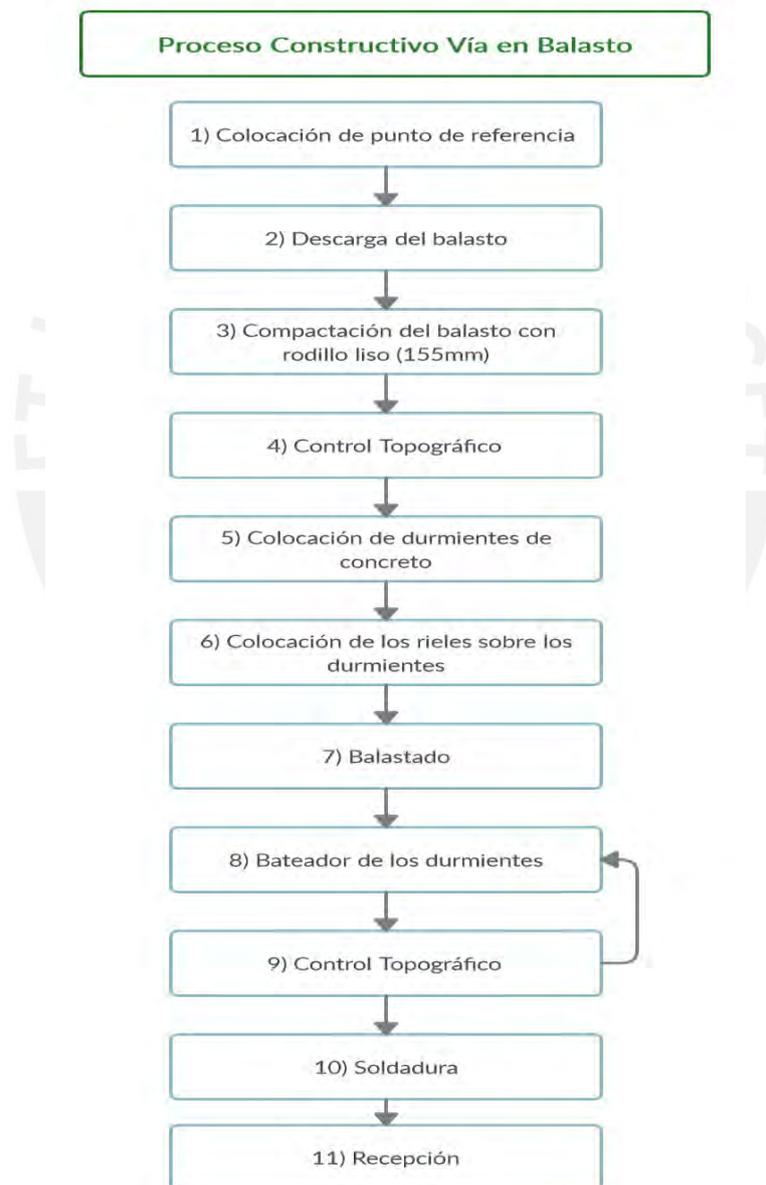


Figura 6.8: Esquema de Proceso Constructivo vía en balasto

Fuente: Expediente Técnico. Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2

6.3.2 Vía en Placa en Túnel

El sistema diseñado para la superestructura de la vía principal de la Línea 2 y el ramal de la Línea 4 fue el de vía en placa con un espesor mínimo de 0.269m, con concreto de $f'c=300$ kg/m², apoyada sobre una losa de nivelación o contra bóveda, y con mallas de acero de refuerzo para las zonas de cambiavías, para reducir la retracción del concreto, y para las zonas con manta antivibratoria. Adicionalmente, bajo cada riel se instalará una barra de hierro para corrientes vagabundas, y se dispondrá 2 barras transversales en cada paño de losa (una al inicio y otra al final); estas barras deben conectarse al hilo de cobre de pozo a tierra que discurrirá por el hastial de todo el túnel.

Las fijaciones empleadas son del tipo directo, del modelo Vossloh 336 para las alineaciones circulares de radio mayor de 400 m, y la Vossloh 336 SD en alineaciones circulares de radio menor o igual de 400 m, en aparatos de vía, 10 metros antes y 10 m después de los aparatos de vía y 10 metros antes y después de los tramos con manta antivibratoria. Los tipos de sujeción tendrán una separación de 75cm, por cálculo de deflexiones.

La manta anti-vibratoria mencionada, fue dispuesta y diseñada a partir del análisis de vibraciones y ruido a lo largo del trazado. Se identificó que existen tramos donde la futura explotación, si no se aplican reducciones de vibración, generaría perturbaciones por encima de los límites permisibles, en zonas residenciales y hospitales cercanos al trazado. Se ha dispuesto que se instalará una manta amortiguadora de vibraciones de lana de roca de RockDelta RX50, conformando una “losa flotante”, como se muestra en la Figura 6.9.

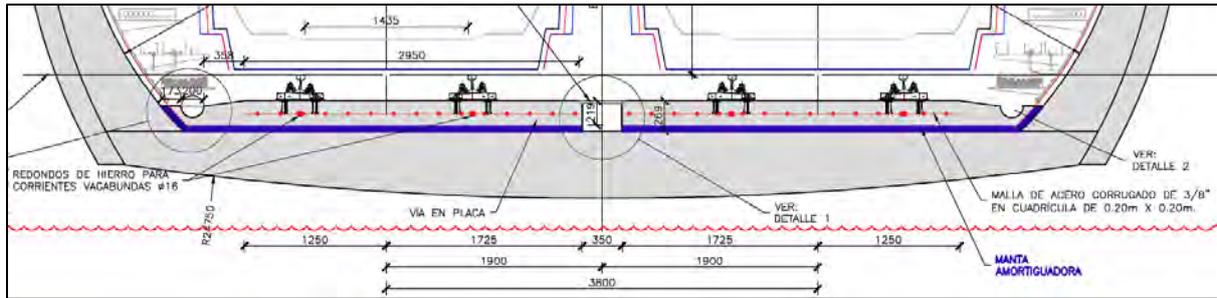


Figura 6.9: Detalle Vía en Placa. Sección con Manta Amortiguadora

Fuente: Superestructura de vía Tramo 5. Concesionaria Metro de Lima Línea 2

6.3.2.1 Sistema de Sujeción Vossloh 336 y Vossloh 336 SD

La principal diferencia entre las sujeciones Vossloh 336 y 336 SD es la rigidez del sistema, el número y forma los pernos embutidos. La versión 336 utiliza pernos en forma de paletas de acero, embutidos directamente a la losa de concreto; a diferencia de la versión 336 SD que utiliza pernos roscados cónicos dentro de tarugos de plástico. Esta configuración del sistema 336 SD permite absorber mejor las fuerzas laterales que el sistema 336. (Vossloh Fastening Systems) En la Figura 6.10 se muestra la diferencia de configuración entre las versiones de sujeción 336 y 336 SD.

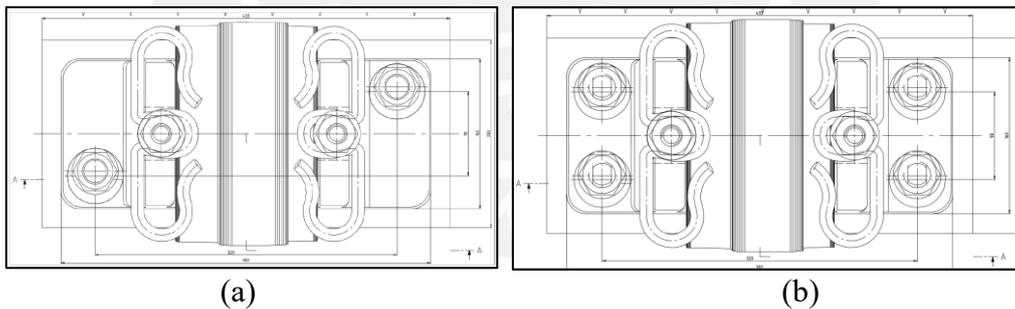


Figura 6.10: (a) Vossloh 336; (b) Vossloh 336 SD

Fuente: Vossloh Fastening Systems

Se hace énfasis en el presente sistema de sujeción empleado, ya que este brinda facilidades para la construcción de vía en placa, tanto la versión 336 y 336 SD, ya que se puede realizar correcciones geométricas luego del vaciado del concreto (dentro de un rango), a diferencia de otros sistemas donde es necesaria la demolición. En la Figura 6.11 se muestra las partes del sistema de sujeción.

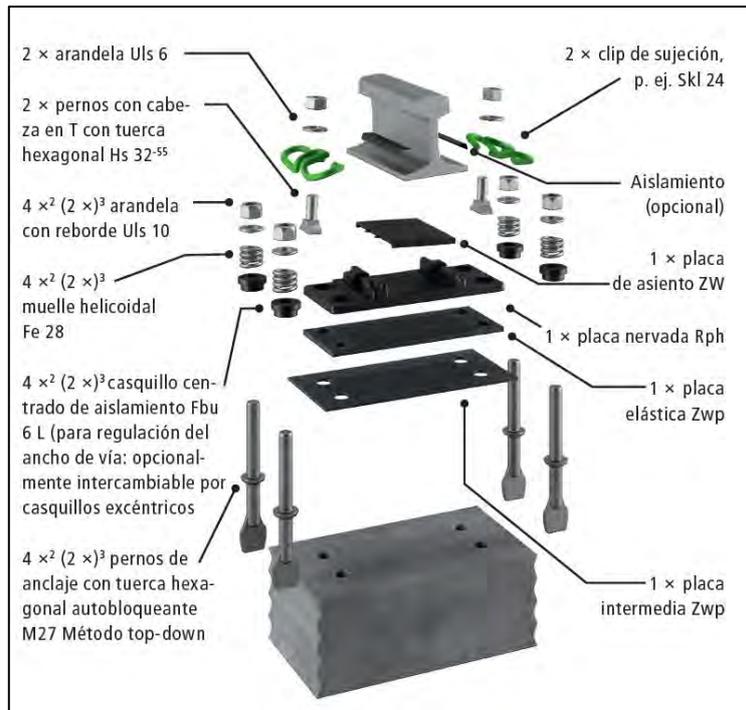


Figura 6.11: Partes del sistema de sujeción Vossloh 336, en versión de 4 pernos (Top Down)

Fuente: Manual del Usuario Sistema 336. Vossloh

Para la corrección geométrica del ancho de vía se sustituyen los casquillos regulares por unos casquillos excéntricos, que permiten corregir la geometría de vía en $\pm 8\text{mm}$. Para la corrección de altura, se añaden “placas de ajuste de altura”, como se muestra en la Figura 6.12, con estas se puede agregar hasta 15mm de altura.



Figura 6.12: Colocación de placa de ajuste de altura SD

Fuente: Manual del Usuario Sistema 336. Vossloh

6.3.2.2 Contrarrieles

Entre las estaciones San Marcos [Pk 6+950] y Elio [Pk 7+826] se tiene una curva y contra curva de radio de 280m, estos radios son iguales al radio mínimo de diseño, por lo que para evitar descarrilamientos y garantizar la seguridad en esta curva “S”, se ha previsto instalar contrarrieles del tipo 33C1. Los contrarrieles, como su nombre lo indica, son rieles que se instalan paralelamente al riel principal, para evitar que la rueda descarrile por acciones de la fuerza centrífuga en las curvas o cambios de vía.

La primera curva se encuentra entre la progresiva 7+074 a 7+237 [salida de la estación San Marcos], se instalará contrarrieles en una longitud de 163m. La contra curva se ubica entre las progresivas 7+327 a 7+713 [llegada a la estación Elio], donde se instalará contrarrieles en una longitud de 385m para la vía principal.

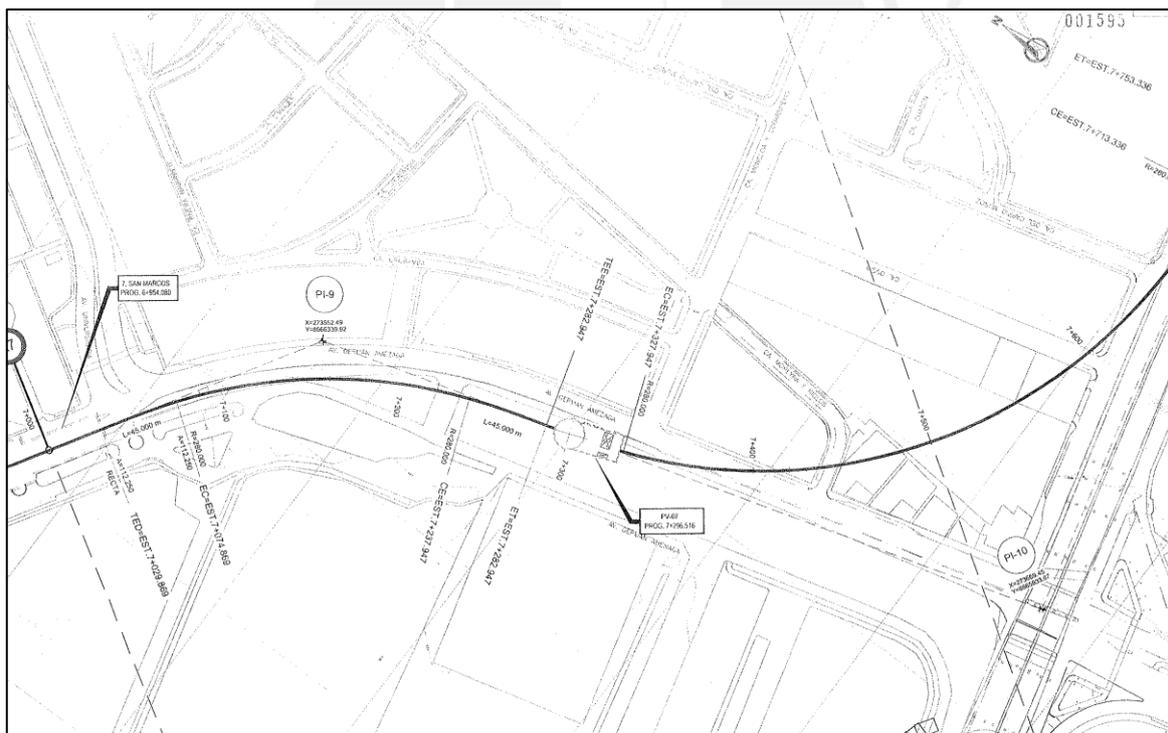


Figura 6.13: Curva S de R= 280m entre estación San Marcos y Elio

Fuente: Planimetría PR7+000 hasta 7+500 Línea. Consorcio Nuevo Metro de Lima

6.3.2.3 Proceso Constructivo Vía en Placa

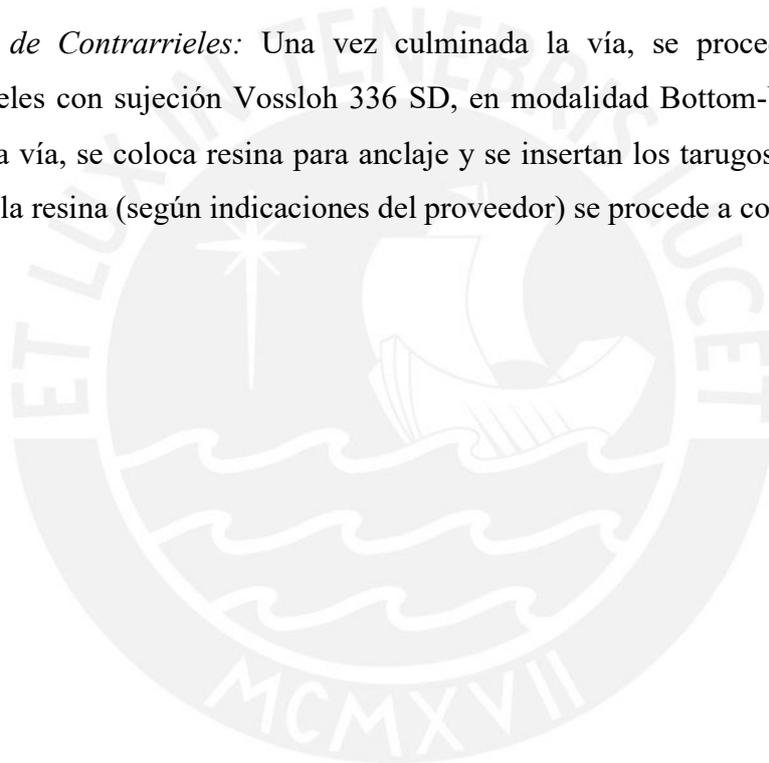
1. *Hormigonado de Nivelación:* Una vez recibido el frente de trabajo con la infraestructura lista, se procede a limpiar la contrabóveda con sopletes de aire o hidrojets, para eliminar polvo e impurezas que contaminen el concreto a vaciar. Una vez limpia la contrabóveda, se procede a vaciar la losa de nivelación con concreto de 150 kg/cm².
2. *Replanteo Topográfico:* Con la prelosa se procede a la marcación topográfica, mediante “piquetes” materializados en clavos Spit, colocados con una clavadora manual, sobre la losa de nivelación y hastiales del túnel, cada 10m en líneas rectas y cada 5m en curvas.
3. *Pre-posicionamiento de rieles:* Los rieles, de 18m de largo, se reciben en obra mediante un camión grúa, que contiene 30 unidades. Estos se disponen en el lugar de trabajo en paquetes de 3 rieles, con la ayuda de un minicargador frontal, pórticos, rodillos y tenazas ferroviarias se pre-posicionan a lo largo de la zona de trabajo. Para las zonas de curvas, los rieles deben curvarse y soldarse previamente en un banco de trabajo.
4. *Armado y Distribución de fijaciones:* Los sistemas de fijaciones provienen de fábrica de manera separada, por lo que es necesario realizar un pre ensamble en mesas de trabajo en obra, donde se montan las capas de placas de elastómero [3 placas], los pernos que irán embutidos en la losa de concreto y clips. Para mantener unidas las 3 placas de elastómero, se coloca un precinto o cintillo provisional, con la ayuda de una máquina flejadora, como se muestra en la Figura 6.14 de color verde. Terminado el armado de las sujeciones estas se distribuyen al frente de trabajo mediante cajas sobre plataformas ferroviarias.



