

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**METODOLOGÍA PARA MONTAJE DE NUEVOS ENLACES
EN VÍA PRINCIPAL EN OPERACIÓN DE LA LÍNEA 1 DEL
METRO DE LIMA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

RUDDY ANDREÉ CASHPA CAPCHA

ASESOR

M.Sc. EDWARD SANTA MARÍA DÁVILA

LIMA- PERÚ

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

CASHPA CAPCHA, Ruddy Andréé

rcashpac@uni.pe

+51 959291445

Dedico esta tesis a mis padres y a mi hermano, incondicionales a lo largo de mi vida, a quienes debo mi crecimiento personal y profesional, y a todo aquel que lucha por ambiciosos sueños con pasión y coraje aun cuando las circunstancias acontezcan adversas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi asesor, el M.Sc. Edward Santa María Dávila, por su guía fundamental y seguimiento desde la concepción hasta la culminación de este proyecto de investigación.

También, quiero agradecer a la empresa GyM y a mis compañeros de proyecto, con los que he vivido enriquecedoras experiencias en el mundo de la construcción como el montaje de alto impacto ferroviario, y con quienes se formuló y ejecutó la implementación de la metodología de montaje propuesta.

Asimismo, agradezco al ingeniero Dante Carrillo, líder de la experiencia de montaje de alto impacto y parte importante en la organización de la presente tesis. Además, brindo agradecimiento a mi familia, quienes me han brindado constante apoyo no solo durante el desarrollo de la tesis, sino en cada paso de mi vida.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi alma máter, la Universidad Nacional de Ingeniería, responsable de mi formación académica y mi pasión por la ingeniería civil, a la cual retribuyo lo brindado mediante la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
PRÓLOGO	3
LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. GENERALIDADES.....	9
1.2. PROBLEMÁTICA	10
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.3.1. Objetivo General	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	12
1.4. HIPÓTESIS.....	13
1.4.1. Hipótesis General	13
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	13
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	15
2.1. DEFINICIONES	15
2.2. CONCEPTOS	18
2.2.1. Descripción General del Ferrocarril.....	18
2.2.1.1. <i>Infraestructura</i>	18
2.2.1.2. <i>Superestructura</i>	18
2.2.1.3. <i>Material móvil</i>	19
2.2.1.4. <i>Electrificación</i>	19
2.2.1.5. <i>Sistema de control de tráfico</i>	19
2.2.2. Vía ferroviaria.....	19
2.2.2.1. <i>Características de la vía</i>	19
2.2.2.2. <i>Vía Convencional</i>	19
2.2.3. Componentes de la vía	20
2.2.3.1. <i>Rieles</i>	20
2.2.3.2. <i>Durmientes</i>	24
2.2.3.3. <i>Sistemas de fijación</i>	25
2.2.3.4. <i>Balasto</i>	27

2.2.4.	Continuidad de la vía	27
2.2.4.1.	Vía con juntas: Embridaje	27
2.2.4.2.	Vía sin juntas: Largo Riel Soldado	28
2.2.5.	Aparatos de vía	29
2.2.5.1.	Definición	29
2.2.5.2.	Tipos de aparatos de vía.....	29
2.2.5.3.	Componentes de un cambiavía.....	30
2.2.5.4.	Identificación de un cambiavía	32
2.2.6.	Geometría de la vía.....	34
2.2.6.1.	Parámetros	34
2.2.6.2.	Nivelación longitudinal	34
2.2.6.3.	Alineación vertical	34
2.2.6.4.	Peralte	34
2.2.6.5.	Ancho de vía.....	35
2.2.6.6.	Alabeo.....	35
2.2.7.	Gálibos.....	36
2.2.7.1.	Gálibo estático	36
2.2.7.2.	Gálibo dinámico	36
2.2.8.	Gestión de la producción.....	37
2.2.8.1.	Transformación-Flujo-Valor.....	37
2.2.8.2.	Flujos y desperdicios.....	38
2.2.8.3.	Mapeo del flujo de valor.....	40
2.3.	PROCEDIMIENTOS	42
2.3.1.	Estudio de gálibos para transporte de cambiavías	42
2.3.1.1.	Objetivos.....	42
2.3.1.2.	Evaluación de gálibos	42
2.3.1.3.	Revisión de entrevía	45
2.3.1.4.	Inscripciones mínimas en planta	45
2.3.2.	Premontaje de cambiavías.....	50
2.3.2.1.	Premontaje en Cola de Vía Bayóvar	50
2.3.2.2.	Premontaje en zona de premontaje de VES.....	54
2.3.2.3.	Premontaje en Tercera vía de Av. México.....	57
2.3.3.	Marcaje de obra	60
2.3.3.1.	Actividades previas	60
2.3.3.2.	Elementos de marcaje	60

2.3.4.	Pruebas dinámicas.....	63
2.3.4.1.	Antecedentes.....	63
2.3.4.2.	Objetivos.....	63
2.3.4.3.	Proceso constructivo.....	64
2.3.4.4.	Condiciones de validación.....	66
2.3.5.	Carga y descarga mediante PEM-LEM.....	67
2.3.5.1.	Medidas preventivas.....	67
2.3.5.2.	Casos de carga y descarga de cambiavías.....	67
2.3.6.	Soldadura aluminotérmica.....	71
2.3.6.1.	Medidas preventivas.....	71
2.3.6.2.	Actividades previas.....	72
2.3.6.3.	Proceso constructivo.....	72
2.3.6.4.	Trazabilidad.....	75
2.3.6.5.	Aseguramiento de calidad.....	75
2.3.7.	Montaje en vía existente.....	76
2.3.7.1.	Medidas preventivas.....	76
2.3.7.2.	Actividades previas.....	77
2.3.7.3.	Proceso constructivo.....	77
2.3.7.4.	Aseguramiento de calidad.....	82
2.3.8.	Entrega de vía al operador.....	83
2.3.8.1.	Objetivo.....	83
2.3.8.2.	Consideraciones.....	83
2.3.8.3.	Verificaciones.....	83
	CAPÍTULO III: ANTECEDENTES REFERENCIALES.....	86
3.1.	PEM-LEM: SISTEMA DE INSTALACIÓN DE PANELES Y CAMBIAVÍAS	
	86	
3.1.1.	Pórtico PEM.....	86
3.1.1.1.	Funcionamiento.....	86
3.1.1.2.	Datos técnicos.....	86
3.1.1.3.	Ventajas.....	87
3.1.2.	Lorry LEM.....	87
3.1.2.1.	Funcionamiento.....	87
3.1.2.2.	Datos técnicos.....	88
3.1.2.3.	Ventajas.....	89
3.2.	MÉTODOS DE INSTALACIÓN DE CAMBIAVÍAS.....	89

3.2.1.	Generalidades.....	89
3.2.2.	Tipos de instalación	89
3.2.3.	Fases de instalación	90
3.2.4.	Prácticas existentes	91
3.2.4.1.	<i>Práctica alemana (DB)</i>	91
3.2.4.2.	<i>Práctica española (COMSA)</i>	92
3.2.4.3.	<i>Práctica sueca (Banverket / Trafikverket)</i>	93
3.2.4.4.	<i>Práctica checa (Skanska)</i>	94
3.2.4.5.	<i>Práctica húngara (MAV)</i>	95
3.2.4.6.	<i>Práctica turca (TCDD)</i>	95
3.2.4.7.	<i>Práctica británica (Network Rail)</i>	96
3.2.5.	Métodos de instalación	97
3.2.5.1.	<i>Cambivía premontado con excavadoras</i>	97
3.2.5.2.	<i>Cambivía premontado utilizando grúas</i>	97
3.2.5.3.	<i>Cambivía premontado utilizando viga-grúa</i>	98
3.2.5.4.	<i>Cambivía premontado utilizando sistema PUM-MWT</i>	99
3.2.5.5.	<i>Cambivía premontado utilizando sistema PEM-LEM</i>	99
3.2.5.6.	<i>Cambivía modular</i>	101
3.2.6.	Análisis comparativo	102
3.2.6.1.	<i>Supuestos generales</i>	102
3.2.6.2.	<i>Fases de instalación</i>	102
3.2.6.3.	<i>Comparación de métodos</i>	103
3.3.	MONTAJES PRECEDENTES DE CAMBIVÍAS EN LÍNEAS EN OPERACIÓN	112
3.3.1.	Línea de alta velocidad entre Nilmes y Montpellier.....	112
3.3.2.	Red de trenes orbitales de Londres	113
	CAPÍTULO IV: PLANEAMIENTO DEL MONTAJE	115
4.1.	OBJETIVOS.....	115
4.2.	CONDICIONES REQUERIDAS	115
4.2.1.	Restricciones	115
4.2.1.1.	<i>Restricciones de infraestructura</i>	115
4.2.1.2.	<i>Restricciones de transporte</i>	117
4.2.2.	Interfaces	118
4.2.2.1.	<i>Interfaces con disciplinas</i>	118
4.2.2.2.	<i>Interfaces con seguridad</i>	119

4.2.2.3. Interfaces con operación.....	122
4.2.3. Make Ready.....	125
4.2.3.1. Información.....	125
4.2.3.2. Herramientas y materiales.....	125
4.2.3.3. Personas.....	125
4.2.3.4. Equipos.....	126
4.2.3.5. Espacio seguro.....	126
4.2.3.6. Trabajo previo.....	126
4.2.3.7. Condiciones externas.....	127
4.3. ELEMENTOS DEL FLUJO DE VALOR.....	127
4.3.1. Identificación de valor.....	127
4.3.2. Identificación de participantes.....	127
4.3.3. Clasificación de actividades.....	127
CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN.....	130
5.1. OBJETIVOS.....	130
5.2. REGISTRO DE ACTIVIDADES.....	130
5.2.1. Montaje del enlace 08.....	130
5.2.1.1. CV08 impar.....	130
5.2.1.2. CV08 par.....	132
5.2.2. Montaje del enlace 07.....	134
5.2.2.1. CV07 impar.....	134
5.2.2.2. CV07 par.....	135
5.2.3. Montaje del enlace 06.....	137
5.2.3.1. CV06 impar.....	137
5.2.3.2. CV06 par.....	138
5.2.4. Montaje del enlace 01.....	140
5.2.4.1. CV01 impar.....	140
5.2.4.2. CV01 par.....	141
5.2.5. Montaje del enlace 02.....	143
5.2.5.1. CV02 impar.....	143
5.2.5.2. CV02 par.....	144
5.2.6. Montaje del enlace 03.....	146
5.2.6.1. CV03 par.....	146
5.2.6.2. CV03 impar.....	147
5.2.7. Montaje del enlace 04.....	149

5.2.7.1. CV04 impar.....	149
5.2.7.2. CV04 par.....	150
5.2.8. Montaje del enlace 05.....	152
5.2.8.1. CV05 par.....	152
5.2.8.2. CV05 impar.....	153
5.3. MAPEO DEL FLUJO DE VALOR.....	155
5.3.1. VSM inicial.....	155
5.3.2. VSM final.....	157
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS.....	159
6.1. INTERFERENCIAS PRESENTADAS.....	159
6.2. ACTIVIDADES CRÍTICAS.....	160
6.3. PRINCIPALES DESPERDICIOS.....	161
6.4. MEJORA DE PROCESO.....	163
6.4.1. Plan de acción.....	163
6.4.2. Resultados del plan.....	164
6.5. EVALUACIÓN DE INDICADORES.....	166
6.5.1. Indicadores de valor del proceso.....	166
6.5.2. Indicadores de calidad.....	167
6.5.3. Indicadores de seguridad.....	168
CAPÍTULO VII: CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	169
7.1. CONTRASTE DEL PLAN VS EJECUCIÓN.....	169
7.2. OPINIÓN EXPERTA.....	173
CONCLUSIONES.....	174
RECOMENDACIONES.....	176
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
ANEXOS.....	182

RESUMEN

Con el fin de adecuar la operatividad de la Línea 1 del Metro de Lima a la demanda actual (superior a la prevista) y futura, resultó necesario reducir la frecuencia de trenes. Dentro de las obras requeridas, la implementación de ocho nuevos enlaces (cambiavías dobles) atendía la necesidad de mejorar la disponibilidad y regularidad de trenes por ampliación de capacidad. Sin embargo, en Perú no existen antecedentes de incorporación de cambiavías en una línea en operación, considerando que la Línea 1 es el primer sistema ferroviario eléctrico del país.

La presente investigación trata de establecer una metodología fiable para el montaje de nuevos enlaces (cambiavías dobles) que garantice su ejecución dentro de ventanas de trabajo de trece horas con corte de servicio en la vía principal del sistema en operación de la Línea 1 del Metro de Lima.

En principio, se recopilaron antecedentes de instalación en vías operativas y elaboraron procedimientos de trabajo. Asimismo, se identificaron restricciones de infraestructura y de transporte de acuerdo a los resultados del estudio de gálibos y pruebas dinámicas considerando los trenes establecidos. Se establecieron las interfases requeridas con los interactuantes del proceso y las precondiciones para la ejecución de los trabajos.

Posteriormente, luego de la primera jornada de alto impacto (en vía en operación) en vía principal, se realizó un mapeo inicial de flujo de valor (VSM), que junto al registro cronológico y lecciones aprendidas obtenidas en cada montaje permitieron identificar puntos de mejora y desperdicios que permitieron implementar acciones de mejora a través de las jornadas. Luego de las 16 jornadas, se realizó un mapeo final de flujo de valor para analizar las duraciones de los montajes e indicadores de valor del proceso, calidad y seguridad.

Finalmente, se validó la fiabilidad de la metodología utilizada al lograr la ejecución de la totalidad de los montajes dentro del horario de intervención autorizado por la concesionaria, la aprobación de la totalidad de los protocolos de calidad y la obtención de cero accidentes durante la ejecución de los trabajos, además de la comunicación por parte del operador respaldando el éxito de la ejecución de los montajes. De este modo, se logró establecer una metodología fiable para próximas ampliaciones de capacidad en la misma línea ferroviaria y otras similares a realizarse en el país.

ABSTRACT

In order to adapt the operability of the Lima Metro Line 1 to current (higher than expected) and future demand, it was necessary to reduce the train frequency. Within the required works, the implementation of eight new crossovers (double turnouts) addressed the need to improve the availability and regularity of trains by expanding capacity. However, in Peru there is no background of incorporation of turnouts on a line in operation, considering that Line 1 is the first electric rail system in the country.

The present investigation tries to establish a reliable methodology for the assembly of new crossovers (double turnouts) that guarantees their execution within thirteen-hour work windows with a service interruption on the main road of the operating system of the Lima Metro Line 1.

In principle, antecedents of installation on operational tracks were collected and working procedures were prepared. Likewise, infrastructure and transport restrictions were identified according to the results of the gauge study and dynamic tests considering the established trains. The required interfaces with the process interacting agents and the preconditions for the execution of the works were established.

Subsequently, after the first high-impact (on a road in operation) session on the main road, an initial value stream mapping (VSM) was developed, which combined with the chronological record and lessons learned obtained in each assembly allowed identifying points of improvement and waste that made it possible to implement improvement actions through the sessions. After the 16 sessions, a final value stream mapping was developed to analyze the durations of the assemblies and indicators of process value, quality and safety.

Finally, the reliability of the methodology used was validated by achieving the execution of all the assemblies within the intervention hours authorized by the concessionaire, the approval of all quality protocols and the obtaining of zero accidents during the execution of the works, in addition to the communication by the operator supporting the success of the assembly executions. In this way, it was possible to establish a reliable methodology for future capacity expansions on the same railway line and other similar ones to take place in the country.

PRÓLOGO

La infraestructura ferroviaria se está convirtiendo en una de las bases más sólidas para el incremento de la oferta del transporte público masivo. La red del Metro de Lima ha tomado vida con la Línea 1, y luego de una historia larga y zigzagueante, ha logrado consolidarse como el medio de transporte de mayor rapidez y de mayor capacidad, en medio de una ciudad con altos índices de congestión.

Dada su importancia, y con el objetivo de elevar la frecuencia del paso de sus trenes, en el año 2016 se decidió iniciar el proyecto de ampliación de capacidad de la infraestructura ferroviaria, que consistía a mejorar la infraestructura de energía y de señalización (por el mayor paso de trenes, a una frecuencia operacional que se reducía a la mitad), así como a incorporar ocho (08) pares de cambiavías a lo largo de diferentes tramos de la vía en operación. El proyecto se ejecutó entre 2017 y 2019.

El reto de insertar los mecanismos de cambiavías se basaba en una ejecución rápida y precisa, debido a que los trabajos se realizaban de madrugada, en una ventana temporal entre el último horario del tren, y el primero de la mañana. La ventana de algunas horas debía contemplar la desenergización de los sistemas ferroviarios, la movilización de equipos y personal, las operaciones de corte y maniobras de insertos, y luego, de reajustar todo el sistema para que la línea del metro continúe operando. La planificación, debía ser, en consecuencia, precisa y efectiva como la maquinaria de un reloj.

Ruddy Cashpa ha acompañado este proceso, desde la fase de concepción, desarrollo, ejecución, monitoreo, ajuste y lecciones aprendidas. En el presente proyecto de investigación documenta detalladamente las condiciones de ejecución, los procesos de maniobra estudiados, los planes elaborados en fases preliminares, los indicadores de la ejecución, y las propuestas de mejora. La obra es muy singular debido a que es el primer proyecto de su tipo en territorio peruano, por lo que el aporte del presente documento permitirá tener un punto de base para futuras mejoras e intervenciones en otros tramos de la red del Metro.

Edward Santa María Dávila

Asesor de tesis

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Tolerancias dimensionales Riel 100RE	22
Tabla N° 2.2 Tolerancias dimensionales Riel 115RE	23
Tabla N° 2.3 Dimensiones y tolerancias de durmientes de madera	24
Tabla N° 2.4 Vista integrada TFV sobre la producción.....	37
Tabla N° 2.5 Clasificación de desperdicios de producción....	39
Tabla N° 2.6 Simbología del VSM.....	41
Tabla N° 2.7 Análisis de radios críticos para transporte de cambiavías	47
Tabla N° 2.8 Análisis de vehículos en vías paralelas	48
Tabla N° 3.1 Comparación de métodos de montaje de cambiavía por fases ...	103
Tabla N° 3.2 Esfuerzo humano y potencia consumida por método de montaje de cambiavía	110
Tabla N° 3.3 Evaluación por ventajas de métodos de montaje de cambiavías.	111
Tabla N° 4.1 Flujograma de liberación de actividades en vía principal.....	124
Tabla N° 4.2 Clasificación de actividades de acuerdo al valor agregado	128
Tabla N° 6.1 Interferencias presentadas en el montaje de cambiavías	159
Tabla N° 6.2 Desperdicios en el proceso de montaje de cambiavías	162
Tabla N° 6.3 Plan de acción para mejora de proceso de montaje de cambiavías	163
Tabla N° 7.1 Efectividad de la secuencia constructiva de montaje.....	169
Tabla N° 7.2 Efectividad de la identificación de interferencias para el montaje	170
Tabla N° 7.3 Efectividad de la identificación de interferencias para el montaje	171
Tabla N° 7.4 Efectividad de la metodología de montaje de cambiavías con respecto a la calidad.....	171
Tabla N° 7.5 Efectividad de la metodología con respecto a la seguridad	172

LISTA DE FIGURAS

Fig. N° 2.1 Detalle del sistema riel-durmiente-sujeción	20
Fig. N° 2.2 Riel Vignole.....	20
Fig. N° 2.3 Detalle del contacto rueda-riel.....	21
Fig. N° 2.4 Perfil Riel 100RE.....	22
Fig. N° 2.5 Perfil Riel 115RE.....	23
Fig. N° 2.6 Durmientes de madera akoga de cambiavías nuevos de la Línea 1 del Metro de Lima.....	24
Fig. N° 2.7 Durmientes de concreto de vías nuevas de la Línea 1 del Metro de Lima.....	25
Fig. N° 2.8 Sistema de sujeción de durmientes de madera de la Línea 1 del Metro de Lima.....	26
Fig. N° 2.9 Placas de asiento de durmientes de madera de la Línea 1 del Metro de Lima.....	26
Fig. N° 2.10 Perfil de la capa de balasto	27
Fig. N° 2.11 Vía con junta embridada en Patio VES de la Línea 1 del Metro de Lima.....	28
Fig. N° 2.12 LRS en vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima	29
Fig. N° 2.13 Componentes de un cambiavía.....	29
Fig. N° 2.14 Enlace simple derecho.....	30
Fig. N° 2.15 Unión aguja-contraaguja	30
Fig. N° 2.16 Sistema antideslizamiento de agujas	31
Fig. N° 2.17 Componentes de un cruzamiento.....	31
Fig. N° 2.18 Cruzamiento y patas de liebre.....	32
Fig. N° 2.19 Dirección de un cambiavía	32
Fig. N° 2.20 Ángulo del cambiavía.....	33
Fig. N° 2.21 Medición simétrica de la nivelación	34
Fig. N° 2.22 Medición simétrica de la nivelación	34
Fig. N° 2.23 Medición del peralte.....	35
Fig. N° 2.24 Defectos de ancho de vía.....	35
Fig. N° 2.25 Defecto de alabeo	36
Fig. N° 2.26 Gálibo dinámico	36
Fig. N° 2.27 Secciones tipo de gálibo dinámico	44
Fig. N° 2.28 Esquema de acople de PEM para descarga de cuerpo de agujas .	50
Fig. N° 2.29 Posicionamiento de cuerpos de aguja y componentes en Cola de vía Bayóvar	51
Fig. N° 2.30 Descarga del cuerpo de agujas en premontaje Cola de Vía Bayóvar	51
Fig. N° 2.31 Descarga de paquetes de durmientes en premontaje Cola de Vía Bayóvar	52
Fig. N° 2.32 Reparto de durmientes en premontaje Cola de Vía Bayóvar.....	52
Fig. N° 2.33 Montaje de rieles en premontaje Cola de Vía Bayóvar	53
Fig. N° 2.34 Embridado de juntas en premontaje Cola de Vía Bayóvar	53
Fig. N° 2.35 Verificaciones geométricas en premontaje Cola de Vía Bayóvar....	53
Fig. N° 2.36 Soldaduras aluminotérmicas en premontaje Cola de Vía Bayóvar .	54
Fig. N° 2.37 Posicionamiento de PEM previo carguío en premontaje Cola de Vía Bayóvar	54
Fig. N° 2.38 Descarga del cuerpo de agujas en premontaje VES	55
Fig. N° 2.39 Descarga de paquetes de durmientes en premontaje VES	56
Fig. N° 2.40 Montaje de rieles en premontaje VES	56

Fig. N° 2.41 Soldaduras de rieles de transición en premontaje VES.....	57
Fig. N° 2.42 Carguío del TT3 para premontaje en Tercera vía de Av. México....	58
Fig. N° 2.43 Conformación de paso carretero de balasto en la Tercera vía de Av. México	58
Fig. N° 2.44 Descarga del cuerpo de agujas en la Tercera vía de Av. México ...	59
Fig. N° 2.45 Ripado del cuerpo de agujas en premontaje en Tercera vía de Av. México	60
Fig. N° 2.46 Marcaje de inicio de cambiavía	61
Fig. N° 2.47 Marcaje de punto de corte de rieles para parejas.....	61
Fig. N° 2.48 Marcaje de punto de corte para sustitución de cupones.....	62
Fig. N° 2.49 Marcaje complementario para el alto impacto	62
Fig. N° 2.50 Marcaje de durmientes 58 y 59 para alto impacto	63
Fig. N° 2.51 Prueba dinámica 1 en la Zona 56 del Patio VES.....	64
Fig. N° 2.52 Prueba dinámica tipo 2 en la Zona 56 de Patio VES	64
Fig. N° 2.53 Prueba dinámica tipo 3A en vía principal	65
Fig. N° 2.54 Distribución de PEM sobre el TT3 para prueba dinámica 3B	65
Fig. N° 2.55 Ubicación de curvas críticas en prueba dinámica tipo 3B.....	66
Fig. N° 2.56 Posicionamiento de PEM para descarga de cuerpo de agujas.....	68
Fig. N° 2.57 Precalentamiento para soldadura aluminotérmica.....	73
Fig. N° 2.58 Colada del material aluminotérmica	74
Fig. N° 2.59 Esmerilado de soldadura aluminotérmica.....	75
Fig. N° 2.60 Ensayo de ultrasonido en soldadura aluminotérmica	76
Fig. N° 2.61 Ensayo de dureza en soldadura aluminotérmica.....	76
Fig. N° 2.62 Corte de parejas de vía en alto impacto	78
Fig. N° 2.63 Izaje de parejas en alto impacto.....	79
Fig. N° 2.64 Rebaje de balasto en alto impacto	79
Fig. N° 2.65 Colocación de vía provisional en alto impacto.....	80
Fig. N° 2.66 Descarga del cambiavía con PEM-LEM en alto impacto	81
Fig. N° 2.67 Regado de balasto en alto impacto	81
Fig. N° 2.68 Soldaduras aluminotérmicas en alto impacto	82
Fig. N° 2.69 Verificación de trocha y peralte en alto impacto	83
Fig. N° 2.70 Consolidación de vía mediante sargento en alto impacto.....	84
Fig. N° 2.71 Prueba de trenes en alto impacto.....	85
Fig. N° 3.1 Grúa ferroviaria multiusos comúnmente empleada para la renovación del cambiavía	91
Fig. N° 3.2 Vagones basculantes utilizados para transportar paneles de cambiavías de fábrica.....	91
Fig. N° 3.3 Instalación de cambiavías nuevos en segmentos por excavadoras biviales	92
Fig. N° 3.4 Instalación de un cambiavía con sistema de viga-grúa VAIACAR....	93
Fig. N° 3.5 Instalación de un panel de cambiavías por grúas pórtico	93
Fig. N° 3.6 Instalación de un cambiavía utilizando la grúa Kirow	94
Fig. N° 3.7 Reemplazo de un cambiavía utilizando el sistema Desec	94
Fig. N° 3.8 Reemplazo de un cambiavía utilizando el sistema Geismar UWG ...	95
Fig. N° 3.9 Reemplazo de un cambiavía mediante grúas de carretera.....	96
Fig. N° 3.10 Sistema de fijación y manejo desarrollado por NR	97
Fig. N° 3.11 Transporte de un cambiavía mediante viga-grúa	98
Fig. N° 3.12 Gatos PUM y carros MWT durante renovación de cambiavía	99
Fig. N° 3.13 Instalación de un cambiavía con sistema PEM-LEM	100
Fig. N° 3.14 Transporte de paneles de cambiavía por vagón basculante.....	101
Fig. N° 3.15 Montaje de cambiavías en LGV Nimes-Montpellier (CNM).....	113
Fig. N° 3.16 Montaje de cambiavías en red de trenes orbitales de Londres mediante PEM-LEM.....	114

Fig. N° 4.1 Organización del planeamiento del montaje.....	115
Fig. N° 4.2 Evaluación de izaje de durmientes desde fuera de vía.....	116
Fig. N° 4.3 Viaducto elevado de la Línea 1 del Metro de Lima.....	116
Fig. N° 4.4 Postes de catenaria cerca de la Estación Presbítero Maestro.....	117
Fig. N° 4.5 Zona de canaleta central antes y durante la jornada de alto impacto	118
Fig. N° 4.6 Caja tunning antes y durante la jornada de alto impacto	119
Fig. N° 4.7 Pértiga colocada en vía durante el alto impacto	119
Fig. N° 4.8 Sistema de iluminación durante el alto impacto.....	120
Fig. N° 4.9 Limitador de altura en equipo bivial	121
Fig. N° 4.10 Flujograma de comunicación de emergencias	122
Fig. N° 4.11 Layout semanal de actividades en vía principal	123
Fig. N° 5.1 Organización de la implementación	130
Fig. N° 5.2 Registro cronológico – CV08 impar	131
Fig. N° 5.3 Gráfico comparativo de duraciones – CV08 impar	131
Fig. N° 5.4 Cronograma por horas – CV08 par	133
Fig. N° 5.5 Gráfico comparativo de duraciones – CV08 par	133
Fig. N° 5.6 Cronograma por horas – CV07 impar	134
Fig. N° 5.7 Gráfico comparativo de duraciones – CV07 impar	135
Fig. N° 5.8 Cronograma por horas – CV07 par	136
Fig. N° 5.9 Gráfico comparativo de duraciones – CV07 par	136
Fig. N° 5.10 Cronograma por horas – CV06 impar.....	137
Fig. N° 5.11 Gráfico comparativo de duraciones – CV06 impar	138
Fig. N° 5.12 Cronograma por horas – CV06 par	139
Fig. N° 5.13 Gráfico comparativo de duraciones – CV06 par	139
Fig. N° 5.14 Cronograma por horas – CV01 impar.....	140
Fig. N° 5.15 Gráfico comparativo de duraciones – CV01 impar	141
Fig. N° 5.16 Cronograma por horas – CV01 par	142
Fig. N° 5.17 Gráfico comparativo de duraciones – CV01 par	142
Fig. N° 5.18 Cronograma por horas – CV02 impar.....	143
Fig. N° 5.19 Gráfico comparativo de duraciones – CV02 impar	144
Fig. N° 5.20 Cronograma por horas – CV02 par	145
Fig. N° 5.21 Gráfico comparativo de duraciones – CV02 par	145
Fig. N° 5.22 Cronograma por horas – CV03 par	146
Fig. N° 5.23 Gráfico comparativo de duraciones – CV03 par	147
Fig. N° 5.24 Cronograma por horas – CV03 impar.....	148
Fig. N° 5.25 Gráfico comparativo de duraciones – CV03 impar	148
Fig. N° 5.26 Cronograma por horas – CV04 impar.....	149
Fig. N° 5.27 Gráfico comparativo de duraciones – CV04 impar	150
Fig. N° 5.28 Cronograma por horas – CV04 par	151
Fig. N° 5.29 Gráfico comparativo de duraciones – CV04 par	151
Fig. N° 5.30 Cronograma por horas – CV05 par	152
Fig. N° 5.31 Gráfico comparativo de duraciones – CV05 par	153
Fig. N° 5.32 Cronograma por horas – CV05 impar.....	154
Fig. N° 5.33 Gráfico comparativo de duraciones – CV05 impar	154
Fig. N° 5.34 VSM inicial del proceso de montaje de cambiavía en alto impacto	156
Fig. N° 5.35 VSM inicial del proceso de montaje de cambiavía en alto impacto	158
Fig. N° 6.1 Diagrama de Pareto de actividades de montaje de cambiavías	161
Fig. N° 6.2 Duraciones de montaje de cambiavías.....	165
Fig. N° 6.3 Hora de fin de montaje de cambiavías	166

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

f _c	: Resistencia a la compresión.
mph	: Milla por hora.
AATE	: Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao.
ADV	: Aparato de vía.
ALAF	: Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles.
ASTM	: American Society of Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).
AREMA	: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (Asociación Americana de Ingeniería Ferroviaria y Mantenimiento de Vías).
BM	: Benchmark, banco de marca o referencia topográfica.
CV	: Cambiavía.
CMV	: Junta de la contraaguja.
DD	: Densidad de durmientes.
EI	: Espera en inventario.
FD	: Final del desvío o talón del cambiavía.
FMV	: Junta de cruzamiento o junta de talón.
HH	: Horas-hombre.
JCA	: Junta de contraaguja.
LRS	: Largo riel soldado.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
PA	: Punta de aguja.
PK	: Punto kilométrico o progresiva.
RENFE	: Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles.
RNF	: Reglamento Nacional de Ferrocarriles.
TC	: Tiempo de ciclo.
TVA	: Tiempo de valor agregado.
UIC	: Union Internationale des Chemins de Fer (Unión Internacional de Ferrocarriles).
VES	: Villa El Salvador.
VSM	: Mapeo de flujo de valor (VSM).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La Línea 1 del Metro de Lima, en operación desde 2012, fue dada en concesión a GYM FERROVÍAS S.A. para atender unas previsiones de demanda que para inicios del 2018 ya se habían visto superadas. La afluencia de pasajeros en la Línea 1 superó la demanda proyectada para el año 20 de la Concesión (año calendario 2030).