Figura 6.14: Pre-montaje de placas elastómeras y pernos del sistema Vossloh 336

5. *Montaje de rieles sobre falsas traviesas:* Se izan los rieles con ayuda de pórticos ferroviarios, se colocan sobre tacos de madera, se instalan eclisas provisionales y las falsas traviesas con las que se ajusta la posición del riel al trazado y la inclinación de estos; además, se montan las sujeciones Vossloh, los aceros para corrientes vagabundas y, de ser necesario, la malla de refuerzo.
6. *Encofrado de losa:* Se coloca el encofrado lateral de losa, armado por planchas de fenólico y listones de madera con desmoldante.
7. *Ajuste Topográfico Final:* Se verifica toda la geometría del tramo a vaciar, el espaciamiento entre sujeciones, ancho de vía e inclinación de los rieles.
8. *Protección de sujeciones y riel:* Se forran los rieles y las sujeciones con plásticos para evitar que se contaminen con concreto.
9. *Vaciado de concreto:* El vaciado se realiza mediante una bomba de concreto, la cual, si es posible, se ingresará al túnel con el camión mezclador, en caso contrario se aprovecharán las aperturas de los pozos de ventilación o de las estaciones para el bombeo desde superficie. Al realizar el vaciado, la altura de vertido debe ser menor de 1m, para evitar segregaciones. Se debe tener cuidado de no golpear la vía, ni que le caiga concreto encima. Finalizado el vaciado, debe vibrarse la losa y darse las pendientes indicadas en diseño para la eliminación de agua, con un acabado de frotachado.
10. *Curado y fraguado de Concreto:* Una vez que ha fraguado el concreto, se desmontan los tensores y las falsas traviesas. Se procede a la limpieza de la vía, controlándose por última vez la nivelación. De ser necesario se realizan las correcciones mediante las ventajas de la sujeción Vossloh, previamente descritas. Para el curado del concreto se aplican mantas de yute humedecidas, para evitar fisuras por retracción de la losa y correcta hidratación del concreto.

11. *Ajuste de Pernos:* 48 horas después del vaciado de concreto, se procede al ajuste definitivo de los pernos de las sujeciones y del clip. Para esto se utiliza una tirafondadora de vía, que facilita el apriete de pernos. El torque de apriete del perno de clip SKL será entre 180 a 200 Nm, y el de los pernos de anclaje debe permitir que el resorte helicoidal tenga una altura de 39mm.
12. *Soldadura de Rieles:* Se procede a la soldadura de los rieles mediante soldadura aluminotérmica. Una vez concluida la BLS, se debe liberar las tensiones acumuladas a lo largo de la vía.
13. *Montaje de Contrarrieles:* Una vez culminada la vía, se procede a instalar los contrarrieles con sujeción Vossloh 336 SD, en modalidad Bottom-Up: Se perfora la losa de la vía, se coloca resina para anclaje y se insertan los tarugos de plástico. Una vez seca la resina (según indicaciones del proveedor) se procede a colocar los pernos y ajustar.



CAPÍTULO 7: Conclusiones y recomendaciones

La presente investigación ha recopilado los principales conceptos de ingeniería ferroviaria y procesos constructivos aplicados en nuestro medio, especialmente en la construcción de ferrocarriles metropolitanos, para que esta información sirva de guía para el desarrollo de los próximos proyectos ferroviarios, como es la implementación de la Red Básica del Metro de Lima y otros proyectos propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario.

Situación Actual de los Ferrocarriles en el Perú

A partir de la revisión histórica de los ferrocarriles en el Perú, se ha identificado una fuerte incidencia de las políticas del gobierno de turno en la toma de decisiones sobre ejecución de los proyectos férreos, tanto de líneas de ferrocarril convencional y de líneas metropolitanas, como fue el caso de la Línea 1. Para reducir la incidencia de este factor, el Plan de Desarrollo Ferroviario Nacional (PNDF) propone una mirada económica, desde la cual plantea los nuevos lineamientos, estrategias y proyectos con el objetivo de atender la demanda de la actividad productiva y del transporte en el país.

La decisión y énfasis del PNDP en considerar a las líneas de metro, como solución a la movilidad y transporte de la ciudad de Lima, traza un futuro muy alentador para la ingeniería ferroviaria en el país, ya que solo se tiene en operación 35 km de 160 km propuestos en la Red Básica del Metro de Lima. Además, el PNDP propone la ejecución de proyectos de remodelación de las líneas de ferrocarril convencional existentes y la implementación de nueva infraestructura nacional e internacional.

Ingeniería Ferroviaria y procesos constructivos

Con respecto a la ingeniería ferroviaria, el concepto principal expuesto es que la vía es una estructura; ya que, todos sus elementos trabajan en conjunto para soportar las fuerzas ejercidas por el material rodante, por lo que son importantes las características de cada uno. Los elementos que conforman la vía férrea son principalmente los rieles, las sujeciones, los durmientes y el balasto, que brindan la estabilidad y rigidez a la vía. En caso que se necesite una mayor rigidez o por requerimientos de servicio, el balasto y durmientes pueden ser sustituidos por una losa de concreto configurando así una vía en placa.

Para el montaje de vía, este dependerá si es una vía sobre balasto o vía en placa, ya que tienen procesos distintos, por las mismas características de sus elementos. Para la vía en balasto, esta principalmente consta en la colocación de balasto, el posicionamiento de durmientes y rieles, seguido del vaciado de balasto y los ciclos de perfilado y bateo del balasto hasta alcanzar la altura de trazado definitivo, para finalizar con la soldadura de rieles y liberación de tensiones. Para la vía sobre balasto se cuenta con maquinaria especializada y procesos industrializados para el montaje de vía. Para la vía en placa, el montaje se realiza con la ayuda de las falsas traviesas con las que se ubican los rieles en su posición final y se montan las sujeciones, para finalmente vaciar el concreto. Debe tenerse mucho cuidado en la geometría de la vía y posición de los elementos, ya que, a diferencia de la vía sobre balasto, una vez vaciado el concreto no se pueden corregir la geometría de la vía.

En cuanto al estudio del caso del Metro de Lima, se ha identificado que los mayores desafíos son la estabilidad de la vía a lo largo de todo el trazado y la reducción de ruidos y vibraciones. En la Línea 1, la vía principal se desarrolla sobre balasto por lo que, para satisfacer la estabilidad de vía en las curvas horizontales de radios mínimos de 200 metros y de 75m para las zonas de cola de vía e ingreso al patio de maniobras, se optó por utilizar el sistema de vía en placa Sonnevile/LVT para rigidizar la vía. Y para la reducción de ruidos y vibraciones, se

instalaron mantas de lana de roca bajo la capa de balasto a lo largo de la vía principal. Adicionalmente, el caso de la Línea 1, como soluciones de ingeniería, presentó la necesidad de remodelaciones de la superestructura existente al retomar el proyecto, como consecuencia del abandono del mismo en 1992; la remodelación consistió en el cambio de durmientes y rieles existentes, ya que estos presentaban alto grado de corrosión, y el saneado del balasto contaminado.

En la Línea 2, la vía principal se desarrolla en vía en placa construida in situ y en los patios talleres se optó por la vía balastada. Los radios mínimos de diseño son de 280m para la vía principal y de 90m para los patios talleres. La vía no presenta mayores problemas de estabilidad, pero se ha considerado refuerzo de acero para las zonas de cambiadores de vía, para evitar posibles fisuras por retracción y fuerzas ejercidas por el material rodante. En algunas de las zonas del trazado se ha visto necesaria la utilización de mantas antivibratorias de lana de roca, ya que los estudios de vibraciones y ruido predecían que en algunos tramos de la traza que discurren cerca a hospitales o zonas residenciales, se sobrepasaría los límites permitidos de ruido y vibraciones. Además, en el trazado se tiene una curva S entre las estaciones San Marcos y Elio, donde se ha considerado la instalación adicional de contrarrieles para evitar la posibilidad de descarrilamientos.

Para la construcción de vía en placa in situ, la línea 2 ha utilizado el sistema de sujeción Vossloh 336 y 336 SD, que permiten corregir, ligeramente, la geometría de la vía luego del endurecimiento del concreto. Esto presenta una ventaja constructiva frente a otros tipos de sujeciones, que necesitan demoler la losa para realizar correcciones.

Cabe mencionar que no es posible realizar una comparación técnica entre las soluciones aplicadas en el Línea 1 y Línea 2, ya que estas han sido realizadas bajo distintos modos de

contratación. Además, la vía en balasto y la vía en placa tienen procesos específicos y distintos de construcción, como se ha abordado en el capítulo 4.

Recomendaciones

Esta investigación representa un hito y aporte para el estudio de la ingeniería ferroviaria en el Perú, debido a que existe muy poca documentación y estudios académicos relacionados al tema. Además, es un área de la ingeniería civil que se enseña muy poco en las universidades del Perú, a diferencia de universidades extranjeras que presentan cursos obligatorios relacionados a esta rama. Como se ha visto anteriormente, hay muchos proyectos próximos y un futuro prometedor para la ingeniería ferroviaria en el Perú, pero no se cuenta con una formación y oferta de profesionales nacionales.

Por otra parte, existe muy poca información y normativa en el área, es por ello, que es importante la creación de normativa nacional a partir de experiencias propias y extranjeras, que permitan tener buenos cimientos para el desarrollo de una red nacional compatible entre sí.

En cuanto a los estudios de las Líneas 1 y 2, existe muy poca información libre de las soluciones de ingeniería aplicadas y procesos realizados. Considerando que son megaproyectos de infraestructura, debería darse un mayor énfasis al estudio académico de estos, con el objetivo de crear una base de conocimientos y documentos de consulta para la próxima ejecución de este tipo de proyectos.

Comentarios del Autor

Este documento se terminó de redactar durante la pandemia del COVID 19. La situación actual ha demostrado la importancia de contar con un medio de transporte masivo de alta calidad, como es la Línea 1, en la cual se han podido aplicar los protocolos de espacio personal y desinfección, a diferencia de los buses y combis privadas. Se espera que la situación actual

mejore, y se priorice la construcción de las líneas aún pendientes de la Red Básica, la cuales ayudarán a la calidad de vida de los ciudadanos de Lima Metropolitana.



Referencias

- AATE. (11 de julio de 2019). Este año se declarará viabilidad de Líneas 3 y 4 del Metro de Lima. *Andina Agencia Peruana de Noticia*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-este-ano-se-declarara-viabilidad-lineas-3-y-4-del-metro-lima-755217.aspx>
- ADIF. (2009). *Neutralización y Homogenización de tensiones del carril en la vía sin juntas*. Madrid.
- ADIF. (Julio de 2015). *Montaje de Vía en Balasto para obra nueva*. Norma NAV 3-4-3.0, Adif, Comité de Normativa de Adif, Madrid, España. Obtenido de [http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/BE920F53F7CD89A4C1257E7E00415A2A/\\$FILE/NAV%203430_2015.pdf?OpenElement](http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/BE920F53F7CD89A4C1257E7E00415A2A/$FILE/NAV%203430_2015.pdf?OpenElement)
- Adrover Grimalt, B. (2008). *La implementación de la vía en placa en líneas con balasto en explotación comercial*. Universidad Politécnica de Catalunya, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona: UPCommons. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/5660>
- Agico Group China. (s.f.). *Agico Group*. Recuperado el 16 de noviembre de 2019, de <http://www.agicorieles.com/>
- AMETSIS Ingeniería y Asesoría Técnica. (s.f.). *Equipo de Frenado de Bogie*. Recuperado el 16 de noviembre de 2019, de <http://www.ametsis.com/productos-y-servicios/equipos-de-freno-en-bogie/>
- Andina. (20 de agosto de 2019). Línea 1 del Metro de Lima superó medio millón de pasajeros transportados al día. *Andina Agencia de Noticias*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <https://andina.pe/agencia/noticia-linea-1-del-metro-lima-supero-medio-millon-pasajeros-transportados-al-dia-764050.aspx>
- Bajja, Y. (2015). *Los Trabajos Topográficos en la ejecución de una vía ferrocarril de alta velocidad*. Tesis de Grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA, Valencia.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). *Línea 2 y Tramo de la Línea 4 del Metro de Lima. Perfil de Proyecto (PE-L1147)*. Documento de Perfil de Proyecto. Estudio de Riesgos.
- CAF. (2000). *Tendencias del transporte ferroviario en América del Sur*. Banco de Desarrollo de América Latina. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/8C504D8971D9C957052577DE006FB99E/\\$FILE/11_TENDENCIAS_DEL_TRANSPORTE_FERROVIARIO_PARTE_1_CAF.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/8C504D8971D9C957052577DE006FB99E/$FILE/11_TENDENCIAS_DEL_TRANSPORTE_FERROVIARIO_PARTE_1_CAF.pdf)
- CAF. (5 de Diciembre de 2014). *USD 150 millones para financiar Línea 2 del Metro de Lima y Callao*. Obtenido de Banco de Desarrollo de América Latina: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2014/12/usd-150-millones-para-financiar-linea-2-del-metro-de-lima-y-callao/>

- CAF. (2015). *Metro de Lima. El caso de la Línea 1*. Banco de Desarrollo de América Latina. CAF.
- CEPAL. (2000). *La privatización ferroviaria en América Latina y el Caribe en análisis*.
- CEPAL. (2013). *Situación actual de los metros y ferrocarriles de América Latina*. Boletín FAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Facilitación del Transporte y el Comercio en América Latina y el Caribe. Recuperado el 20 de noviembre de 2019, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36138/1/FAL_326_es.pdf
- Comunidad de Madrid. (2002). *El Metro de México: 4.5 Millones de viajes diarios*. Comunidad de Madrid. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3D2.4+El+Metro+de+M%C3%A9xico.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1181214736410&ssbinary=true>
- Contreras, C., & Cueto, M. (2013). El Neoliberalismo y los retos del siglo XXI. En *Historia del Perú Contemporáneo* (pág. 398). Lima, Perú: Instituto de Estudios Peruanos.
- Contreras, C., & Cueto, M. (2013). La República del Guano. Los Ferrocarriles: El gran proyecto de Inversión. En *Historia del Perú Contemporáneo* (págs. 148-155). Lima, Perú: Instituto de Estudios Peruanos.
- De la Cruz, M. (11 de Junio de 2012). Trenes en la mira. (P. U. Perú, Ed.) *PuntoEdu*, págs. 2-3. Obtenido de https://es.scribd.com/document/96713405/PuntoEdu-Ano-8-numero-247-2012#download&from_embed
- Decreto Supremo. (1986). *Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE)*. (D. N°001-86-MIPRE, Ed.) Obtenido de Portal de Transparencia: https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=13219#.XbNrp9W21PY
- Diario Gestión. (18 de Marzo de 2015). Consorcio liderado por Cesel supervisará Línea 2 del Metro de Lima por US\$ 110.65 millones. *Diario Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/empresas/consorcio-liderado-cesel-supervisara-linea-2-metro-lima-us-110-65-millones-81747-noticia/?ref=gesr>
- Diario Gestión. (14 de Febrero de 2017). *Concesionaria de Línea 2 del Metro interpuso demanda contra el Perú ante el Ciadi*. Obtenido de Diario Gestión: <https://gestion.pe/economia/empresas/concesionaria-linea-2-metro-interpuso-demanda-peru-ciadi-128009-noticia/>
- Diario Gestión. (22 de Noviembre de 2017). MTC realizó marcha blanca del nuevo tren de la Línea 1 del Metro de Lima. *Gestión Económica*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/mtc-realizo-marcha-blanca-nuevo-tren-linea-1-metro-lima-153217-noticia/>

- El Comercio. (17 de junio de 2014). El subterráneo de Lima que nunca se construyó. *Diario El Comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/peru/subterráneo-lima-construyo-172236-noticia/>
- El Economista. (1 de Diciembre de 2015). *Línea 2 del Metro de Lima logra financiamiento por US\$ 800 millones*. Obtenido de El Economista. Perú: <https://www.economistaamerica.pe/mercados-eAm-peru/noticias/7188795/12/15/Linea-2-del-Metro-de-Lima-logra-financiamiento-por-US-800-millones.html>
- El Mercurio. (22 de julio de 2019). *Consortio Línea 2 del Metro de Lima cierra emisión de bonos por EUR 500 MM para financiar obras*. Obtenido de <https://www.elmercurio.com/inversiones/noticias/noticias/2019/07/22/consorcio-linea-2-del-metro-de-lima-cierra-emision-de-bonos-por-eur-500-mm-para-financiar-obras.aspx>
- Estrada Gomez, R. (s.f.). *Ferrocarriles. Proyecto de Fin de Carrera*. (d. C. Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes, Editor) Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de <http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/INDICE.html>
- EuroStat. (2017). *Total length of railway lines*. European Union, Statistics. Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=ttr00003&language=en&toolbox=type>
- Fondo Monetario Internacional . (2019). *Report of countrys PBO*. Fondo Monetario Internacional . Obtenido de <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/01/weodata/weorept.aspx?pr.x=80&pr.y=9&sy=2019&ey=2019&scsm=1&ssd=1&sort=country&ds=.&br=1&c=512%2C668%2C914%2C672%2C612%2C946%2C614%2C137%2C311%2C546%2C213%2C674%2C911%2C676%2C314%2C548%2C193%2C556%2C122%2C67>
- Fundación Laboral para la Construcción. (2014). *Guía para el desarrollo de buenas prácticas de PRL en obras de ingeniería civil. Trabajos ferroviarios*. Argentina. Obtenido de https://enuveprod-universitatpolit.netdna-ssl.com/php_preencionintegral/sites/default/files/noticia/39188/field_adjuntos/arch5683adf379fdb.pdf
- Hidalgo, N. (2010). *El Tranvía eléctrico. Historia de los Tranvías de Lima*. Obtenido de Museo de la Electricidad: <https://web.archive.org/web/20100105070303/http://museoelectri.perucultural.org.pe/tranvia4a.htm>
- INACAL. (28 de octubre de 2019). *Instituto Nacional de la Calidad. Catálogo Virtual*. Obtenido de https://tiendavirtual.inacal.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_BuscarProductos.aspx?CRITERIO=-1&TXT=Ingenieria+Ferroviaria&TIPO=-1
- INEI. (2018). *Minería e Hidrocarburos. Producción de Cobre, según empresas mineras, 2013-2017*. Compendio Estadístico Perú 2018, Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima. Obtenido de