Para adecuar la operatividad de la Línea 1 a la demanda actual y previniendo demandas futuras, ha sido necesario incrementar el número de material rodante para la operación, de tal manera que la frecuencia de paso de trenes por las estaciones, que se limitaba a 360 segundos, sea de 180 segundos, la capacidad máxima de explotación del sistema a nivel de tráfico, cubriendo la demanda con mayor performance. Adicionalmente a lo referido, la particularidad de la demanda real (demanda sobrecargada en ciertas estaciones), la antigüedad de parte del material rodante existente y de las instalaciones en el tramo Villa el Salvador - Atocongo, han vuelto necesarias mejoras adicionales para poder cumplir con el correcto atendimento de las demandas descritas.

De esta manera, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la concesionaria GYM FERROVÍAS S.A., en el marco de la Adenda N° 4 al Contrato de Concesión, acordaron ampliar la capacidad de transporte del sistema de la Línea 1 del Metro de Lima mediante la ejecución de las siguientes obras como inversiones complementarias:

- Obra 1 – Remodelación de 05 Estaciones: Villa El Salvador, Cultura, Grau, Gamarra y Bayóvar.
- Obra 2 – Mejoras en el Sistema Eléctrico.
- Obra 3 – Segundo Acceso al Patio Taller Villa El Salvador.
- Obra 4 – Ampliación de vías de estacionamiento en el Patio de Maniobras Bayóvar.
- Obra 5 – Nuevos enlaces (cambiavías) en vía principal.

Adicionalmente, la Adenda también incluye la inversión en el siguiente Material Rodante Complementario:

- 20 trenes de 5 coches (unidades Ma-Mb1-R-Mb2-Ma2) con cabinas externas, 1500 Vcc de tensión de catenaria y formación de tren continuo.
- 39 coches (unidades Mb3 sin cabina 1500 Vcc de tensión de catenaria, preparado para acoplarse al Material Rodante Adquirido y al Material Rodante

Complementario referido anteriormente, ambos con formación original de 5 coches.

Dentro de las obras complementarias descritas, la Obra 5 - Implementación de 8 nuevos enlaces (cambiavías dobles) en vía principal atiende la necesidad de adición de cambiavías que mejoren la disponibilidad y la regularidad de los trenes frente a la ampliación de la capacidad de la línea, el incremento de la flota de los trenes y la consecuente reducción de la frecuencia de los mismos, considerando que el intervalo de paso de los trenes será de 3 minutos y se requerirán de maniobras de sobrepaso o devolución de trenes oportunas cuando ocurra un evento que interrumpa la circulación de trenes, flexibilizando la operación y aumentando la confiabilidad.

Los 8 enlaces por instalar a lo largo de la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima son los siguientes:

- 01 enlace en la cabecera de la Estación Villa El Salvador lado norte.
- 01 enlace en la Estación Pumacahua lado sur.
- 01 enlace en la Estación Ayacucho lado sur.
- 01 enlace en la Estación Ayacucho lado norte.
- 01 enlace en la Estación Gamarra lado sur.
- 01 enlace en la Estación Jardines lado norte.
- 01 enlace en la Estación San Carlos lado norte.
- 01 enlace en la Estación Bayóvar lado sur.

La instalación de los enlaces descritos implica procesos constructivos realizados por primera vez en Perú, pues la ejecución de los mismos se realiza dentro de un sistema ferroviario en operación ininterrumpida desde el 2010.

1.2. PROBLEMÁTICA

Con un déficit de inversión en infraestructura de US\$ 160 000 millones, Perú se ubica en el puesto 88 en infraestructura a nivel mundial, con el 36% correspondiente al sector transporte (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020), lo cual afecta a la competitividad del país. Dentro de esta brecha, el transporte urbano masivo requiere una descongestión del tráfico, especialmente en la capital Lima, necesidad de no satisfecha a la actualidad, y con un atraso de décadas en su desarrollo (Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Lima, 2019).

Pese que su proceso de privatización fue concluido en 1999, el sector ferroviario ha experimentado un escaso desarrollo a la fecha, contando en la capital solo con una línea ferroviario en operación de las seis líneas de la Red Básica del Metro de Lima, pues las inversiones de transporte terrestre han sido concentradas mayormente en el desarrollo de carreteras, aun cuando el transporte ferroviario ofrece ventajas frente a ello en cuanto a eficiencia, seguridad, reducción de la contaminación ambiental y economía.

Debido al tardío desarrollo ferroviario urbano, la demanda de transporte masivo ha sido creciente sin que la infraestructura llegue a responder a esa demanda potencial se ha desarrollado a un ritmo menor. Por ello, la industria ferroviaria peruana es aún incipiente, con escasez de personal especializado en construcción de vía férrea, falta de maquinaria especializada y ausencia de proveedores nacionales. Esto se agudiza más cuando se requiere la ejecución de trabajos en una vía ferroviaria en operación, pues implica actividades de mayor especialización debido al riesgo relacionado a la interacción entre los sistemas existentes en la línea ferroviaria y su operación.

En Perú no existen antecedentes respecto a trabajos de alto impacto en vía férrea, que consisten en la incorporación de aparatos de vía en una línea ferroviaria en fase de operación, considerando además que la Línea 1 del Metro de Lima es el primer sistema eléctrico de transporte ferroviario urbano. La instalación de estos aparatos de vía supone mejoras en la disponibilidad y la regularidad de trenes de la línea. Por ello, es necesario establecer una metodología para realizar tales intervenciones, de modo que se asegure el planeamiento, calidad y seguridad en la instalación de cada nuevo cambiavía en vía principal. En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, para cada intervención se cuenta con una ventana de trabajo de 13 horas con corte de servicio los fines de semana, autorizado por Línea 1 y la AATE, sin afectar la reanudación del servicio luego del intervalo horario indicado, por lo que la duración del flujo de procesos del montaje de cambiavías debe responder a dichas limitantes y otras restricciones. Estableciendo una metodología efectiva y eficaz para estos trabajos basada en lo planeado y ejecutado para los nuevos cambiavías en la Línea 1 del Metro de Lima se logrará planificar adecuadamente próximas ampliaciones de capacidad de la misma línea ferroviaria y otras similares a realizarse en el país.

Por consiguiente, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo realizar una intervención de adaptación de infraestructura en una línea ferroviaria en operación?

Se consideran los siguientes problemas específicos:

- ¿Cómo definir el plan para realizar el montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima dentro de la ventana horaria autorizada por la concesionaria?
- ¿Cómo establecer la metodología de transporte para el montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima?
- ¿Cómo garantizar la ejecución del montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima sin generar impactos significativos durante el proceso?
- ¿Cómo identificar puntos de mejora y optimizar el proceso de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima?
- ¿Cómo validar la fiabilidad de la metodología de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Establecer una metodología fiable para el montaje de nuevos enlaces (cambiavías dobles) que garantice su ejecución dentro de ventanas horarias de 13 horas con corte de servicio en la vía principal del sistema en operación de la Línea 1 del Metro de Lima.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir las medidas preventivas y el proceso constructivo para elaborar el plan de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima garantizando su ejecución dentro de la ventana horaria autorizada por la concesionaria.
- Elaborar un estudio de gálibos de catenarias y pruebas dinámicas del transporte de cambiavías mediante distintos trenes de trabajo para establecer la metodología de transporte para cada montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima.
- Identificar las restricciones, interfaces con otros entes del proyecto y prerequisites para la ejecución del montaje de cambiavías nuevos en la vía

principal de la Línea 1 del Metro de Lima sin generar impactos significativos durante el proceso.

- Realizar el mapeo de flujo de valor del proceso para identificación de puntos de mejora e implementación de un plan de acción a través de las jornadas de alto impacto para lograr la mejora del proceso de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima.
- Analizar indicadores de tiempo, calidad y seguridad basados en registros y mediciones a través de las jornadas de alto impacto para validar la fiabilidad de la metodología de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

Mediante la metodología propuesta se realizará el montaje de nuevos enlaces (cambiavías dobles) en distintos puntos de la vía principal, dentro de ventanas horarias de 13 horas de corte de servicio, con la calidad requerida para entregar la vía a operación de forma segura y sin generar accidentes.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- La elección de medidas preventivas y proceso constructivo con base en antecedentes referenciales permite la ejecución del montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima dentro de la ventana horaria autorizada por la concesionaria.
- Los gálibos generan restricciones con la infraestructura de la línea. Los equipos utilizados en el montaje de cambiavías deben adaptarse a dichas restricciones reduciendo el tamaño del equipo o adaptando nuevos equipos de acuerdo a un estudio de gálibos y pruebas dinámicas.
- La identificación de restricciones, interfaces con otros entes del proyecto y prerrequisitos permite garantizar la liberación de flujos principales para el montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima, evitando impactos significativos durante el proceso.
- El mapeo de flujo de valor del proceso permite identificar puntos de mejora e implementar un plan de acción para mejorar el performance del proceso de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima a través de las jornadas de alto impacto.

- El análisis de indicadores de tiempo, calidad y seguridad basados en registros y mediciones a través de las jornadas de alto impacto permite validar la fiabilidad de la metodología de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

- Aislador

“Componente de sujeción del riel utilizado para proporcionar aislamiento eléctrico entre superficies metálicas del clip, shoulder y riel.” (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, 2009, p. 30-G-4)

- Almohadilla

“Componente de sujeción del riel utilizado para separar el amarre y el riel en el área del asiento del riel.” (AREMA, 2009, p. 30-G-7)

- Andén

Acera que se construye en las estaciones, al lado de la vía férrea principal de longitud igual o mayor a la de los trenes de pasajeros, de ancho suficiente para el público, con altura conveniente y a distancia mínima al piso de coches para embarque y desembarque. (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Bloqueo

Reserva de un tramo para garantizar que los trenes que circulen por la misma vía y sentido, los separe una distancia, y que cuando un tren circule por una vía, no circule otro en sentido contrario por la misma. (Tonchev, 2017, p. 22)

- Brida

“Pieza de acero que une los extremos de los carriles consecutivos, de forma que coincidan sus ejes longitudinales, inmovilizando su posición tanto en el plano horizontal como en el vertical.” (Tonchev, 2017, p. 24)

- Cala

“Separación entre los extremos de dos carriles consecutivos de un hilo de la vía, medida en mm por la parte exterior de sus cabezas.” (Tonchev, 2017, p. 27)

- Catenaria

Línea aérea de alimentación mediante la cual se suministra energía eléctrica a equipo electrificado. (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Cerrojo de aguja

“Dispositivo que inmoviliza la aguja cerrada contra la contraaguja correspondiente, mientras que la aguja abierta solidaria queda libre.” (Tonchev, 2017, p. 36)

- Circuito de vía

Arreglo eléctrico para detección de paso de trenes y la información usada para controlar señales y bloqueo. (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Clip de riel

“Componente de fijación de riel que proporciona resistencia rotacional alrededor del eje longitudinal del riel.” (AREMA, 2009, p. 5-G-3)

- Cordón

“Material aportado que sobresale del perfil de los carriles soldados una vez terminada, totalmente la soldadura. Se deposita en los contactos de las piezas metálicas o huecos para formar su unión por soldeo.” (Tonchev, 2017, p. 43)

- Cortamazarota

“Herramienta manual para desprender el material sobrante en la soldadura que sobresale de la cabeza del carril.” (Tonchev, 2017, p. 44)

- Cupón de riel

“Trozo de carril obtenido por corte de una barra elemental, nueva o regenerada, o por soldadura de dos trozos de éstas y la longitud de barra entre dos soldaduras consecutivas no será inferior a 4 metros.” (Tonchev, 2017, p. 46)

- Descarrilamiento

“Caída del riel por el que circula, de una o más ruedas, de vehículos ferroviarios, que conforman un tren.” (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Diplory

“Vehículo formado por una viga con dos pequeñas ruedas troncocónicas con pestañas para transporte de objetos pesados por vía.” (Tonchev, 2017, p. 52)

- Eclisa

“Brida. Son elementos utilizados para la unión de rieles.” (Tonchev, 2017, p. 54)

- Enclavamiento mecánico

Conjunto de relaciones mecánicas entre palancas de maniobra de aparatos de vía que ejecutan consignas impidiendo falsos movimientos. (Tonchev, 2017, p. 56)

- Entrevía

“Distancia medida entre los ejes de dos vías férreas paralelas inmediatas.” (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Esmerilado

“Operación de mayor precisión destinada a restablecer el carril de la cabeza del carril.” (Tonchev, 2017, p. 59)

- Fijaciones

Medio por el cual el riel se mantiene en su lugar a los amarres, como clips de resorte y placas de asiento. (AREMA, 2009, p. 4-G-2)

- Lastre

Contrapeso considerado como estiba, utilizado para mantener el centro de gravedad combinado dentro de límites razonables. (AREMA, 2009, p. 28-G-2)

- Pareja de vía

“Vía armada constituida por dos barras elementales de carril, con sus traviesas y elementos de sujeción.” (Tonchev, 2017, p. 76)

- Pértiga

Tubo telescópico de material aislante que mediante una grapa se conecta a la catenaria, siendo medio de seguridad para contrarrestar cualquier puesta en tensión accidental de la línea mientras trabaje en ella. (Tonchev, 2017, p. 80)

- Protección Automática de Trenes (ATP)

“Subsistema de control de trenes que asegura automáticamente la observación de todas las restricciones de velocidad y los límites de las autorizaciones de uso

de la vía permitiendo la protección de los trenes en contra de colisiones, excesos de velocidad o fallas humanas.” (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Puesto Central de Operaciones (PCO)

“Lugar desde donde se emiten, controlan y monitorean en forma centralizada las autorizaciones de movimiento de trenes, el funcionamiento y mantenimiento de equipos e infraestructura y actividades relacionadas a la protección del usuario e instalaciones ferroviarias.” (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

- Ripado de vía

“Acción de desplazar la vía lateralmente.” (Tonchev, 2017, pág. 87)

- Shoulder

Llamado también hombro de riel, es la “cresta paralela al riel diseñada para ayudar a mantener el riel en posición.” (AREMA, 2009, págs. 5-G-4)

- Viaducto

Estructura de concreto y acero compuesta de pilares y columnas instalados con diferente separación que soporta a la plataforma ferroviaria en áreas con obstáculos naturales. (Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC, 2010)

2.2. CONCEPTOS

2.2.1. Descripción General del Ferrocarril

Sistema de transporte terrestre de viajeros y/o mercancías en que necesita la integración de subsistemas para su correcto funcionamiento.

2.2.1.1. Infraestructura

Obras necesarias para conformar una plataforma de apoyo para la vía (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 8). Está compuesta por:

- Infraestructura ferroviaria principal: Constituida por la vía principal, ramales, desvíos, obras de arte y sistema de drenaje.
- Infraestructura ferroviaria complementaria: Constituida por las estaciones, patios y talleres, que permiten la operación de trenes y sistemas de la línea.

2.2.1.2. Superestructura

Sistema de soporte y guiado del material móvil. Formada por rieles, durmientes, elementos de sujeción y balasto y aparatos de cambio, integrados conjuntamente. (Decreto Supremo D.S. N° 032-2005-MTC, 2005)

2.2.1.3. Material móvil

Formado por el conjunto de vehículos que circulan sobre la vía. Existen dos tipos: material motor, como locomotoras, y remolcado, vehículos encargados del transporte de carga. Son coches si transportan pasajeros y vagones si transportan mercancías, pudiendo tipificarse en plataformas, tolvas, etc.

2.2.1.4. Electrificación

Subsistema existente en líneas ferroviarias electrificadas. Se encarga del transporte y distribución de la corriente eléctrica de tracción. Compuesto por la catenaria, postes de soporte y subestaciones.

2.2.1.5. Sistema de control de tráfico

Compuesto por elementos (señalización, bloqueo, enclavamientos, etc.) que aseguran circulación de trenes con seguridad y aprovechamiento de capacidad. (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005)

2.2.2. Vía ferroviaria

2.2.2.1. Características de la vía

La vía puede definirse como un emparrillado formado por riel, durmiente y sujeción apoyado en un lecho elástico de balasto y plataforma. (López Pita, 2006, p. 41)

Las características que debe tener toda vía ferroviaria son:

- Contacto acero-acero en la rodadura. Las ruedas del material rodante y la vía son de acero, de elevada carga admisible por eje por la dureza del acero. En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, la carga máxima admisible es 17 T/eje.
- Elasticidad. Suaviza la circulación y absorbe parte de las cargas.
- Continuidad geométrica en planta y en alzado. Reduce cargas dinámicas.
- Robustez. La vía debe ser lo suficientemente resistente a cargas elevadas.

2.2.2.2. Vía Convencional

Formada por los rieles, las sujeciones, los durmientes y las capas de apoyo. Sus funciones fundamentales son el soporte y el guiado de los trenes.

Los rieles se fijan a los durmientes mediante sujeciones (ver Fig. N° 2.1), presionando al patín del riel evitando movimiento longitudinal, lateral y giro del mismo, debido a esfuerzos transmitidos por vehículos. (López Pita, 2006, p. 41)

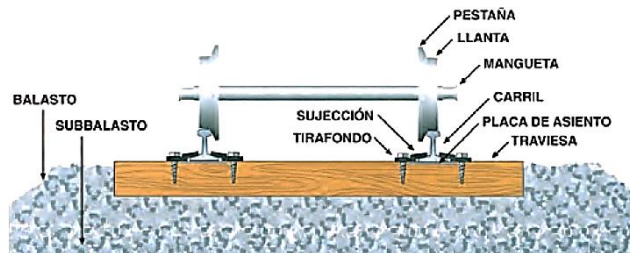


Fig. N° 2.1 Detalle del sistema riel-durmiente-sujeción

Fuente: (López Pita, 2006, p. 43)

2.2.3. Componentes de la vía

2.2.3.1. Rieles

Llamado también carril, es encargado de soportar directamente el peso de vehículos y acciones dinámicas por velocidad.

a) Funciones

- Absorber, resistir y transmitir a los durmientes los esfuerzos recibidos.
- Guiar el material rodante por interacción entre pestañas de ruedas y rieles.
- Conducir el retorno de la corriente eléctrica de tracción por medio de los rieles.
- Conducir corrientes eléctricas relacionadas con el sistema de señalización.

b) Material

Fabricados de acero en aleación con elementos como manganeso, azufre y carbono, lo que aumenta dureza, aunque también fragilidad y dificultad de soldeo.

c) Forma

- Riel Vignole

Perfil más utilizado, conocido como “carril de patín”. De perfil similar a una viga T, tiene tres partes: cabeza, alma y patín (ver Fig. N° 2.2).

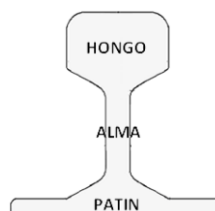


Fig. N° 2.2 Riel Vignole

Fuente: (ALAF, 2014, p. 60)

La cabeza realiza contacto con ruedas y sirve de superficie de rodadura. El alma resiste esfuerzos cortantes. El patín determina su resistencia a volcadura y distribución de cargas. (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 88)

Los rieles de las vías de la Línea 1 del Metro de Lima poseen este tipo de perfil.

- Riel Phoenix

Conocido como “carril de garganta”, va embebido en pavimento para ser rebasado por el material rodante, cuyas ruedas circulan en el lado interno o “garganta”.

- Riel Brunel

Al soportar cargas a baja velocidad, el perfil tiene forma robusta, con cabeza y alma gruesas, siendo una pieza en forma de U invertida y colocada verticalmente.

d) *Peso*

Los rieles se identifican por su peso por metro lineal, como los presentes en vía principal y patios de la Línea 1 del Metro de Lima:

- 115RE (entre PK 9+200 – 34+600): 114.68 lb/yd <> 56.90 kg/ml.
- 100RE (entre PK 0+000 – 9+200): 101.5 lb/yd <> 50.35 kg/ml.
- ASCE75 (en Patio Taller VES): 75 lb/yd <> 37.20 kg/ml.

e) *Interacción rueda-riel*

Con el fin de optimizar su interacción y conseguir mayor estabilidad lateral del material rodante, los rieles se encuentran inclinados hacia el centro de la vía, en un ángulo normal de 1:20 hacia el interior de la vía para mejorar el contacto entre rueda y riel (ver Fig. N° 2.3), reduciendo así el desgaste. (López Pita, 2006, p. 41)

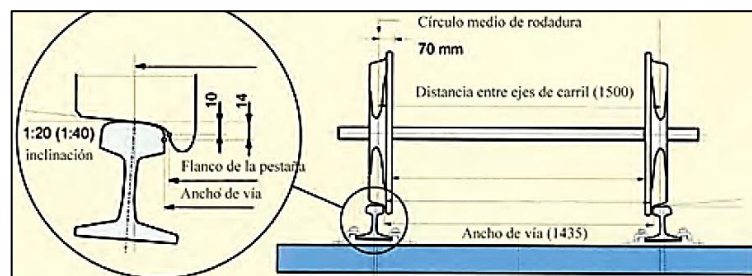


Fig. N° 2.3 Detalle del contacto rueda-riel

Fuente: (López Pita, 2006, p. 44)

Además, existe un juego entre el ancho de vía y la distancia entre caras externas de pestañas a 10 mm debajo del plano de rodadura, para permitir desplazamiento lateral en curvas. (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 74)

f) Dimensiones y tolerancias

Las normas ASTM A 1 - 00 y AREMA indican perfiles y tolerancias para el caso de los rieles 100RE (ver Fig. N° 2.4 y Tabla N° 2.1) y 115RE (ver Fig. N° 2.5 y Tabla N° 2.2), presentes en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima. Para verificación de medidas, se chequea la geometría del perfil con un vernier digital.

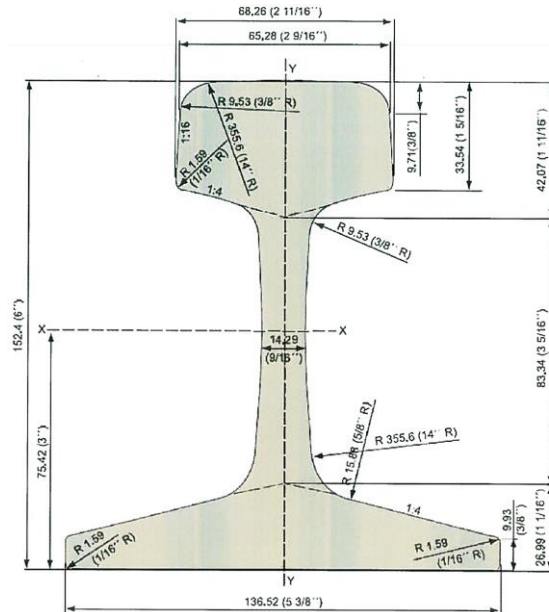


Fig. N° 2.4 Perfil Riel 100RE

Fuente: (American Society of Testing Materials, 2018, p. 3)

Tabla N° 2.1 Tolerancias dimensionales Riel 100RE

Descripción	Tolerancias Riel
Altura de riel	+0.040" (1.02 mm) -0.015" (0.38 mm)
Ancho de cabeza del riel	+0.030" (0.76 mm) -0.030" (0.76 mm)
Ancho de base	+0.050" (1.27 mm) -0.050" (1.27 mm)
Altura de plantilla interna	+0.060" (1.5 mm)
Asimetría de la cabeza con respecto a la base	+0.060" (1.52 mm) -0.060" (1.52 mm)
Espesor del alma	+0.040" (1.02 mm) -0.020" (0.51 mm)

Fuente: (ASTM A 1 - 00 Standard Specification for Carbon Steel Tee Rails, 2018, p. 3)

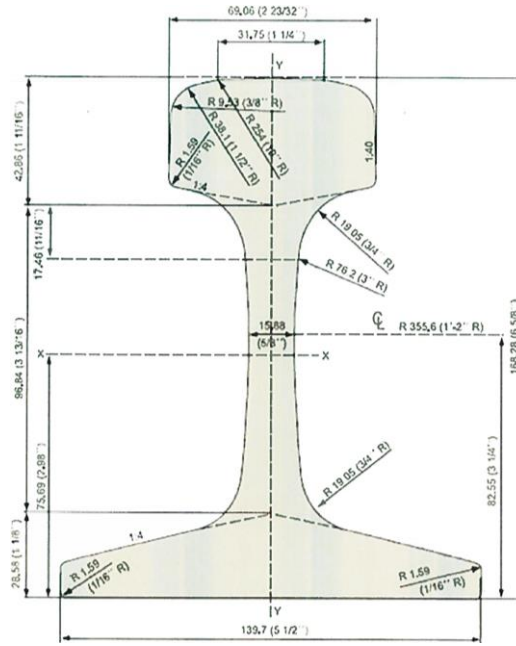


Fig. N° 2.5 Perfil Riel 115RE

Fuente: (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, 2009, p. 4-1-2)

Tabla N° 2.2 Tolerancias dimensionales Riel 115RE

Descripción	Tolerancias	
	Riel	Riel en Vía
Altura de riel	+0.030" (0.76 mm)	+0.030" (0.76 mm)
	-0.015" (0.38 mm)	-0.015" (0.38 mm)
Ancho de cabeza del riel	+0.025" (0.64 mm)	+0.015" (0.38 mm)
	-0.025" (0.64 mm)	-0.015" (0.38 mm)
Ancho de base	+0.040" (1.02 mm)	+0.030" (0.76 mm)
	-0.040" (1.02 mm)	-0.030" (0.76 mm)
Altura de plantilla interna	+0.060" (1.52 mm)	+0.030" (0.76 mm)
Asimetría de la cabeza con respecto a la base	+0.050" (1.27 mm)	+0.030" (0.76 mm)
	-0.020" (0.51 mm)	-0.020" (0.51 mm)
Espesor del alma	+0.025" (0.64 mm)	+0.015" (0.38 mm)
	-0.015" (0.38 mm)	-0.015" (0.38 mm)

Fuente: (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, 2009, págs. 4-2-12)

2.2.3.2. Durmientes

Denominadas también traviesas, se sitúan en dirección transversal al eje de la vía, entre el riel y balasto. La cantidad de durmientes que se tiene en 1 km se denomina densidad de durmientes (DD). En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, el espaciamiento entre durmientes es 65 cm, por lo que $DD = 1539 \text{ und/km}$.

a) Funciones

- Servir de soporte a los rieles, para absorber y distribuir cargas aminoradas.
- Mantener del ancho de vía y proporcionar la inclinación 1:20 a los rieles.
- Aislamiento eléctrico. (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 108)

b) Tipos

- Durmientes de acero

Durmientes de sección en forma de U invertida, que facilita fijación en balasto y resistencia a esfuerzos horizontales. Son ligeras y necesitan sujeciones aislantes.

- Durmientes de madera

- Material

La madera de durmientes posee resistencia a compresión, arranque y durabilidad. En la Línea 1, los durmientes de cambiavías son madera akoga (ver Fig. N° 2.6).



Fig. N° 2.6 Durmientes de madera akoga de cambiavías nuevos de la Línea 1 del Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

- Dimensiones y tolerancias

En el Perú, los durmientes aserrados usualmente cumplen las dimensiones nominales, y deben cumplir con las tolerancias de acuerdo a la Tabla N° 2.3.

Tabla N° 2.3 Dimensiones y tolerancias de durmientes de madera

Tipo de durmiente	Espesor	Ancho	Largo
Trocha normal	6" (152 mm)	8" (203 mm)	8' (2.44 m)
	7" (178 mm)	9" (229 mm)	8' (2.44 m)
Trocha angosta	6" (152 mm)	8" (203 mm)	8' (2.44 m)
Tolerancias	+1/2" (+12 mm)	+1" (+25 mm)	+2" (+50 mm)
	-1/4" (-6 mm)	-1/4" (-6 mm)	-1" (-25 mm)

Fuente: (NTP 251.065, 2014)

En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, los durmientes de madera tienen 0.26 m. de ancho y 0.15 m. de altura, y de longitudes son variables de acuerdo a plano.

- Ventajas

- ✓ Su flexibilidad proporciona rodadura suave y reduciendo cargas transmitidas.
- ✓ Brindan aislamiento eléctrico, evitando utilizar sujeciones aislantes.
- ✓ Pueden realizarse perforaciones y cortes, facilitando su uso en aparatos de vía.
(Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 112)

• Durmientes de concreto

- Durmientes monobloques de concreto

Durmientes monolíticos y pretensados de una sola pieza en forma de paralelepípedo. Implican fijaciones embebidas en el concreto, proporcionando mayor fiabilidad (Zaayman, 2017, p. 53). Es el utilizado en vía principal y patios de la Línea 1 del Metro de Lima (ver Fig. N° 2.7) con resistencia a la compresión $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ a 16 horas de vaciado.



Fig. N° 2.7 Durmientes de concreto de vías nuevas de la Línea 1 del Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

Las principales ventajas de la utilización de este tipo de durmientes son:

- ✓ Gran peso y dimensiones, proporcionando una excelente sujeción a la vía.
- ✓ Compatibilidad con variedad de sujeciones.
- ✓ Apta para grandes cargas y velocidades.

- Durmientes bloques de concreto

Durmientes conformados por dos bloques de concreto armado en los extremos unidos mediante un tirante de acero. Poseen mayor resistencia al desplazamiento lateral, aunque susceptibles a estrechamiento de vía. (Zaayman, 2017, p. 55)

2.2.3.3. Sistemas de fijación

a) Funciones

- Mantener al riel en posición correcta contra los durmientes.

- Brindar aislamiento eléctrico al riel mediante placas de asiento.
- Proporcionar elasticidad al riel frente a esfuerzos dinámicos.

b) Componentes

- Clips

Permiten desplazamientos verticales recuperables. Pueden ser: rígidos, como clavos y tirafondos, los cuales pierden firmeza al aflojarse; y elásticos, como clips de resorte, que restringen movimientos verticales. (Zaayman, 2017, p. 56)

Uno de los sistemas más utilizados es el Pandrol e-2009, presente en vía principal y patios de la Línea 1 del Metro de Lima, con fijación de placas mediante tirafondos N° 8 de diámetro 24 y arandelas elásticas Fe6 de doble muelle (ver Fig. N° 2.8).



Fig. N° 2.8 Sistema de sujeción de durmientes de madera de la Línea 1 del Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

- Aisladores

Se colocan entre clips y rieles (o placas de asiento) en líneas electrificadas y señalizadas. Usualmente son de nylon y su sustitución se realiza junto al de clips.

- Placas de asiento

Se ubican entre riel y durmientes para reducir cargas dinámicas, y proporcionar mayor elasticidad (López Pita, 2006, p. 47). Sobre ella se instala la almohadilla, que aísla al riel y mitiga el paso móvil (Zaayman, 2017, p. 58). En la Línea 1 del Metro de Lima se utilizan almohadillas EVA tipo Pandrol (ver Fig. N° 2.9).



Fig. N° 2.9 Placas de asiento de durmientes de madera de la Línea 1 del Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

2.2.3.4. Balasto

Constituido por la capa de material granular ubicado bajo los durmientes e influye en el comportamiento de una vía frente a esfuerzos verticales y transversales.

a) Funciones

- Soportar las fuerzas aplicadas a la vía, a fin de mantener su posición.
- Elasticidad: El balasto brinda elasticidad a la vía y reduce presiones.
- Drenaje: Proporciona espacio entre piedras para evacuación de agua.
- Corrección de geometría de vía: Permite corregir la alineación mediante bateo.

b) Material

Las características y especificaciones del balasto son:

- Dimensiones cúbicas y granulares.
- Resistencia a la abrasión y desgaste.
- Material ampliamente graduado y libre de finos (Zaayman, 2017, p. 60). Se considera granulometría entre $\frac{1}{2}$ "-1 $\frac{1}{2}$ " de diámetro de roca, con porcentaje de finos de máximo 1%, como el caso de la Línea 1 del Metro de Lima.

c) Perfil

- Durmientes dentro del balasto y con ancho de hombros de 250-300 mm.
- Profundidad de balasto entre 200 y 300 mm.
- Talud de los hombros debe de 1:1,5, ángulo de caída natural de las rocas.
- Plataforma de pendiente aproximada de 1:25 (ver Fig. N° 2.10).

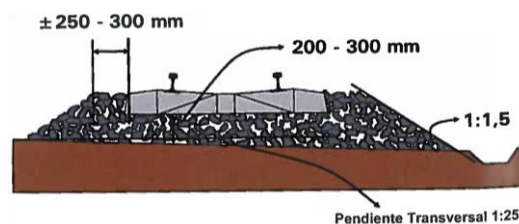


Fig. N° 2.10 Perfil de la capa de balasto

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 72)

2.2.4. Continuidad de la vía

2.2.4.1. Vía con juntas: Embridaje

a) Definición

Las juntas son separaciones entre rieles de una misma línea y constituyen un punto débil debido a esfuerzos dinámicos por contacto entre ruedas y extremos

de los rieles, produciendo desgastes en los rieles y en el sistema de embridaje, el cual garantiza la continuidad de la vía a pesar de la separación llamada *cala*.

b) Composición

Compuesto por bridas con taladros para alma de rieles, tornillos (regularmente cuatro), tuercas, arandelas y elementos de conexión (ver Fig. N° 2.11).



Fig. N° 2.11 Vía con junta embridada en Patio VES de la Línea 1 del Metro de Lima
Fuente: Elaboración propia

2.2.4.2. Vía sin juntas: Largo Riel Soldado

a) Definición

Se denomina LRS al riel cuya longitud permite que su zona central no sufra dilatación o contracción ante variaciones térmicas. (ALAF, 2014, p. 283)

b) Liberación de tensiones

Antes de unir tramos del LRS mediante soldadura aluminotérmica, como en la inserción de los cambiavías nuevos, se realiza el alivio de tensiones mediante tensor hidráulico o mazos de nylon con las fijaciones aflojadas, a fin de producir una controlada elongación del riel para una diferencia de temperatura entre la neutral del riel y la del alivio, limitando futuras tensiones que generen roturas o pandeo. En la Línea 1 del Metro de Lima, se considera para alivio de tensiones en LRS, un riel de longitud superior o igual a 60 m, la temperatura neutral definida por la AATE de 29°C, con temperaturas medias entre 24°C y 34°C.

c) Consideraciones

- El LRS debe tener una longitud entre 150 a 300 m (12 y 25 rieles de 12 m).
- En el tramo a instalar LRS no debe haber curvas de radio menor a 450 m.
- Sujeciones elásticas para apretar al riel sin aflojarse (ver Fig. N° 2.12).



Fig. N° 2.12 LRS en vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima

Fuente: Elaboración propia

d) Ventajas

- Menor cantidad de roturas de los rieles al evitar puntos débiles como juntas.
 - Aumento del confort de los pasajeros en ausencia de discontinuidades.
 - Aseguramiento de la continuidad del circuito eléctrico y control de tráfico.
- (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 150)

2.2.5. Aparatos de vía

2.2.5.1. Definición

Dispositivos encargados de asegurar la continuidad de vía para trayectorias diversas, garantizando máxima seguridad. Están conformados por combinaciones de desvíos, que permiten el paso de una vía a otra, y travesías, que permiten el paso de una vía a través de otra cuyos ejes se cortan. (ALAF, 2014, p. 217)

Los ADV pasan por recepción, premontaje en fábrica (pruebas FAT) y ensamblado en obra, inspeccionándose incluso instalado, antes de ser recibidos por operación.

2.2.5.2. Tipos de aparatos de vía

a) Desvío

Llamado también cambiavía, se trata del ADV más común en la infraestructura de la vía. Permite a una línea principal, generalmente recta, cruzar a una vía secundaria. Los ejes de ambas vías se acuerdan tangencialmente o forman un ángulo pequeño (Zaayman, 2017, p. 84) (ver Fig. N° 2.13).

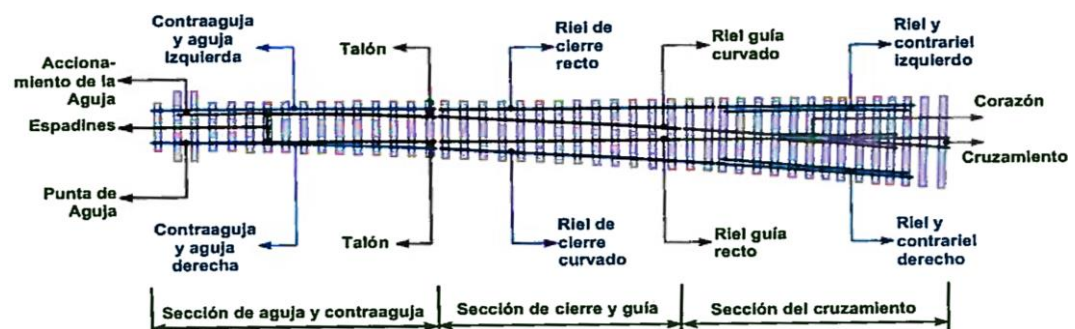


Fig. N° 2.13 Componentes de un cambiavía

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 84)

b) Enlace

Llamado escape, se encarga de unir dos vías adyacentes. Está conformado por dos cambiavías con la misma tangente y con las vías desviadas de cada una encontrándose en la entrevía principal. Puede ser:

- Enlace simple: Permite cruzar de una a otra vía en un sentido (ver Fig. N° 2.14).
- Enlace cruzado: Permite el cruce en los dos sentidos. (ALAF, 2014, p. 228)



Fig. N° 2.14 Enlace simple derecho

Fuente: (ALAF, 2014, p. 228)

2.2.5.3. Componentes de un cambiavía

a) Cambio

Compuesto por las contraagujas, piezas exteriores y fijas; las agujas, piezas interiores y móviles por uno o varios tirantes; y el talón, extremo más próximo al cruzamiento. Las agujas se accionan por sistemas (manuales, mecánicos o eléctricos) que las desplazan simultáneamente o con un intervalo de tiempo, a fin de acoplarse a la contraaguja, y luego mantiene su inmovilidad mediante dispositivos de seguridad como cerrojo de uña. La punta debe ser fina para lograr un ajuste perfecto a la contraaguja, y sólida frente a choques con la rueda. Para protegerla, se inserta bajo la cabeza de la contraaguja (ver Fig. N° 2.15).

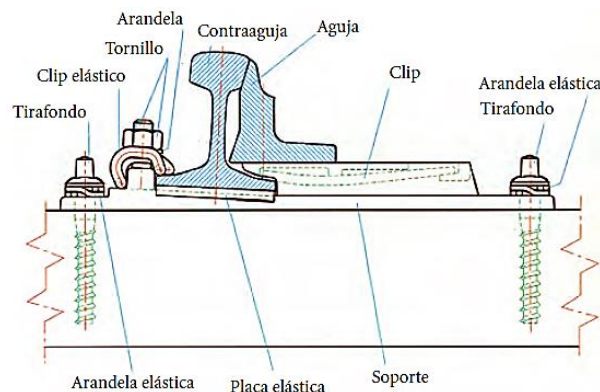


Fig. N° 2.15 Unión aguja-contraaguja

Fuente: (López Pita, 2006, p. 275)

Además, el cambio cuenta con cojinetes de resbalamiento en los que se apoyan la aguja y la contraaguja, para reforzar la contraaguja en su posición y resistir

esfuerzos transversales por pase de vehículos sobre la aguja y permitir el deslizamiento transversal. (López Pita, 2006)

En los nuevos enlaces de la Línea 1 del Metro de Lima, las agujas tienen perfil asimétrico 54E141 de calidad R260 con alma reforzada, con transición en talón a riel 115RE y de longitud 510 mm. Las contraagujas tienen perfil 115RE estándar 310HBW mecanizadas en la corona para acople con agujas, con parte móvil en placas resbaladeras, fijaciones exteriores con clips Pandrol e2009 e interiores con clips elásticos Ssb2, y sistema antideslizamiento horquilla-muñón en fundición de hierro GGG 40.3, atornillado al alma de agujas y contraagujas (ver Fig. N° 2.16).

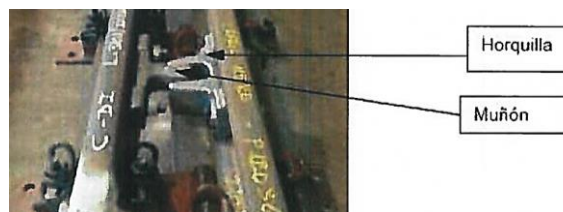


Fig. N° 2.16 Sistema antideslizamiento de agujas

Fuente: Elaboración propia

b) Cruzamiento

Elemento en el que se produce superposición de caminos. Se compone de:

- Patas de liebre: Soportan el peso de las ruedas mientras pasan por la laguna.
- Corazón: Constituye la unión de los rieles de ambas vías cruzadas.
- Contracarriles: Guía doble de la rueda a través de la laguna (ver Fig. 2.17).

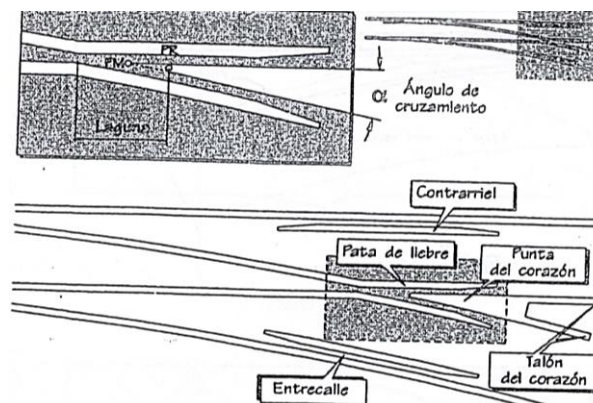


Fig. N° 2.17 Componentes de un cruzamiento

Fuente: (ALAF, 2014, p. 222)

Las patas de liebre y contracarriles están dobladas hacia el interior para evitar choques con ruedas. En el corazón se da el corte de uno de los rieles de vía directa con el opuesto en vía desviada, implicando discontinuidades, representadas por los tramos B_1P_1 y B_2P_1 de la Fig. N° 2.18, llamadas lagunas de cruzamiento.

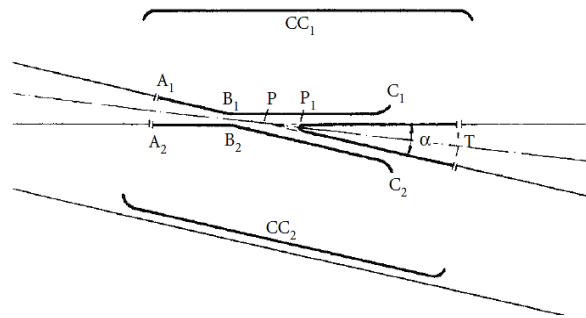


Fig. N° 2.18 Cruzamiento y patas de liebre

Fuente: (López Pita, 2006, p. 277)

Con el fin de garantizar continuidad de apoyo de ruedas, se consideran los elementos $A_1B_1C_1$ y $A_2B_2C_2$ en prolongación de rieles de unión, denominados patas de liebre.

La punta del corazón está formada por la intersección de los hilos de la vía recta y la desviada. En la misma figura, el punto P marca esta intersección teórica, y el punto P_1 , la punta real, materializa el principio de la unión de los rieles. En tanto, el punto T se denomina talón del corazón, siendo el final de la unión.

Los contracarriles son los elementos CC_1 y CC_2 , y se ubican frente a la laguna para retener las ruedas del vehículo cuando la rueda opuesta atraviesa la laguna, evitando descarrilamiento y deterioro. (López Pita, 2006, p. 276)

Los cambiavías nuevos de la Línea 1 cuentan con cruzamiento con rieles 115RE con calidad 310HBW, con 2 juntas aislantes encoladas luego de agujas, y contracarriles UIC33 calidad R260 sobreelevados 20 mm en la zona de corazón.

2.2.5.4. Identificación de un cambiavía

a) Cambiavías de mano derecha e izquierda

En dirección de la punta de las agujas a la salida del cruzamiento, si la dirección de la vía desviada es a la izquierda con respecto a la vía recta, se denomina cambiavía de mano izquierda y viceversa. Así, como ejemplo, la Fig. N° 2.19 muestra un cambiavía derecho. Son 5 derechos y 3 izquierdos los nuevos enlaces o cambiavías dobles a implantar en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima.

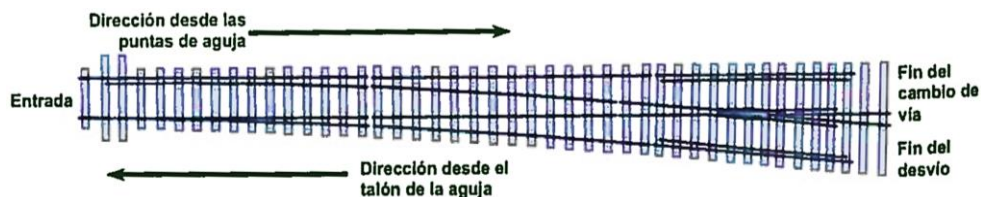


Fig. N° 2.19 Dirección de un cambiavía

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 84)

b) Ángulo del cambiavía

El ángulo del ADV se determina en el diseño en base a la velocidad del tráfico. Se expresa en función a la tangente de éste, en forma de proporción, siendo más comunes 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 (ver Fig. N° 2.20). Los enlaces nuevos en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima están compuestos por cambiavías 1:10.

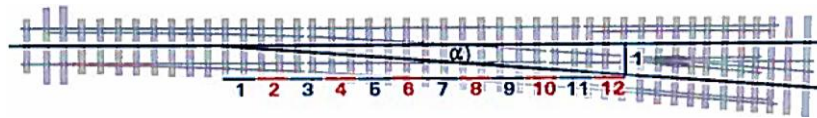


Fig. N° 2.20 Ángulo del cambiavía

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 85)

c) Cambiavías sobre durmientes de madera y hormigón

Los durmientes de madera son más ligeros y permiten perforaciones para sujeciones; los de concreto deben realizarse para cada posición, y, si bien dan mayor estabilidad y bateo productivo, son pesados, implicando mayores recursos.

d) Tipos de corazones

- Corazones fabricados de rieles

Fabricados de secciones de riel y separadores soldados a la punta. Tienen como ventajas mejor adaptación al comportamiento elástico de vía y fabricación económica; como desventaja, sus fijaciones tienden a aflojarse por diseño.

- Corazones fundidos de acero al manganeso

Este tipo de corazón tiene mayor resistencia al desgaste, utilizando de un 11% a un 14% de manganeso en la aleación de acero, en un único núcleo denominado monobloque. Elimina la necesidad de tornillos, aunque es de cara fabricación.

En la Línea 1 del Metro de Lima, cada cambiavía cuenta con un corazón monobloque fabricado en fundición de acero austenítico con 12-14% de manganeso, soldado por chisporroteo a perfiles de Cr-Ni de espesor 10 mm para acoplarse a los dos rieles 115RE de las antenas del corazón.

- Corazones de punta móvil

No existe laguna en este tipo, ya que la zona de abertura se cierra para ingresar a vía desviada, creando traspaso continuo. No requiere contracarriles, aunque son caros y requieren mecanismo adicional. (Zaayman, 2017)

2.2.6. Geometría de la vía

2.2.6.1. Parámetros

La geometría representa relaciones relativas entre dos rieles o dos puntos sobre un riel. Indica estado de vía, en base a la desviación medida con relación a valores normados (Zaayman, 2017, p. 102), en base a los siguientes parámetros:

2.2.6.2. Nivelación longitudinal

“Parámetro que define las variaciones de cota de la superficie de rodadura de cada hilo de carril, respecto a un plano” (López Pita, 2006, p. 145). Llamada flecha, muestra desviación horizontal medida topográficamente (ver Fig. N° 2.21).

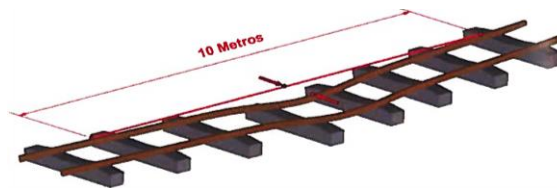


Fig. N° 2.21 Medición simétrica de la nivelación

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 102)

Defectos de alineación suelen generarse por falta de balasto, posibilitando desplazamiento y descarrilamiento. (Zaayman, 2017, p. 102)

2.2.6.3. Alineación vertical

“Parámetro que establece la diferencia de cota existente entre superficies de rodadura de hilos de carril en una sección normal al eje de la vía” (López Pita, 2006, p. 145). Muestra la relación vertical entre tres puntos sobre un riel medido topográficamente (ver Fig. N° 2.22).

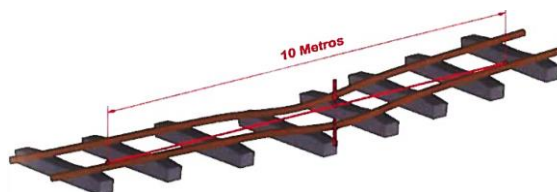


Fig. N° 2.22 Medición simétrica de la nivelación

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 103)

Un incorrecto bateo de balasto o cargas dinámicas excesivas son motivos de defectos de nivelación. (Zaayman, 2017, p. 103)

2.2.6.4. Peralte

Medida de diferencia entre cotas de riel derecho e izquierdo (ver Fig. N° 2.23). Compensa la fuerza centrífuga, de acuerdo al radio y velocidad permitida de curva.

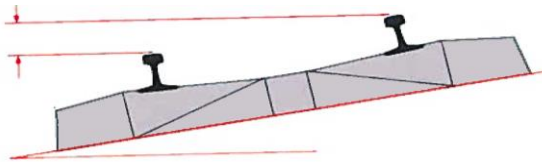


Fig. N° 2.23 Medición del peralte

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 104)

Insuficiencia de peralte genera aceleraciones transversales no compensadas afectando al confort. (Zaayman, 2017, p. 104)

2.2.6.5. Ancho de vía

a) Definición

El ancho de vía o trocha es la distancia entre caras internas de los carriles de la vía, medida 14 mm debajo del plano de rodadura. (López Pita, 2006, p. 41)

b) Tipos

- Ancho ibérico $A = 1668$ mm. Implantado en el 16% de la red mundial.
- Ancho UIC, internacional o estándar. $A = 1435$ mm. Implantado en el 70% de las líneas del mundo. Está presente en la Línea 1 del Metro de Lima.
- Vía estrecha. Denomina a todo aquel ancho inferior al internacional. El más extendido es la vía métrica ($A = 1000$ mm). Implantado en el 14% de la red mundial. (Calvo, Jurado, Lorente, & De Oña, 2005, p. 80)

c) Defectos

Los problemas de trocha se generan en zona con excesivo desgaste lateral, como en curvas cerradas, incorrecta combinación de clips o durmientes y sujeciones en mal estado, generando tramos de vía con sobreancho (ver Fig. N° 2.24).



Fig. N° 2.24 Defectos de ancho de vía

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 105)

2.2.6.6. Alabeo

“Parámetro que representa la distancia existente entre un punto de la vía y el plano formado por otros tres puntos” (López Pita, 2006, p. 145). Se localiza en zonas donde la nivelación en ambos rieles origina que una de las ruedas de un vehículo pierda el contacto con la superficie de rodadura del riel (ver Fig. N° 2.25).

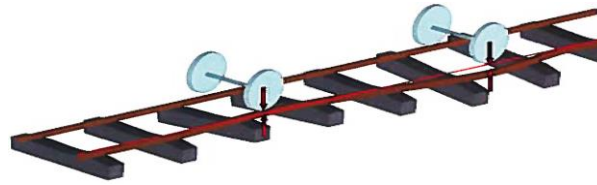


Fig. N° 2.25 Defecto de alabeo

Fuente: (Zaayman, 2017, p. 105)

2.2.7. Gálibos

2.2.7.1. Gálibo estático

Definiendo al gálibo como “un contorno de referencia con unas reglas de aplicación” (López Pita, 2006, p. 95), el gálibo estático es la sección de vía que limita el conjunto de superestructura y material rodante, en posición de parada de un vehículo y en situación centrada en una alineación recta de vía. Estas limitaciones son generadas por ubicación de catenarias que limitan la parte superior del perfil transversal de vía, andenes en las estaciones que limitan los laterales del perfil y otros elementos propios de los sistemas de la superestructura como postes de electrificación o señalización.

2.2.7.2. Gálibo dinámico

Denominado gálibo cinemático, es el contorno que incluye los desplazamientos geométricos y dinámicos a los que el material rodante está expuesto, debido a curvatura de vía y flexibilidad de suspensiones. Sumado a márgenes de seguridad, influye en el diseño de estructuras de la línea para evitar interferencias en circulación de trenes (López Pita, 2006, p. 95) (ver Fig. N° 2.26).

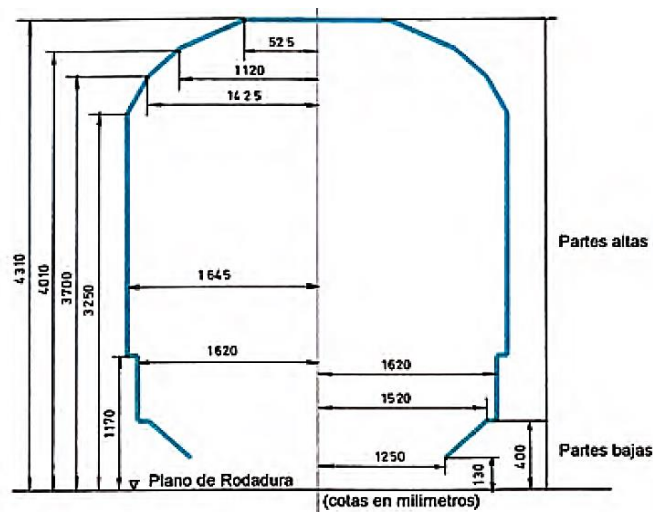


Fig. N° 2.26 Gálibo dinámico

Fuente: (López Pita, 2006, p. 96)

2.2.8. Gestión de la producción

2.2.8.1. Transformación-Flujo-Valor

Según la teoría Transformación-Flujo-Valor (TFV) (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2017), la producción se puede conceptualizar desde tres ángulos de manera simultánea bajo el enfoque orientado a procesos:

- Ángulo orientado al trabajo e interacción de los recursos (hombres y máquinas) con los materiales, lo que hacen y logran.
- Ángulo orientado al flujo de los movimientos espaciales y temporales de materiales (o información), denominado logística.
- Ángulo orientado a la generación de valor mediante el diseño y fabricación de productos para cumplir con los requisitos del cliente.

Mediante esta interpretación se reconocen los tres entes principales en la producción: recursos, materiales y clientes, y los procesos relacionados con ellos que permiten explicar la gestión integrada de la producción (ver Tabla N° 2.4).