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1635/cap15/cap15.pdf

- Iridium Concesiones. (28 de Octubre de 2015). *Cierre financiero Línea 2 Metro de Lima en Perú*. Obtenido de Pagina Oficial Iridium Concesiones:
<http://www.iridiumconcesiones.com/noticias.php?id=106>
- Jurado Zurro, J. (2010). *Estudio del Comportamiento Dinámico de un Vehículo Ferroviario Equipado con Suspensión Secundaria Semiactiva Utilizando Lógica Difusa*. Proyecto de Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Ingeniería Técnica Industrial Mecánica, Madrid. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10779/pfc%20Juan%20Jurado%20Zurro%200%2828-07-2010%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- La República. (21 de diciembre de 2012). Inca Rail y Andean Railways fusionan servicios para ruta a Macchu Picchu. Obtenido de <https://larepublica.pe/empresa/681238-inca-rail-y-andean-railways-fusionan-servicios-para-ruta-a-macchu-picchu/>
- López Pita, A. (2010). *Infraestructuras Ferroviarias*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Melis, M., & Gonzalez Fernandez, F. (2004). *Ferrocarriles Metropolitanos*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- MINCETUR. (2018). *Llegada de visitantes a sitios turísticos, museos y áreas naturales protegidas por el Estado*. Ministerio de Cultura. Dirección Regional de Cultura, Cusco. Obtenido de <http://datosturismo.mincetur.gob.pe/appdatosTurismo/Content2.html>
- MINEM. (2018). *Proyecto Ampliación Cerro Verde*. Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Cerro%20Verde%20Julio%202018.pdf>
- Miquel, J. (1981). *Contribución al estudio resistente de las vías ferroviarias sobre losas de hormigón en plataformas naturales, mediante el método del prisma finito*. Tesis Doctoral.
- MTC. (2016). *Adenda N°4 al contrato de Concesión Línea 1*. Lima.
- MTC. (2016). *Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao*. Obtenido de Página oficial Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- MTC. (2019). *El futuro sobre rieles: Ferrocarril Huancayo-Huancavelica dinamizará el potencial turístico y comercial*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/52226-el-futuro-sobre-rieles-ferrocarril-huancayo-huancavelica-dinamizara-el-potencial-turistico-y-comercial>
- MTC. (2019). *Puente Informativo Región Ica*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Oficina de Comunicaciones e Imagen Institucional. Obtenido de

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/288772/04.02.2019_PUENTE_INFO_RMATIVO_REGI%C3%93N_ICA.pdf

- National Bureau of Statistics China. (2015). *Length of Transport Routes at Year end by Region*. National Bureau of Statistics. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/html/1604EN.jpg>
- Opema. (s.f.). *Opema Oficial*. Obtenido de Trabajos en vía: <http://www.opema.com/trabajos-en-via/>
- Orrego, J. (05 de septiembre de 2011). *El transporte público en Lima, siglo XX: los tranvías*. Obtenido de Blog PUCP: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/juanluisorrego/2011/07/05/el-transporte-publico-en-lima-siglo-xx-los-tranvias/>
- OSITRAN. (2015). *Contratación de Locación de Servicios para Asesoría Independiente de Seguridad*. Contrato N° 053-2015 Ositran, Lima, Perú. Obtenido de https://www.ositran.gob.pe/htmlold/wp-content/uploads/2017/12/053_-_CPI_PEOC_14_90785_2106_-_CERTIFER1.pdf
- OSITRAN. (2015). *Contratación de Servicio de Supervisión Integral de la Concesión de la Línea 2 y Ramal av Faucette - av. Gambetta del Metro de Lima y Callao*. Contrato N°030-2015 OSITRAN, Lima, Perú. Obtenido de https://www.ositran.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/01_LINEA2_CONTRATO_SUPERVISION1.pdf
- OSITRAN. (12 de Diciembre de 2018). *Adenda N°2 del Contrato de Concesión para el Diseño, Financiamiento, Construcción, Equipo Electromecánico, Equipamiento de sistema y Provisión del Material Rodante Operación y Mantenimiento del Proyecto Línea 2 y Ramal av. Faucette - av. Gambetta*. Lima, Perú. Obtenido de https://www.ositran.gob.pe/wp-content/uploads/2018/04/Adenda2_Linea2.pdf
- Otieno, P. (Septiembre de 2015). *Construction Review Online*. Obtenido de Tamping Machine Features, components and functions: <https://constructionreviewonline.com/2015/09/tamping-machine-features-components-and-functions/>
- Pañero Huerga, J. A. (s.f.). *Vía en placa: Aplicación a Entornos Metropolitanos*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos España.
- Plasser Theurer. (s.f.). *Plasser Theurer Oficial*. Obtenido de La cantidad correcta con el perfil correcto: Regulación y Perfilado de Balasto: <https://www.plassertheurer.com/es/maquinas-sistemas/regulacion-perfilado-balasto.html>
- ProInversion. (octubre de 2019). *Cartera de Proyectos*. ProInversion. Obtenido de <https://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=8161&SEC=24&>
- PROINVERSION. (s.f.). *Línea 2 - Metro de Lima y Callao*. Obtenido de <https://www.proinversion.gob.pe/modulos/LAN/landing.aspx?are=0&pfl=1&lan=18&tit=1%C3%ADnea-2-metro-de-lima-y-callao>

- PROINVERSION. (s.f.). *Línea 2-Metro de Lima y Callao*. Obtenido de ProInversion: <https://www.proinversion.gob.pe/modulos/LAN/landing.aspx?are=0&pfl=1&lan=18&tit=1%C3%ADnea-2-metro-de-lima-y-callao>
- Provías Nacional. (2007). *Concurso público: Especificaciones Técnicas Básicas Tren Eléctrico. Tramo Villa El Salvador - Av. Grau*. Lima.
- Railisa. (2017). *Rail transport in the world*. UIC, Statistics. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <https://uic.org/support-activities/statistics/>
- Railway Technology. (2013). The world's longest metro and subway systems. *Future Rail*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <https://www.railway-technology.com/features/featurethe-worlds-longest-metro-and-subway-systems-4144725/>
- Railway Technology. (19 de febrero de 2014). The world's 10 longest railway networks. *Railway Technology*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de <https://www.railway-technology.com/features/featurethe-worlds-longest-railway-networks-4180878/>
- Reyes, J. (26 de Julio de 2019). Proinversión confirmó que China Railway no fue admitida para construir el tren Lima – Ica. *Gestión*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/proinversion-confirmando-china-railway-admitida-construir-tren-lima-ica-274257-noticia/>
- Rivera, I. (s.f.). Recuperado el 17 de noviembre de 2019, de 118 kilómetros por hora: <https://brucknerite.wordpress.com/2016/09/13/118-kilometros-por-hora/>
- RockDelta. (s.f.). *Railway technology*. Obtenido de <https://www.railway-technology.com/contractors/noise/rockdelta-rt/>
- Romero Zaragüeta, F. (2010). *Análisis de una vía con traviesas cuadro*. Tesina, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Rospini, G. (Noviembre de 2011). Plasser & Theurer: Construcción de la Vía Férrea nueva con tecnología actua. Guayana, Venezuela. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Grupo-Riel/plasser-theurer-construccin-de-la-va-firrea-nueva-con-tecnologa-actua-vii-sevefeme-2011>
- Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2. (2015). *Contrato Final de Concesión. Anexo3: Propuesta Técnica. Tomo 7: Tunel*. Lima, Peru. Obtenido de https://www.ositran.gob.pe/wp-content/uploads/2018/04/Anexo203_Tomo20071.pdf
- Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2. (2020). *Metro de Lima y Callao - News*. Obtenido de Facebook Institucional: <https://www.facebook.com/Metro-de-Lima-y-Callao-News-317723255050550/>
- Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2. (2018). *Superestructura de Vía Tramo 5 y Ramal Acceso Patio Taller*. Expediente Técnico, Lima.
- Suyu Group. (s.f.). *Suyu Group*. Recuperado el 16 de noviembre de 2019, de <http://www.railfasteners.es/product.html>

- Tría Ingeniería. (2018). *TERMINADOS LOS TRABAJOS DE ALTO IMPACTO EN LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LIMA*. Obtenido de <https://www.triaingenieria.es/2018/06/04/terminados-los-trabajos-de-alto-impacto-en-la-l%C3%ADnea-1-del-metro-de-lima/>
- UITP. (2015). *Metro America Latina. Perspectivas y tendencias*. UITP Unión Internacional de Transporte Publico . Obtenido de https://latinamerica.uitp.org/sites/default/files/Relat%C3%B3rio%20Metr%C3%B4s_UITP%20Am%C3%A9rica%20Latina_ESP.pdf
- Vasauskas, V., Bazaras, Ž., & Čapas, V. (2005). *Strength anisotropy of railway wheels under contact load*. *Mechanika*.
- VORTOK. (2012). *Vortog Oficial*. Obtenido de <http://www.vortok.com/track-maintenance/sleeper-laying-lifting-and-replacement>
- Vossloh Fastening Systems. (s.f.). *Schienenbefestigungssystem für Feste Fahrbahn. System 336 / 336 SD*. Obtenido de www.vossloh-fastening-systems.de
- Wold Bank. (2017). *Ferrocarriles, mercaderías transportadas (millones de toneladas-kilómetros)*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.RRS.GOOD.MT.K6?end=2017&most_recent_value_desc=true&start=2008&view=chart
- Wold Bank. (2017). *Ferrocarriles, pasajeros transportados (millones de pasajeros-kilómetros)*. Obtenido de https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.RRS.PASG.KM?end=2017&most_recent_value_desc=true&start=1996&view=chart
- Wold Bank. (2017). *Rail lines (total route-km)*. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de https://data.worldbank.org/indicador/is.rrs.totl.km?end=2017&most_recent_value_desc=false&start=1980&type=shaded&view=chart

Anexo 1

Historia de los ferrocarriles:

Cuadro de Ferrocarriles Contratados por Don Enrique Meiggs:

Tabla A1

Cuadro de Ferrocarriles Contratados por Don Enrique Meiggs

Ferrocarriles Construidos	Km.	Costo	Costo/Km	Exceso frente a costo promedio
Mollendo-Arequipa	172.2	12'000,000	69,686.4	37%
Arequipa-Puno	355.0	32'000,000	90,140.8	77%
Callao-Oroya	222.0	27'600,000	124,324.3	144%
Chimbote-Huaraz	275.0	24'000,000	87,272.2	71%
Pacasmayo-Guadalupe-Magdalena	148.0	7'700,000	52,027.0	2%
Juliaca-Puno-Cuzco	368.0	24'000,000	65,027.3	28%
Ilo-Moquegua	100.8	6'700,000	66,468.2	31%
	1,641.0	134'000,000	81,357.5	60%
Ferrocarriles Estudiados				
Lima-Pisco	No se culminó			
Tacna-Puno	Se estimó no rentable			
Oroya-Chanchamayo	Faltaron recursos			
Oroya-Cerro de Pasco	Faltaron recursos			
*El costo promedio por Km. es: 50,808.5 soles plata/Km.				

Fuente: Guido Pennano: Desarrollo Regional y Ferrocarriles en el Perú

Fotografía: Construcción del Ferrocarril Central

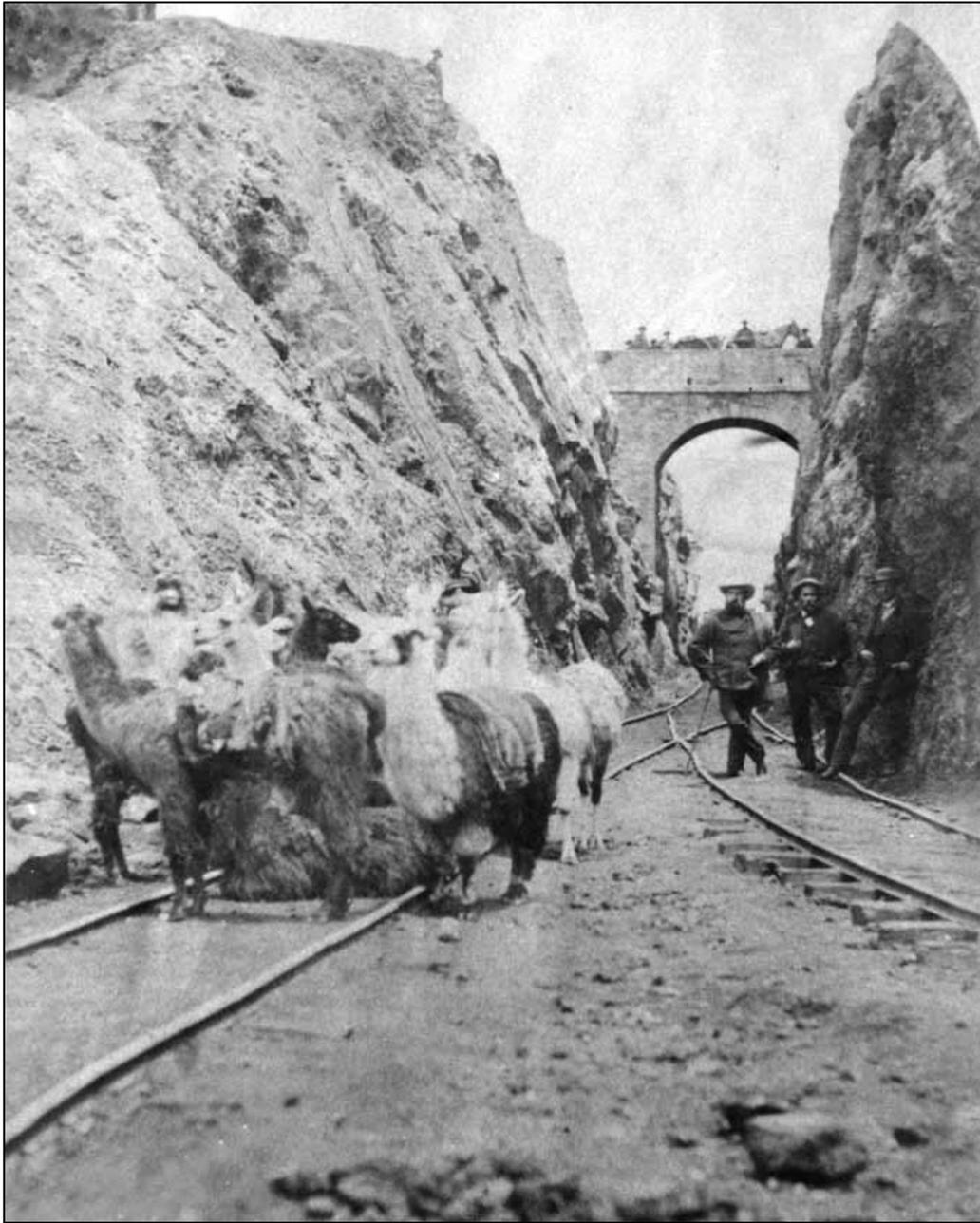


Ilustración A1: Construcción del ferrocarril Central

“El ferrocarril vino a sustituir a las llamas en el transporte de los minerales de los asientos mineros. Con este cambio quedaron desempleados los “arrieros bajadores”, que eran indígenas de las quebradas vecinas a plazas como la de Cerro de Pasco. La vista corresponde al Tajo del Portachuelo, cuando se realizaban los trabajos de construcción del ferrocarril central. Museo de Arte de Lima, Álbum Gildemeister.” (C. Contreras y M. Cueto)

– Historia del Perú Contemporáneo. La República del Guano. Pag 161)

Mapa de líneas ferroviarias antes de la Guerra con Chile:



Mapa 1: Líneas ferroviarias antes de la Guerra con Chile

Fuente: Historia de Perú Contemporáneo. Carlos Contreras y Marcos Cueto. República del Guano pag 152.

Fotografía: El tranvía de Lima



Ilustración A2: El tranvía de Lima 1934-1965

Fuente: Archivo el Comercio



Ilustración A3: El tranvía de Lima 1934-1965

Fuente: Archivo el Comercio

Url: <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/viajar-tranvia-siglo-pasado-fotos-noticia-482972-noticia/?ref=ecr&foto=11>

Anexo 2: El Consorcio Metrolima

El consorcio Metro Lima, fue conformado las empresas europeas Electro Watt, Deutsche Eisenbahn, Lahmeyer International y la firma nacional P. y V. Ingenieros para realizar el estudio de factibilidad técnico-económica y anteproyecto del Sistema de Transporte Rápido Masivo de Pasajeros en el Área de Lima-Callao. El contrato para los estudios fue firmado con el MTC el 24 de mayo de 1972 y se presentó el estudio terminado en diciembre de 1973.

El estudio, partió por la caracterización de la movilidad y transporte de la ciudad de Lima [estudios socio-económicos, matrices O-D, Viajes diarios, etc.], la cual solo contaba con 3.3 millones de habitantes y un área de metrópolis de 282 km² [30 km en dirección N-S y 25 km O-E].

A partir del estudio de movilidad, se propuso un sistema rápido masivo Metro, para los ejes de mayor tránsito de personas en la ciudad, y una red de buses que alimente las estaciones del metro. Se propuso la construcción de 4 líneas de metro con una longitud total de 70 km y un coste de 38 100 millones de soles de la época.

Para el diseño del metro, se consideró una carga de tránsito máximo de 60 mil personas por hora y dirección, y secuencia mínima de trenes de 90 seg. En cuanto a la superestructura ferroviaria, se propuso que el tren del Metro debía ser un sistema bi-riel convencional, de rodadura acero-acero¹, sobre una vía en balasto con durmientes de madera. Y para el material rodante, se consideró una longitud de 128.5 m y 3.07m de ancho.

En cuanto a los métodos constructivos de infraestructura más representativos, se propuso el Corte y Cobertura [Cut and Cover] y el Método Austriaco [NATM].

Tabla A2

Líneas propuestas en el estudio del consorcio MetroLima 1973

Línea: Dirección	Longitud de la línea (km)	Año de puesta en servicio
Línea 1: Comas – El Salvador	36.8 km	1985
Línea 2: San Borja – Maranga	13.1 km	1989
Línea 3: Rimac – San Isidro	7.4 km	1992
Línea 4: La Victoria – Carmen de la Legua	11.1 km	Después de 1992

¹ Se estudió la opción de ruedas neumáticas, pero estas demandaban 50% más de energía eléctrica.



Ilustración A4: Plano General de la Red de Metro Lima [70km].

Fuente: Metro Lima. Estudio de factibilidad y anteproyecto. Academia Peruana de Ingeniería



Ilustración A5: Perspectiva de una estación subterránea con andén lateral

Fuente: Metro Lima. Estudio de factibilidad y anteproyecto. Academia Peruana de Ingeniería

Anexo 3: Plan Nacional Desarrollo Ferroviario

Mapa de Ferrocarriles del Perú en operación



Mapa B: Mapa de Ferrocarriles del Perú en operación
Fuente: Plan Nacional del Desarrollo Ferroviario-MTC

Proyectos propuestos por el Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario

Tabla B1

Proyectos de mejoramiento de infraestructura ferroviaria existente del Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario

Rubro	Proyecto	Acciones
Mejoramiento de la infraestructura ferroviaria existente	Ferrocarril del Centro	-Construcción del túnel Trasandino -Mejoras menores
	Ferrocarril del Sur	-Construcción de una vía férrea de evitamiento de la ciudad de Arequipa -Mejoramiento de vía tramo La Joya-Imata
	Ferrocarril del Sur Oriente (Cusco-Aguas Calientes)	-Construcción de falso túnel en Pomatales -Reubicación de la Estación Hidroeléctrica -Reubicación de Estación de Ollantaytambo -Instalación de un sistema de control de tráfico de trenes -Construcción de almacén
	Ferrocarril Huancayo-Huancavelica	-Rehabilitación de la infraestructura ferroviaria
	Ferrocarril Tacana-Arica	-Mejoramiento de la infraestructura ferroviaria

Tabla B2

Proyectos de nueva infraestructura ferroviaria del Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario

Rubro	Proyecto	Acciones
Desarrollo de Nueva Infraestructura Ferroviaria	Proyectos Interurbanos	-Tren de la Costa -Tren de cercanías tramo Lima-Chincha -Ampliación de interconexión Huancayo-Huancavelica
	Proyectos Urbanos	-Infraestructura para transporte masivo de pasajeros de Lima-Callao (Líneas 1 a la 6 del Metro de Lima)

Tabla B3

Proyectos de infraestructura ferroviaria para la interconexión internacional del Plan Nacional de Desarrollo Ferroviario

Rubro	Proyecto
Desarrollo de Infraestructura Ferroviaria para Interconexión Internacional	Conexión Ferroviaria Perú-Brasil
	Conexión Ferroviaria Perú-Bolivia

En cuanto al estado actual de estos proyectos propuestos, la rehabilitación del ferrocarril Huancayo-Huancavelica se encuentra en proceso de licitación. Y como nueva infraestructura, el Tren de Cercanías Lima-Ica se encuentra en licitación por el MTC (Reyes, 2019).



(a)

(b)

Ilustración: Banner Informativo: (a) Rehabilitación ferrocarril Huancayo-Huancavelica; (b) Ferrocarril Lima-Ica

Fuente: MTC-Noticias

Mapa de Ferrocarriles del Perú, existentes y proyectos del PNDF



Mapa B1: Ferrocarriles existentes y propuestos por el PNDF

Fuente: MTC



VIAS FERREAS EN OPERACION

NOMBRE DE LA LINEA FERREA	RUTAS	TROCHA (m.m)	LONGITUD (Km.)
<u>LINEAS FERREAS PUBLICAS</u>			
FERROCARRIL DEL CENTRO Concesionario: Ferrovias Central Andina S.A. Operador: Ferrocarril Central Andino S.A.	Callao - La Oroya La Oroya - Huancayo La Oroya - Cerro de Pasco Cut Off (Km.203 Callao - La Oroya) - Huascacocha	1435	489.6 222.0 124.0 132.0 11.6
FERROCARRIL HUANCAYO - HUANCVELICA A Cargo del MTC.	Huancayo - Mariscal Caceres Mariscal Caceres - Huancavelica	1435	128.7 76.0 52.7
FERROCARRIL DEL SUR Concesionario: Ferrocarril Transandino S.A. Operadores: Perurail S.A. Inca Perurail S.A.C. Andean Railways Corp. S.A.C.	Mollendo - Islay Matarani - Arequipa Arequipa - Juliaca Juliaca - Puno Juliaca - Cusco	1435	855.0 17.9 147.5 304.0 47.7 337.9
FERROCARRIL SUR ORIENTE Concesionario: Ferrocarril Transandino S.A. Operador: Perurail S.A.	Cusco - Hidroelectrica Machupichu Ramal Pachar (Km.61.3) - Urubamba	914	134.7 121.7 13.0
FERROCARRIL TACNA - ARICA A Cargo del Gobierno Regional de Tacna		1435	60.0
<u>LINEAS FERREAS PRIVADAS</u>			
FERROCARRIL SOUTHERN COPPER CORP. Propietario: Southern Copper Corporation	Ilo - El Sargento - Toquepala El Sargento (Km.183) - Cujone (Botiflaca)	1435	217.7
FERROCARRIL SANTA CLARA - CAJAMARQUILLA Propietario: Votoratim Metals - Cajamarquilla S.A.	Santa Clara(Km.30 Linea Callao - Huancayo)- Fundicion	1435	7.3
FERROCARRIL CARIPA - CONDORCOCHA Propietario: Cemento Andino S.A.	Caripa (Km.25.534 linea La Oroya - Cerro de Pasco) - Condorcocha	1435	13.6
LONGITUD TOTAL DE LINEAS FERREAS			1906.6

VIAS FERREAS EN PROYECTO

NOMBRE DE LA LINEA FERREA	LONG. ESTIMADA (Kms.)	OBSERVACIONES
FETAB	2,800	LEY 29207 - PROINVERSION
CERRO DE PASCO - PUCALLPA	600	LEY 29063
HUANCAVELICA - CUSCO	600	LEY 29373
ANDAHUAYLAS-S.J. MARCONA	600	PROINVERSION
HIDRO - QUILLABAMBA	50	ESTUDIOS POR REALIZAR
FETAS	700	PROYECTO DE LEY
PUNO - DESAGUADERO	157	EXP. TEC. DEFINITIVO
NOR ANDINO DEL PERU	650	ESTUDIOS EN EJECUCION
IMATA - TINTAYA	150	PROY. PRIVADO
CORIO - LA JOYA	93	PROINVERSION
IQUITOS - YURIMAGUAS	565	EST. GOB. REG. LORETO
FERRIPEB	1,000	LEY 29613
LONGITUD TOTAL	7,965	

LEYENDA

LIMITE REGIONAL	—————
FERROCARRIL CENTRAL	+++++
FERROCARRIL DEL SUR	+++++
FERR. HYO. HUANCAVELICA	+++++
FERROCARRIL SOUTHERN PERU	+++++
FERROCARRIL TACNA - ARICA	+++++
FERROCARRILES EN PROYECTOS	+++++

Anexo 4: Ferrocarriles en el Mundo

Al 2016, según estadísticas del Banco Mundial, la red ferroviaria mundial constaba con más de 1'051'000 kilómetros de vía, donde Estados Unidos era el país con la red ferroviaria más extensa, con más 250'000 km de los cuales, el 80% de estos está orientado al transporte de mercancías. La segunda red más grande corresponde a China, con más 120'000 km de vía, los cuales incluyen a la red de alta velocidad más grande del mundo de 28'000 km (National Bureau of Statistics China, 2015), y la segunda red de metros más extensa de 468 km (Railway Technology, 2013). La tercera red más extensa corresponde a la Federación Rusa con 85'500 km, seguida de India con 67'000 km de vía.

En cuanto a la red de la Unión Europea, esta cuenta con 212'000 km. de vía, siendo Alemania la red más representativa con 38'000 km, seguida de Francia [28'000 km], Polonia [19'000 km], Reino Unido [16'000 km] y España [16'000 km] (EuroStat, 2017).

En el Anexo 2 se presentan las tablas estadísticas y gráficos de las redes ferroviarias por continente, y los indicadores de transporte de pasajero-kilómetro y toneladas-kilómetro anuales. A partir de estos indicadores, se observa que Asia es el continente con mayor explotación ferroviaria. Esto se debe al fuerte desarrollo económico de China e India, ya que movilizan 2'140'000 y 620'000 millones de toneladas-kilómetro, respectivamente. Estas cantidades de mercancías transportadas por kilómetro ubican a China e India en el 3er y 4to puesto a nivel mundial (World Bank, 2017). En cuanto al transporte de pasajeros, India encabeza el ranking mundial con 1'149'000 millones de pasajeros-kilómetros, seguido por China [685'000 M], Japón [197'000 M] y Rusia [122'000 M] (World Bank, 2017).

Ferrocarriles en Sudamérica

Latinoamérica cuenta con 80'400 km de vías instaladas activas [excluyendo a México]. La red ferroviaria más extensa corresponde a Argentina con 31'600 km de vía, seguido por Brasil con 29'280 km [Ver Táblas y gráficos Anexo2]. Sin embargo, es Brasil el país que transporta mayores cargas [302'400 miles de toneladas]; según el Banco de Desarrollo de América Latina, para finales del año 2000, la red ferroviaria brasilera concentraba el 80% del total de toneladas transportadas en toda Latinoamérica. Los productos principalmente transportados en toda Sudamérica corresponden a la explotación minera, como el carbón, escorias y minerales brutos; seguido por productos agrarios, como son granos y cereales.

Ferrocarriles Urbanos

El sistema ferroviario urbano de América Latina tiene un total de 2'429 km, de los cuales 1090 km [45%] corresponde a los sistemas de metros (UITP, 2015). La línea de metro más extensa corresponde a la de Ciudad de México con 201.4 km de vía y 4.5 millones viajes diarios [9 veces los pasajeros de la Línea 1 del Metro de Lima] (Comunidad de Madrid, 2002).

El primer sistema de metro en Sudamérica fue el “Subte”, el metro subterráneo de la ciudad de Buenos Aires, que fue construido en 1913. Pero es a partir de la década de los 70's, donde se vivió el “boom” de la construcción de los sistemas de metros, comenzando con el Metro de la Ciudad de México (1969), seguido del Metro de Sao Pablo en Brasil (1974); Metro de Santiago de Chile (1975) y el Metro de Caracas, Venezuela (1983). Durante los años siguientes, se han ido incorporando nuevas líneas, según la creciente demografía de las principales ciudades de Sudamérica. En la Figura 2 se presentan las redes de metro existentes al 2015.



Figura: Ciudades con Sistema de Metro en América Latina
 Fuente: CEPAL-FAL, 2013

En la Gráfica 4 se puede comparar la capacidad de los sistemas de metro frente a la población de la ciudad. Esta gráfica demuestra la gran demanda de movilidad y el potencial de crecimiento de las redes de metro, especialmente en las grandes ciudades como Buenos Aires, Lima, México DF, Rio de Janeiro y Sao Pablo.

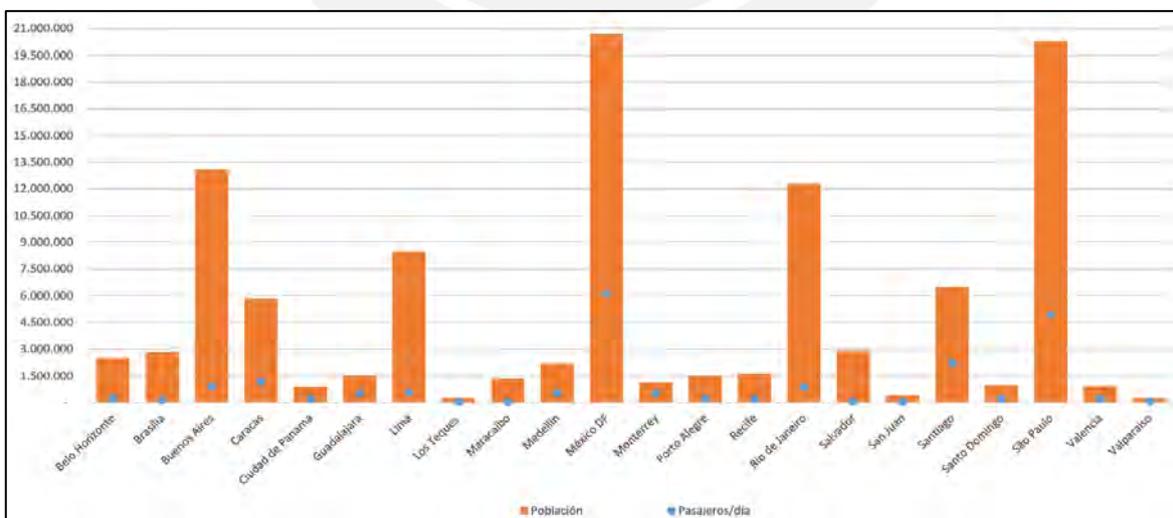


Gráfico: Habitantes x Pasajeros/día
 Fuente: UITP, 2015

Tablas y Gráficas Ferrocarriles en el Mundo:

Passenger.kilometers, Tonne.kilometres and Line kilometers timeseries over the period 2004-2017						
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pkm (million) - Global	2 418 104	2 510 936	2 680 490	2 832 329	2 998 089	3 028 512
Africa	63 746	63 557	63 610	64 072	64 462	65 011
America	36 795	37 547	37 265	37 404	38 779	38 438
Asia and Oceania (Russia and Turkey excluded)	1 694 732	1 778 199	1 927 264	2 073 022	2 203 359	2 270 930
Russia	164 272	172 217	177 838	174 085	175 872	151 467
Europe (including Turkey)	458 559	459 416	474 514	483 746	515 617	502 666
Tkm (million) - Global	8 444 217	8 822 941	9 345 013	9 742 277	9 780 086	9 242 182
Africa	145 403	145 212	144 656	144 904	141 545	146 189
America	2 975 506	3 097 244	3 287 829	3 268 639	3 093 998	2 898 720
Asia and Oceania (Russia and Turkey excluded)	2 803 073	3 006 599	3 202 037	3 436 213	3 643 651	3 700 062
Russia	1 801 600	1 858 093	1 950 830	2 090 337	2 116 240	1 865 305
Europe (including Turkey)	718 635	715 793	759 661	802 184	784 652	631 907
Length of Lines (km) - Global	1 098 110	1 102 155	1 102 632	1 102 036	1 107 063	1 110 568
Africa	74 534	74 906	74 951	74 946	75 422	76 472
America	397 691	397 138	396 294	395 135	394 906	394 363
Asia and Oceania (Russia and Turkey excluded)	265 840	270 214	271 760	273 254	277 174	280 171
Russia	85 286	85 542	85 253	84 158	85 194	85 281
Europe (including Turkey)	274 760	274 356	274 375	274 543	274 367	274 281

Assessments made from various data sources: UIC, OECD, Eurostat, World Bank, World Factbook

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3 192 487	3 360 604	3 466 272	3 585 108	3 645 805	3 730 552	3 833 645	3 938 245
65 514	65 866	66 936	67 933	67 672	67 314	67 098	66 996
39 783	38 522	37 666	36 934	37 663	39 290	40 375	41 071
2 440 969	2 597 805	2 688 394	2 814 858	2 888 849	2 971 070	3 062 101	3 154 166
138 885	139 742	144 612	138 517	130 027	120 644	124 620	122 920
507 336	518 670	528 664	526 866	521 594	532 234	539 451	553 092
9 977 210	10 477 025	10 540 707	10 581 622	10 736 642	10 200 124	10 022 628	10 664 339
148 390	153 469	157 549	162 592	166 551	166 059	164 602	165 992
3 121 780	3 181 011	3 168 775	3 208 453	3 394 564	3 275 776	3 055 751	3 227 518
4 005 905	4 268 461	4 267 668	4 307 975	4 174 518	3 768 222	3 784 269	4 086 801
2 011 308	2 127 835	2 222 389	2 196 217	2 300 532	2 305 945	2 344 087	2 491 876
689 827	746 249	724 326	706 385	700 478	684 122	673 919	692 152
1 113 928	1 114 099	1 118 395	1 119 810	1 130 105	1 138 390	1 137 735	1 142 014
76 309	76 871	76 257	76 061	76 638	76 708	76 824	77 018
392 893	386 244	385 616	383 164	382 985	381 455	376 853	376 556
285 452	291 882	297 777	303 347	313 939	323 728	327 848	332 126
85 292	85 166	85 148	85 266	85 266	85 262	85 375	85 545
273 983	273 936	273 597	271 973	271 278	271 237	270 836	270 770

Ilustración B4: Pajero-Kilómetro, Tonelada-kilómetro y longitud de línea (Periodo 2004-2017)