Tabla N° 2.4 Vista integrada TFV sobre la producción

	Vista de transformación	Vista de flujo	Vista de generación de valor
Conceptualización de la producción	Como una transformación de entradas y salidas	Como un flujo de material: transformación, inspección, movimiento y esperas	Como un proceso donde se crea valor para el cliente mediante el cumplimiento de sus requerimientos
Principios fundamentales	Obteniendo una producción ejecutada eficientemente	Eliminación del desperdicio (actividades que no agregan valor)	Eliminación de pérdida de valor (lograr valor en relación con el mejor valor posible)
Métodos y prácticas (ejemplos)	Estructura de descomposición del trabajo (WBS), organigrama de responsabilidades	Flujo continuo, control de producción pull, mejora continua	Métodos para captura de requerimientos, despliegue de la función de calidad

	Vista de transformación	Vista de flujo	Vista de generación de valor
Contribución práctica	Ocuparse de lo que se tiene que hacer	Ocuparse de hacer lo menos posible lo que es innecesario	Ocuparse de que los requerimientos del cliente se cumplan de la mejor manera posible

Fuente: (Koskela, 2000)

En la producción el tiempo es un factor importante relacionado a la variabilidad del proceso, inmerso tanto en las actividades de transformación como en la de no transformación (transferencia, inspección, esperas). Las actividades de necesarias para la producción y por las que el cliente paga se denominan actividades de valor agregado (VA). En tanto, las actividades innecesarias para la producción que generan desperdicio y aumentan el costo de lo requerido por el cliente sin generarlo directamente se denominan actividades de no valor agregado (NVA). Por tanto, el principio fundamental basado en el concepto de flujo es eliminar de la producción los fenómenos que no agregan valor o reducir la proporción de actividades que no agregan valor. (Koskela, 2000)

2.2.8.2. Flujos y desperdicios

a) Make Ready

Debido a las particularidades de la construcción, los flujos de recursos y condiciones presentan alta variabilidad. En todo proceso, el cumplimiento de tareas depende de los flujos (para liberar la producción de una actividad a otra es necesario que los flujos estén activos) y flujos del cumplimiento de tareas (para activar los flujos es indelible que la actividad haya culminado antes de avanzar a otra). En consecuencia, planificar y controlar la producción para que las estaciones de trabajo tengan las entradas requeridas. En este menester, Koskela (1999) propone el análisis de 7 precondiciones derivadas de los flujos, denominado planeamiento make ready:

- Información.
- Herramientas.
- Personas.
- Equipos.
- Espacio seguro.

- Trabajo previo.
- Condiciones externas.

El cumplimiento de las precondiciones permite a la actividad estar lista para comenzar sin que los flujos se vean interrumpidos a lo largo del proceso, logrando reducir desperdicios y aumentando el valor para el cliente.

b) Tipos de desperdicios

Se puede definir al valor como un resultado deseado, relacionado con las cosas deseadas (que salen de producción), y al desperdicio o pérdida como el uso de más de lo necesario o una salida no deseada, relacionado con las cosas no deseadas (que salen de producción) (Bølviken, Rooke, & Koskela, 2014). Partiendo de ello y de la teoría TFV, los desperdicios pueden clasificarse de acuerdo a la lista de la Tabla. N° 2.5.

Tabla N° 2.5 Clasificación de desperdicios de producción de la construcción

	Transformación	Flujo	Valor
Fuente de producción	Materiales, maquinaria, energía y mano de obra	Tiempo	
Tipos	Pérdida de material	Pérdida de tiempo	Pérdida de valor
Desperdicio	1. Desperdicio de material 2. Uso no óptimo de material 3. Uso no óptimo de maquinaria, energía y mano de obra	<i>En el flujo de trabajo</i> 1. Movimiento innecesario 2. Trabajo innecesario 3. Trabajo ineficiente 4. Espera <i>En el flujo de producto</i> 5. Espacio en el que no se trabaja 6. Materiales que no se procesan 7. Transporte innecesario	<i>Relacionado con el producto principal</i> 1. Falta de calidad 2. Falta de uso previsto <i>Relacionado con subproductos</i> 3. Emisiones nocivas 4. Lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo

Fuente: (Bølviken, Rooke, & Koskela, 2014)

La identificación de los desperdicios puede servir para identificar potenciales puntos de mejora a través del flujo del proceso elaborando estrategias para evitarlos, eliminarlos y/o reducirlos, añadiendo valor para el cliente.

2.2.8.3. Mapeo del flujo de valor

a) Definición

El flujo o cadena de valor (*value stream*) se define como el conjunto de actividades necesarias para entregar un producto a través de los principales flujos esenciales para cada uno de ellos, sean actividades de valor agregado o actividades de no valor agregado. Partiendo de ello, el mapeo del flujo de valor (*value stream mapping* o VSM) es un diagrama que permite visualizar y entender el flujo de material e información a medida que un producto se realiza a través de una cadena de valor, permitiendo detectar, eliminar y/o reducir la fuente de desperdicios dentro del flujo de todo proceso. (Rother & Shook, 1999)

b) Metodología

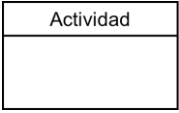

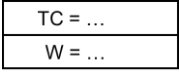
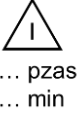

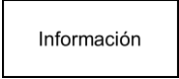





La metodología para realizar un VSM consiste en los siguientes pasos:


- Elegir una familia de productos del total producido en el trabajo y enfocar el análisis en un proceso en específico.
- Mapear la situación de producción actual, realizando un recorrido a lo largo del proceso para identificar la secuencia de actividades y registrando datos para obtener indicadores lean del proceso como:
 - Tiempo de ciclo (TC): Tiempo real requerido para completar un producto a lo largo del flujo de valor del proceso.
 - Tiempo de valor agregado (TVA): Tiempo real de las actividades que transforman el producto y añaden valor para el cliente.
 - Espera en inventario (EI): Tiempo que debe esperar un elemento desde que es generado por una actividad (salida) hasta seguir a la siguiente (entrada).
- Analizar el mapa para identificar las fuentes de pérdidas a lo largo del flujo y proponer mejoras, lo que permite realizar un mapeo del estado futuro.
- Desarrollar un plan de implementación con metas y objetivos para lograr el estado futuro a través de la mejora continua en el flujo de valor.

Para la esquematización del mapeo, el flujo de información se dibuja en la mitad superior, de derecha a izquierda, partiendo desde el cliente hasta el proveedor. El recorrido de la producción se dibuja en la mitad inferior y fluye de izquierda a

derecha. En la parte inferior se representa la línea de tiempos, en los cuales los tiempos que agregan valor (VA) son los segmentos superiores y los tiempos que no agregan valor (NVA) son los segmentos inferiores. Se utilizan diagramas para representar las actividades, entes e interacciones (ver Tabla N° 2.6).

Tabla N° 2.6 Simbología del VSM

Símbolo	Significado	Nota
	Actividad	Casillero etiquetado con el nombre de la actividad y contiene la producción de salida
	Fuentes externas	Clientes, proveedores y procesos externos
	Cuadro de datos	Contiene indicadores del proceso
	Inventario	Producción y tiempo de espera
	Transporte	Frecuencia del envío
	Información	Pronóstico, plan de producción, programación
	Flecha de empuje	Entre actividades mediante sistema push (empujar)
	Flecha de arrastre	Entre actividades mediante sistema pull (jalar)
	Relámpago Kaizen	Puntos donde deben realizarse mejoras
	Línea de tiempo	Tiempos de actividades que agregan valor y tiempos de actividades que no agregan valor
	Información manual	Transmitida manualmente

Símbolo	Significado	Nota
	Información electrónica	Transmitida de forma electrónica

Fuente: (Rother & Shook, 1999)

2.3. PROCEDIMIENTOS

2.3.1. Estudio de gálibos para transporte de cambiavías

2.3.1.1. Objetivos

- Analizar el recorrido de los cambiavías desde su zona de premontaje hasta su punto de implantación identificando las secciones críticas para dicho transporte.
- Determinar en cada sección crítica la posición del ADV para evitar obstáculos.

2.3.1.2. Evaluación de gálibos

a) Información requerida

- Informes de criterio de diseño geométrico de la Línea 1 – Tramos 1 y 2.
- Planos de superestructura de vía de la ampliación de capacidad de la Línea 1.
- Planos en planta de los nuevos enlaces 1:10.

b) Verificación del gálibo

- Gálibo lateral superior

Para asegurar el transporte de cambiavías se realiza lo siguiente:

- Definir características de secciones tipo de la línea.
- Introducir los límites del gálibo lateral de las secciones tipo.
- Determinar el radio mínimo de curva para transporte del cambiavía dentro de los límites del gálibo de las secciones tipo.
- Con radios mínimos, determinar puntos en que no puede realizarse transporte.

- Gálibo lateral inferior

Este contorno se verifica mediante un recorrido a lo largo de la línea para identificar obstáculos en la entrevía que impidan el tránsito del cambiavía.

c) Verificación de interferencias entre vehículos

Definidas las posiciones del cambiavía sobre los medios de transporte, se verifican interferencias a la par de otro tren de trabajo con contraposición de los gálibos.

d) Definición de transportes para gálbos

La verificación se realiza considerando los siguientes medios de transporte:

- Opción 1: Cambiavía completamente premontado sobre el TT3.
- Opción 2: Transporte del cambiavía completamente premontado sobre 4 pórticos PEM-LEM distribuidos equitativamente.
- Opción 3: Transporte de materiales sueltos del desvío, con el cuerpo de agujas.

e) Secciones tipo de gálbo dinámico

Para la verificación se consideran las secciones tipo (ver Fig. N° 2.27):

- Sección tipo 1: En tangente y en patio de maniobras.
- Sección tipo 2: En andén de servicios de patio de maniobras y de estaciones.
- Sección tipo 3: En curvas desde la PK 2+557.591 hasta la PK 33+868.654.
- Sección tipo 4: Sección típica en curva.
- Sección tipo 5: Curva de radio 80 del taller de VES.

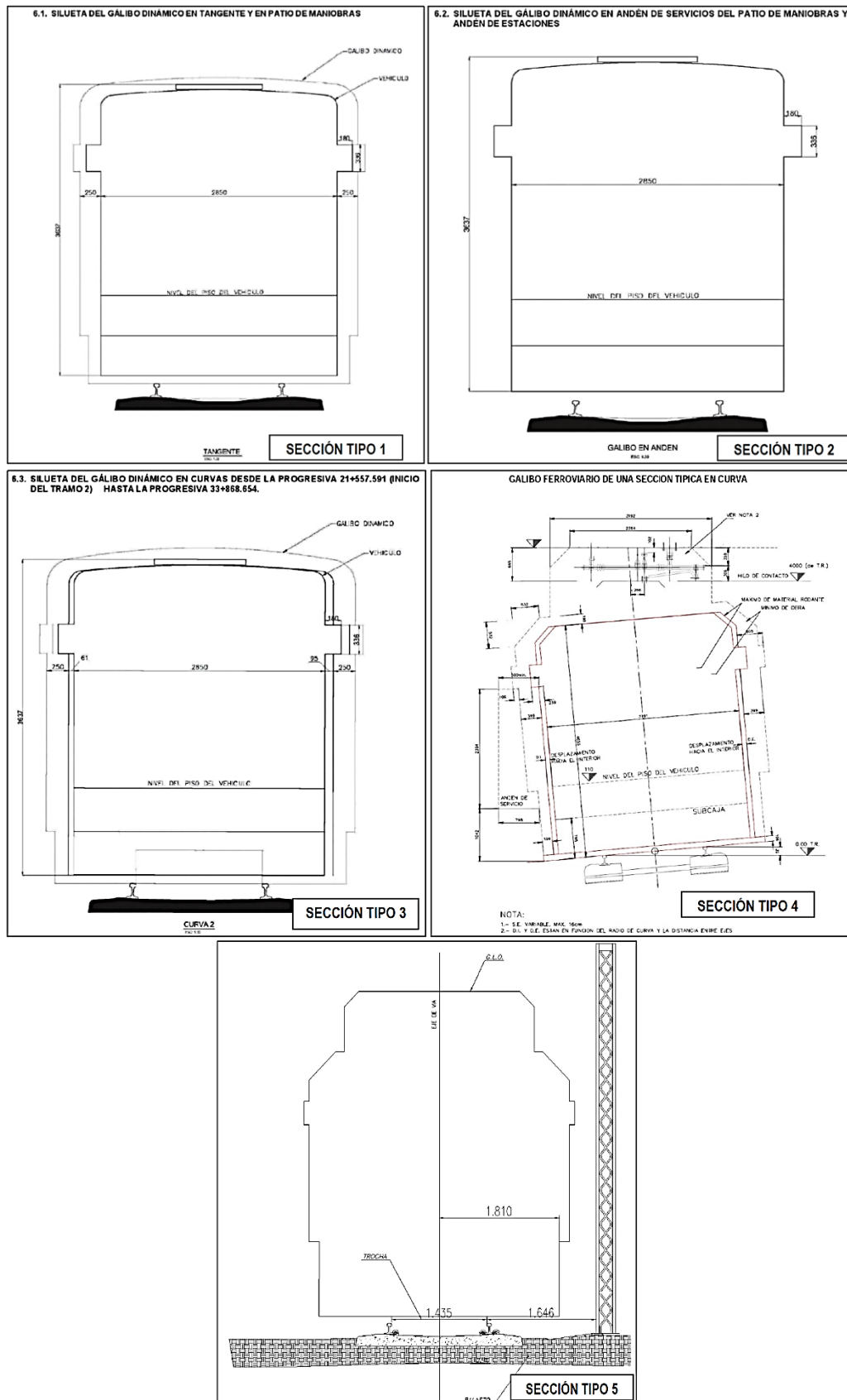


Fig. N° 2.27 Secciones tipo de gálibo dinámico

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3. Revisión de entrevía

Considerando que la longitud del durmiente más largo del cambiavía es de 3995 mm, se requiere comprobar el gálibo lateral interior mediante recorrido en cabina por línea, identificando presencia de postes de catenaria en entrevía al sur de la Estación Presbítero Maestro. Para evitar esta sección crítica se determina:

- Enlaces 1 al 5 se premontarán en Villa El Salvador.
- Enlaces 6 al 8 se premontarán en Bayóvar.

2.3.1.4. Inscripciones mínimas en planta

Se analiza la distancia máxima entre el eje de la vía y el límite exterior del gálibo dinámico para las secciones típicas mencionadas, con los siguientes resultados:

- Sección 1: 1675 mm.
- Sección 2: 1425 mm.
- Sección 3: 1736 mm.
- Sección 4: 2094 mm.
- Sección 5: No aplica para cambiavía completamente premontado.

Con ello, se determinan radios mínimos de inscripción, de acuerdo a su transporte:

a) Plataformas de piso bajo

Superponiendo los gálibos dinámicos a la inscripción del cambiavía en planta, se obtienen los siguientes resultados:

- Sección 1: Borde de carga a 194 mm del límite del gálibo.
- Sección 2: Borde de carga a 445 mm del límite del gálibo.
- Sección 3: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 308.012 m. Restando a este radio la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 1736 mm, el radio mínimo de curva es 306.726 m.
- Sección 4: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 182.746 m. Restando a este radio la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 2094 mm, el radio mínimo de curva es 180.652 m.

b) Conjunto PEM-LEM

Para transporte del cambiavía por PEM-LEM, distribuidos cada 8 m y con 6 m en voladizo de los LEM 1 y 4 a los extremos, se evaluaron las siguientes alternativas:

- Situación A: Mejor inscripción y menor estabilidad. LEM extremos 1 y 4 fijos en su posición sujetando al cambiavía, y LEM centrales 2 y 3 con falsa traviesa de apoyo libre durante la inscripción del cambiavía en curva.

- Situación B: Mejor estabilidad y menor inscripción. LEM centrales 2 y 3 fijos en su posición sujetando al cambiavía, y LEM extremos 1 y 4 con falsa traviesa de apoyo libre durante la inscripción del cambiavía en curva.

Superponiendo los gálidos dinámicos a la inscripción del cambiavía en planta, se obtienen los siguientes resultados:

- Sección 1: Borde de carga a 378 mm del límite del gálibo.
- Sección 2: Borde de carga a 125 mm del límite del gálibo.
- Sección 3:
 - Situación A: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 208.613 m. Restando la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 1736 mm, se establece el radio mínimo de curva de 206.877 m.
 - Situación B: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 340.437 m. Restando la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 1736 mm, se establece el radio mínimo de curva de 337.701 m.
- Sección 4:
 - Situación A: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 114.612 m. Restando la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 1736 mm, se establece el radio mínimo de curva de 112.518 m.
 - Situación B: Borde de carga al límite del gálibo para un radio envolvente de 188.239 m. Restando la distancia máxima entre el eje de vía y límite exterior de gálibo de 1736 mm, se establece el radio mínimo de curva de 186.145 m.

c) *Evaluación de interferencias*

- Radios críticos de curvas

Se realizó la comparación entre los radios críticos de transporte para cada sección y los radios mínimos del trazado de vía en los PK. de implantación, a fin de confirmar la viabilidad de transporte de cambiavías (ver Tabla N° 2.7).

Tabla N° 2.7 Análisis de radios críticos para transporte de cambiavías

Cambiavía	PK. Instalación	Radio crítico de transporte	Radio mínimo de trazado	Viabilidad
1	0+579	PEM-LEM Situación B: 186.94 m	Tramo recto	Pasa
2	3+480	PEM-LEM Situación B: 186.94 m	380.00 m	Pasa
3	11+164	Plataformas: 180.65 m	380.00 m	Pasa
4	11+730	Plataformas: 180.65 m	380.00 m	Pasa
5	19+730	Plataformas: 180.65 m	380.00 m	Pasa
6	26+292	Plataformas: 180.65 m	321.90 m	Pasa
7	29+556	PEM-LEM Situación A: 206.877 m	321.90 m	Solo situación A
8	33+189	PEM-LEM Situación B: 337.701 m	Tramo recto	Pasa

Fuente: Elaboración propia

- Interferencia entre vehículos en vías paralelas

Para analizar posibles interferencias entre gálibos de cambiavía cargado y otro vehículo en vía paralela, se consideran secciones tipo de zona de premontaje Bayóvar (entrevía 4500 mm) y la de andenes o plena vía (entrevía 3800 mm). Se considera el traslado del ADV sobre LEM y plataformas, con combinaciones de vehículos coincidentes en vía paralela con los siguientes anchos de gálibos:

- Bivial Liebherr: 2520 mm.
- Bivial Atlas: 2560 mm.
- Bivial Unimog: 2300 mm.
- Plataformas de piso bajo: 2300 mm.
- Diploris: 2020 mm.

Realizando la superposición de las secciones se evaluó la viabilidad para cada sección en base a las distancias entre vehículos (ver Tabla N° 2.8).

Tabla N° 2.8 Análisis de vehículos en vías paralelas

Sección tipo vía	Medio de transporte	Sección	Vehículo vía paralela	Distancia	Viabilidad	
Sección tipo Zona de premontaje Bayóvar	Cambiavía sobre LEM	Sección 1	Bivial Liebherr	538 mm	Pasa	
			Bivial Atlas	518 mm	Pasa	
			Unimog	648 mm	Pasa	
		Sección 2	Plataformas descargadas	648 mm	Pasa	
			Plataformas c/parejas vía	540 mm	Pasa	
			Plataformas c/cuerpo agujas	298 mm	Pasa	
			Sección 3	Diploris descargados	788 mm	Pasa
				Diploris c/parejas	540 mm	Pasa
				Sección 4	Bivial Liebherr	458 mm
		Bivial Atlas	438 mm		Pasa	
		Unimog	568 mm		Pasa	
		Sección 5	Plataformas descargadas	568 mm	Pasa	
			Plataformas c/parejas vía	460 mm	Pasa	
			Plataformas c/cuerpo agujas	218 mm	Pasa	
			Sección 6	Diploris descargados	708 mm	Pasa
Diploris c/parejas	460 mm			Pasa		
Sección tipo Zona	Cambiavía sobre LEM	Sección 7	Bivial Liebherr	-161 mm	No pasa	
			Bivial Atlas	-181 mm	No pasa	
			Unimog	-51 mm	No pasa	

Sección tipo vía	Medio de transporte	Sección	Vehículo vía paralela	Distancia	Viabilidad
de andenes		Sección 8	Plataformas descargadas	-51 mm(perfil) 310 mm (altura)	Pasa
			Plataformas c/parejas vía	10 mm	Pasa
			Plataformas c/cuerpo agujas	148 mm	Pasa
		Sección 9	Diploris descargados	88 mm(perfil) 375 mm (altura)	Pasa
			Diploris c/parejas	10 mm	Pasa
			Sección 10	Bivial Liebherr	-241 mm
	Bivial Atlas	-261 mm		No pasa	
	Unimog	-131 mm		No pasa	
	Cambiavía sobre plataformas	Sección 11	Plataformas descargadas	-131 mm	No pasa
			Plataformas c/parejas vía	-80 mm	No pasa
		Sección 12	Diploris descargados	8 mm(perfil) 65 mm (altura)	Pasa
			Diploris c/parejas	-80 mm	No pasa

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que las secciones 8, 9 y 12, los cambiavías cargados se solapan con el vehículo de la vía contraria en planta, sin embargo, en perfil en cuanto a altura, éstos están desfasados por lo que no hay interferencia.

d) Análisis de resultados

- Para evitar interferencias entre el traslado del cuerpo de agujas y el cambiavía premontado a instalar, el primero se traslada mediante el tren de plataformas con un voladizo de 275 mm del borde de plataforma al borde del durmiente, evitando así una interferencia con el traslado del cambiavía sobre LEM.
- No existen interferencias en zona de premontaje.

- Para el montaje del enlace 8, el transporte del cambiavía sobre LEM no interfiere con el carguío de parejas de vía sobre el tren de plataforma, pues el primero se realiza tras cargar todas las parejas y liberar la zona de instalación.
- Para el montaje de los enlaces 8, 1 y 2, las parejas retiradas de vía se deben cargar sobre el tren de plataformas con un voladizo de 275 mm del borde de plataforma al borde del durmiente. Antes del cruce, los LEM con el cambiavía premontado riparán 20 cm para permitir el paso del tren de plataformas y una posible bivial de remolque a una velocidad restringida de 5 km/h.
- Para el montaje de los enlaces 6, 5, 4 y 3, las parejas deben trasladarse sobre diploris con un voladizo de 412 mm entre bordes de plataforma y durmiente. Antes del cruce, los diploris ripan 20 cm para permitir el paso del desvío sobre plataformas, el cual no permitirá el paso de otro vehículo en paralelo.

2.3.2. Premontaje de cambiavías

2.3.2.1. Premontaje en Cola de Vía Bayóvar

a) Consideraciones

- Los componentes del enlace llegan de VES por medio de trenes de trabajo.
- Los cuerpos de aguja se descargan mediante pórticos PEM acoplados por estabilidad, y demás componentes mediante máquina bivial (ver Fig. N° 2.28).

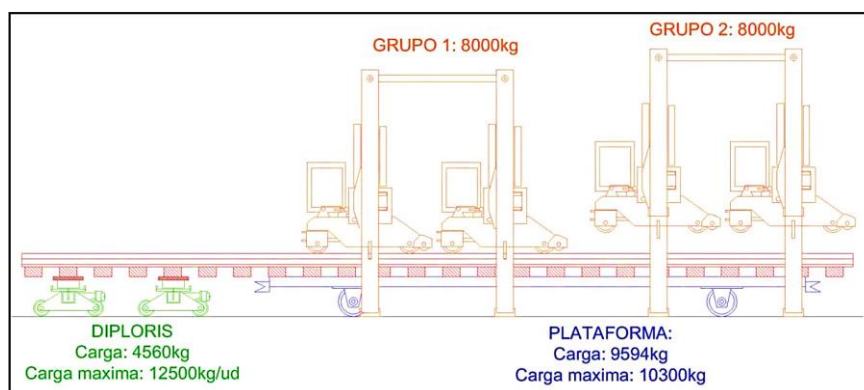


Fig. N° 2.28 Esquema de acople de PEM para descarga de cuerpo de agujas

Fuente: Elaboración propia

- Dependiendo de la vía en la que se implante el ADV, sea par (mano izquierda de VES a Bayóvar) o impar (mano derecha de VES a Bayóvar), el cuerpo de agujas debe descargarse en la misma vía, mientras otros componentes se descargan en la vía opuesta, permitiendo tránsito de biviales (ver Fig. N° 2.29).

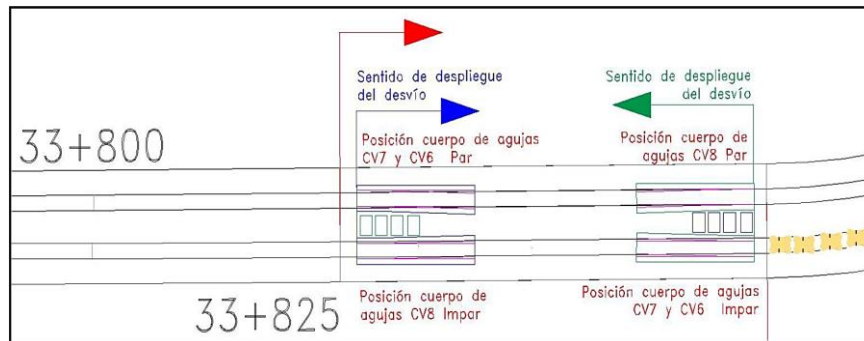


Fig. N° 2.29 Posicionamiento de cuerpos de aguja y componentes en Cola de vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

b) *Proceso constructivo*

- Descarga del cuerpo de agujas
 - Se arriostran los pórticos PEM, abren sus patas y se elevan en vacío.
 - Se retiran los anclajes y falsas traviesas que sujetan al cuerpo de agujas.
 - La plataforma con el cuerpo de agujas se sitúa bajo los pórticos PEM.
 - Los PEM descienden y sujetan el cuerpo de agujas (ver Fig. N° 2.30).
 - La plataforma es retirada por una máquina bivial.
 - Los PEM con cuerpo de agujas descienden y posicionan en vía de premontaje.
 - Los PEM se agrupan y reposan en el cuerpo de agujas durante el premontaje.



Fig. N° 2.30 Descarga del cuerpo de agujas en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Descarga de paquetes de durmientes y componentes sueltos
 - El tren de trabajo que transporta los materiales se ubica en la misma vía en la que se premontará el cambiavía, al límite del cuerpo de agujas descargado.
 - La bivial ubicada en la vía opuesta descarga los materiales en la entrevía, considerando espacio para posterior desempaquetado, contando con limitador de altura para no contactar a la catenaria (ver Fig. N° 2.31)
 - Culminada la descarga, el tren de trabajo va al Patio de Maniobras Bayóvar.



Fig. N° 2.31 Descarga de paquetes de durmientes en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Desempaquetado de durmientes y reparto
 - Se cortan los amarres de los paquetes de durmientes.
 - La máquina bivial se implementa con la pinza tipo pulpo para tomar los durmientes uno por uno.
 - Se reparte cada durmiente lo más cercano a las marcas por topografía en la zona de premontaje, en la que se enumera cada posición de durmiente de todo el cambiavía, hasta completar el reparto de los durmientes (ver Fig. N° 2.32).



Fig. N° 2.32 Reparto de durmientes en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Montaje de rieles
 - Mediante una máquina bivial se realiza la descarga de los cupones de riel sueltos, posicionándolos sobre los durmientes repartidos (ver Fig. N° 2.33).
 - Se preparan los dos cupones de riel del talón del cambiavía entre el durmiente 62 y el durmiente 51, luego de ser cortados de una barra larga convencional.
 - Mediante dos pórticos de riel se enganchan los extremos de los rieles, posicionándolos sobre las placas de asiento y realizando el corte de las calas marcadas de acuerdo a su ubicación en rieles conforme plano del fabricante.
 - Usando cinta métrica, se verifican la ubicación de las calas y las distancias a los puntos fundamentales del cambiavía desde la junta de la contraaguja (JCA).



Fig. N° 2.33 Montaje de rieles en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Embrizado de juntas y colocación de sujeciones
 - Una vez ajustadas las calas se realiza el embrizado mediante bridas tipo C sin perforación en el riel (ver Fig. N° 2.34).
 - Se fijan las sujeciones que unen rieles con durmientes mediante clipadora.



Fig. N° 2.34 Embrizado de juntas en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Verificación de cotas geométricas
 - Luego del embrizado en todo el cambiavía, se procede al galgado del mismo mediante galgas metálicas para medir los parámetros de montaje como el espacio de los encerrojamientos y los cierres de partes móviles.
 - Con regla de vía, regla de 1/20 y cinta métrica, se verifican cotas fundamentales del cambiavía (ver Fig. N° 2.35): trocha, inclinación del riel, laguna de cruzamiento, posición de contracarriles y distancia a puntos fundamentales.
 - Para realizar la medición, los pórticos PEM deben desplazarse rodando a lo largo del cambiavía de acuerdo a la cota requerida de medición.



Fig. N° 2.35 Verificaciones geométricas en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Soldaduras aluminotérmicas
 - Se realizan en total 7 soldaduras aluminotérmicas en el premontaje de cada cambiavía, primero las de unión con el cuerpo de agujas, luego las del cruzamiento y finalmente las de los cupones del talón (ver Fig. N° 2.36).
 - Culminadas las soldaduras, se realizan los ensayos no destructivos.



Fig. N° 2.36 Soldaduras aluminotérmicas en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

- Preparación para carga del cambiavía en tren de trabajo
 - Finalizados trabajos y liberaciones de calidad del premontaje, se posicionan pórticos PEM en el cambiavía, rodando por propios medios (ver Fig. N° 2.37).
 - El primer PEM se ubica a 6 m de la JCA, y los otros separados 8 m entre sí.

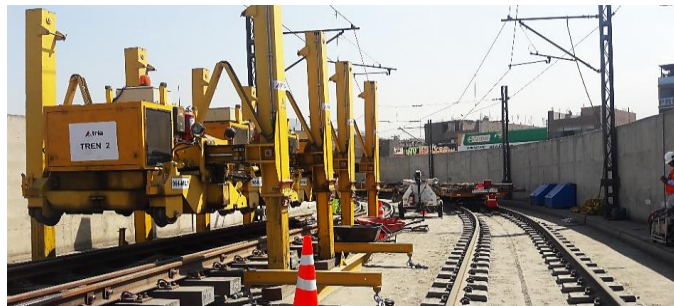


Fig. N° 2.37 Posicionamiento de PEM previo carguío en premontaje Cola de Vía Bayóvar
Fuente: Elaboración propia

c) Aseguramiento de calidad

Los procesos de inspección a realizar durante la fase de premontaje son:

- Mediciones especificadas en el protocolo de recepción del ADV premontado.
- Actividades de control durante cada ejecución de soldadura aluminotérmica.
- Actividades de control por ensayos ultrasónicos y visuales a las soldaduras.