Fuente: Railisa UIC Statistics

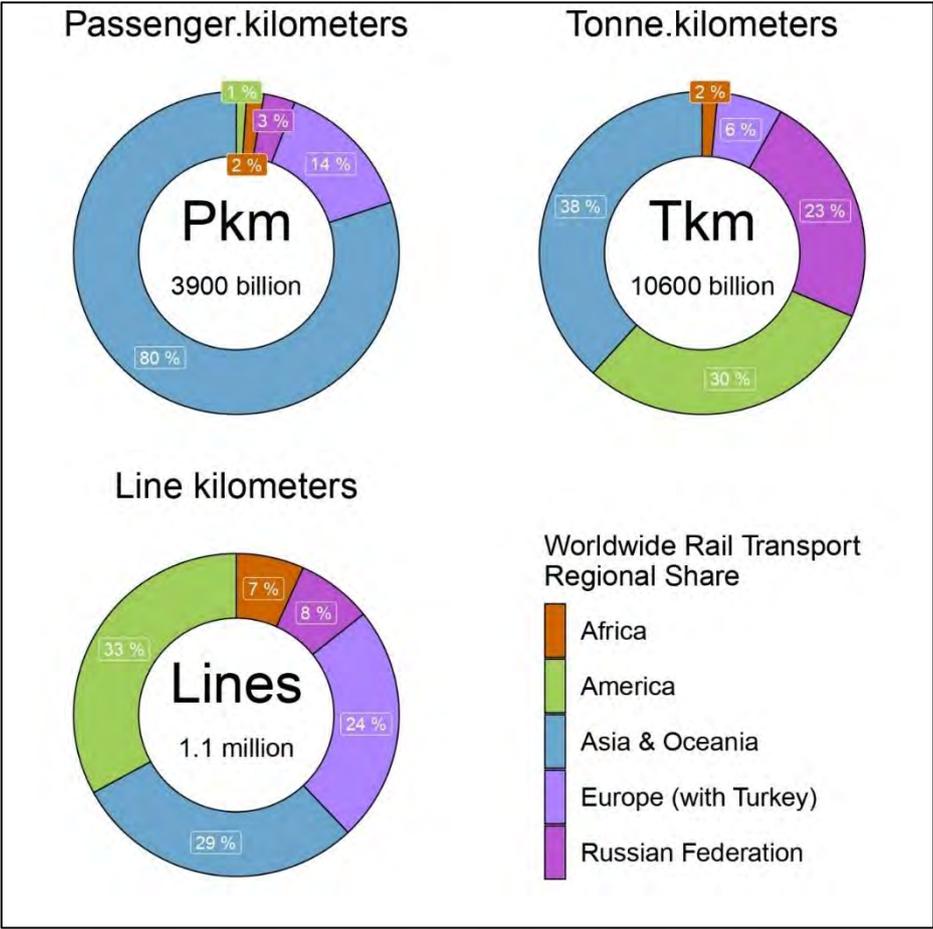


Gráfico B1: Distribución según continente: Pajero-Kilómetro, Tonelada-kilómetro y longitud de línea

Fuente: Railisa UIC Statistics

Cuadro 6.5 América del Sur. Red instalada. 2000	
País	Kilómetros de vías
Bolivia	
Red instalada	3.700
Red en actividad	2.825
Brasil	29.283
Chile	
Total en servicio	8.858
Fuera de servicio	1.130
Colombia	
Activas	1.915
En operación	1.665
Inactivas	1.239
Ecuador	
En operación	350
Paraguay	
Instalada	150
En operación	2
Fuera de servicio	148
Perú	
	1.691
Uruguay	
	2.993
Venezuela	
Tramos en operación	846
En construcción	40
Planeados	2.479
Existente sin operar	32
Argentina	
	31.656
Total en América del Sur	
Red total instalada	83.843
En actividad	80.419
Fuera de servicio	3.424
Fuente: Elaboración propia	

Ilustración B5: Red de ferrocarriles en América del Sur
Fuente: Banco de Desarrollo de América Latina CAF-2000

Anexo 5: Curva Granulométrica del Balasto

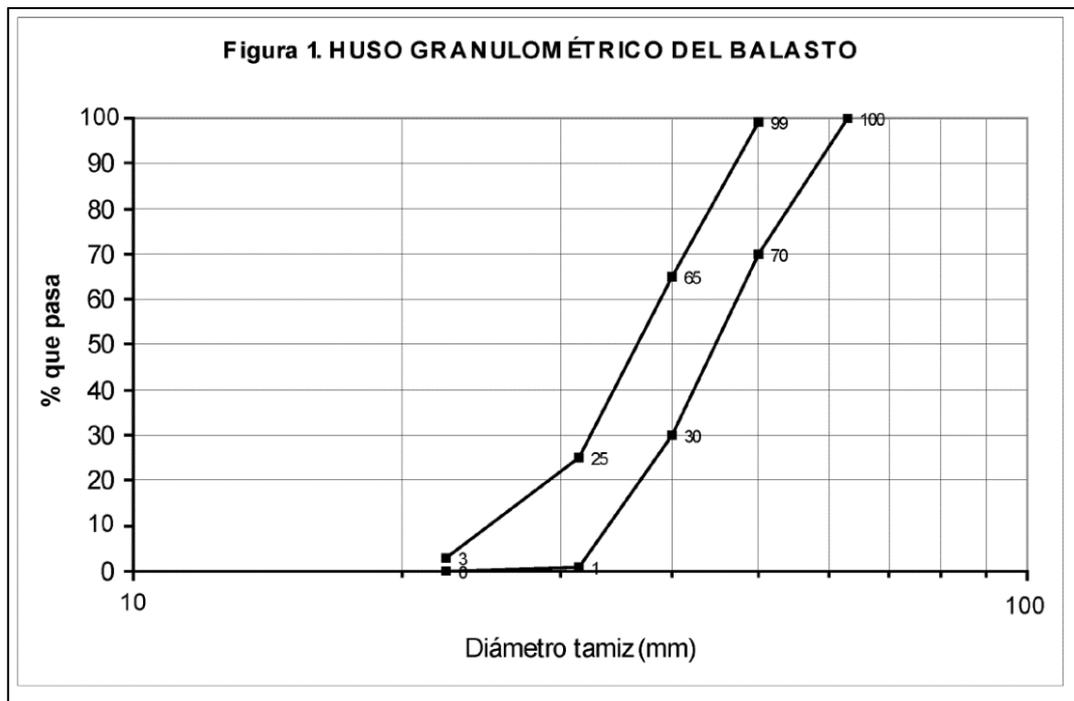


Gráfico C1: Curva Granulométrica del Balasto
 Fuente: Ministerio de Fomento (España)

Tabla C1:
 Curva granulométrica del balasto. Porcentaje que pasa según tamiz

<i>Curva granulométrica del balasto</i>	
Tamiz	Porcentaje que pasa (en peso)
63	100
50	70-99
40	30-65
31,5	1-25
22,4	0-3 (para recepción de lotes situados en el centro de producción). 0-5 (para recepción de lotes situados en obra o acopio intermedio).

Fuente: Ministerio de Fomento (España)

Anexo 6: Diseño Geométrico de Vía Férrea

En este apartado se abordarán los parámetros de diseño más representativos de trazado para sistemas ferroviarios urbanos ya que, en comparación con largas distancias o transporte de mercancías, presentan mayores exigencias en cuanto a confort de viajero y seguridad, por las fuertes aceleraciones y desaceleraciones en el servicio.

El objetivo del diseño geométrico es garantizar la calidad de explotación del sistema ferroviario con seguridad y confort del usuario, a un precio de construcción y explotación razonable.

Condiciones de trazado:

El trazado está limitado por tres principales factores: la topografía del lugar, las características geotécnicas y las posibles interferencias [por ejemplo: estructuras existentes, líneas de metro ya existentes, etc.]. Para una elección correcta de trazo, se deben proponer y evaluar distintos recorridos, considerando las variables económicas y técnicas.

Parámetros Generales:

Los parámetros generales son usualmente definidos por la administración ferroviaria y los objetivos de esta. Se tienen los siguientes parámetros generales principales:

- *Radios mínimos:* En las líneas de metros este parámetro está restringido por el método constructivo a emplear, por ejemplo, si se utiliza tuneladora, el radio mínimo de giro deberá ser mayor a 300m, ya que la máquina tiene poca capacidad de giro.
- *Ancho de vía:* Ancho a utilizar en todo el trazado
- *Velocidad máxima de circulación:* Velocidad máxima a desarrollar en la vía.
- *Aceleración máxima sin compensar:* Se debe limitar las aceleraciones máximas sin compensar (transversales), ya que pueden generar descarrilamientos. Usualmente se establece $a_{nc}=0.65 \text{ m/s}^2$ (Metro de Madrid).

Trazado en planta

El trazado en planta está constituido por alineaciones rectas y circulares, unidas mediante curvas de transición. Todo vehículo que recorre una trayectoria circular experimenta una aceleración perpendicular a su trayectoria (aceleración centrífuga). Esta aceleración genera una fuerza centrífuga que tiende a desviar al vehículo hacia el exterior de la curva. La fuerza centrífuga está relacionada a la masa del vehículo, la velocidad de circulación y el radio de la curva.

$$F_c = \frac{P V^2}{g R}$$

Para reducir los efectos de esta fuerza, se implementan peraltes y las curvas de transición, los cuales se explican más adelante con detalle.

Peralte

El peralte se obtiene por la elevación vertical de un riel respecto a otro, esto permite compensar parte o toda la fuerza centrífuga, por la descomposición del peso del vehículo, en el plano inclinado formado, como se presenta en la Ilustración D1.

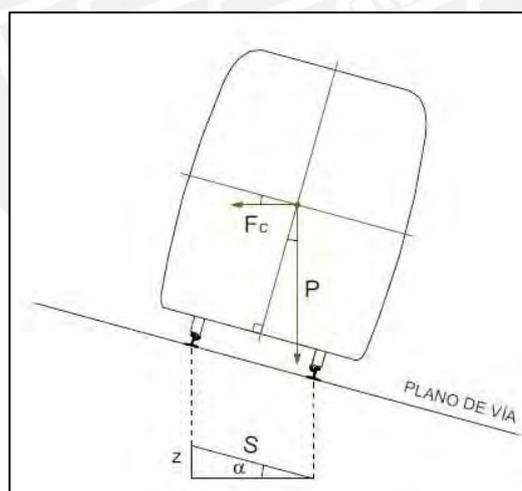


Ilustración D1: Esquema de fuerzas en plano inclinado

La fuerza centrífuga no puede ser totalmente compensada por el peralte, ya que las inclinaciones serían muy elevadas, lo que podría causar el volteo del material rodante. Se define peralte teórico, al peralte que compensaría totalmente la fuerza centrífuga:

$$Z_t = \frac{V^2 S}{R g}$$

Donde:

Zt: peralte teórico

V: Velocidad máxima

S: Distancia entre ejes de rieles

R: Radio de la curva

g: aceleración de la gravedad

Al utilizarse peraltes menores al teórico, se tiene una insuficiencia de peralte lo que conduce a la aparición de aceleraciones no compensadas. Estas aceleraciones no compensadas generan movimientos en las cajas de los trenes, por ende, afecta el confort de los usuarios produciendo sensación de mareo o inestabilidad en viajeros de pie. Estas aceleraciones son limitadas por las administraciones ferroviarias.

La aceleración no compensada se calcula como:

$$a_{nc} = \frac{V^2}{R} - \frac{g}{s} Z$$

Donde:

anc: Aceleración no compensada

V: Velocidad máxima

S: Distancia entre ejes de rieles

R: Radio de la curva

g: aceleración de la gravedad

Z: peralte instalado

Curvas de transición

Las curvas de transición permiten establecer una variación gradual entre las alineaciones rectas y curvas, además de permitir la incorporación progresiva del peralte. El trazado más utilizado y generalizado es el de la clotoide a pesar que, en la normativa de diseño de vías férreas del Perú de 1978 se establece el uso de la Parábola Cúbica para las curvas de transición.

Ecuación de la clotoide:

$$R * L = A^2$$

Donde:

A: Parámetro de la clotoide

L: Longitud de la clotoide

R: Radio de curvatura correspondiente a dicha longitud

La longitud de curva de transición está limitada por sus efectos en la seguridad de circulación (alabeo por rampa de peralte), confort en los viajeros (variación de la aceleración no compensada y velocidad de elevación) y desgaste de vía.

Trazado en elevación

Para realizar un buen trazado en elevación se deben conocer las características del material motor que circulará por la línea a diseñar ya que, dependiendo de la potencia del motor se limitará las pendientes máximas a lo largo del trazado. Usualmente las máximas pendientes están en el orden de 3% al 4%, y en estaciones se limita a 2%, por la fuerza necesaria para el arranque del material rodante.

Curvas de acuerdo vertical

Para conseguir la unión entre rasantes, se implementan curvas verticales. Se utilizan parábolas definidas por un parámetro K_v , a partir de la cual, la longitud de curva vertical queda definida como:

$$L = K_v * \phi$$

Donde:

L: Longitud de curva

ϕ : Valor absoluto entre las diferencias de las inclinaciones de las rasantes unidas

Cabe mencionar que, las entradas y salidas en los acuerdos verticales producen cambios bruscos en la aceleración vertical, por lo que se limita la longitud de la curva a:

$$L_{min} = \frac{V_{max}}{2}$$

Donde:

L: Longitud de curva

V_{max} : Velocidad máxima del material rodante

Anexo 7: Industrialización de montaje de vía

La construcción de las vías férreas se realiza por un proceso repetitivo de montaje que, a lo largo de los años, las empresas de maquinaria han innovado en automatizar el proceso.

A continuación, se presentan dos métodos de montaje industrializado: el montaje por aparejos, que consiste principalmente en pre-montar los durmientes y rieles; y la construcción mediante trenes mecanizados, proceso utilizado para largas distancias, usualmente para líneas de alta velocidad.

Montaje por Aparejos

El montaje por aparejos consiste en pre-montar los durmientes al riel formando una “parrilla” o “aparejo” en un taller de armado. Luego estos son transportarlos al lugar de colocación con pórticos hidráulicos [Hydraulic Track Laying Portal Crane], montados sobre orugas o tracción por ruedas ferroviarias [como obra preliminar debe colocarse previamente rieles a un ancho mayor al construir].



Figura A7-1: Pórtico Hidráulico con orugas
Fuente: Kirow. Desecc Tracklayer

Trenes Mecanizados

Existen trenes mecanizados que cuentan con un sistema de construcción continua de línea. Por ejemplo, en la Figura A7.-2 se muestra el Tren Mecanizado Plaseer SVM 1000 de Plasser & Theurer. Esta máquina solo necesita que se realice el afirmado de la plataforma y que se posicionen los rieles. Los trenes mecanizados cuentan, usualmente, con una grúa pórtico que posiciona las parrillas, bateadora, reguladora y la estabilizadora dinámica de vía.



Figura A7-2: Sistema de Máquinas SVM 1000
Fuente: Plasser & Theurer

Anexo 8: Proceso de Re-concesión de la Línea 1 del Metro de Lima

En este apartado se recopila el complicado proceso de concesión para retomar el proyecto del tren eléctrico y una recopilación fotográfica del proyecto.

El proceso de concesión

La línea 1 tuvo muchos problemas para retomar su construcción, luego de quedar abandonado en el primer gobierno de Alan García. Había mucha incertidumbre hacia el éxito y sustentabilidad económica de la explotación de la línea, lo que dificultó el proceso de licitación de la misma. A continuación, se detallarán las medidas que se tomaron para lograr la concesión de construcción y explotación de la línea 1.

El proyecto abandonado

La línea 1 del Metro de Lima inició su construcción en 1986 en el primer gobierno de Alan García, se proyectaba construir 33 km de línea férrea desde Villa el Salvador a Comas financiado con el tesoro público. Las obras de infraestructura fueron ejecutadas por diversos contratistas nacionales, se realizaron más de 50 contratos por construcción; y para el suministro de instalación, pruebas y puesta en marcha se suscribió el contrato con el Consorcio TRALIMA (Fiat, Ansaldo, Breda, entre otros proveedores italianos), quienes adquirieron el primer material rodante de la línea. Pero debido a la hiper-inflación y crisis política de esos años, el proyecto fue abandonado. Se logró construir 9.2 km de viaducto continuo y 5 estaciones [desde Villa el Salvador hasta el puente Atocongo, ubicadas a nivel de superficie].

Quedaron tramos inconclusos en la Av. Aviación hacia la Av. Miguel Grau. Dentro del tramo continuo, en abril de 1990 se inauguraron 2km de vía de forma “experimental”, por

conveniencias políticas. En la Figura A8.1 se observa a Alan García inaugurando el tramo experimental, previo el fin de su gobierno en julio de mismo año.

Se intentó brindar el servicio de transporte con el tramo inaugurado, pero este no llegaba a distritos céntricos, por lo que la obra quedó poco utilizable. En los años posteriores, para evitar el deterioro de los equipos electromecánicos y trenes, estos operaron internamente (CAF, 2015).



Figura A8.1: Inauguración Tramo “Experimental” del Metro de Lima (2 km)
Fuente: Archivos Históricos del Comercio (28 de abril de 1990)

Primer intento de concesión [2003-2006]

En el año 2003, la Municipalidad de Lima, a quienes se les transfirió la ATTE y el proyecto (Decreto de Urgencia 058-2001), bajo la alcaldía de Luis Castañeda Lossio, se intentó concesionar la construcción de la línea hasta el Hospital 2 de Mayo [Av. Grau], con el fin de aumentar la demanda y poder explotar la línea. El contrato comprendía la construcción, el equipamiento y la operación comercial del tramo Villa el Salvador-Av. Grau [Tramo1], bajo

la modalidad “llave en mano”. Por causa de las incertidumbres de los estudios de demanda, la licitación fue cancelada en 2006 por “falta de condiciones” (CAF, 2015).

Segundo intento de concesión [2007-2009]

A inicios del 2007, la Municipalidad de Lima, esta vez en convenio con PROINVERSIÓN, llamó nuevamente a concurso. La concesión propuesta tenía una estructura de asociación público privada del tipo DFBOT [Design, Finance, Build, Operate and Transfer], pero de igual manera que en el primer intento, por incertidumbre de la demanda y crisis económica del 2008, ningún postor presentó oferta y el proceso fue declarado desierto en enero del 2009.

Tercer intento de concesión [2009-2010]

A partir de los intentos fallidos, se replanteó la ruta de la línea y la estructuración financiera del proyecto. La ruta fue modificada para aumentar la demanda de pasajeros, se propuso unir los distritos de Villa el Salvador con San Juan de Lurigancho [en lugar de Comas], ya que San Juan de Lurigancho es una zona residencial más densa con una única avenida de acceso [Av. Próceres de la Independencia-Av. Fernando Wiesse], y por la geografía limeña es un distrito “encerrado” entre cerros. Estos factores harían al tren un servicio más atractivo y aumentaría la demanda.

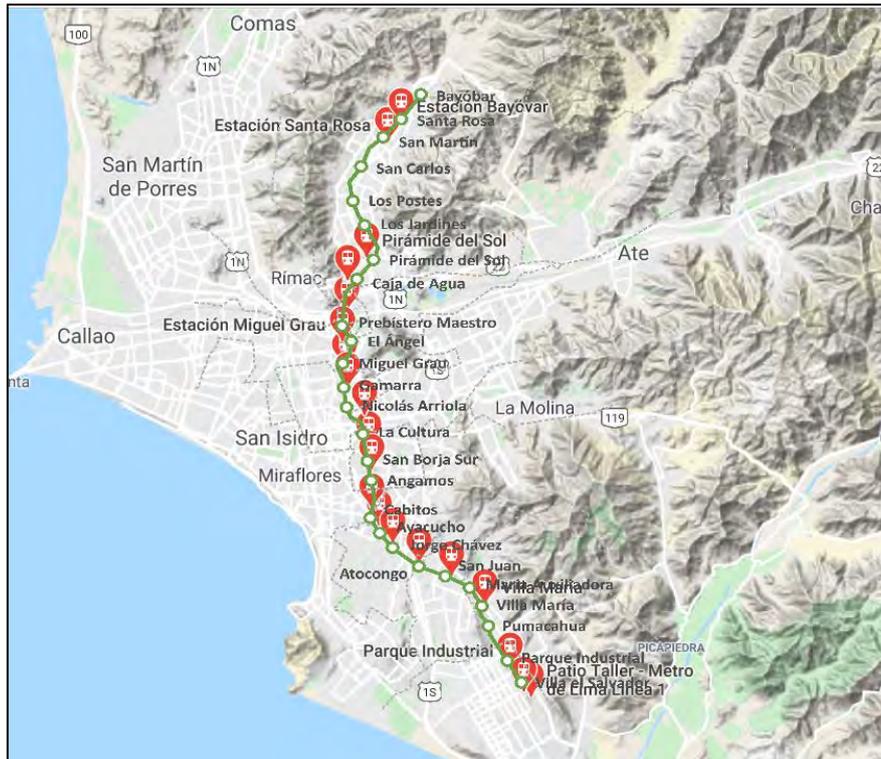


Figura A8-2: Ruta de la línea 1 Villa el Salvador – San Juan de Lurigancho
Elaboración propia

En cuanto al ámbito financiero, se realizaron varios cambios, para esto la AATE regresó a formar parte del MTC (2009). Se decidió realizar dos contratos separados, uno que comprendía la construcción e implementación de componentes electromecánicos; y otro para la operación y explotación de la línea.

La construcción se realizó como obra pública bajo oferta a Precios Unitarios dividiendo la línea en 2; el Tramo 1 de las estaciones Villa el Salvador - Grau y el Tramo 2 de Grau – San Juan de Lurigancho. El consorcio ganador fue “Consortio Tren Eléctrico” conformado por la empresa brasileña Odebrecht y la constructora peruana Graña y Montero. La supervisión de obra estuvo a cargo del consorcio Cesel Ingenieros y Pöyry.

Para el contrato de operación y explotación, se estableció que el Estado se hacía responsable del riesgo de demanda, esto quiere decir que el Estado remuneraría al concesionario por la prestación del servicio [pago por Trenes-kilómetro Garantizados y

adicionales]. Resultó ganador el consorcio Tren Lima integrado por las empresas Graña y Montero [Perú] y Ferrovías [Argentina], con una participación de 75% y 25%, respectivamente.

Concesión actual de operación y explotación

La operación y explotación de la línea 1 fue concesionada en el 2011, por PROINVERSIÓN con una estructura de asociación público-privada a favor de la Sociedad Concesionaria GyM Ferrovías SA [Tren Lima]. La supervisión y regulación del cumplimiento del contrato de concesión está a cargo de la OSITRAN [Organismo Supervisor de la Inversión de la Infraestructura de Transporte de Uso Público].

En el contrato de concesión se establecieron los siguientes obligaciones y responsabilidades:

- **Remuneración:** El Estado peruano se compromete a remunerar al concesionario por la circulación de trenes. El Estado estableció que se remuneraría por 2.603.453 “Trenes-Km Garantizados”. En caso de ser necesario mayor prestación de servicio, el Estado remuneraría al concesionario por los “Trenes-Km Adicionales”
- **Ingresos adicionales:** El concesionario tiene derecho a percibir los ingresos por alquiler de espacio en las estaciones y alquiler de publicidad en las estaciones y coches.
- **Inversiones Obligatorias:** El concesionario tiene a su cargo construir la ampliación del patio-taller de mantenimiento mayor para material rodante e incorporar nuevo material rodante [un total de 19 trenes- 95 coches].
- **Inversiones Adicionales:** El concesionario podría proponer la realización de inversiones adicionales para mejorar la calidad de servicio. Dichas inversiones serían financiadas por el concesionario y repagadas por el concedente.
- **Tarifa:** La tarifa es establecida por el Estado. El concesionario efectuará la recaudación de cobros de pasaje.

En la Tabla A8-1 se presenta un resumen de los datos generales de la concesión de la Línea 1.

Tabla A8-1:

Datos Generales de la Concesión de la Línea 1

DATOS GENERALES DE LA CONCESIÓN	
Concesionario	Sociedad Concesionaria GyM Ferrovías S.A.
Accionistas de la Concesión	Graña y Montero S.A.A. Ferrovías Participaciones S.A.
Tipo de Concesión	Cofinanciada (Asociación Pública Privada - APP)
Factor de competencia	Precio por Kilómetro Tren Garantizado (PKT); Precio por Kilómetro Tren Adicional (PKTA)
Inversión comprometida referencial	USD 202,55 millones (inc. IGV)
Inversión comprometida en la Adenda N° 4	USD 469,16 millones (inc. IGV) ^{1/} .
Inversión acumulada al 2018	USD 582,18 millones (inc. IGV) ^{2/} .
Inicio de la Concesión	11 de abril de 2011
Vigencia de la Concesión	30 años
Número de Adendas	4

^{1/}. En el marco de la Adenda N° 4 se tiene prevista ejecutar inversiones en Material Rodante Trenes, Material Rodante Coches y Obras.

^{2/}. El monto de inversión ejecutada en el marco de la Adenda N°4 (22/07/2016), asciende a USD 379,63 millones (inc. IGV)

Fuente: OSITRAN. Informe de Desempeño 2018, Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, Línea 1.



Fotografías: Infraestructura del Tramo Construido (1990)



Figura: Infraestructura inconclusa abandonada en Av. Aviación, Suquillo

Fuente: Organización Basurama Lima

https://www.basurama.org/b10_rus_lima.htm



Figura: Infraestructura inconclusa abandonada Av. Tomas Marsano

Fuente: Archivos Perú 21 20 de septiembre del 2009

Anexo 9: Fotografías de Proceso Constructivo Línea 1

Rehabilitación de vía



Fotografía A9.1: Colocación de balasto con pala mecánica
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía A9.2: Tren de remolque Titan
Fuente: Informe mensual de Supervisión

Construcción de Nueva Vía Férrea Sobre Balasto

Topografía



Fotografía: Punto topográfico en tablero elevado
Fuente: Informe mensual de Supervisión

Montaje de Manta antivibratoria



Fotografía: Colocación de sistema RockBallast sobre tablero de viaducto
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Sistema Antivibratorio Rock Ballast-Rock Delta
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Colocación de sistema Antivibratorio Rock Ballast-Rock Delta
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Sistema Antivibratorio Rock Ballast-Rock Delta instalado

Fuente: Informe mensual de Supervisión



Pre-lanzamiento de balasto



Fotografía: Transporte de balasto por Faja transportador (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Compactación de primera capa de balasto (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión

Colocación de durmientes sobre el balasto



Fotografía: Izado de durmientes con eslinga (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Izado de durmientes con portadurmientes (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Pre posicionamiento de durmientes (Superficie)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Acarreo de durmiente de forma manual con tenazas (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión

Colocación y fijación de rieles sobre los durmientes



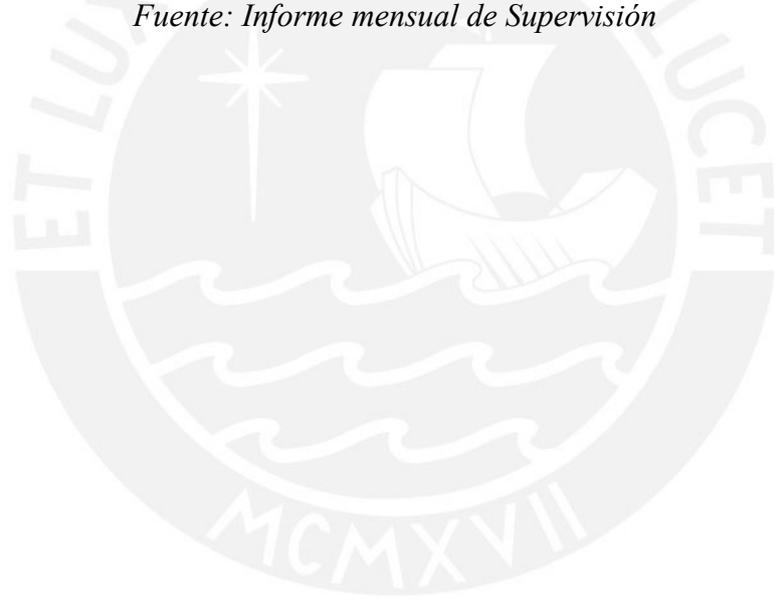
Fotografía: Izado de riel (Viaducto elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Acarreo de riel con tenazas (Viaducto elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Colocación de Clip Pandrol con Panpuller (Viaducto elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Pre alineamiento de escalera



Fotografía: Track-Lifting Slew Machine Geismar en alineamiento de zona de cambia vías (durmientes de madera)

Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Escalera Pre-alineada, antes de completar balasto

Fuente: Informe mensual de Supervisión

Balasto a complementar



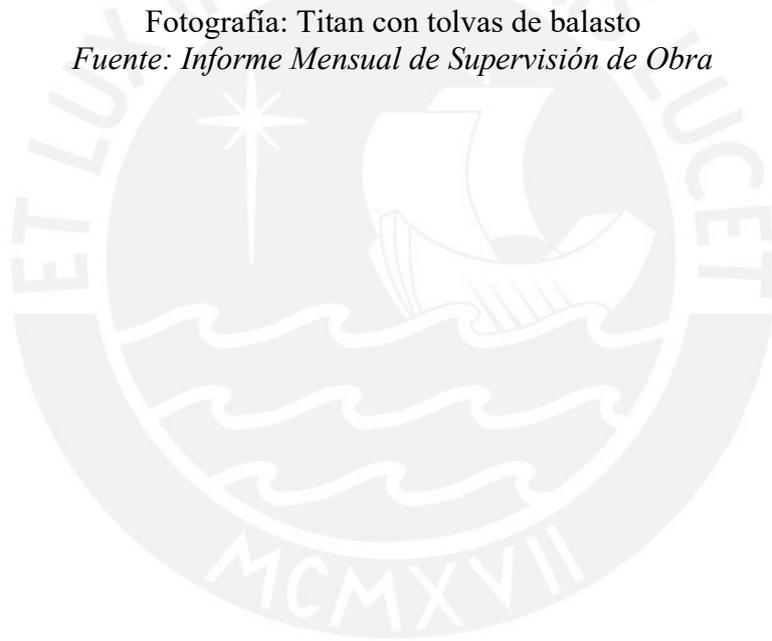
Fotografía: Vagones con balasto a completar (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe Mensual N27, 2013



Fotografía: Vagones con balasto a completar (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Titan con tolvas de balasto
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra



Correcciones geométricas con compactación de balasto



Fotografía: Perfiladora de balasto
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Perfiladora de balasto
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Bateadora y perfiladora de balasto
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Bateadora de balasto
Fuente: Informe mensual de Supervisión

Soldadura de rieles



Fotografía: Soldadura Eléctrica (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión



Fotografía: Soldadura aluminotérmica (Viaducto Elevado)
Fuente: Informe mensual de Supervisión

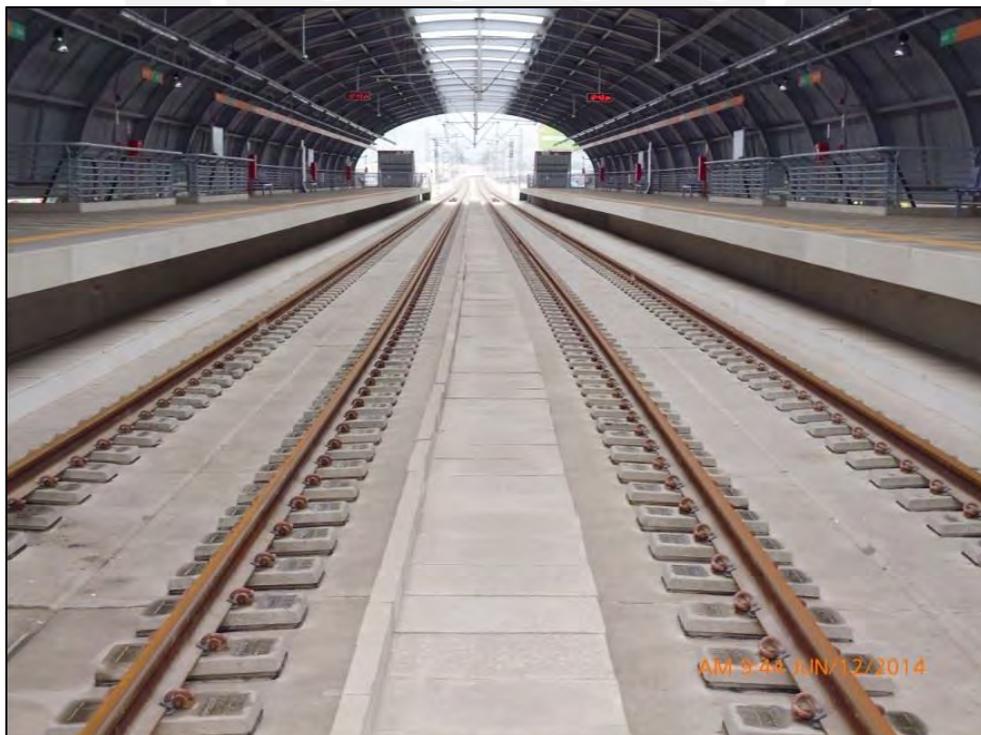
Construcción de Sistema Sonneville/LVT

Lugares de aplicación:



Fotografía: Tramo Sistema Soneville/LVT (Progresivas 12+267.221 a 12+588.685)

Fuente: Línea 1 (Página web oficial)



Fotografía: Sistema Sonneville/LVT en Estación San Carlos

Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra



Fotografía: Entrada a Patio de Maniobras (Vista hacia progresivas descendientes)
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra

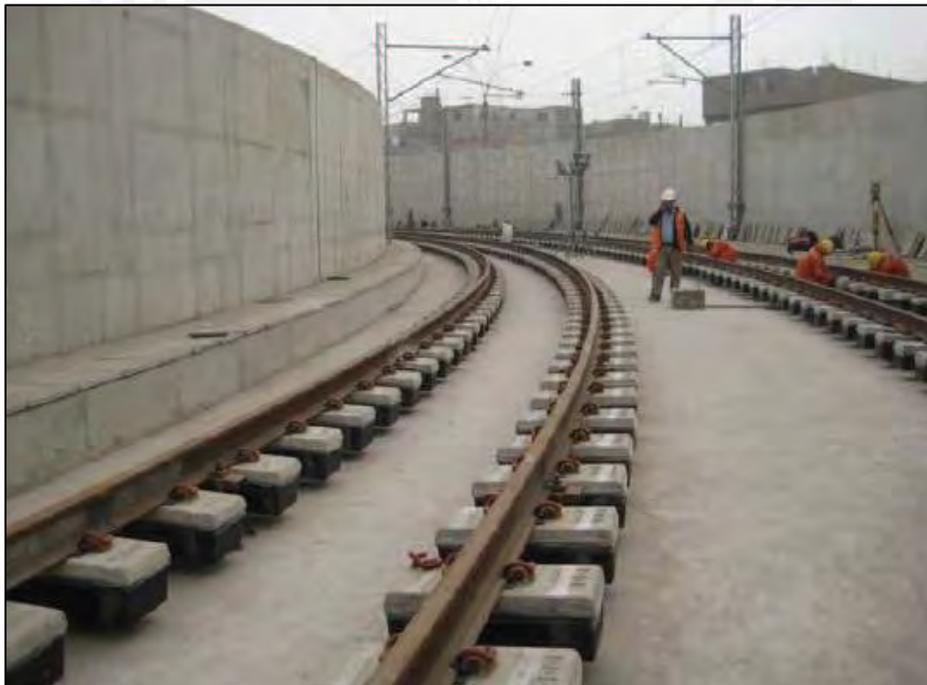


Fotografía: Final de cola de vía
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra

Proceso Constructivo Sonneville LVT:



Fotografía: Izado de Bloques de Concreto
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra



Fotografía: Instalación de Sistema Sonneville LVT
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra



Fotografía: Verificación de geometría de vía Sistema Sonneville LVT
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra



Fotografía: Curado de concreto Sistema Sonneville LVT
Fuente: Informe Mensual de Supervisión de Obra

Patio de Maniobras Bayovar



Fotografía Aérea del Patio de Maniobras. San Juan de Lurigancho
Fuente: Milton Ausejo