2.3.2.2. Premontaje en zona de premontaje de VES

a) Consideraciones

- No deben estacionarse en la cola de maniobras de VES durante la noche previa y la noche del alto impacto.
- Los materiales de premontaje de cambiavías deben trasladarse de la zona 56 de VES a la zona de premontaje por medio del tren de plataformas.

b) Proceso constructivo

- Descarga del cuerpo de agujas
 - Se traslada el cuerpo de agujas desde el acopio de materiales de cambiavías de la Zona 56 del Patio VES hasta la vía provisional de encarrilamiento en la zona de premontaje, mediante el TT3.
 - Una vez posicionado sobre la vía provisional el TT3 con el cambiavía, mediante dos máquinas biviales modo carretera se engancha el cuerpo de agujas por dos puntos de levantamiento ubicados a 3 m de cada extremo.
 - Mediante movimientos coordinados de las biviales, se descarga el cuerpo de agujas sobre la vía de premontaje libre más próxima (ver Fig. N° 2.38).
 - Luego de descargar el cuerpo de aguja, se descargan los materiales restantes.



Fig. N° 2.38 Descarga del cuerpo de agujas en premontaje VES

Fuente: Elaboración propia

- Descarga de paquetes de durmientes y componentes sueltos.
 - Mediante una máquina bivial, se descargan los materiales del TT1 mediante eslingas, depositándose sobre la zona de premontaje (ver Fig. N° 2.39).
 - La colocación de paquetes de durmientes debe considerar el posterior reparto.
 - Culminada la descarga, el TT1 se retira a la Zona 56 del Patio VES.



Fig. N° 2.39 Descarga de paquetes de durmientes en premontaje VES
Fuente: Elaboración propia

Se realizan las mismas actividades relacionadas ejecutadas en la zona de premontaje de Cola de Vía Bayóvar:

- Desempaquetado de durmientes y reparto.
- Montaje de rieles (ver Fig. N° 2.40).
- Embridado de juntas y colocación de sujeciones.
- Verificación de cotas geométricas.
- Soldaduras aluminotérmica.
- Preparación de carga del cambiavía en tren de trabajo.



Fig. N° 2.40 Montaje de rieles en premontaje VES
Fuente: Elaboración propia

- Consideraciones especiales para enlaces 01 y 02

Los enlaces 01 y 02 cuentan con rieles de transición a los extremos de la JCA y la junta del talón, los cuales permiten pasar del perfil de riel 115RE del ADV al perfil 100RE de la vía existente en las zonas de implantación. Para ello, se realizan las siguientes actividades adicionales:

- Se colocan durmientes de concreto en 6 m de los extremos, cada 650 mm.
- No se instalan los cupones de riel de la zona de talón. En cambio, se instalan los rieles de transición, quedando el tramo de riel 115RE sobre los durmientes de concreto y el tramo de riel 100RE en voladizo.

- Los rieles de transición implican 4 soldaduras aluminotérmicas adicionales en el premontaje (ver Fig. N°. 2.41).



Fig. N° 2.41 Soldaduras de rieles de transición en premontaje VES

Fuente: Elaboración propia

c) *Aseguramiento de calidad*

Los procesos de inspección son los mismos que los del premontaje en Bayóvar.

2.3.2.3. *Premontaje en Tercera vía de Av. México*

a) *Medidas preventivas*

- Buscando restringir el acceso a la tercera vía, durante el premontaje de colocan conos de seguridad con barras retráctiles a lo largo del lateral de la zona.
- En caso se realicen pruebas de trenes en paralelo con trabajos de premontaje, se colocan adicionalmente alineadores verticales con base de concretos (cachacos) envueltos con malla naranja de seguridad para delimitación lateral.
- En búsqueda de señalar la zona de manera visual durante la operación comercial, se dejan marcas o señales viales Chevron en los durmientes más largos y por tanto de mayor preocupación para los operadores de tren.

b) *Consideraciones*

- Los materiales de premontaje de cambiavías deben trasladarse de la zona 56 de VES a la zona de premontaje por medio del tren de plataformas.
- También mediante el TT3 se trasladan 4 bolsas big bags de 2 T con balasto.
- Los trabajos de premontaje en la tercera vía se realizan en turno nocturno.

d) *Proceso constructivo*

- Transporte de materiales

- El traslado del cuerpo de agujas, durmientes, cupones de riel, bolsas big bags y materiales sueltos, se realiza desde la Zona 56 del Patio Taller VES mediante el TT3 traccionado por cola por el Unimog (ver Fig. N° 2.42).
- Las máquinas biviales parten de la vía de encarrilamiento VES una detrás de otra hasta altura de zona de premontaje de la tercera vía, en vía principal par.
- El tren de plataformas parte de la vía 17 en la Zona 56 del Patio Taller VES hasta estacionarse en la tercera vía, en la zona destinada al premontaje.



Fig. N° 2.42 Carguío del TT3 para premontaje en Tercera vía de Av. México
Fuente: Elaboración propia

- Conformación del paso carretero
 - El TT3 se estaciona en la zona de premontaje de la tercera vía y las máquinas biviales en la vía par.
 - El TT4, una de las máquinas biviales, descarga el balasto de las bolsas big bags en la vía par y entre la vía par y la tercera vía. En tanto, el TT5, la otra bivial, conforma el paso carretero mediante su cucharón (ver Fig. N° 2.43).

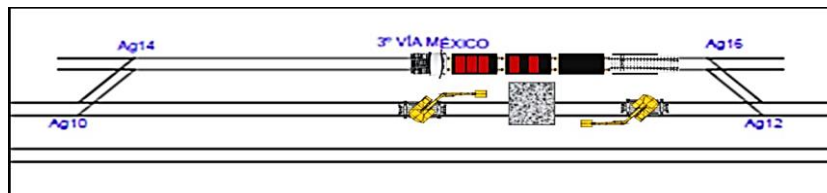


Fig. N° 2.43 Conformación de paso carretero de balasto en la Tercera vía de Av. México
Fuente: Elaboración propia

- Descarga de paquetes de durmientes y componentes sueltos
 - Las dos máquinas biviales realizan la descarga de materiales del TT3 en el lado norte de la zona de premontaje.
 - Los paquetes de durmientes se descargan mediante eslingas, mientras que los rieles mediante balancín con grilletes de riel.
 - La ubicación de lo descargado se realiza de manera que no afecten al reparto.

- Descarga del cuerpo de agujas
 - El TT3 ubica su última plataforma en área destinada a montar cuerpo de agujas.
 - Las máquinas biviales se descarrilan en el paso carretero, con una rueda en la vía par y otra en la entrevía entre la vía par y la tercera vía.
 - Las máquinas biviales en modo carretero sujetan al cuerpo de agujas y lo levantan mediante dos puntos ubicados a 3 m de cada extremo.
 - Una vez levantado el cuerpo de agujas, el tren de trabajo retrocede.
 - El cuerpo de agujas se descarga, sin que las biviales se mueva o giren, y se ubica sobre tercera vía, pegado al parapeto del viaducto (ver Fig. N° 2.44).
 - Las máquinas biviales restituyen las pestañas de riel en el paso carretero conformado, para permitir el paso de los trenes de servicio.
 - Culminada la descarga de materiales, el TT3 y TT5 se ubican al sur (dirección VES) de la zona de premontaje, y el TT4 al norte (dirección Bayóvar).
 - En la siguiente jornada nocturna, los TT3 y TT5 retornan a VES, el primero a la vía 17 de la Zona 56, mientras que el segundo a la vía de encarrilamiento.

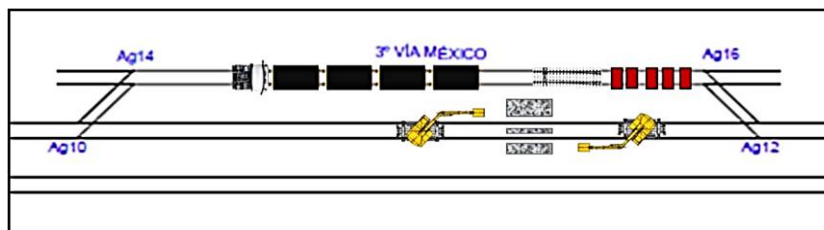


Fig. N° 2.44 Descarga del cuerpo de agujas en la Tercera vía de Av. México
Fuente: Elaboración propia

Se realizan las mismas actividades relacionadas ejecutadas en la zona de premontaje de Cola de Vía Bayóvar:

- Desempaquetado de durmientes y reparto.
 - Montaje de rieles.
 - Embrizado de juntas y colocación de sujeciones.
 - Verificación de cotas geométricas.
 - Soldaduras aluminotérmica.
- Posicionamiento de PEM
 - El TT3 es cargado por los PEM, cada par arriostrado y sobre una de las plataformas del tren.

- Cada par de PEM es colocado sobre un panel de vía conformado por dos cupones de riel de 4 m y 4 durmientes de madera, sirviendo de cuna para los PEM durante el transporte y posicionamiento en la zona de premontaje.
- El TT3 parte de VES hasta la tercera vía de Av. México mediante la vía par y se estaciona en el tramo paralelo al cambiavía premontado.
- El primer par de PEM, ubicado a la altura del talón del desvío, abre las patas y se levanta junto con su panel de vía, y el TT3 retrocede dejándolo libre.
- Los PEM ripan el panel de vía desde la vía par hasta la tercera vía, ubicándose sobre zona del talón, empleándose tacos de madera para estabilidad.
- El segundo par de PEM, ubicado a la altura del cuerpo de agujas, repite el proceso hasta ubicarse sobre el desvío con su panel de vía (ver Fig. N° 2.45).



Fig. N° 2.45 Ripado del cuerpo de agujas en premontaje en Tercera vía de Av. México
Fuente: Elaboración propia

e) *Aseguramiento de calidad*

Los procesos de inspección son los mismos que los del premontaje en Cola de Vía Bayóvar y Zona de Premontaje VES.

2.3.3. Marcaje de obra

2.3.3.1. *Actividades previas*

- Deben habilitarse puntos de suministro de agua para hidratación de obreros.
- Al implicar mayormente horario nocturno, se debe implementar dos torres luminarias tipo trípode ubicadas estratégicamente, con un globo de iluminación auto-inflable de luz LED 6x100 W.

2.3.3.2. *Elementos de marcaje*

a) *Inicio y fin del cambiavía*

Es el replanteo requerido para el desmantelado de la vía en el montaje del cambiavía. Consiste en el replanteo de la junta de contraaguja par (CMV-P) e

impar (CMV-I) en los dos sentidos con su respectiva progresiva, así como el replanteo de la junta del cruzamiento (FMV) en los dos sentidos. En cada hilo de riel tiene distinta nomenclatura, teniendo la siguiente correspondencia:

- FMV-PE: Vía par externa.
- FMV-PI: Vía par interna.
- FMV-IE: Vía impar externa.
- FMV-II: Vía impar interna.

Las marcas se realizan mediante pintura con fondo rojo aplicada en el parapeto lateral, seguido de una línea blanca gruesa y un marcaje final con una raya fina en el riel tras verificarse con cinta métrica. Dichas marcas no incluyen la cala de la soldadura, referencian de manera exacta a los puntos topográficos indicados en el respectivo plano del desvío (ver Fig. N° 2.46).



Fig. N° 2.46 Marcaje de inicio de cambiavía

Fuente: Elaboración propia

b) Punto de corte de rieles para formación de parejas

Es el replanteo requerido para el corte de vía existente en la futura posición del cambiavía. Consiste en el marcaje de puntos de corte cada 6000 mm aproximadamente (para 6 parejas), de manera que se logre dismantelar la longitud del cambiavía de 36409 mm. Se realiza mediante rayas color amarillo en el riel (ver Fig. N° 2.47).

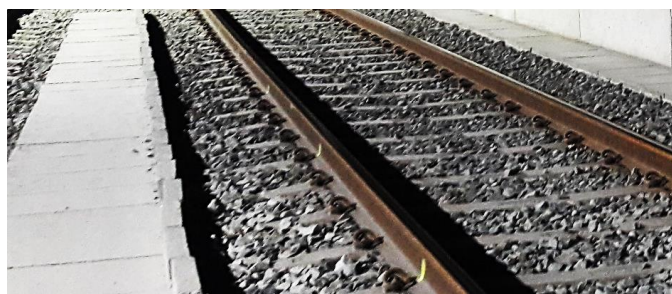


Fig. N° 2.47 Marcaje de punto de corte de rieles para parejas

Fuente: Elaboración propia

c) Punto de corte de rieles para sustitución de cupones existentes

Es el replanteo requerido en el riel existente adyacente al cambiavía, para la sustitución de éste debido a la cercanía con una soldadura. La distancia mínima es de 6000 mm. Este marcaje es de color rojo, y, al igual que marcajes anteriores, referencian de manera exacta a puntos topográficos del plano (ver Fig. N° 2.48).



Fig. N° 2.48 Marcaje de punto de corte para sustitución de cupones

Fuente: Elaboración propia

d) Marcaje complementario en muro lateral

El marcaje de las progresivas kilométricas relativas a los puntos típicos del cambiavía se realiza mediante pintura fosforescente en aerosol en parapetos o muros laterales de la línea. Además de marcas como la del CMV y FD, el marcaje se incrementa fuera de este tramo en el orden de 30 a 50 m adicionales para indicar puntos de inicio de acopio de balasto, de parejas de vía, sitio de descarga del cazo de bival o estacionamiento de trenes de trabajo (ver Fig. N° 2.49).



Fig. N° 2.49 Marcaje complementario para el alto impacto

Fuente: Elaboración propia

e) Ubicación de pórticos PEM-LEM

A fin de realizar la distribución de las bases de madera en la que se asentarán las patas de los pórticos PEM durante el montaje, se marca con una X la ubicación de cada base mediante pintura fosforescente en aerosol aplicado en el balasto una vez desmantelada la vía.

f) Marcaje de durmientes 58 y 59

Para realizar el reemplazo de los durmientes de concreto de una vía que interfieren con la ubicación en la vía opuesta de los durmientes de madera 58 y 59 del cambiavía, se realiza el marcaje en la cara externa de los rieles mediante spray amarillo, de modo que el ancho de la marca corresponda con el de los durmientes 58 y 59 a sustituir. Este marcaje rojo en medio del durmiente indica además TVS 58 y TVS 59 en color blanco para mejor identificación (ver Fig. N° 2.50).



Fig. N° 2.50 Marcaje de durmientes 58 y 59 para alto impacto

Fuente: Elaboración propia

La ubicación de los marcajes en los cambiavías y su simbología se reflejan en el plano de marcaje del Anexo 1.

2.3.4. Pruebas dinámicas

2.3.4.1. Antecedentes

Debido a la criticidad del transporte de componentes del montaje del cambiavía, se requiere realizar pruebas previas utilizando específicamente el tren de plataformas, responsable del traslado del cambiavía premontado y materiales sueltos desde zonas de premontaje hasta punto de implantación, considerando:

- Prueba tipo 1: Funcionamiento del tren en vacío.
- Prueba tipo 2: Traslado del cuerpo de agujas.
- Prueba tipo 3A: Ensayo de traslado del cambiavía desde Bayóvar.
- Prueba tipo 3B: Ensayo de traslado del cambiavía desde Villa El Salvador.

2.3.4.2. Objetivos

- Validar el comportamiento del tren de plataformas cargado con el cambiavía premontado mediante ensayos del futuro transporte a realizar durante la jornada de alto impacto, implicando cruzar curvas críticas previstas en el estudio de gálibos para el montaje de los enlaces 04 y 05.
- Validar el comportamiento del sistema de flotación instalado en el TT3 para el traslado del cambiavía por curvas críticas.

- Identificar posibles fallos en el transporte para mejorarlo previo a los montajes.

2.3.4.3. Proceso constructivo

a) Prueba dinámica tipo 1

Prueba a realizar dentro del circuito de pruebas, en la Zona 56 del Patio Taller Villa El Salvador. Se prueba al tren de plataformas empujado por el camión bivial Unimog (TT3) sin carga por el circuito (ver Fig. N° 2.51), para probar el funcionamiento del tren de plataformas, con sistema de frenado de aire propulsado del Unimog a plataformas, así como velocidad máxima permisible en curvas.



Fig. N° 2.51 Prueba dinámica 1 en la Zona 56 del Patio VES

Fuente: Elaboración propia

b) Prueba dinámica tipo 2

Prueba a realizar partiendo del circuito de pruebas de la Zona 56 del Patio VES hasta la vía principal, para luego continuar el trayecto a lo largo de la línea. Se prueba al TT3 cargado con un cuerpo de agujas real y materiales para premontaje de un cambiavía (ver Fig. N° 2.52). Esta prueba se desarrolla durante el transporte de materiales para el premontaje del CV08 IMPAR desde VES hasta Bayóvar.

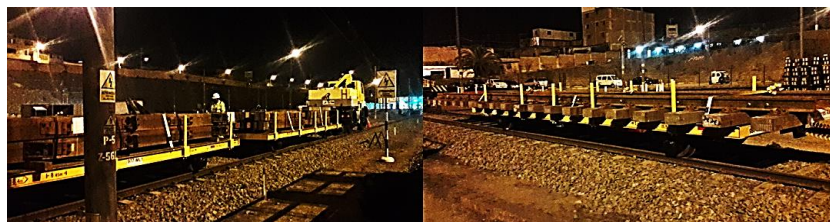


Fig. N° 2.52 Prueba dinámica tipo 2 en la Zona 56 de Patio VES

Fuente: Elaboración propia

c) Prueba dinámica tipo 3

- Prueba tipo 3A

Prueba a realizar en la vía principal, desde la cola de vía Bayóvar hasta CV06, transportándose un cambiavía completo al igual que durante los trabajos de alto impacto. Para ello, se adicionan rampas soldadas a las falsas traviesas para reducir el impacto provocado por las ruedas contra la plataforma al retornar de

posición de voladizo hacia dentro de la plataforma, cuando el tren sale de una curva para ingresar a tramo recto (ver Fig. N° 2.53).



Fig. N° 2.53 Prueba dinámica tipo 3A en vía principal

Fuente: Elaboración propia

- Prueba tipo 3B
- Carga del cambiavía sobre el TT3
- ✓ Se realiza durante los trabajos de alto impacto del CV02 PAR.
- ✓ Los pórticos PEM levantan el cambiavía desde la zona de premontaje VES y lo ripan hasta la vía principal lado par.
- ✓ El TT3, con el camión bivial Unimog con cabina delante empujando a las plataformas, parte de cola de vía VES hasta posicionarse debajo del ADV.
- ✓ Los PEM bajan el cambiavía sobre plataformas considerando 8 cm de desfase entre el eje del cambiavía y el de plataformas, de acuerdo al estudio de gálibos.
- ✓ Se instalan el sistema de flotación y el sistema de anclaje en la plataforma central, con los sistemas de mordaza y pernos para fijar el cambiavía.
- ✓ Los pórticos PEM se mueven sobre el cambiavía y se distribuyen. La plataforma 1, más alejada del camión bivial Unimog, contiene un lastre de 2 T y parte del desvío; las plataformas 3 y 4 soportan al desvío y un par de PEM; y finalmente la plataforma 5, más próxima al Unimog, alberga a los 2 PEM restantes, reposando en la pareja de vía de 4 m en la plataforma (ver Fig. N° 2.54).

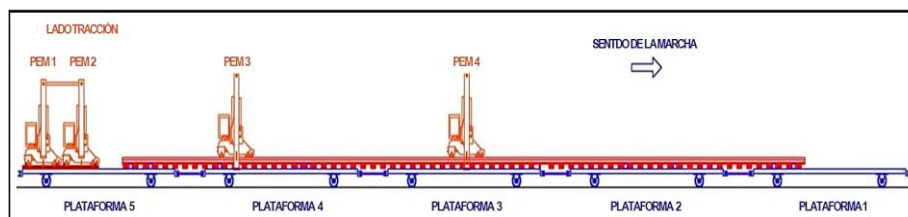


Fig. N° 2.54 Distribución de PEM sobre el TT3 para prueba dinámica 3B

Fuente: Elaboración propia

- ✓ El TT3 parte desde su ubicación paralela a la zona de premontaje VES a estacionarse en la cola de vía VES, por vía par.
- Desarrollo de la prueba dinámica tipo 3B

- ✓ La prueba tiene como punto de partida la cola de vía VES y como punto final la Estación Villa María por la vía par, para luego retornar por la misma vía a la cola de vía VES. Se considera una velocidad limitada de 5 km/h en las 4 curvas de radio menor a 1000 m y andenes presentes en el recorrido (ver Fig. N° 2.55), y una velocidad de 15 km/h para circulación normal en el resto del trayecto.

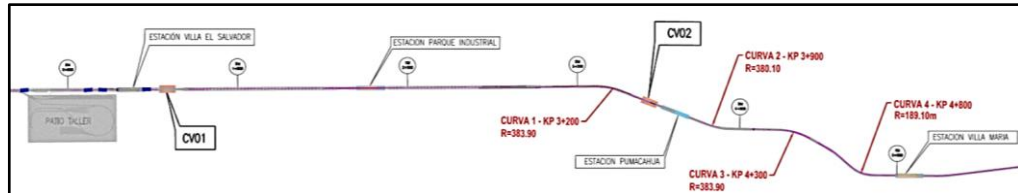


Fig. N° 2.55 Ubicación de curvas críticas en prueba dinámica tipo 3B

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Al ingreso a las curvas de radio menor a 1000 m, el TT3 se detiene para realizar la circulación de la curva de forma controlada:
- ✓ Se dispone de un operario para cada plataforma, equipado con linternas, galgas y pie de rey, ubicado en entrevía acompañando al tren a paso de hombre y atento a descarga de rueda y de producirse, autorizar el detenimiento del tren.
- ✓ Al completarse el ingreso de todo el tren al tramo en curva, se detiene el tren y cada operario evalúa el contacto rueda-riel de las plataformas, verificando posibles descargas de rueda, especialmente en la plataforma 3.
- ✓ En caso las mediciones determinen que la circulación es segura, se continúa con el trayecto en la curva a la velocidad de 5 km/h. De lo contrario, se realiza el aseguramiento de las ruedas en cuestión para asegurarlas dentro de la vía y retomar el recorrido. Esto aplica para las 4 curvas críticas de la trayectoria.
- ✓ La prueba culmina al llegar a la Estación Villa María, al albergar a las 4 curvas críticas presentes en posterior trayecto para el montaje de los enlaces 03 y 04.
- ✓ El recorrido de vuelta se realiza por la misma vía par sin detenciones hasta estacionarse en la cola VES donde permanece el tren hasta el alto impacto.

2.3.4.4. Condiciones de validación

El resultado de la prueba tipo 3B cuenta con la siguiente casuística:

- Prueba satisfactoria sin incidencias

Se considera la prueba satisfactoria si cumple con los siguientes objetivos:

- El tren circula de forma estable sin aparición de descargas de rueda con riesgo de inestabilidad, con una máxima descarga hasta la mitad de la altura de la pestaña. Considerando esta altura de 36 mm, la descarga máxima es 18 mm.

- El sistema de flotación, basado en las falsas traviesas, logra el desplazamiento seguro de la carga sobre la plataforma durante su inscripción en curva.
- El sistema de anclaje, basado en pernos ubicados entre los durmientes del cambiavía en la plataforma, logra la absorción de esfuerzos de aceleración y frenado de la carga sobre la plataforma sin generar desplazamientos frontales.

- Prueba satisfactoria con corrección puntual de parámetros

Se da por validado el sistema con correcciones en caso se requieran reposicionamientos o modificaciones en el diseño del sistema de flotación, a fin de mejorar el comportamiento de la carga en el tren en su inscripción en curvas.

- Prueba insatisfactoria

Se considera la prueba insatisfactoria al generarse situaciones inseguras para la circulación, como descargas de rueda superiores a 18 mm. De generarse, las pruebas se detienen para analizar el fallo, optimizar el sistema y reiniciar la prueba.

2.3.5. Carga y descarga mediante PEM-LEM

2.3.5.1. Medidas preventivas

- Realizar checklist de inspección de los equipos biviales implicados y PEM-LEM.
- Certificación y acreditación de operadores de maquinaria.
- Corte de tensión eléctrica de la catenaria en la zona de premontaje y en la zona de instalación del cambiavía.
- Instalación de pértigas de puesta a tierra.
- Implementación de limitador de altura para los equipos biviales.
- Uso de EPPs y señalización del área.
- Elaboración de ATS y plan de emergencias.

2.3.5.2. Casos de carga y descarga de cambiavías

a) Descarga del cuerpo de agujas mediante PEM

- Objetivo

Descargar el cuerpo de agujas para el premontaje de cambiavías y ubicación de PEM sobre el cuerpo para posterior levantamiento sobre plataformas o LEM.

- Actividades previas

- El cuerpo de agujas de 6.5 T y 12.4 m de largo es trasladado mediante el TT3 a la zona de premontaje, sobresaliendo máximo 3.7 m de la última plataforma.
 - Al llegar a la zona de premontaje, la última plataforma es desenganchada.
 - Los PEM se encuentran en la cola de maniobras arriostros 2 a 2.
- Proceso constructivo
 - Mediante una barra de tracción, la bivial engancha a la plataforma que contiene el cuerpo de agujas y la empuja hasta punto de descarga en premontaje.
 - La bivial se desengancha y encarrila dos diploris a la vía de premontaje.
 - El tramo en voladizo se levanta mediante gatos espaciados 2 m entre ellos.
 - La bivial empuja a los diploris ubicándolas debajo del voladizo, suplementadas con tacos de madera para soportar el peso del tramo en voladizo.
 - Retirados los gatos, se descende el voladizo del cuerpo de agujas, quedando las cargas distribuidas entre la plataforma y los diploris.
 - Se arriostros PEM 2 a 2 en bloques de dos PEM distanciados 4 m, considerándose grupo 1 al ubicado en medio y grupo 2 al ubicado al extremo.
 - Los PEM abren sus patas y se levantan a sí mismos, mientras la bivial empuja al conjunto diploris-plataforma por debajo de los pórticos, para luego permitir a los PEM descender sobre el cuerpo de agujas y engancharlo (ver Fig. N° 2.56).
 - El grupo 1 de PEM levanta el cuerpo de agujas mientras la bivial retira mediante tracción al conjunto diploris-plataforma.

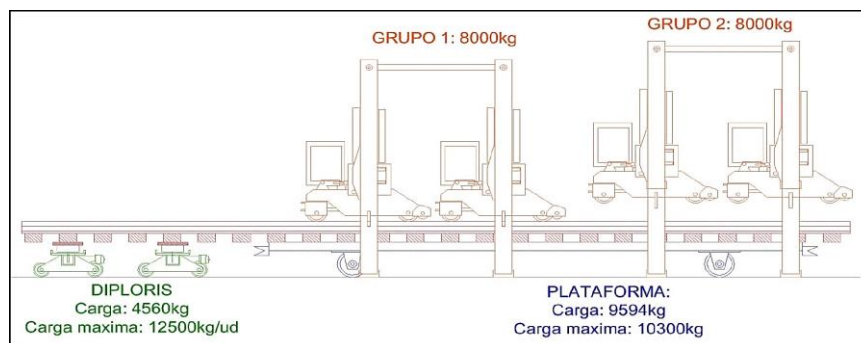


Fig. N° 2.56 Posicionamiento de PEM para descarga de cuerpo de agujas

Fuente: Elaboración propia

- El grupo 1 descende con el PEM a la vía de premontaje y el grupo 2 también descende a encarrilarse sobre el cuerpo de agujas.

b) Carga de LEM con el cambiavía premontado

- Objetivo

Cargar el cambiavía premontado sobre los LEM para posterior traslado desde la zona de premontaje al punto de implantación de los enlaces 08 y 07 (caso Bayóvar) y 01 y 02 (caso VES) durante las jornadas de alto impacto.

- Actividades previas
 - Culminación del premontaje del cambiavía.
 - Lorrys LEM estacionados detrás del cambiavía premontado.
- Proceso constructivo
 - Los PEM se distribuyen a lo largo del cambiavía premontado. El primero a 6 m, el segundo a 14 m, el tercero a 20 m y el último a 30 m, y se enganchan al cambiavía mediante sus pinzas de levante.
 - Los PEM abren sus patas y las bajan a los tacos, para levantar el desvío.
 - Los LEM se trasladan y distribuyen bajo desvío en mismos puntos que los PEM.
 - Los PEM descienden con el cambiavía sobre los LEM, los cuales enganchan al cambiavía por los durmientes, listos para iniciar su recorrido.

c) Carga del tren de plataformas con cambiavía premontado

- Objetivo

Cargar el cambiavía premontado sobre el tren de plataformas para para posterior traslado desde la zona de premontaje al punto de implantación de los enlaces 03, 04, 05 y 06 durante las jornadas de alto impacto.