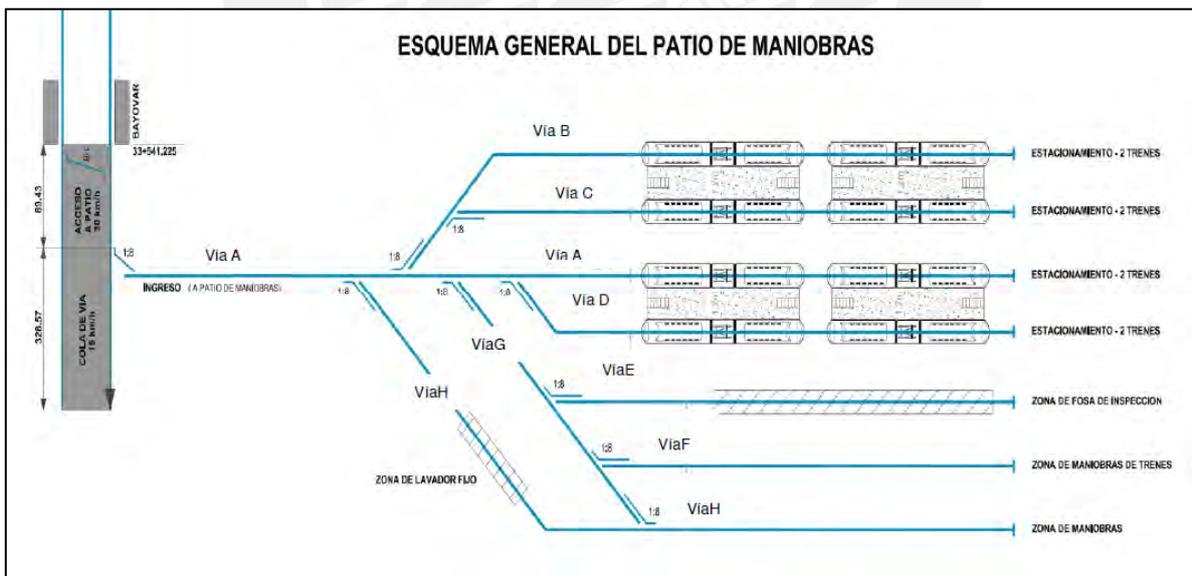
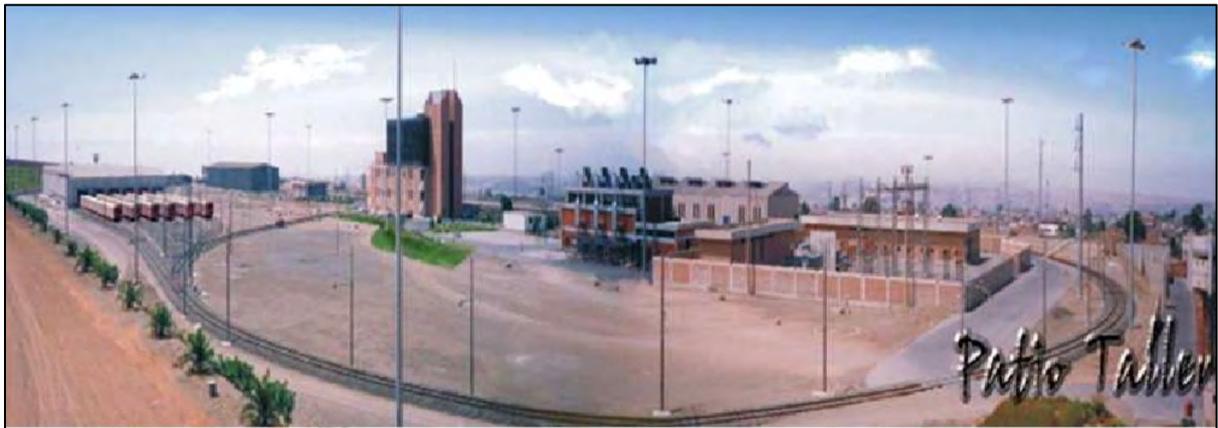


Figura: Esquema General del Patio de Maniobras
Fuente: Memoria Descriptiva Tren Eléctrico

Patio Taller Villa El Salvador



Fotografía: Patio Taller Villa El Salvador 1992

Fuente: AATE



Fotografía: Exterior Taller de Mantenimiento Material Rodante

Fuente: OSITRAN



Fotografía: Interior Taller de Mantenimiento Material Rodante
Fuente: OSITRAN



Fotografía: Parqueadero de trenes Villa El Salvador
Fuente: OSITRAN

Construcción de Alto Impacto Línea 1 - Adenda N°4



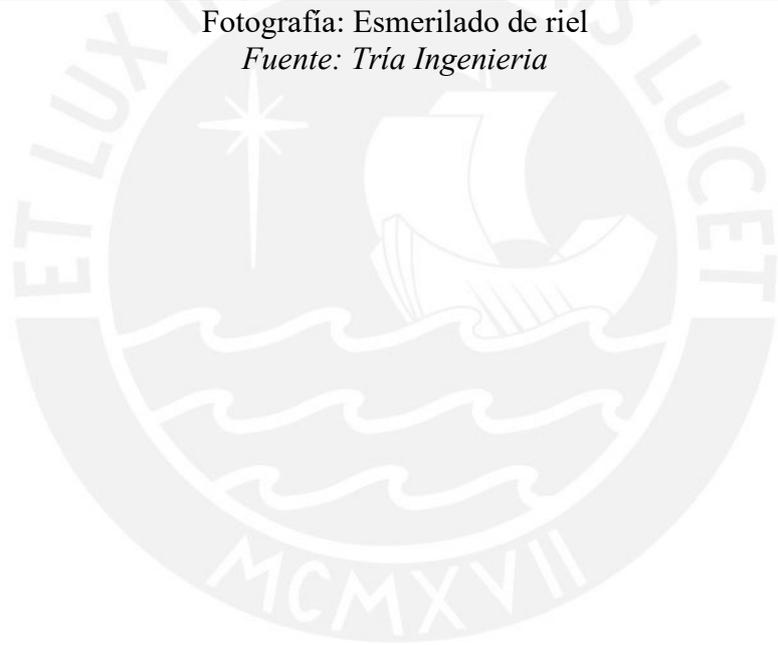
Ubicación de nuevos cambiavías – Adenda N° 4
Fuente: Tría Ingeniería



Fotografía: Montaje de aparejos y cambia vías mediante pórticos
Fuente: Tría Ingeniería



Fotografía: Esmerilado de riel
Fuente: *Tría Ingeniería*



Anexo 10: Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SAC

La construcción y explotación de la Línea 2 y el ramal Faucett – Gambetta, fue adjudicado en marzo del 2014 bajo un esquema de Asociación Público-Privada (APP) en modalidad de concesión cofinanciada por el diseño, construcción, financiación, operación, mantenimiento y transferencia (DCFOMT), por un periodo de 35 años (incluyendo el tiempo de construcción), a favor de la “Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SAC”. Este consorcio está formado principalmente por Iridium (Grupo ACS-España) con una participación del 25%, seguido por el grupo FCC (Fomento de Construcciones y Contratas, S.A.) con una participación del 18,25%. Los porcentajes restantes corresponde a Salini Impregilo (18,25%), Hitachi STS (16,9%), Hitachi Rail Italy (11,6%) y la empresa peruana Cosapi con un 10%. (El Mercurio, 2019)

Alineamiento Institucional

El contrato de concesión establece una relación directa entre el MTC, asesorado por la AATE (actualmente ATU) y por la Dirección General de Asuntos Socio Ambientales (DGASA), con el concesionario Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2 SAC.

Al tratarse de una concesión de infraestructura, la responsabilidad de regulación de la construcción y actividades de explotación corresponde a OSITRAN, quien para realizar la supervisión integral de la concesión del proyecto contrató al “Consortio Supervisor Internacional Línea 2” conformado principalmente por Cesel SA (Perú), seguido de las empresas *China Railway First Survey and Design Institute Group Co.* y *Xi'An Engineering Consultancy & Supervisión Co.* de China; y *Dohwa Engineering Co.* y *Busan Transportation Corporation* de Corea del Sur. (OSITRAN, 2015) Adicionalmente, OSITRAN contrató a la empresa CERTIFER, para el asesoramiento independiente de seguridad de acuerdo a la norma

EN 50126 (Norma referente a la demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad de las aplicaciones ferroviarias -RAMS). (OSITRAN, 2015)

Es importante mencionar que, la Municipalidad Metropolitana de Lima y Callao, a pesar de no participar directamente en el proyecto, tiene un rol importante ya que depende de esta entidad la designación y liberación de los espacios a utilizar por el Metro, como son las salidas de aire y salidas de emergencia.

En cuanto a los contratos celebrados por el concesionario, las bases del contrato de concesión establecían que este debía contar con un Asesor Técnico de operación, para la puesta en marcha y la explotación de la línea, por lo que la sociedad concesionaria optó como Asesor Técnico por el Metro de Madrid.

Para el diseño y construcción o EPC (Engineering, Procurement and Construction), la sociedad concesionaria se fracciona en el Consorcio Constructor M2 Lima encargado de la infraestructura y superestructura; Ansaldo STS (Hitachi Rail STS) encargado de la señalización y seguridad ferroviaria; y Hitachi Rail Italy encargado del material rodante.

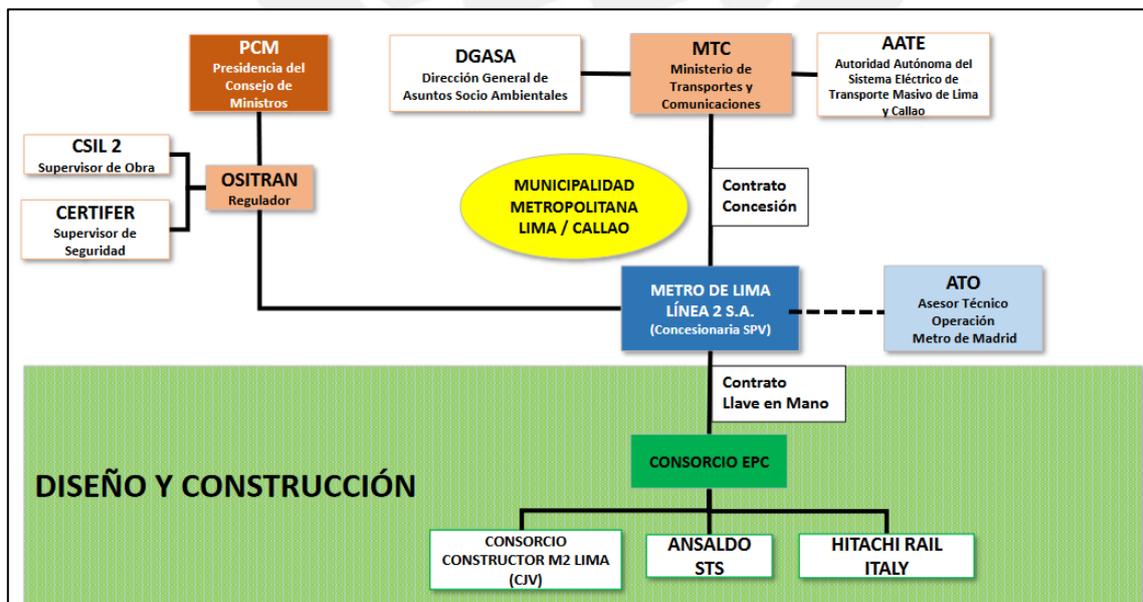


Figura: Alineamiento Institucional
 Fuente: Alineamiento Institucional. Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2

Financiamiento:

El monto del contrato asciende a 5.720 millones de dólares, de los cuales el Gobierno Peruano es responsable de la financiación del 70%, que corresponde a US\$ 4,247 millones. El concesionario se hace responsable del financiamiento del 30% restante, que corresponde a US\$ 1,473 millones. (Gestión, 2016)

Total (mm USD)	Concepto (mm USD)	Financiamiento (mm USD)	
		Publico	Privado
INVERSION (5,658)	Infraestructura (4,463)	Cofinanciamiento (3,296)	Financiamiento Privado (1,347)
	Material Rodante (525)	Cofinanciamiento (399)	Financ. Privado (126)
	Expropiaciones (489)	Aporte Publico (489)	

Figura: Esquema de Financiación del Proyecto Línea 2 y Ramal Faucett-Gambetta
Fuente: Perfil de Proyecto. Banco Interamericano de Desarrollo

Para la financiación de los montos mencionados correspondientes al concesionario, en el 2015 este realizó 2 tipos de financiación: i) una emisión de bonos por un importe de USD 1.155 millones colocada públicamente entre un grupo de inversores institucionales, y ii) un tramo de financiación bancaria por un importe de USD 800 millones. Los bancos que participaron fueron Cassa depositi e prestiti proporcionando cerca de 290 millones de dólares; KfW IPEX-Bank, Banco Santander y Société Générale, 150 millones de dólares cada uno, y el Instituto de Crédito Oficial (ICO) español con 60 millones de dólares. (El Economista, 2015)

En cuanto al Estado Peruano, este solicitó créditos al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por USD 750 Millones, al Banco Mundial por USD 300 Millones, al Banco

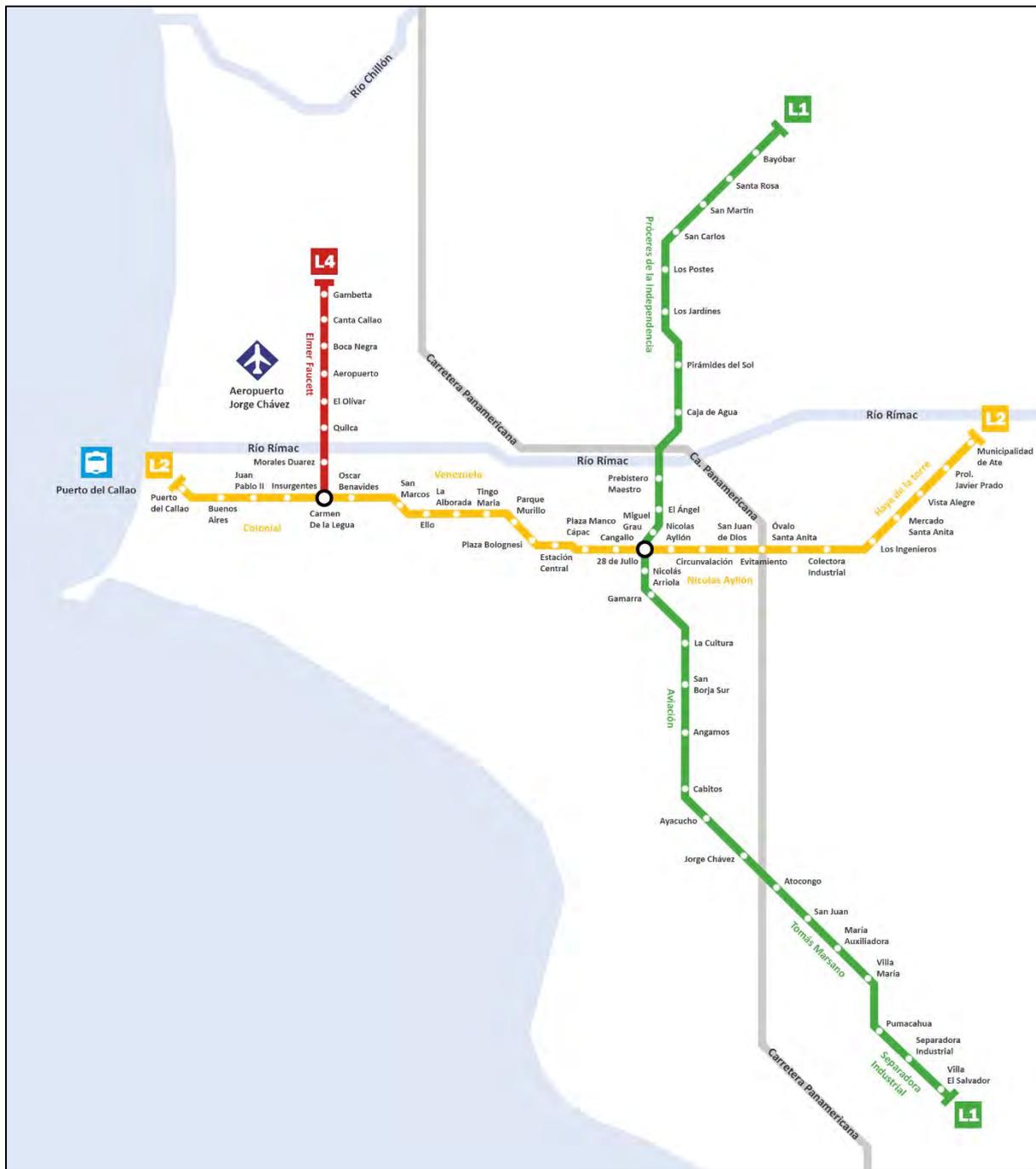
de Desarrollo de América Latina (CAF) USD 150 Millones y otras entidades para cubrir la inversión. (CAF, 2014)

Cronograma y Plazos

A partir de la firma del contrato en el 2014, el cronograma inicial preveía la culminación de las obras para el 2019, con la apertura del tramo 1A en el 2016. Las principales razones de retrasos de fechas corresponden al incumplimiento de entrega de terrenos por parte del Estado y demoras en aprobaciones de EDI's (Estudios Definitivos de Ingeniería) por parte de la supervisión. Ambos casos se encuentran en una demanda de arbitraje frente el CIADI [Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones]. (Diario Gestión, 2017)

Para el 2018 se firmó la Adenda N°2 al contrato de concesión, en el cual se sinceraron las fechas de apertura e inicios de operación. Se estima la inauguración de la etapa 1A para este año 2020. (Adenda N°2, 2018)