- Actividades previas
 - Los PEM se distribuyen a lo largo del cambiavía premontado y levantan el desvío del mismo modo que para su carga sobre LEM.
 - Los PEM se levantan unos 5 cm encima del apoyo del desvío en vía existente.
 - Los operarios colocan las falsas traviesas flotantes con rodamiento de bolas a lo largo del cambiavía, ubicadas entre los durmientes y siendo 11 en total por cambiavía. Luego de asegurarlas al cambiavía, éste queda listo para su carga.
- Proceso constructivo
 - Los PEM levantan el cambiavía 70 cm encima de la cota del riel.
 - El tren de plataformas retrocede y se ubica bajo el cambiavía levantado, alineándolo respecto a las marcas realizadas en las plataformas para apoyo de las falsas traviesas.

- Los PEM ripan el cambiavía 8 cm hacia la entrevía, alineándolo respecto a las marcas de posición de las plataformas.
- Los PEM descienden el cambiavía sobre el tren de plataformas, y es asegurado a la plataforma 3 mediante el sistema de anclaje por bulones.
- Los PEM se distribuyen en el cambiavía igual que para la prueba dinámica tipo 3B, enganchados a los rieles del cambiavía mediante sus pinzas de levante.
- El par arriostrado de PEM ubicado en la plataforma próxima al Unimog, se levanta en vacío mientras el Unimog posiciona al tren y desciende sobre lastre.
- Asegurados el lastre y los PEM mediante eslingas a los puntos de amarre, el conjunto queda listo para su circulación.

d) Descarga del cambiavía premontado de los LEM

- Objetivo

Descargar el cambiavía premontado desde los LEM hacia el punto de implantación de los enlaces durante las jornadas de alto impacto.

- Actividades previas

- El cambiavía premontado es cargado sobre los LEM y soporta a los PEM.
- El tren de PEM-LEM (TT2) llega a la zona de implantación del cambiavía y desciende sobre la vía provisional colocada en dicha zona.

- Proceso constructivo

- Los PEM extienden sus patas y las descienden, apoyadas en tacos de madera.
- Los LEM liberan su anclaje a los durmientes del cambiavía.
- Los PEM levantan el cambiavía 20 cm encima de los LEM y éstos salen de la zona hacia la vía existente, esperando a los PEM.
- Se retira la vía provisional mediante eslingas tiradas por un equipo bivial.
- Los PEM descienden al cambiavía sobre el balasto con control topográfico.
- Los PEM recogen sus patas y salen del cambiavía desplazándose sobre él, para luego agruparse con los LEM en la vía existente.
- Los PEM y los LEM, enganchados mediante bulones, retornan por sus propios medios a la zona de premontaje con una velocidad máxima de 5 km/h.

e) Descarga del cambiavía premontado del tren de plataformas

- Objetivo

Descargar el cambiavía premontado desde el tren de plataformas hacia los LEM para su traslado al punto de implantación de los enlaces 06, 05, 04 y 03.

- Actividades previas
 - El cambiavía premontado es cargado sobre el tren de plataformas (TT3).
 - El TT3 se detiene a 50 m de la zona de implantación del cambiavía, al final de la vía existente luego del corte de parejas.
 - Los LEM se ubican al final de la vía existente.
 - Los pórticos se liberan de su anclaje y amarres y se ubican en sus puntos de levante a lo largo de la vía directa del cambiavía.

- Proceso constructivo
 - Los PEM sujetan al cambiavía desde sus respectivos puntos de levantamiento.
 - Los PEM abren sus patas y descienden apoyándolas sobre tacos de madera.
 - Se desenganchan falsas traviesas y elementos de anclaje de la plataforma 3.
 - Los PEM levantan al cambiavía 30 cm por encima de las falsas traviesas.
 - El TT3 retrocede debajo del desvío y los LEM avanzan hasta debajo el mismo.
 - Los LEM se distribuyen a lo largo del cambiavía y los PEM lo descienden.
 - Asegurada la carga mediante mordazas de los LEM, queda dispuesto el TT2.
 - Terminada la colocación del cambiavía en su zona de implantación, los PEM se retiran de la zona y se arriostran 2 a 2 con 10 m de separación.
 - Los PEM estiran sus patas y se eleva 10 m.
 - Se colocan 4 paneles de vía en las plataformas 1 y 2 del TT3.
 - Ubicado el TT3 bajo los PEM, éstos descienden apoyándose sobre los paneles.
 - Los PEM se aseguran mediante eslingas y tacos de madera, dispuestos para su retorno a la zona de premontaje.

2.3.6. Soldadura aluminotérmica

2.3.6.1. Medidas preventivas

- Materiales de soldadura aluminotérmica embalados herméticamente y almacenados en un lugar cerrado, seco y ventilado.
- Disposición de arena seca como medio de extinción para el producto almacenado.
- Delimitación de la zona de soldadura previo a su ejecución.

- Utilización de EPPs como ropa apta para soldeo, botas, chaleco reflectivo, mandil, cascos, guantes de protección contra riesgos térmicos, gafas de protección contra chispas y careta facial de soldeo.

2.3.6.2. Actividades previas

- Habilitación de soldadores por el proveedor de soldadura aluminotérmica.
- Homologación y garantía de calidad de materiales de soldadura.
- Calibración de equipos de ensayos de ultrasonido y dureza.
- Realizar una lista de verificación del juego de aplicación y consumibles.

2.3.6.3. Proceso constructivo

- Preparación de la junta a soldar

En soldadura de cupones, la cala se realiza mediante corte de extremos de cada barra con tronadora con caballetes sujetando los cupones, generando una superficie no expuesta y limpia. Se eliminan óxido y grasa sobre 15 cm de puntas de riel mediante cepillo y se separan durmientes mínimo 10 cm de los extremos de cupones. Luego, se desmontan placas y fijaciones en 3 durmientes por lado.

- Ajuste de la cala

Se verifica el espacio de la cala de 25 ± 2 mm, mediante una galga o cinta métrica a insertar entre cabezas y patines en zona de cala. De no cumplir, se debe cortar nuevamente los rieles mediante tronadora. Mediante la regla de 1 m colocada en medio de la cala se regula una flecha de máximo 0.4 mm a los extremos de la regla, para que la soldadura quede finalmente apuntada hacia arriba y no descienda cuando enfríe. Siempre mediante caballetes, se realiza la misma operación para el alineamiento en planta, colocando la regla apoyada en las caras activas. Las calas deben estar en centro del travelaje para realizar las soldaduras.

- Colocación de los moldes

Se colocan moldes de arcilla centrados a cada lado de la junta, luego de limpiarlos de finos, asegurando partes iguales de riel dentro de su cavidad. De requerir saneo por estado del riel o soldadura ejecutada incorrectamente, se realiza soldadura de cala ancha de 49 mm con moldes especiales. Se colocan placas laterales y se ajustan centradas sobre la cala con la prensa, y luego la galleta (molde inferior)

en la placa de fondo y alrededor de ésta la pasta fusil al ras de la galleta, y el conjunto se ajusta centrada bajo los moldes.

- Sellado de los moldes

Fijados los moldes, se coloca pasta fusil alrededor del perfil del riel. Al costado de la cala y fijado a placa lateral, se coloca la cubeta de corindón con una capa de 1" de arena seca, para recibir la escoria de soldadura.

- Precalentamiento

La boquilla del soplete se fija a 5 cm sobre el riel y centrada entre moldes. Para eliminar la humedad existente en moldes y extremos de rieles, y lograr temperaturas similares a la de la carga, se enciende el grupo de precalentamiento dragón (ver Fig. N° 2.57), el cual se alimenta de cilindros de propano a 0.4 Bar y oxígeno de 1.5 Bar de presiones de salida, lo cual debe verificarse durante los 5 minutos de precalentamiento. Culminado el precalentamiento, se retira el calentador cuidadosamente. El tapón de moldes, calentado ligeramente durante el precalentamiento al ubicarlo cerca a los moldes, se coloca con una pinza dentro de la cavidad entre ellos y se presiona con cuidado.



Fig. N° 2.57 Precalentamiento para soldadura aluminotérmica

Fuente: Elaboración propia

- Colocación del crisol con carga aluminotérmica

Se abre la bolsa que contiene la carga o polvo refractario, guardándola para trazabilidad de la identificación de la soldadura indicada en la bolsa. Se vacía dentro del crisol y el conjunto se ubica sobre los moldes, centrado en el eje del molde y riel. Debe utilizarse exclusivamente la carga del kit sin mezclar con otro.

- Colada

Se prende la carga con el elemento de ignición tipo fósforo del proveedor, insertándolo dentro del crisol y cubriendo al mismo con su tapa. La reacción dura alrededor de 30 segundos y la colada se produce inmediatamente después (ver Fig. N° 2.58). Cuando los moldes se llenen, el corindón remanente fluye dentro de la cubeta. Durante la reacción y colada, el personal debe alejarse del área.



Fig. N° 2.58 Colada del material aluminotérmica

Fuente: Elaboración propia

- Retiro de materiales

Tras 3 minutos luego de la colada, se retira la cubeta de corindón, y luego de medio minuto, se retira suavemente el crisol. Se retira la prensa de sujeción para permitir la solidificación de la soldadura y posteriormente las placas porta-molde.

- Desbaste de la soldadura

Se retiran los moldes mediante pasadas de la cortamazarota (cortadora hidráulica) sobre el hongo de la soldadura y golpes con mazo para los sobrantes en los laterales. El desbaste se realiza en la superficie de rodadura, cara activa y cara exterior de la cabeza, en ese orden. Solidificada la soldadura, se limpia la misma con cepillo de alambre.

- Acabado final

El amolado inicial se realiza con esmeriladora de muela giratoria mediante pasadas sobre la superficie de rodadura, para lograr desigualdades menores a 0.75 mm entre la superficie de rodadura y caras activas del material aportado y los rieles (ver Fig. N° 2.59). Luego de aproximadamente una hora del primer amolado, se realiza un esmerilado suave en zonas que muestren irregularidades.



Fig. N° 2.59 Esmerilado de soldadura aluminotérmica

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.4. Trazabilidad

Para seguimiento en una jornada posterior, se realiza el marcaje de la soldadura mediante marcador de metal aplicado en el alma del riel, indicando el número de soldadura y fecha de ejecución. En los respectivos protocolos se registra información de cada una como número y progresiva, fecha, número del lote, temperatura de ejecución, etc. En la siguiente jornada, se realiza el troquelado de metal en la parte externa del alma, con misma información que el primer marcaje.

2.3.6.5. Aseguramiento de calidad

a) Inspección visual

El área de soldadura no debe presentar porosidad, fisuras, presencia de arena o deformaciones protuberantes, señales un mal proceso, por lo que tal soldadura no debe aceptarse. Además, las juntas soldadas deben estar desfasadas entre ellas como mínimo 6 m, en el mismo carril o entre ambas líneas, para la vía principal. Para su corrección, se debe cortar la junta para realizar soldadura de cala ancha.

b) Control geométrico

Mediante la regla de 1 m y galgas de medición, se verifica el alineamiento vertical de la soldadura, con la diferencia de superficies de hongo entre junta y rieles sin exceder los 0.2 mm; y el alineamiento horizontal, con la diferencia entre caras activas a los 2/3 debajo de la superficie entre junta y rieles sin exceder los 0.5 mm. De exceder tolerancias, se debe reemplazar la junta por soldadura de cala ancha.

c) Inspección de ultrasonido

Calibrados los equipos con el metal base y aplicado el acoplante de metil-celulosa sobre el área soldada, se procede con el escaneo a través del transductor que

dispara haces de UT a diferentes ángulos apoyado en el patín, el alma y superficie del hongo. Mediante reflexión de haces dentro de espesores de las zonas mencionadas, se evalúan y localizan discontinuidades de acuerdo a una curva DAC (amplitud en función a la distancia) obtenida en calibración (ver Fig. N° 2.60). Para aceptar la soldadura, no debe presentar fisuras y con discontinuidades mínimas, dentro de curva DAC. De no ser así, debe reemplazarse por cala ancha.

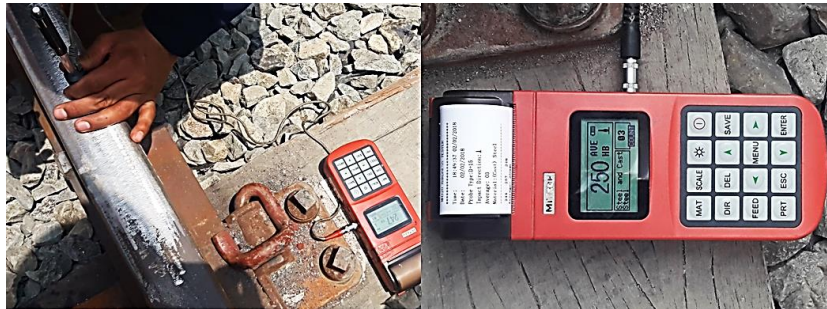


Fig. N° 2.60 Ensayo de ultrasonido en soldadura aluminotérmica
Fuente: Elaboración propia

d) Inspección de dureza

La medición de dureza de la soldadura entre rieles se efectúa sobre la superficie del hongo del riel en 6 puntos, cada 3 ubicados equidistantes en los tramos entre la línea central de la soldadura y un borde globular. La dureza de la soldadura se considera el promedio de estas 6 mediciones efectuadas mediante el equipo punto de resorte y con impresión de resultados en campo (ver Fig. N° 2.61).

La dureza mínima debe ser de 280 HB para el tipo de riel 115RE, con un límite máximo de 400 HB. De no ser así, la soldadura debe reemplazarse por cala ancha.



Fig. N° 2.61 Ensayo de dureza en soldadura aluminotérmica
Fuente: Elaboración propia

2.3.7. Montaje en vía existente

2.3.7.1. Medidas preventivas

- Se requiere corte de tensión eléctrica en la zona de trabajo durante la jornada.

- Todas las biviales empleadas en las actividades de la jornada de alto impacto deben contar con un dispositivo mecánico delimitador de altura equipado con alerta sonora, para evitar contacto con la línea catenaria.
- Durante la jornada de alto impacto deben instalarse conos de seguridad con barras retráctiles y varas luminosas en ambos extremos de la zona de trabajo, para restringir el acceso a la zona y evitar el ingreso de personal ajeno.
- Se deben habilitar puntos de suministro de agua para hidratación del personal.
- Considerando los trabajos en turno nocturno, se ubican torres de iluminación tipo trípode con globos de iluminación auto-inflable de luz LED de 6x100 W.
- Se debe considerar un Plan de Emergencia que cuente con una brigada capacitada y un equipamiento de primeros auxilios cerca de la zona de trabajo, facultados para atención primaria y posible derivación a un centro asistencial. Adicionalmente, se debe contar con estaciones de emergencia implementadas por el cliente en la estación más cercana al montaje.
- Debe identificarse y señalizarse las zonas seguras en caso de sismos y rutas de evacuación en caso de emergencia.
- Previo al inicio de actividades, se realiza la charla de seguridad con la participación de todo el personal involucrado en la jornada de alto impacto, realizando el IPERC, permisos de trabajo y verificación de equipos.

2.3.7.2. *Actividades previas*

- En la zona de trabajo deben estar identificados mediante marcaje la junta de contraaguja (JCA), la junta de talón (FMV), puntos de corte de rieles para formación de parejas y para sustitución de cupones viejos, puntos de estacionamiento de trenes, puntos de apoyo de PEM, perímetro de seguridad e iluminación de la zona y puntos de colocación de pértigas de puesta a tierra.
- Jornadas previas al alto impacto, se realiza la protección de canaletas de señalización frente a impactos de patas de PEM.
- Se preparan los trenes de trabajo y estacionan en sus puntos de partida.
- Se realizan todas las interfaces respectivas con otras disciplinas y el operador.

2.3.7.3. *Proceso constructivo*

- Traslado de trenes y personal

Los trenes de trabajo parten de sus puntos de estacionamiento, sean desde VES, Bayóvar o tercera vía de Av. México, El TT1 parte con la locomotora en la cabeza

de la composición de boggies y circula por la vía en la que se ubica la vía directa del cambiavía a implantar. El TT4 avanza por la vía paralela hasta ubicarse 15 m después del CMV, mientras el TT5 por la vía de la vía directa del cambiavía hasta ubicarse en medio de la primera pareja de vía a cortar desde el CMV. Por su parte, el TT3 con el camión Unimog empujando desde cola de la composición y por la vía de la vía directa del cambiavía, estacionándose 20 m antes del FMV. En tanto, el TT2 con el cambiavía premontado llega a la zona de implantación en la vía de la vía directa del cambiavía y se detiene 10 m antes del final de la vía con las parejas de vía ya retiradas, hasta que el TT3 abandone el área.

- Corte de parejas de vía

Previo al corte de rieles, se toma la temperatura en el alma del riel con un termómetro imantado para verificar contracciones, y se realiza el alivio de tensiones mediante mazos de goma y, de presentar contracciones importantes, mediante tensor hidráulico. Luego, mediante tronzadoras, los operarios ejecutan simultáneamente los cortes de rieles para formación de parejas de vía, siendo 6 parejas en total (14 cortes) a excepción de los cambiavías de los enlaces 01 y 02, en los que son 7 parejas de aproximadamente 6 m (16 cortes) debido a la presencia de los rieles de transición 100RE-115RE adicionales (ver Fig. N° 2.62). En paralelo con el corte, la primera bivial traslada la plancha compactadora y herramientas manuales del TT1 a la zona de implantación, para la posterior compactación del balasto.



Fig. N° 2.62 Corte de parejas de vía en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Izaje de parejas e inicio de rebaje

Para evitar latigazos del riel por confinamiento en balasto, se elevan suavemente las parejas cortadas mediante gatos hidráulicos ubicados bajo ellas. Luego, el TT5, desde la vía paralela a la del cambiavía, retira las parejas desde el CMV al FMV mediante balancín en H y grilletes y, y las carga en el TT3 (ver Fig. N° 2.63).

A la vez, el TT4, la otra bivial, inicia el rebaje de la capa de balasto desde la primera pareja (CMV) hasta el FMV, y lo deposita entre la canaleta lateral y el cerco.

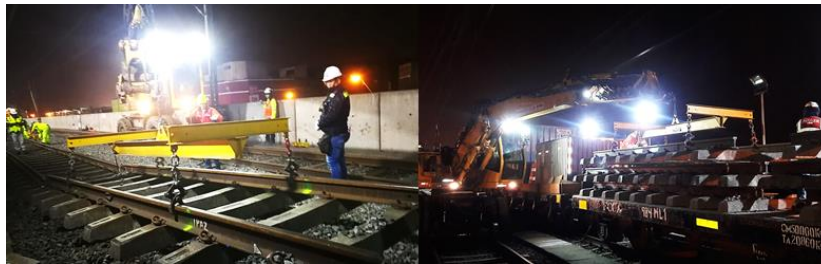


Fig. N° 2.63 Izaje de parejas en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Rebaje simultáneo con biviales

Las dos retroexcavadoras biviales realizan el rebaje de balasto y su deposición en los laterales de vía. Los operarios con palas y rastrillos afinan el nivel de balasto con constante control topográfico (ver Fig. N° 2.64). En paralelo, el TT3 se retira del área y vuelve a la zona de premontaje, para posterior descarga de parejas.

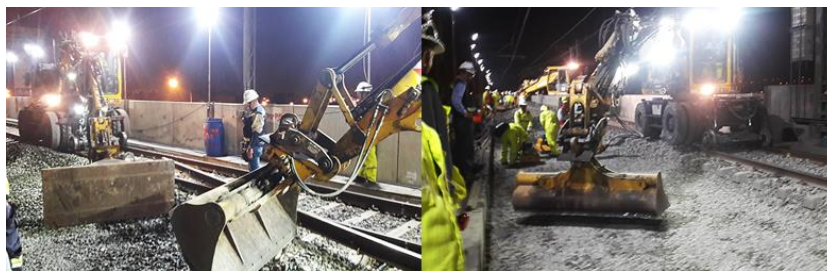


Fig. N° 2.64 Rebaje de balasto en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Descarga de vía provisional, rebaje e inicio de compactación

Mientras el TT4 descarga la vía provisional para PEM-LEM, el TT5 termina el rebaje de balasto en la zona del FMV y el enlace. En tanto, los operarios inician la compactación del lecho de balasto a partir del CMV con control topográfico.

- Compactación total e inicio de colocación de vía provisional

Mediante planchas compactadoras, se culmina la compactación de la capa de balasto, del CMV al FMV, dejándola aproximadamente 10 cm por debajo de la cara de apoyo de los durmientes. En tanto, desde el CMV se inicia con la instalación de la vía provisional con el TT4. A su vez, el TT2 con el cambiavía premontado llega al área hasta 10 m antes de la zona de implantación.

- Colocación de vía provisional y apoyo para PEM

Ambas biviales apoyan en la colocación de la vía provisional, controlada por topografía, mientras los operarios ajustan los tramos de la misma. La vía provisional queda unida con cadenas al TT1 para que al retirarse los LEM dicho tren pueda jalar y retirar la vía provisional rápidamente (ver Fig. N° 2.65).



Fig. N° 2.65 Colocación de vía provisional en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Descarga y alineación del cambiavía con PEM-LEM y sustitución de rieles

Mientras espera, el TT2 ripa el cambiavía 20 cm para liberar gálibo lateral respecto al TT4. En el caso de que el TT3 sea el que carga el cambiavía mediante el sistema de falsas traviesas, se realiza el traspaso del cambiavía al TT2. Así, luego de que las biviales culminen la colocación de la vía provisional, el TT2 desciende a ella y se ubica en la zona de implantación. Luego, los PEM abren sus brazos soportándolos en tacos de madera, y levantan el desvío sobre los LEM. Al liberarse, los LEM salen debajo del desvío por la vía provisional. Se retira la vía provisional con el TT1 y los PEM descienden al cambiavía con control topográfico constante, hasta dejarlo apoyado en la capa de balasto. Para afinar la ubicación del cambiavía se utilizan gatos hidráulicos y pórticos de riel. Luego, los PEM salen por la vía provisional y montados a los LEM regresan a la zona de premontaje. En paralelo con el descenso del cambiavía, se realiza el corte de los rieles colindantes, previa liberación de sujeciones, considerando el llamado saneo de riel para asegurar la distancia mínima de 6 m entre soldaduras (ver Fig. N° 2.66). Al retirarse la vía provisional, las biviales cargan los cupones cortados hacia el TT1 y descienden los cupones nuevos, trasladados en el TT1. Éstos se instalan, se colocan sujeciones, y se embridan las juntas entre el cambiavía nuevo y la vía existente. El TT4 descarga del TT1 los equipos de bateo a usarse posteriormente.

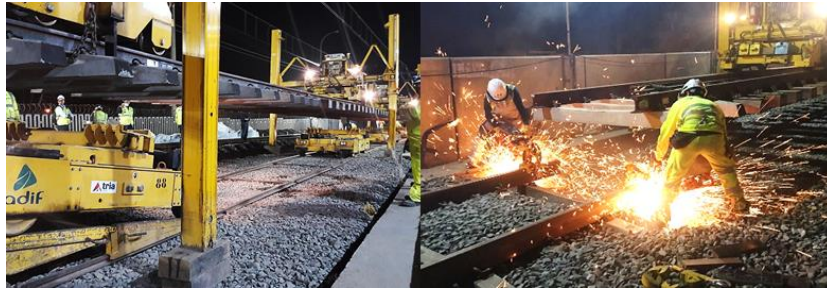


Fig. N° 2.66 Descarga del cambiavía con PEM-LEM en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Embridado de extremos y primer riego de balasto

Se colocan bridas C en los extremos del cambiavía en CMV y talón a la vía existente. El TT1 se desplaza sobre el cambiavía de sur a norte, efectuando el primer riego de balasto mediante tolva y se estaciona 20 m detrás del FMV.

- Nivelación manual del cambiavía

Los operarios con bateadoras manuales verticales y otros controlando los gatos realizan la compactación del balasto debajo de los durmientes y nivelación de vía según topografía, desde el CMV al talón, incluyendo la zona del enlace.

- Segundo riego de balasto y perfilado manual

El TT1 vuelve a pasar sobre el cambiavía realizando la segunda descarga de balasto para rellenar los vacíos entre durmientes y formar la banqueta de balasto. Luego, el tren se ubica 10 m antes del CMV. Se efectúa la compactación del balasto mientras la cuadrilla de topografía realiza el control de nivelación y alineación del cambiavía (ver Fig. N° 2.67). Posteriormente, se realiza el perfilado de balasto mediante palas y rastrillos y tras ello el TT1 vuelve a pasar por encima del cambiavía y se detiene a 20 m del talón.



Fig. N° 2.67 Regado de balasto en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Soldaduras aluminotérmicas y retiro del área

En el montaje del primer cambiavía del enlace, se realizan entre 4 a 6 soldaduras en las juntas entre el cambiavía nuevo y la vía existente: 4 propias del cambiavía y entre 0 a 2 extras para saneo de riel con soldaduras a menos de 6 metros. Primero se realizan las soldaduras ubicadas en vía recta, y luego las del talón. En el montaje del segundo cambiavía, se adicionan 2 soldaduras de cierre, de la vía desviada, que conectan al cambiavía con su par para formar el enlace. La ejecución de soldaduras se realiza con dos cuadrillas y dejándolas con el primer esmerilado (ver Fig. N° 2.68). En tanto, el TT4 carga las herramientas en el TT1, el cual retorna a zona de premontaje y la zona del cambiavía queda despejada.



Fig. N° 2.68 Soldaduras aluminotérmicas en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

- Actividades complementarias
 - En la jornada nocturna del domingo de alto impacto, se realizan lo siguiente:
 - Esmerilado en frío de soldaduras aluminotérmicas: Se realiza el esmerilado final de las soldaduras ejecutadas mediante esmeriladora, así como el troquelado respectivo, dejándolas culminadas.
 - Control de calidad de soldaduras: Se realizan ensayos de UT y dureza, y en caso requerirse reemplazar soldaduras, se realizan soldaduras de cala ancha.
 - Medición topográfica de cambiavía: Se realiza el levantamiento topográfico del cambiavía para validación geométrica. En caso se trate del segundo cambiavía del enlace, se verifica además el primer cambiavía para determinar su alineamiento y nivelación luego del período de estabilización de una semana.

2.3.7.4. Aseguramiento de calidad

A fin de asegurar la calidad de los procesos de montaje, se realiza el llenado de registro de soldaduras aluminotérmicas, reporte de ensayos de ultrasonido y dureza, protocolo de liberación de soldaduras, trazabilidad de durmientes de madera, protocolo de instalación de cambiavías, y otros formatos de control del

premontaje e inspección de materiales y equipos de medición. Al final de la jornada de alto impacto, también debe llenarse el protocolo de entrega de vía al operador.

2.3.8. Entrega de vía al operador

2.3.8.1. Objetivo

La finalidad del proceso es realizar la verificación del estado de la vía apto para circulación de trenes de servicio luego de los trabajos de alto impacto de instalación de cambiavía nuevo para consideración del operador, y recomendar condiciones de operación para reanudación del servicio.

2.3.8.2. Consideraciones

- El proceso de entrega de vía al operador se realiza para cada montaje de cambiavía, culminados todos los trabajos de la jornada de alto impacto.
- Cada verificación posteriormente mencionada es plasmada en su respectivo protocolo de entrega de vía al operador, firmado por representantes del contratista, supervisor y el representante del operador.
- Terminados los trabajos complementarios de la jornada nocturna de los domingos de alto impacto, se elaboran nuevamente los protocolos de entrega de vía al operador, luego de posibles correcciones en alineamiento y nivelación.

2.3.8.3. Verificaciones

a) Trocha y peralte

Mediante la regla de trocha, se realiza la verificación de trocha y peralte en durmientes dentro del tramo que abarca 60 m antes del CMV, 60 m posteriores al FMV (cada 10 m) y el mismo cambiavía (los 51 durmientes), ya que en todo este tramo debe haberse realiza la liberación de tensiones de LRS (ver Fig. N° 2.69). El registro se realiza teniendo como referencia la numeración del durmiente. Se considera una tolerancia de ± 3 mm para la trocha y ± 5 mm para el peralte.



Fig. N° 2.69 Verificación de trocha y peralte en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

b) Nivelación longitudinal

Se verifican las cotas de rieles comparándolas con las nominales de cada cambiavía, dentro del tramo entre los durmientes -4 y -48 antes del CMV, del 55 al 102 después del FMV y el mismo cambiavía, cada 4 durmientes, teniendo como referencia la numeración del durmiente y considerando una tolerancia de ± 6 mm.

c) Alineamiento longitudinal

Se realiza la verificación de alineamiento de los rieles en el tramo que comprende 30 m antes del CMV, 30 m posteriores al FMV y el mismo cambiavía, cada 8 durmientes en general, teniendo como referencia la numeración del durmiente y considerando una tolerancia de ± 3 mm.

d) Consolidación de vía

Se inspeccionan las soldaduras aluminotérmicas ejecutadas en el alto impacto, verificando la cantidad, estado de la soldadura y presencia de fallas.

e) Dirección de aguja en vía principal

Se verifica el enclavamiento, colocación del sargento de seguridad con respectivo candado (Fig. N° 2.70), y la entrega de su llave al representante del operador.