Detalles de rutas e interconexiones de la Línea 2

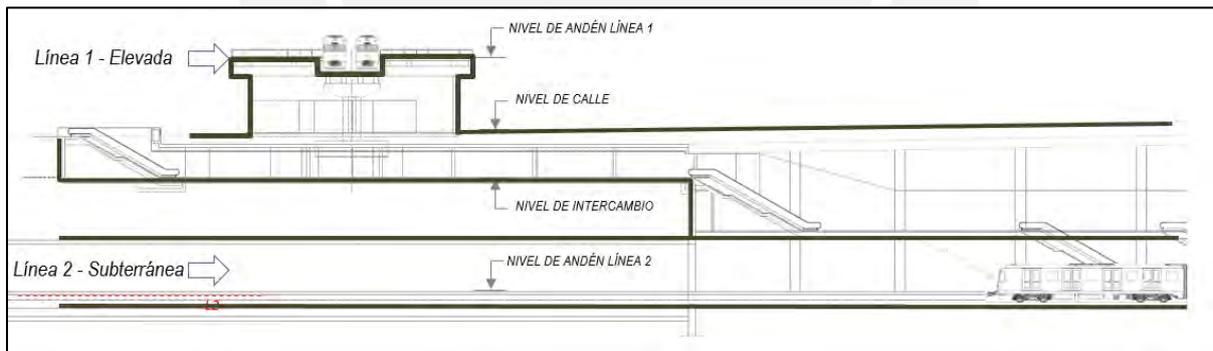


Ruta de Línea 2, ramal Faucett – Gabetta y Línea 1

Interconexión Línea 2 y Línea 1

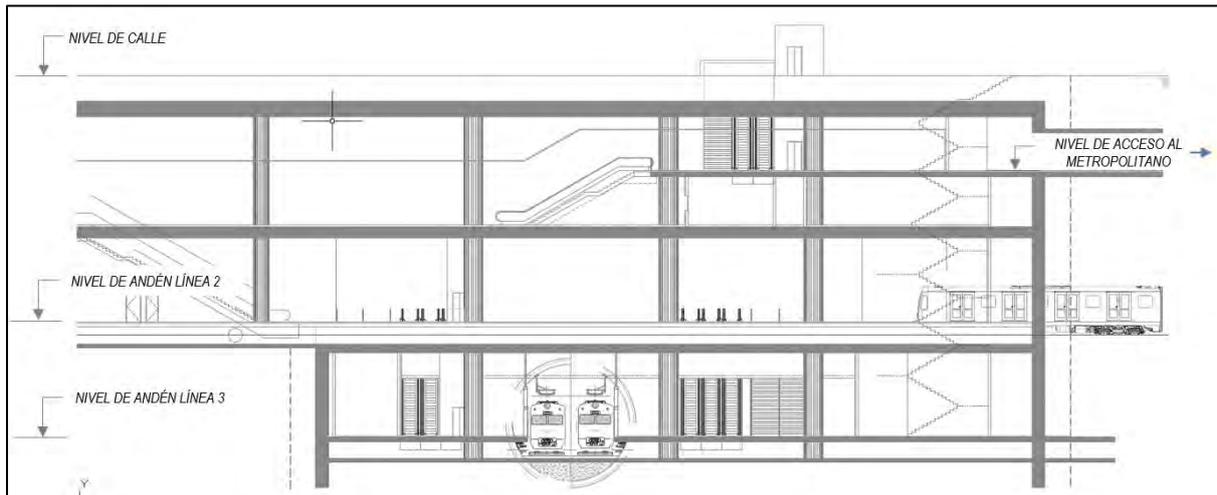


Render Nueva Est. 28 de Julio L1 y Est. 28 de Julio L2



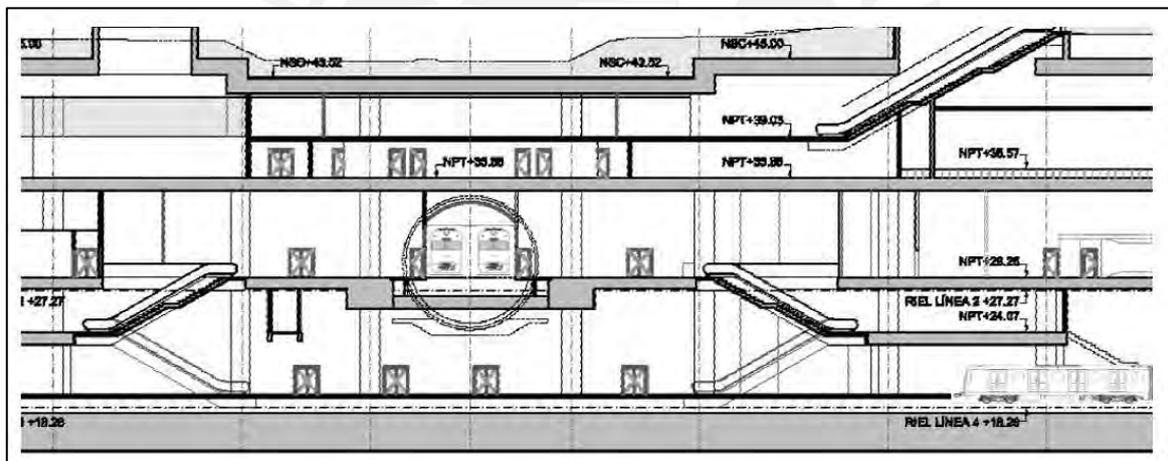
Corte y distribución estaciones 28 de Julio Línea 1 y Línea 2

Interconexión Línea 2 y Línea 3



Interconexión L2 con L3 y Metropolitano-Estación Central

Línea 2 y Línea 4



Interconexión L2 y L4 - Estación Carmen de la Legua



Render Interconexión Estación Carmen de la Legua

Anexo 11: Fotografías de Proceso Constructivo Línea 2

Patio Taller



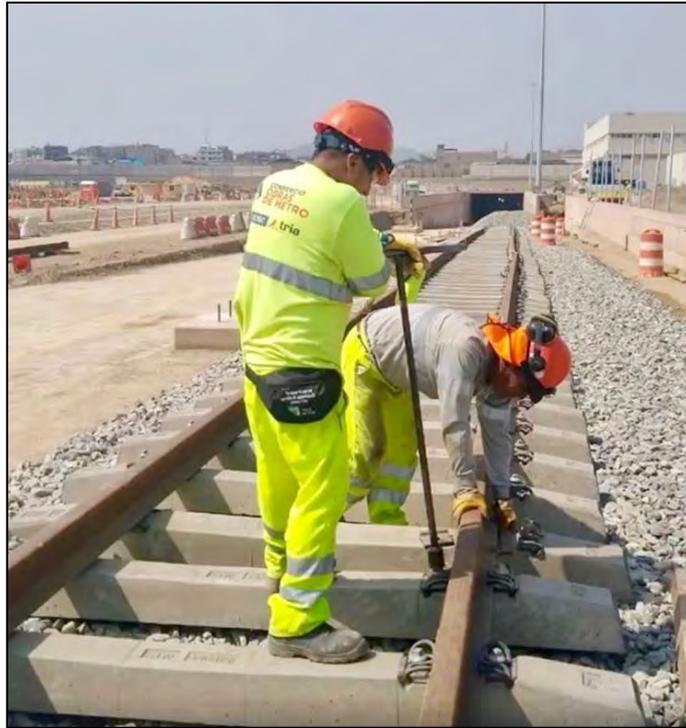
Fotografía:

Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Bateadora de Balasto

Fuente: Metro de Lima y Callao - News



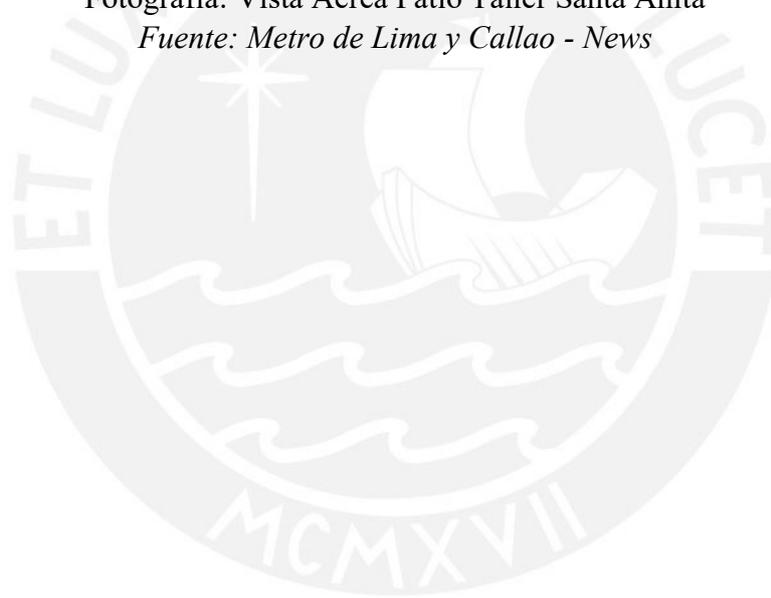
Fotografía: Ajuste de sujeciones
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Acopio de durmientes
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Vista Aérea Patio Taller Santa Anita
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Montaje de desvíos:



Fotografía: Izaje y acarreo de desvíos
Fuente: Metro de Lima y Callao - News

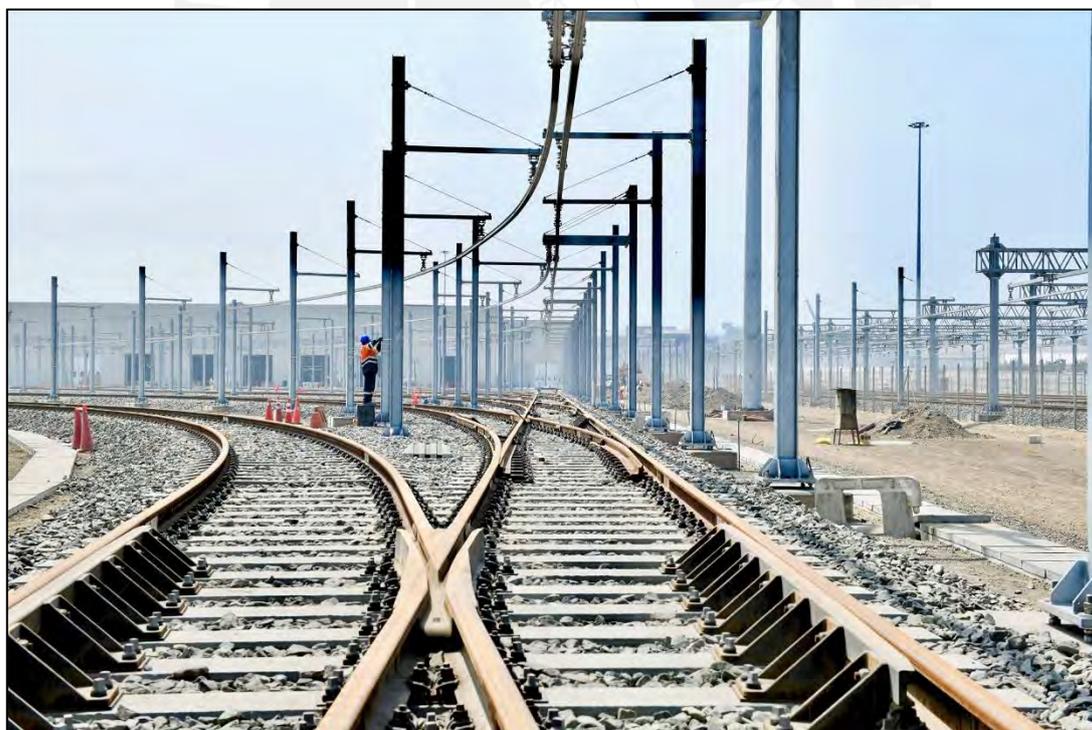


Fotografía: Vista aérea de desvío patio taller
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Vista aérea de desvío patio taller

Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Desvío entrada a Taller de mantenimiento

Fuente: Metro de Lima y Callao - News

Vía en Placa

Mesa de Trabajo en Patio Taller Santa Anita:



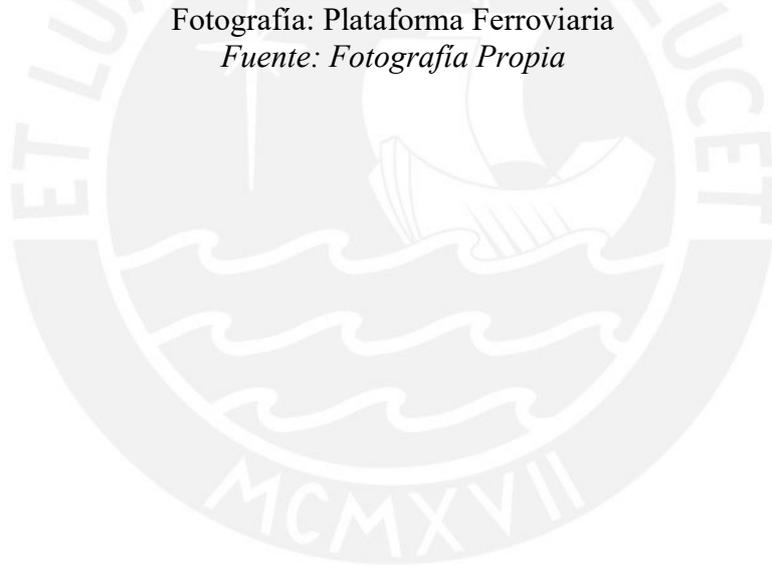
Fotografía: Mesa de Trabajo Ensamble de Sujeciones Vossloh
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Acero para refuerzo para losa de vía en placa
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Plataforma Ferroviaria
Fuente: *Fotografía Propia*



Soldado previo de rieles para curvas:

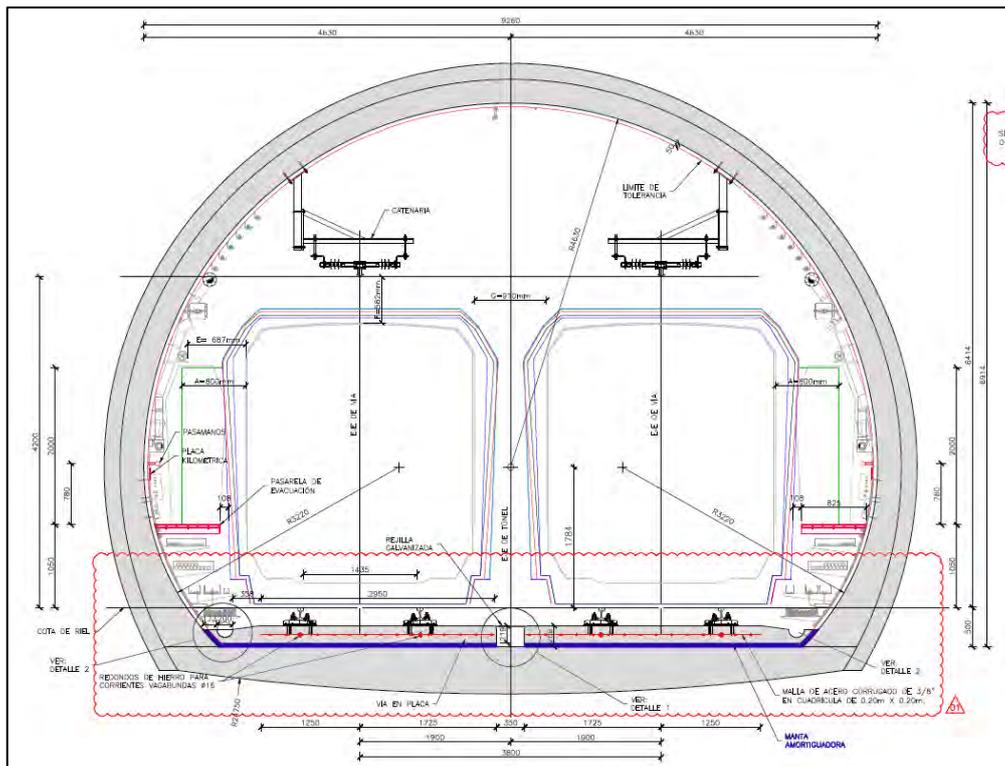


Fotografía: Soldadura aluminotérmica en banco de trabajo
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Equipo de trabajo soldadura aluminotérmica de riel
Fuente: Metro de Lima y Callao - News

Secciones con lana de roca:



Plano: Sección Túnel NATM con Manta Antivibratoria

Fuente: Plano de Superestructura. Sociedad Concesionaria Metro de Lima Línea 2



Manta anti-vibratoria de lana de roca

Fuente: Metro de Lima y Callao - News

Sujeciones Vossloh instaladas:



Fotografía: Sujeción Vossloh 336 con precinto provisional
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Sujeción Vossloh 336 Instalada
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Sección de vía en placa con Vossloh 336 SD
Fuente: Fotografía Propia



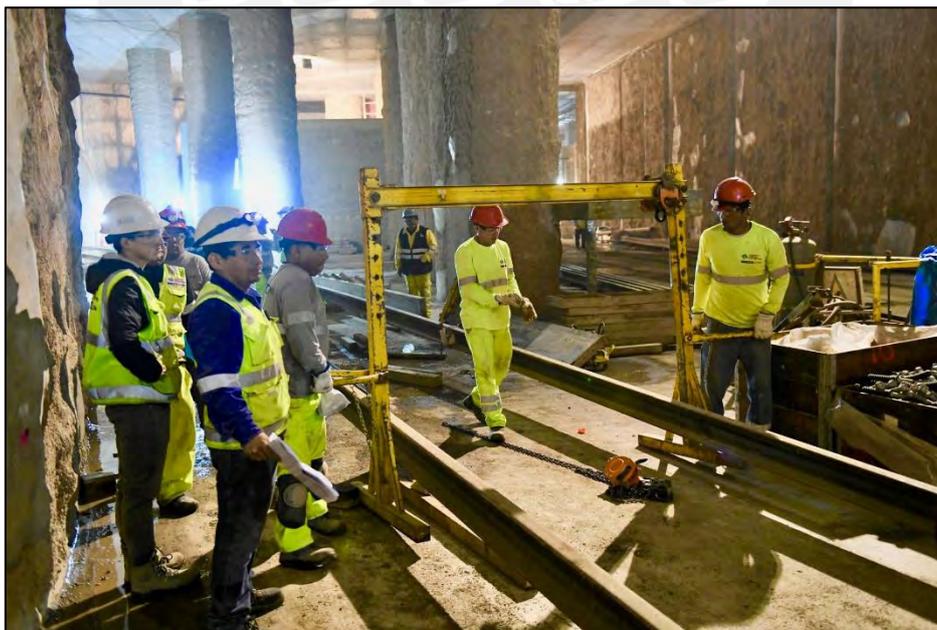
Fotografía: Sección de vía en placa con Vossloh 336 SD

Proceso Constructivo de vía Principal



Posicionamiento de riel en túnel con minicargador

Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Izado de rieles con grúa para colocación de tacos de madera

Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Instalación provisional de eclisas

Fuente: *Metro de Lima y Callao - News*



Fotografía: Falsas Traviesas montadas

Fuente: *Metro de Lima y Callao - News*



Fotografía: Instalación de acero de refuerzo
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Acero para corrientes vagabundas y sujeciones Vossloh 336 SD (Zona previa a
cambia vías)
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Encofrado Lateral
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Camión y bomba de concreto en túnel
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Vaciado de Concreto
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Curado de concreto con mantas de yute
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Soldadura Aluminotérmica
Fuente: Metro de Lima y Callao - News



Fotografía: Ajuste de pernos final
Fuente: Fotografía Propia



Fotografía: Contrarriel Tipo 33C1 en cambio de vía
Fuente: Fotografía Propia