Fig. N° 2.70 Consolidación de vía mediante sargento en alto impacto
Fuente: Elaboración propia

f) Cota de protección de la punta del corazón

Longitud que garantiza libre recorrido de pestaña de rueda en zona de contracarril. Su valor teórico es 1395 mm para desvío estándar, con tolerancia de ± 2 mm.

g) Cota de libre paso

La cota teórica de libre paso es 1356 mm, considerando una tolerancia de ± 2 mm.

h) Sobreelevación de los contracarriles

Se verifica la diferencia vertical entre la cota más baja de la superficie del contracarril y la cota superior del riel, considerando una tolerancia de ± 2 mm.

i) Apertura de agujas en bielas

Se comprueba la apertura con la aguja enclavada, en posición de cambio, midiendo la distancia entre la punta de la aguja no acoplada y su contraaguja. El valor teórico es 164 mm, considerando una tolerancia de ± 10 mm.

j) Prueba de trenes

Se efectúa la prueba de trenes mediante el paso de trenes de servicio en vacío por el tramo intervenido, en ida y vuelta, a fin de garantizar el próximo paso de trenes sobre el cambiavía nuevo durante el servicio (ver Fig. N° 2.71). Para estas pruebas se consideran 3 velocidades: 15 km/h, 25 km/h y la velocidad operacional de 80 km/h. En la cabina de la locomotora del tren de coches se ubican un representante del contratista y uno del operador, para verificar el confort al pasar sobre el cambiavía instalado, mientras que en los laterales de vía otros representantes de las mismas entidades para verificar alguna condición en el cambiavía durante el pase de tren.



Fig. N° 2.71 Prueba de trenes en alto impacto

Fuente: Elaboración propia

k) Condiciones de operación

De acuerdo a la prueba de trenes, se define la velocidad de circulación apta sobre el cambiavía a criterio del operador. Se incluyen observaciones generales y las medidas a adoptar en las actividades complementarias a realizar en el turno nocturno.

CAPÍTULO III: ANTECEDENTES REFERENCIALES

3.1. PEM-LEM: SISTEMA DE INSTALACIÓN DE PANELES Y CAMBIAVÍAS

3.1.1. Pórtico PEM

3.1.1.1. *Funcionamiento*

El pórtico telescópico PEM de manejo de cambiavías es una unidad de 20 T de capacidad para maniobrar paneles de vía y cambiavías mediante control remoto. El pórtico se compone de dos vigas verticales deslizantes sobre un sistema de ruedas independientes. Cada viga cuenta con un cilindro hidráulico de elevación y se mueve independientemente del otro. Gracias a su diseño, el equipo permite un desplazamiento de ± 54 ". La extensión máxima es de 195" entre las patas del pórtico, de sección cuadrada y son accionados por cilindros incorporados en el bastidor. Cada PEM cuenta con un estimador de inclinación que mantiene la carga horizontal durante las operaciones de elevación y descenso.

El PEM está equipado con abrazaderas hidráulicas y cadenas de seguridad. Las abrazaderas pueden desplazarse 19½" lateralmente para enganchar el cambiavía en cualquier lugar, sujetando al riel por la cabeza o por el patín. De esta manera, este método permite realizar un giro longitudinal de la carga para lograr precisión en el posicionamiento del aparato de vía. Su sistema motriz consta de un motor diésel y un motor hidráulico para su transporte, con freno de seguridad y bomba manual de emergencia para poder ser empujado en caso sea necesario.

Los PEM están equipados con control remoto por radio para sincronizar los movimientos de elevación, descenso y giro. El control estándar incluye un transmisor para 8 receptores con posibilidad de operar un máximo de 8 PEM. Para ello, cada equipo cuenta con una caja receptora con interruptores eléctricos para facilitar su ordenación al ubicarse en los aparatos de vía. Este transmisor, manipulado por un solo operador, puede controlar uno o varios equipos a la vez.

3.1.1.2. *Datos técnicos*

- Motor diésel.
- Potencia 15 CV a 2400 rpm.
- Enfriado hidráulicamente.
- Arranque eléctrico.
- Nivel de ruido: 68 dB (A) a 23'.
- Capacidad de elevación: 20 T.
- Válvulas de seguridad anti retorno en los cilindros de elevación.

- Capacidad del tanque de aceite: 13 gal.
- Movimiento de elevación: 72½".
- Extensiones de pisón de elevación: 19½".
- Trazo de giro: 54".
- Carrera longitudinal: 4".
- Dimensiones del tráfico: 112"x79"x110".
- Apertura máxima de patas (interior): 195".
- Peso: 8380 lb.
- Velocidad de desplazamiento: 3 mph.
- Sujeción a los rieles con abrazaderas hidráulicas con giro lateral de 19½".
- Barra de remolque.
- Plataforma para conductor.
- Frenado hidráulico y freno de seguridad.
- Iluminación: 4 proyectores de 50W.

3.1.1.3. *Ventajas*

El diseño del PEM permite ejecutar todos los métodos de reemplazo o inserción de cambiavía, pues fundamenta su superioridad tanto en la variedad de aparatos de vía que puede maniobrar, debido a la apertura de patas que permite, como en la versatilidad de movimiento. De esta manera, el equipo puede emplearse tanto para montaje de vía como para aparatos de vía a pesar de sus vías desviadas. Por otro lado, logra mayor precisión en el montaje de elementos de vía mediante giros controlados y apoyándose del estimador de inclinación que posee el equipo.

3.1.2. Lorry LEM

3.1.2.1. *Funcionamiento*

El lorry elevador motorizado LEM permite el movimiento de cambiavías y paneles de vía sin ningún otro medio de transporte, así como elevación y giro motorizado. El LEM está compuesto por un marco soldado rígido y una mesa elevadora con dos placas deslizantes que giran alrededor de un eje central. Este equipo puede viajar a una velocidad de 3.5 mph con una carga de 20 T. El motor puede ser desconectado para permitir el remolque del equipo a una velocidad de 12 mph. El lorry cuenta con un motor diésel acoplado a una transmisión hidrostática que permite lograr la máxima potencia en cualquier momento, y una bomba manual de emergencia para que el equipo pueda empujarse en caso sea necesario.

El equipo posee cuatro ruedas de conducción montadas en brazos articulados para absorber los defectos de la geometría, especialmente en la vía provisional. Los LEM están equipados con control remoto por radio para sincronizar los movimientos de la mesa elevadora tanto en elevación como en giro. De esta manera, incluye un transmisor, controlado por un operador, para 8 receptores con posibilidad de operar hasta 8 unidades según necesidad, para lo que cuenta con una caja receptora con 8 interruptores eléctricos para facilitar su ordenación. Esta radio controla la velocidad y también opera el frenado hidrostático. El sistema de frenado negativo detiene el lorry al soltarse el control, o en caso de falla mecánica.

3.1.2.2. Datos técnicos

- Motor diésel.
- Potencia 36 CV a 2800 rpm.
- Enfriado hidráulicamente.
- Nivel de ruido a 23 pies: 72 dB (A).
- Arranque eléctrico.
- Doble bomba hidráulica.
- Capacidad del tanque de aceite 31 gal.
- Motorizado por transmisión hidrostática.
- Velocidad de desplazamiento cargada: 3½ mph.
- Velocidad de remolque cargada: 12 mph.
- Iluminación: 4 proyectores de 50 W.
- Circuito antideslizante mediante alimentación serie del motor.
- Frenado por aire cuando se remolca.
- Frenado por transmisión hidrostática.
- Freno de estacionamiento acoplado al motor hidráulico por caída de presión (freno negativo).
- Dispositivo manual mecánico para desbloquear el freno de estacionamiento.
- Seguridad evitando el arranque del motor si el freno está bloqueado.
- Mesa elevadora hidráulica.
- Capacidad de elevación: 20 T.
- Carrera de elevación: 13¾".
- Mesa giratoria: + -15-¾".
- Dimensiones generales: 130"x75"x33/36".
- Peso: 7500 lb.

3.1.2.3. Ventajas

La ventaja de utilizar el LEM es la capacidad de evitar obstáculos a lo largo de la vía a través de movimientos combinados de giro y elevación, manteniendo el elemento de vía en una posición horizontal durante la instalación o retiro. Esto evita invadir el gálibo dinámico de la vía, como en andenes o en interferencia horizontal con trenes de servicio o trabajo. Además, la función de giro de la mesa puede colocar al equipo en posición flotante, lo que permite a los lorrys absorber la tensión lateral cuando se realiza el transporte en curvas. (Geismar, 2018)

3.2. MÉTODOS DE INSTALACIÓN DE CAMBIAVÍAS

3.2.1. Generalidades

Los cambiavías son parte fundamental de la infraestructura ferroviaria, ya que permiten crear redes de interconexión entre diferentes líneas y entre vías paralelas de una misma línea (enlaces) brindando flexibilidad para rastrear la operación.

Debido a su configuración, los cambiavías representan puntos singulares en la vía. Tienen una mayor rigidez de la vía recta al incluir durmientes de dimensiones variables, elementos de riel adicionales, etc. Además, las condiciones de la interfaz rueda-riel varían de acuerdo a las discontinuidades de geometría de riel en el cambiavía, resultando en un aumento de las cargas dinámicas de las ruedas que deteriora el cambiavía, especialmente el corazón y las agujas que reciben las cargas de impacto, causando desgaste, fatiga por contacto y ruido.

Por ello, es necesario mantener a los cambiavías en buen estado para garantizar su adecuado funcionamiento y minimizar su deterioro por las cargas dinámicas. En caso contrario, la interfaz rueda-riel puede verse afectada y generar descarrilamientos (por ejemplo, debido al impacto de la rueda con una aguja no acoplada correctamente a la contraaguja o con desgaste excesivo).

Debido a la cantidad de cambiavías reemplazados por año, deben emplearse métodos eficientes en costo y tiempo para minimizar el impacto en operaciones y su futuro rendimiento, el cual depende en gran parte de la calidad de la instalación.

3.2.2. Tipos de instalación

En la instalación de cambiavías puede identificarse tres tipos principales:

- Ensamblado in situ.
- Premontado cerca de la línea.
- Cambiavía modular (justo a tiempo).

Del total de instalaciones en Europa, el 9% corresponden a los cambiavías ensamblados in situ, 90% a los premontados y 1% al cambiavía modular.

Por ello, el ensamblaje del cambiavía cerca del punto de inserción es la práctica más recurrente debido a las siguientes ventajas:

- Mayor facilidad en el desmontaje, transporte y reensamblado cerca del sitio de renovación al aceptar el cambiavía en fábrica.
- Menor interrupción del tráfico durante la instalación luego de construirse cerca de la zona de implantación.
- Mejor calidad de los componentes y la geometría instalada durante el servicio.

3.2.3. Fases de instalación

Los métodos de instalación o renovación de cambiavías cuentan con una estructura similar que consta de cuatro fases principales:

a) Trabajos previos a la renovación

- Preparación del área de acopio.
- Transporte de componentes al área.
- Premontaje del nuevo cambiavía en el área de acopio (en caso ser necesario).
- Trabajos de topografía previa a la instalación.

b) Retiro de la vía o cambiavía antiguo y preparación del sitio

- Desmontaje y retiro del cambiavía antiguo.
- Eliminación de la capa superior o total de balasto.

c) Instalación del cambiavía nuevo

- Adición de nuevo balasto (y colocación de geomalla, opcionalmente).
- Colocación y ensamblaje de los nuevos paneles de cambiavía.
- Soldadura o embridado de juntas.
- Restauración inicial de la geometría de vía.
- Puesta en marcha del sistema de control.
- Puesta en servicio final y pruebas.
- Estabilizador dinámico de vía (opcional).

d) Actividades posteriores a la instalación

- Soldadura y liberación de tensiones (si no se realiza durante la instalación).
- Restauración final de la geometría de vía.

- Inspección final y aceptación. (MAINLINE Consortium, 2014)

3.2.4. Prácticas existentes

3.2.4.1. Práctica alemana (DB)

Según DB, alrededor de 2000 cambiavías en promedio se reemplazan anualmente en Alemania. Debido al factor económico, el premontaje cerca del sitio (90%) es el más común. La frecuente disponibilidad de espacio cerca de las líneas facilita el premontaje del cambiavía y el transporte de sus componentes y equipos. Esto permite que en el 99% de los casos se utilicen grúas ferroviarias pesadas de hasta 40 T (ver Fig. N° 3.1) para la instalación de cambiavías en su posición final.



Fig. N° 3.1 Grúa ferroviaria multiusos comúnmente empleada para la renovación del cambiavía
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 15)

En casos de limitación de espacio para el premontaje del cambiavía, como en túneles o terraplenes, se suele optar por el método de cambiavía modular, el cual representa el del 1 al 3% de las renovaciones de cambiavías debido al reducido número de vagones basculantes especiales disponibles para el transporte de paneles de cambiavías desde la fábrica hasta el sitio (ver Fig. N° 3.2).



Fig. N° 3.2 Vagones basculantes utilizados para transportar paneles de cambiavías de fábrica
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 16)

Finalmente, entre el 7 al 9% de las renovaciones de cambiavías aplican el montaje in situ, pues implica posesión prolongada de vía y altos costos de mano de obra. Generalmente, la práctica de DB durante la renovación del cambiavía es embriar los rieles durante la instalación y realizar la soldadura antes de volver a abrir la línea, generalmente con velocidad normal si el balasto es compactado para

restaurar la geometría de la vía, o en otros casos con restricciones de velocidad temporales hasta que haya pasado determinada cantidad de tráfico en caso no haberse realizado la restauración final de la geometría de la vía.

3.2.4.2. Práctica española (COMSA)

En España, la renovación de cambiavías emplea el método premontado en su mayoría (95%). El método ensamblado in situ sólo es válido en caso el cambiavía deba integrarse a una nueva línea o si la línea es cerrada por varios días.

El sistema utilizado para la renovación del cambiavía depende principalmente de las dimensiones y el peso del ADV o sus componentes. En España existen tres métodos de reemplazo: grúas pórtico (Geismar-Fassetta), sistemas de grúa-viga o grúas especiales (Vaiacar o Desecc), y excavadoras biviales de riel/carretera.

El uso de excavadoras es el método más común en líneas convencionales debido a su costo económico. Para retirar el cambiavía o vía antigua, se utilizan dos excavadoras biviales que viajan desde el área de acopio hacia el punto de implantación por la vía paralela (ver Fig. N° 3.3). Debido a su capacidad de carga de entre 5 y 8 T, y para minimizar deflexión durante el transporte, el cambiavía se divide en tres componentes: cambio, zona intermedia y cruzamiento.



Fig. N° 3.3 Instalación de cambiavías nuevos en segmentos por excavadoras biviales
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 17)

Asimismo, en la red ferroviaria convencional española también se utilizan los sistemas de viga-grúa (ver Fig. N° 3.4) aunque con menor frecuencia por su costo mayor. En líneas de alta velocidad, dada las altas dimensiones y peso de los cambiavías (pudiendo llegar hasta 175 m de longitud y 200 T de peso), se requeriría el uso de dos sistemas de viga-grúa (tándem).



Fig. N° 3.4 Instalación de un cambiavía con sistema de viga-grúa VAIACAR
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 18)

Por ello, en vías de alta velocidad se utiliza principalmente el sistema de grúas pórtico (Geismar-Faseta en España, ver Fig. N° 3.5), compuesto por equipos independientes que instalan cambios premontados en una o más partes, dependiendo de su longitud. El equipo realiza la carga y descarga de ADV, maniobras laterales y longitudinales e instalación en vía existente o nueva.



Fig. N° 3.5 Instalación de un panel de cambiavías por grúas pórtico
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 19)

Debido a la instalación reciente de estos cambiavías de alto estándar en la red española, este sistema es prácticamente usado sólo en instalación de cambiavías nuevos, aunque la metodología para la renovación es esencialmente igual.

La práctica de COMSA consiste en sujetar los rieles durante la instalación y realizar las soldaduras luego de la primera restauración de geometría del cambiavía tras verificación topográfica. La línea se reabre con restricción de velocidad temporal, generalmente entre 50 y 80 km/h, hasta lograr 200'000 T de carga de tráfico. Tras ello, se realiza la restauración final de la geometría de la vía.

3.2.4.3. Práctica sueca (*Banverket / Trafikverket*)

El método más común para la renovación de cambiavías en Suecia es el del cambiavía premontado. Los componentes del cambiavía se transportan por una ruta de acceso a la vía, se ensamblan en obra, y posteriormente se instalan mediante una grúa ferroviaria (como la grúa Kirow, ver Fig. N° 3.6).



Fig. N° 3.6 Instalación de un cambiavía utilizando la grúa Kirov

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 20)

En Suecia se reemplazan aproximadamente 40 cambiavías por año. Para ello, las actividades realizadas en una línea convencional y en una línea de alta velocidad difieren básicamente en los tiempos de cierre de vía.

La práctica de Banverket consiste en sustituir la capa completa de balasto, de espesor de 30 cm, y realizar las soldaduras de entre 12 a 16 juntas, de acuerdo a la división del cambiavía, durante 2 o 3 días, dependiendo de los cierres de vía. Después de la instalación, se restringe la velocidad a 70 km/h hasta lograr 100'000 T de carga de tráfico, generalmente luego de 3 días. Tras una o dos semanas se realiza una segunda compactación para colocar el cambiavía en su posición final.

3.2.4.4. Práctica checa (Skanska)

En República Checa, se reemplazan alrededor de 200 o 300 cambiavías cada año. El método más común para ello es el del cambiavía preensamblado (95% para las líneas principales). La instalación se realiza generalmente mediante un sistema de viga-grúa DESEC (ver Fig. N° 3.7) o grúas ferroviarias (EDK 300/5 y grúa Kirov), empleándose frecuentemente excavadoras biviales.

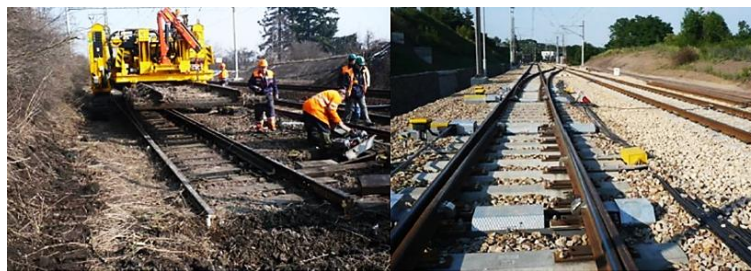


Fig. N° 3.7 Reemplazo de un cambiavía utilizando el sistema Desec

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 21)

Por el poco uso de vagones basculantes en República Checa, el concepto modular no se implementa completamente, sino combinado con el método premontado. Si la separación de la línea lo permite, algunos componentes de cambiavías se pueden transportar con vagones plataforma directamente desde fábrica, aunque

el cruzamiento debe ser premontado cerca de la línea y posteriormente trasladado al sitio mediante grúas ferroviarias. Esta combinación del método premontado y modular reduce la necesidad de espacio, pero la utilización de vagones plataforma depende de las dimensiones de los componentes y la carga admisible de la vía. Existe un estándar checo (SZDC S3/1) que regula el apoyo del cambiavía durante el transporte para minimizar deformaciones de componentes. Luego de la instalación, se impone una limitación de velocidad por una semana.

3.2.4.5. Práctica húngara (MAV)

En Hungría se utiliza mayormente el método premontado, teniendo como ejemplo el sistema UWG empleado por MAV. Este sistema se utiliza para retirar el cambiavía antiguo e instalar el nuevo (ver Fig. N° 3.8).



Fig. N° 3.8 Reemplazo de un cambiavía utilizando el sistema Geismar UWG
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 22)

De no presentar limitaciones de tiempo, la solución preferida es ensamblar el nuevo cambiavía en sitio, tras desmontar el antiguo in situ y retirarlo en partes.

La red húngara contiene alrededor de 13'000 desvíos, generalmente de longitud entre 40 y 55 m, y el 70% de ellos utilizan durmientes de madera. La renovación del cambiavía común con durmientes de madera, de 28 m de longitud, puede incluir o no la renovación de la capa de balasto. Sin embargo, para los cambiavías de alto estándar que utilizan durmientes de concreto, reemplazar la capa de balasto es obligatorio, lo que genera diferentes tiempos de cierre de vía.

La práctica actual supone establecer una restricción de velocidad temporal de 60 km/h después de la instalación durante dos días. Luego, la velocidad permitida se incrementa 40 km/h cada 24 horas.

3.2.4.6. Práctica turca (TCDD)

La red turca contiene 7600 cambiavías, reemplazados de 200-300 por año. La práctica habitual es el premontaje en obra y la instalación mediante grúas de carretera (ver Fig. N° 3.9). Dependiendo del tipo de cambiavía y la ubicación de

grúas, resulta necesario utilizar una o dos grúas. Si el acceso por carretera no es posible, se utilizan excavadoras biviales o la viga-grúa de Vaiacar.



Fig. N° 3.9 Reemplazo de un cambiavía mediante grúas de carretera
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 23)

El tiempo de renovación de un cambiavía depende del tipo de durmientes utilizados. La renovación de los cambiavías con durmientes de madera suele tomar 2 o 3 horas menos que los cambiavías con durmientes de concreto.

Para evitar limitaciones de velocidad después de la instalación, se utiliza el estabilizador dinámico de vía, equivalente al efecto de 50'000-75'000 T de tráfico. TCDD cuenta con cuatro vagones basculantes para transportar cambiavías 1:9, de 27.7 m de longitud, en dos partes. Este concepto modular representa el 1% en Turquía, debido a la disponibilidad de vagones y la distancia desde fábrica.

3.2.4.7. Práctica británica (Network Rail)

Network Rail renueva alrededor de 340 cambiavías por año. El transporte desde fábrica de los componentes de cambiavía al sitio se realiza por ferrocarril o carretera. La renovación de cambiavía convencional generalmente requiere grandes áreas cercanas al sitio para el premontaje de cambiavía, pudiendo requerir negociación para utilizar terreno ajeno a la línea.

Las actividades implicadas en la renovación de cambiavía varían según la velocidad y el tipo de cambio, y la ubicación geográfica.

Debido al indicador de carga restringido y el reducido gálibo de las líneas (hasta 3.7 m de ancho), el método modular fue imposibilitado por años, hasta que se modificó tanto el diseño de los cambiavías, se segmentaron los soportes de los mismos y se fabricaron vagones basculantes a medida. Además, NR ha desarrollado un sistema de manejo y fijación de carga (ver Fig. N° 3.10) que permite mayor facilidad, rapidez y seguridad en la carga y descarga del cambiavía. Además, mediante el colector de balasto automatizado se reduce el tiempo de puesta en marcha del cambiavía.

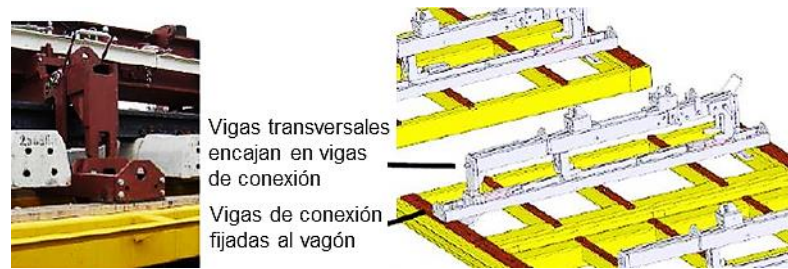


Fig. N° 3.10 Sistema de fijación y manejo desarrollado por NR

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 25)

Estas implementaciones permitieron a NR reducir el tiempo promedio de posesión de la vía para instalar un enlace tradicional de 52 a 21 h en una posesión de fin de semana o en una noche de 4x8 h durante un fin de semana o entre semana. NR recomienda realizar la mayor parte de soldaduras durante la posesión de vía. De lo contrario, las juntas se embridan y sueldan posteriormente. Luego de la instalación, se aplica una limitación de velocidad de 80 km/h durante 14 días. En este lapso, se ejecutan las soldaduras restantes y se lleva la geometría del cambiavía a su posición final. (MAINLINE Consortium, 2014)

3.2.5. Métodos de instalación

3.2.5.1. *Cambiavía premontado con excavadoras*

El uso de excavadoras es un método común en muchos países (como en España, Europa del Este, etc.), por ser más económico. Para retirar el cambiavía antiguo e instalar el nuevo, se usan dos excavadoras biviales. Cuando hay una vía paralela, las excavadoras biviales pasan sobre ella desde el área de acopio hasta la zona de implantación. Por su capacidad de carga de entre 5 y 8 T y para minimizar deflexión, el cambiavía generalmente se divide en tres componentes. Las excavadoras tienen la ventaja de ser de bajo costo, ampliamente disponibles y muy versátiles. Cambiando el accesorio de su brazo, la excavadora puede realizar tareas desde el transporte de componentes hasta la eliminación de balasto, aunque no es recomendable para manipulación de cambiavías por poder generar deformaciones excesivas en sus componentes.

La renovación de cambiavías con los excavadores generalmente requiere más mano de obra, por lo que se utilizan en países de mano de obra barata.

3.2.5.2. *Cambiavía premontado utilizando grúas*

Las grúas utilizadas en la instalación de un cambiavía pueden clasificarse por:

- Capacidad de elevación: Característica principal de la grúa, que determina si la grúa puede manipular el cambiavía en una sola pieza o en segmentos. La capacidad de elevación de las grúas más utilizadas puede variar de 40 a 160 y con una extensión de la pluma de hasta 20 m.
- Grúas ferroviarias o de carretera: las grúas ferroviarias son las grúas instaladas en boggies capaces de trasladarse mediante la vía, ofreciendo mayor flexibilidad que las grúas para carreteras, que necesitan rutas de acceso.
- Manejo del cambiavía: Las grúas pueden levantar los componentes de cambiavías mediante una viga especial de varios puntos de izaje o simplemente en dos puntos, lo cual debe evitarse en caso de longitudes considerables de segmentos pues pueden deformarse durante su transporte.

La utilización de grúa para instalación de cambiavías brinda la ventaja frente a las excavadoras que, en caso estar provista de una viga longitudinal, el cambiavía se eleva en múltiples puntos, logrando una mejor calidad de instalación. Otra ventaja es que su versatilidad permite instalar vía y servir en accidentes de operación, por lo cual son frecuentes en las líneas y por ende cuentan con mayor disponibilidad.

3.2.5.3. Cambiavía premontado utilizando viga-grúa

Los sistemas de grúa-viga están compuestos por dos grúas de orugas con eventuales ruedas para vía férrea. Las dos grúas soportan una viga metálica que brinda estabilidad al sistema y permite la carga y descarga del cambiavía, con capacidad de giro de hasta 90° (ver Fig. N° 3.11).



Fig. N° 3.11 Transporte de un cambiavía mediante viga-grúa

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 29)

La velocidad del sistema es reducida, alrededor de 1 a 5 km/h, no recomendable para largas distancia entre el premontaje y el punto de implantación. Posee una carga admisible entre 30 y 60 T, y longitud admisible del cambiavía de 35 a 50 m. Las vigas-grúa permiten un manejo eficaz del cambiavía, al sostenerlo en varios puntos, y controlarse de forma remota, reduciendo trabajo manual.

Como desventaja, el sistema de viga-grúa es muy específico y frecuentemente costoso, por lo que su disponibilidad es reducida a comparación de otros equipos.

3.2.5.4. *Cambiovía premontado utilizando sistema PUM-MWT*

El sistema de instalación PUM-MWT o Geismar UWG está compuesto por gatos hidráulicos autopropulsados PUM o grúas pórtico diseñados para levantar y descender el cambiovía premontado, controlados por un operador cada uno, y carros MWT diseñados para transportar el cambiovía premontado, cada uno controlado hidráulicamente desde el respectivo PUM.

Tanto el método de retiro del cambiovía antiguo como la instalación del nuevo son similares al sistema PEM-LEM, considerando los gatos PUM para levantamiento de cambiovías, los carros MWT para el transporte y vía auxiliar y rampas para brindar acceso a estos carros en el punto de implantación (ver Fig. N° 3.12).



Fig. N° 3.12 Gatos PUM y carros MWT durante renovación de cambiovía

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 31)

Los PUM elevan desvíos mediante abrazaderas que sujetan el hongo del riel y pueden girar 180°, con bloqueo de caída, siendo capaces de llevar al cambiovía a la vía mediante desplazamientos laterales. Los MWT cuentan con banquetas, que pueden desplazarse para evitar obstáculos durante el transporte.

La principal ventaja del sistema es el retirar al cambiovía sin necesidad de dividirlo. El concepto modular permite maniobrar cambiovías de diferentes longitudes y pesos, añadiendo o disminuyendo gatos y carros. Esto permite realizar las soldaduras del cambiovía premontado antes de la instalación. Además, este sistema garantiza un mejor manejo del cambiovía al soportarse por varios puntos. Por otro lado, este sistema tiene dos desventajas: mayores costos de inversión al ser equipos específicos, y de mano de obra al implicar un operador por cada gato.

3.2.5.5. *Cambiovía premontado utilizando sistema PEM-LEM*

El sistema PEM-LEM o Geismar-Fasseta podría verse como una evolución del sistema UWG, pues, aunque ambos se componen de grúas pórtico y carros, los pórticos PEM tienen mayor capacidad de carga que los PUM (20 T respecto a 16

T) y pueden ser controlados en conjunto por una sola persona, lo que mejora la sincronización en la manipulación de aparatos de vía, que en el caso de los PUM es dependiente de la coordinación entre operadores.

Está compuesto por varias grúas pórtico llamados pórticos PEM que pueden moverse de forma sincronizada, controladas por radio, provistas por dos ruedas para circular sobre rieles y dos brazos laterales desplegados. Cada grúa pórtico tiene un carro autopropulsado asociado llamado LEM, que puede transitar sobre la vía y que transporta el cambiavía hasta su ubicación final.

El número de PEM a utilizar depende de la longitud y peso de los componentes a transportar, y la máxima deflexión admisible. Cada combinación de PEM-LEM puede maniobrar una carga de 20 T y la distancia entre parejas está entre 10 y 15 m, por lo que para cada cambiavía se requiere de 3 a 7 de ellos.

El proceso de instalación mediante este sistema considera distribución de pórticos PEM a lo largo del cambiavía, levante del cambiavía mediante PEM para ubicación de los LEM como soporte, formando parejas con los PEM para traslado, ubicación en el sitio mediante rieles auxiliares y rampas, y descarga mediante PEM.

La superioridad del sistema se basa en la sincronización de los pórticos y carros, siendo posible su manipulación por radiocontrol incluso por una sola persona.



Fig. N° 3.13 Instalación de un cambiavía con sistema PEM-LEM

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 34)

Por otro lado, existe un nuevo sistema llamado PWP, considerado la última evolución del PEM-LEM, el cual es un sistema grúa pórtico-carro autopropulsado con aumento de rotación de carga transversal y longitudinal, mayor capacidad de extensión interna (6 m respecto a 4.95 m) y desplazamiento de giro lateral (2 m respecto a 1.37 m) que el PEM, además de contar con patas auxiliares y patas de elevación estables. Esto brinda mayor capacidad de movimiento al sistema y autonomía, lo que permite que sea utilizado por sí mismo para la descarga directa del cambiavía desde vagones sin necesidad de una vía auxiliar, aunque siendo también compatible con equipos de transporte como LEM o S2PV (ver Anexo 2). En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, se optó en 2017 por el sistema PEM-LEM para el montaje de los nuevos enlaces, pues el sistema PWP es reciente,

con pruebas de sus primeros pódicos realizadas en el 2019 (Railway International, 2020), por lo cual no fue considerado dentro de las opciones evaluadas para montaje de aparatos.

3.2.5.6. Cambiavía modular

El método de cambiavía modular o justo a tiempo consiste en el ensamblaje del cambiavía en fábrica como una unidad completa, o en 2 o 3 piezas, las cuales son posteriormente transportadas al sitio de instalación mediante vagones basculantes (ver Fig. N° 3.14). Estos vagones son diseñados para satisfacer los requisitos de la red, logrando cargas admisibles de 30 T, hasta 4.4 m de ancho y 28 m de longitud, e inclusive permitiendo desplazamientos laterales de la plataforma de carga entre 0.5 a 1.2 m para evitar interferencias. Las unidades de cambiavía se transfieren directamente de los vagones basculantes a su posición final ensamblados completamente, manteniendo la calidad geométrica del cambiavía, generando ahorro en tiempo y recursos al evitar premontaje y verificaciones geométricas previas a la entrega de vía. El sistema se complementa con grúas ferroviarias, vigas-grúa o grúas pórtico para descarga e instalación del cambiavía.



Fig. N° 3.14 Transporte de paneles de cambiavía por vagón basculante
Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014, p. 37)

A pesar de las ventajas descritas, el método de cambiavía modular es poco utilizado, debido al limitado número de vagones basculantes al implicar costos elevados de inversión y la eficacia de la entrega justo a tiempo depende de la distancia entre fábrica y zona de instalación. Por ello, su uso se limita a casos en donde no existe una vía de acceso a la vía, espacio limitado cerca de la línea para el premontaje del cambiavía o cumplir con un tiempo de posesión de vía muy corto. En países con indisponibilidad de vagones basculantes se aplica parcialmente el concepto modular, al transportar paneles de cambiavía en vagones de plataforma plana. Debido al gálibo, mayormente sólo puede transportarse el cruzamiento, mientras los otros paneles son premontados tradicionalmente.

3.2.6. Análisis comparativo

3.2.6.1. Supuestos generales

Las condiciones de obra varían para cada instalación de cambiavía. Sin embargo, para comparar métodos, hay consideraciones generales que afectan al proceso:

- Cambiavía convencional utilizado en líneas con velocidades entre 140 y 200 km/h, de longitud entre 40 y 50 m y 40 T aproximadamente.
- Las actividades previas y posteriores a la instalación se realizan en turnos nocturnos de 8 h (4.5 h de trabajo efectivo). Por el contrario, para las actividades de instalación se considera un proceso continuo con la duración referida a las horas de trabajo efectivas.
- Debido a la necesidad del total de mano de obra en las actividades críticas, se considera a toda la fuerza laboral durante toda la posesión de vía.

3.2.6.2. Fases de instalación

A. Actividades de pre-instalación

A.1 Preparación de área de acopio.

A.2 Transporte de materiales.

A.3 Montaje del nuevo cambiavía en paneles en el área de acopio.

A.4 Trabajos topográficos previos a la instalación.

B. Retiro del cambiavía o vía antigua y preparación del sitio

B.1 Desmontaje del cambiavía o vía antigua y preparación del sitio.

B.2a Eliminación de la parte superior de la capa de balasto, o B.2b Eliminación de la capa de balasto completa.

C. Instalación del cambiavía nuevo

C.1 Colocación de balasto nuevo.

C.2 Colocación y montaje de los nuevos paneles de cambiavía.

C.3a Sujeción, o C.3b Soldadura y tensión.

C.4 Restauración de la geometría inicial de vía.

C.5 Puesta en servicio del sistema de señalización y control.

C.6 Puesta en servicio y pruebas finales

C.7 Estabilizador de vía dinámico.

D. Actividades posteriores a la renovación

D.1 Soldaduras y liberación de tensiones.

D.2 Restauración de la geometría final de vía

D.3 Inspección final y aceptación.

3.2.6.3. Comparación de métodos

a) Tabla comparativa

MAINLINE realizó la comparación de los métodos para montaje de cambiavía mediante cada fase descrita previamente, de acuerdo al total de horas de trabajo implicado, la fuerza laboral y los equipos requeridos, de acuerdo a la Tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1 Comparación de métodos de montaje de cambiavía por fases

Re cur sos	CV premontado							CV modular
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Coms a	MAV	Skans ka	
A. Actividades de pre-instalación								
A.1	1 turno (8h)							
A.2								
A.3	2 turnos (16 h)							
A.4	1 turno (8h)							
H. tot ale s	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2 +A3+A 4:32 h	A1+A2+ A3+A4: 16 h
Fu erz a lab ora l	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2 :2+2(s eg); A3:6+ 2(seg); A4:2(t op)+2(seg)	A1+A2: 2+2(seg); A4:2 (top)+2(seg)
Eq uip os	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1:exc av,vol quete;	A1+A3: excav,v olquete;

Re cur sos	CV premontado							CV modular
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Coms a	MAV	Skans ka	
	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:2 vehic.;	A2:1 vehic.;
	A3:exc av;	A3:exc av;	A3:exc av;	A3:exc av;	A3:exc av;	A3:exc av;	A3:exc av;	A4:eq. top.
	A4:eq. top.	A4:eq. top.	A4:eq. top.	A4:eq. top.	A4:eq. top.	A4:eq. top.	A4:eq. top.	
Pot en cia	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+3 50+12 0=830 HP	360+35 0+120= 830 HP

Re cur sos	CV premontado							CV modul ar
	Grúa	Excav	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skansk a	

B. Retiro del cambiavía o vía antigua y preparación del sitio

B.1		3@4	4 h					
&		h						
B.2								
a								
B.1	4 h	4@5	6 h	2	6 h	4 h	9 h	1
&		h		turnos				turno
B.2				(16 h)				(8 h)
b								o
								4@5
								h

Re cur sos	CV premontado							CV modul ar
	Grúa	Excav	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skansk a	
H. tot ale s	B1+B2 b:4 h	B1+B 2a:3 @4 h; B1+B 2b:4 @5h	B1+B 2a:4 h; B1+B 2b:6 h	B1+B 2b:9 h	B1+B2a :3 h; B1+B2b :6 h	B1+B2 b:4 h	B1+B2a :5 h; B1+B2b :9 h	B1+B 2b:4.5 h
Fu erz a lab ora l	B1+B2 b:10+4(seg)+2(señal)	B1+B 2a/B2 b:10+ 2(seg) +2(se ñal)	B1+B 2a/B2 b:5+2(seg)+ 2(señ al)	B1+B 2a/B2 b:8+3(seg)+ 3(señ al)	B1+B2a /B2b:10 +2(seg) +2(seña l)	B1+B2 a/B2b: 13+2(s eg)+2(señal)	B1+B2a /B2b:10 +2(seg) +4(seña l)	B1+B 2a/B2 b:6+4 (seg) +2(se ñal)
Eq uip os	B1:exc av; B2b:ex cav,car g.fronta l,volque te,rodill o,tolva+ loco	B1:2 excav; B2a+ B2b:e xcav,c arg.fro ntal,v olquet e; Solo B2b:r odillo,t olva+l oco	B1:gr úa móvil; B2a+ B2b:c arg.fr ontal, volqu ete	B1:gr úa kirow; B2b:e xcav,c arg.fro ntal,v olquet e,rodil lo,tolv a+loc o	B1:2 excav.b iviales; B2a+B2 b:carg.f rontal,e xcav; Solo B2a:vol quete; Solo B2b:tolv a+loco,r odillo	B1:sist .UWG, vags.pl ataf+lo co; B2b:ex cav,tol va+loc o/volqu ete,rod illo	B1:viga- grúa,bo ggies+l oco; B2a+B2 b:carg.fr ontal,ex cav,tolv a+loco; Solo B2b:niv eladora, rodillo	B1:gr úa kirow; B2b:c olecto r autom at.bal asto,t olva+l oco,ro dillo

Re cur sos	CV premontado							CV modul ar NR
	Grúa	Excav	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skansk a	
Poten cia	360+10 0+350+ 100+12 0+1650 =2680 HP	360+1 00+35 0+100 +120+ 1650= 2680 HP	200+1 00+35 0=650 HP	350+3 60+10 0+350 +100+ 120+1 650=3 030 HP	2*140+ 100+36 0+350+ 120+16 50+100 =2960 HP	6*100+ 4*100+ 1650+ 360+1 20+10 0=323 0 HP	116+4* 100+16 50+100 +360+1 20+140 +100=2 986 HP	350+1 70+12 0+165 0+100 =2390 HP

Re cur sos	CV premontado							CV modular NR
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Coms a	MAV	Skans ka	

C. Instalación del cambiavía nuevo

C.1	4 h	1 h	4 h	2	4 h	4 h	6 h	1 turno
C.2		5@6 h	5 h	turnos	5 h	5 h	5 h	(8 h)/ 4.5
C.3		(C3a),	(C3a)	(16	(C3a)	(C3a)	(C3a)	h+2
C.4	3 h	10@11 h		h)/ 9				turnos
		(C3b)		h+2				(16 h)/9
C.5		2 h	24 h	turnos	3 h		3 h	h (C3b)
				(16				
				h)/ 9 h				
				(C3b)				
C.6		1 h		3 h				3 h
C.7		15 min						

Re cur sos	CV premontado							CV modular
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Coms a	MAV	Skans ka	
H. tot ale s	C1+C 2+C3 a+C4 +C5+ C6:7 h	C1+C2+ C3a+C4: 6@7 h;C1+C2 +C3b+C 4:11@12 h; C5+C6+ C7: 3.25 h	C1+C 2+C3 a+C4 +C5:9 h; C6:24 h	C1+C 2+C3 b+C4 +C5:1 8 h; C6:3 h	C1+C 2+C3 a+C4: 9 h; C5+C 6:3 h	C1+C 2+C3a +C4+ C5+C 6:9 h	C1+C 2+C3 a+C4: 11 h; C5+C 6:3 h	C1+C2+ C3b+C4 +C5:13. 5 h; C6:3 h
Fu erz a lab ora l	C1+C 2+C3 a+C4 +C5+ C6:10 +2(se g)+2(s eñal); C6:1(i ng.fer rov)	C1+C2+ C3a+C5 +C6+C7: 10+2(se g)+1(ing. ferrov)	C1+C 2+C3 a+C4 +C5+ C6:8+ 1(seg) +4(se ñal)	C1+C 2+C3 b+C4 +C5:1 0+3(s eg)+2 (señal) +1(in g.ferr ov)	C1+C 2+C3 a+C4 +C5+ C6:10 +2(se g)+2(s eñal)+ 1(ing.f errov)	C1+C 2+C3a +C4+ C5+C 6:12+ 2(seg) +2(se ñal)+1 (ing.fe rrov)	C1+C 2+C3 a+C4 +C5+ C6:10 +2(se g)+4(s eñal)	C1+C2+ C3b+C4 +C5:6+3 (seg)+3(señal)+2 (sold);C6 :2(ing.fer rov)

Re cur sos	CV premontado							CV modular
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Coms a	MAV	Skans ka	
Eq uip os	C1:tol va+lo co,car g.front al,rodi llo; C3:gr úa móvil; C4:ba teador a,eq.t op.	C1:tolva +loco,niv eladora,r odillo;C2: 2 excav; C4:batea dora,reg. balasto,e q.top; C7:DTS	C1:tol va+lo co,car g.front al,rodi llo; C2:gr úa móvil; C4:ba teador a,eq.t op.	C1:tol va+lo co,car g.front al,rodi llo; C2:gr úa móvil; C4:ba teador a,eq.t op.	C1:tol va+lo co,car g.front al,rodi llo; C2:2 excav .bivial es; C4:ba teador a,reg. balast o,eq.t op.	C1:tol va+loc o,carg .fronta l,rodill o; C2:sis t.UW G,vag s.plata f+loco; C4:bat eador a,eq.t op.	C1:tol va+lo co; C2:vig a- grúa,b oggie s/vag s.plat af+loc o; C4:ba teador a,reg. balast o,eq.t op	C1:tolva +loco,ca rg.frontal ,rodillo; C2:vags. basculan tes+loco, grúa kirow; C4:batea dora,eq.t op.
Pot en cia	120+1 650+1 00+10 0+200 +8*4= 2202 HP	120+165 0+140+1 00+350+ 8*4+350 +300=30 42 HP	120+1 650+1 00+10 0+200 +8*4= 2202 HP	120+1 650+1 00+10 0+200 +8*4= 2202 HP	120+1 650+1 00+10 0+2*1 40+8* 4+300 =2582 HP	120+1 650+1 00+10 0+6*1 00+4* 100+8 *4=30 02 HP	120+1 650+1 16+4* 100+8 *4=23 18 HP	120+165 0+100+1 00+2*20 0+350+8 *4=2752 HP

Recur sos	CV premontado							CV modul ar
	Grúa	Excav	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skanska	
D. Actividades posteriores a la renovación								
D.1	1 turno (8 h)	1 turno (8 h)	3 turnos (21 h)		1 turno (8 h)	1 turno (8 h)	7 h	
D.2	1 turno (8 h)		1 turno (8 h)	1 turno (8 h)	1 turno (8 h)	1 turno (8 h)		1 turno (8 h)
D.3		1 h inspe cx7 d						
H. tot ale s	D1+D2 +D3:16 h	D1+D 2+D3: 15 h	D1+D 2+D3: 29 h	D2+D 3:8 h	D1+D2 +D3:16 h	D1+D 2+D3: 16 h	D1+D2+ D3:7 h	D2+D3 :8 h
Fu erz a lab ora l	D1:4(so ld)+2(s eg); D2+D3: 2(top)+ 2(seg)+ 2(ing.fe rrov)	D1:4(sold)+ 2(seg) ; D3:1(i ng.fer rov)	D1:2(sold)+ 1(seg) ; D2+D 3:2(to p)+1(s eg)+1 (ing.fe rrov)	D2+D 3:2(to p)+2(s eg)+2 (ing.fe rrov)	D1:4(so ld)+2(s eg); D2+D3: 2(top)+ 2(seg)+ 2(ing.fe rrov)	D1:4(sold)+ 2(seg) ; D2+D 3:2(to p)+2(s eg)+2 (ing.fe rrov)	D1+D2+ D3:10+2 (seg)+4(señal)+2 (top)+4(sold)	D2+D2 :2(top) +2(seg))+2(ing .ferrov)
Eq uip os	D2:bate adora,r eg.bala sto,eq.t op.	D2:ba teador a,reg. balast o,eq.t op.	D2:ba teador a,reg. balast o,eq.t op.	D2:ba teador a,reg. balast o,eq.t op.	D2:bate adora,e q.top. op.	D2:ba teador a,eq.t op.	D2:bate adora,re g.balast o,eq.top ,tolva+lo co	D2:bat eadora ,reg.ba lasto,e q.top.

Re cur sos	CV premontado							CV modul ar
	Grúa	Excav	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skanska	
Pot en cia	8*4+30 0=332 HP	8*4+3 00=33 2 HP	8*4+3 00=33 2 HP	8*4+3 00=33 2 HP	8*4=32 HP	8*4=3 2 HP	8*4+300 +120+1 650=21 02 HP	8*4+3 00=33 2 HP

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014)

De acuerdo a la evaluación por método, se calcula el esfuerzo humano y potencia de consumo eléctrico implicado en el montaje de cambiavía (ver Tabla N° 3.2).

Tabla N° 3.2 Esfuerzo humano y potencia consumida por método de montaje de cambiavía

Recursos	CV premontado							CV modular
	Grúa	Excav.	Grúa	Grúa	Excav.	Sist. UWG	Viga- grúa	
	DB	TCCD	JBV	TRV	Comsa	MAV	Skanska	
HH	745	904	1106	894	882	797	916	494
Potencia (HP)	6044	6884	4014	6394	6024	6674	8920	6304

Fuente: Elaboración propia

b) Síntesis de la comparación

Cada método tiene ventaja preponderante sobre los otros de acuerdo a las condiciones de obra, así como desventajas en otros aspectos (ver Tabla N° 3.3):

- Instalación con excavadoras. Debido a la disponibilidad de excavadoras, es más factible la instalación con estos equipos, aunque si se trata de un cambiavía de alto estándar no es recomendable pues pueden generarse deflexiones que afecten su instalación y posterior desempeño.
- Grúas de carretera. Cuentan con mayor disponibilidad en el mercado, pero su uso es válido sólo si la línea cuenta con acceso por carretera a la zona de instalación y espacio libre adyacente para ubicación de grúas. Implica menor cantidad de esfuerzo humano (1106 HH con grúa de DB) y menor potencia de consumo (4014 HP con grúa de JBV) por montaje de cambiavía.
- Grúas ferroviarias: Estas grúas biviales pueden acceder tanto por carretera como por vía férrea hacia la zona de instalación, siendo versátiles para los distintos tipos de infraestructura ferroviaria. Además, al servir para otros

trabajos de mantenimiento, su disponibilidad es mayor frente a otros sistemas como vigas-grúa o vagones basculantes.

- Vigas-grúa: Permite el transporte del cambiavía premontado sin necesidad de dividirlo, y con ello realizar actividades antes de la instalación. Sin embargo, son menos disponibles y de mayor costo, además de que requieren un tren adicional para su transporte. Sin embargo, implica mayor potencia de consumo (8920 HP con la viga-grúa de Skanska) por montaje de cambiavía.
- Grúas pórtico: Estos equipos cuentan con mayor disponibilidad que las vigas grúa, permiten un manejo similar del cambiavía premontado completamente, con la ventaja de trasladarse por sí solas a la zona de instalación. Entre el método PUM-MWT y PEM-LEM, los últimos son más óptimos al permitir ser maniobrados por una sola persona. Implica menor cantidad de esfuerzo humano (797 HH con sistema UWG de MAV) por montaje de cambiavía.
- Cambiavía modular: Al requerir vagones basculantes acordes al diseño del cambiavía, la especificidad supone menor disponibilidad que otros equipos. El traslado desde fábrica a la zona de instalación reduce tiempos de premontaje, sólo si dicho traslado no es complejo (MAINLINE Consortium, 2014).

En el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, la ubicación de los enlaces a instalarse tanto a nivel de vía como en viaducto restringe la posibilidad de montaje mediante grúas de carretera. El método modular no es estimable debido a que la fábrica de los enlaces está ubicada en España y el traslado de los componentes se torna complejo. Entonces, al tratarse de cambiavías de alto estándar, el montaje implica el método premontado, siendo la opción más eficaz la utilización de PEM-LEM.

Tabla N° 3.3 Evaluación por ventajas de métodos de montaje de cambiavías

Equipo \ Propiedad	Producción (duración de posesión de vía; duración total del montaje)	Necesidad de espacio cerca de la línea (preensamble)	Disponibilidad del sistema	Mano de obra (trabajadores en el montaje)	Costo de maquinaria	Calidad de instalación (manipulación del CV)
Excavadoras	++	+	+++	+	+++	+
Grúas de carretera	++	+	+++	+	+++	+

Grúas ferroviarias (Kirov, etc.)	++	+	++	++	++	+++
Sistema viga-grúa (Desec TL1200, VAIACAR, etc.)	++	+	+	++	++	+++
G. pórtico (UWG, Fasseta, etc.)	++	+	+	+ (UWG) +++ (Fasseta)	++	+++
CV modular	+++	+++	+	+++	+	+++

+++ Desempeño excelente

++ Desempeño promedio

+ Desempeño deficiente

Fuente: (MAINLINE Consortium, 2014)

3.3. MONTAJES PRECEDENTES DE CAMBIAVÍAS EN LÍNEAS EN OPERACIÓN

3.3.1. Línea de alta velocidad entre Nîmes y Montpellier

En 2016, Colas Rail Large Regional Projects participó en la conexión de la línea de alta velocidad entre Nîmes y Montpellier (LGV Nîmes-Montpellier (CNM)) ejecutando el montaje de vía doble en 20 km y 16 cambiavías mediante el sistema PEM-LEM en un período de 15 meses (ver Fig. N° 3.15).

El montaje implicó el premontaje tanto de cambiavías como de otros elementos de vía en paneles de longitud máxima de 120 m.

Se consideraron dos soluciones para la instalación, tanto desde la vía en construcción como desde la segunda vía, es decir, desde el lateral.

El montaje utilizó el método de grúas pórtico PEM-LEM, con un sistema llamado S2PV, con los lorrys LEM de capacidad mayor a 20 T conectados por una viga y equipadas con orugas, y pórticos PEM que permitieron sujetar elementos de vía

para su levantamiento y transporte mediante sus brazos removibles y sobre los LEM. (Colas Rail, 2017)



Fig. N° 3.15 Montaje de cambiavías en LGV Nimes-Montpellier (CNM)
Fuente: (Colas Rail, 2017)

3.3.2. Red de trenes orbitales de Londres

En diciembre de 2012, se introdujo un servicio de cuatro trenes por hora entre Highbury e Islington y una nueva vía que Carillion instaló en Clapham Junction, mejorando las posibilidades de viaje para los residentes del sureste de Londres. Para completar la red orbital, se tuvo que construir un nuevo enlace entre Surrey Quays, en la línea East London, y Queens Road Peckham, en la línea Inner South London. Afortunadamente, había una línea en desuso entre los dos puntos que se tuvo que recuperar y operar.

Algunos terrenos baldíos adyacentes a la línea permitieron el premontaje del cambiavía, cuyos componentes llegaron desde Progress Rail.

Durante un fin de semana a principios de octubre de 2011, Carillion tomó una posesión de 54 horas para instalar el cambiavía. Los vehículos biviales (RRV) se utilizaron para retirar la vía antigua y el balasto, y el cambiavía se colocó en posición mediante PEM-LEM, para lo que se ensambló una vía provisional y las grúas pórtico a control remoto elevaron al cambiavía y llevaron a su posición (ver Fig. N° 3.16).

En una segunda posesión de 54 horas en noviembre, se realizó el mismo proceso para instalar el otro cambiavía del enlace. Ambas posesiones siguieron el plan, y la vía se entregó a tiempo. (The Rail Engineer, 2012)



Fig. N° 3.16 Montaje de cambiavías en red de trenes orbitales de Londres mediante PEM-LEM
Fuente: (The Rail Engineer, 2012)

CAPÍTULO IV: PLANEAMIENTO DEL MONTAJE

4.1. OBJETIVOS

El planeamiento se organizó de acuerdo a la Fig. N° 5.1 con los siguientes objetivos:

- Identificar las restricciones, actividades previas, interfaces y prerequisites para la planificación del montaje de cambiavías.
- Garantizar la liberación de flujos principales para montaje de cambiavías.
- Establecer los elementos involucrados en el mapeo del flujo de valor del proceso de montaje de cambiavías.



Fig. N° 4.1 Organización del planeamiento del montaje

Fuente: Elaboración propia

4.2. CONDICIONES REQUERIDAS

4.2.1. Restricciones

4.2.1.1. Restricciones de infraestructura

a) Catenaria en vía principal

Los hilos de catenaria existente se encuentran a una altura máxima de aprox. 4.50 m. del nivel del riel, y con separación de 3.80 m entre los hilos de ambas vías.

Las actividades de izaje desde fuera hacia dentro de la vía en todos los casos implican gran riesgo de contacto con el hilo de catenaria con potenciales daños en el hilo y corto circuito, lo que inhabilitaría la operación hasta reponer el sistema energético en tal tramo. Por ello, para cada maniobra de equipos dentro de la vía se solicita previamente la desenergización, bloqueo y aterrado, con instalación de pértigas, en las zonas energéticas involucradas en el movimiento.

Debido a las dimensiones del cambiavía, cuyo durmiente más largo en la zona de cruzamiento posee una longitud de 4.20 m., se descartó la posibilidad de izaje del cambiavía desde fuera de la vía, debido a que dicha longitud sobrepasa los ya mencionados 3.80 m. de distancia entre hilos de catenaria (ver Fig. N° 4.2).

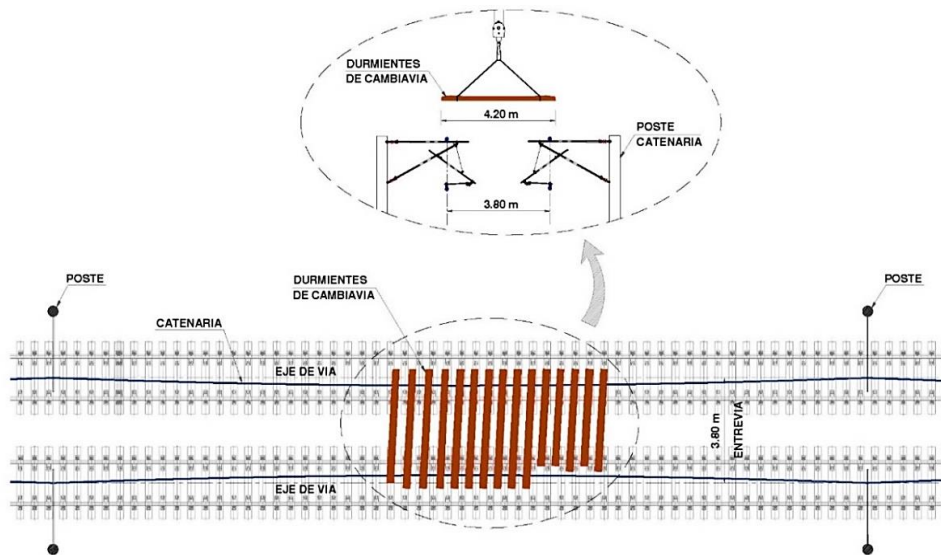


Fig. N° 4.2 Evaluación de izaje de durmientes desde fuera de vía

Fuente: Elaboración propia

b) Elevación de viaducto

En la vía principal existe un tramo a nivel entre el Patio Taller Villa El Salvador hasta Estación San Juan, y otro en viaducto elevado, entre la Estación Atocongo y el Patio de Maniobras Bayóvar (ver Fig. N° 4.3). Este segundo tramo presenta hasta aprox. 17.5 m. de diferencia de altura entre el nivel de vía pública hasta el viaducto, lo cual dificultaría aún más posibles izajes del cambiavía considerando que en varios tramos debajo del viaducto no hay el espacio suficiente para estabilización de una grúa sin afectar sobremanera al tránsito en la vía pública.



Fig. N° 4.3 Viaducto elevado de la Línea 1 del Metro de Lima

Fuente: (Línea 1 del Metro de Lima, 2019)

c) Postes en Presbítero Maestro

En las inmediaciones de la vía principal en Estación Presbítero Maestro se ubican 6 postes de catenaria en la entrevía (ver Fig. N° 4.4), que imposibilitan el transporte de un cambiavía premontado por el tramo. Esto fue tomado en cuenta para determinar el punto de partida de los trenes de trabajo para cada cambiavía.



Fig. N° 4.4 Postes de catenaria cerca de la Estación Presbítero Maestro

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Restricciones de transporte

a) Distancia a patios

Dada la longitud de 34 km. de vía principal, considerando como punto de partida de los trenes de trabajo el patio más cercano para llegar a la zona de implantación, se recorrería hasta 17 km como máximo. Debido a ello y la presencia del poste en Presbítero Maestro, se determinaron los siguientes puntos de partida: Los CV08, CV07 y CV06 partiendo desde el Patio de Maniobras Bayóvar y los CV01, CV02, CV03, CV04 desde Patio Taller VES y el CV05 desde la tercera vía de Av. México.

b) Curvas críticas

Previo al montaje de los cambiavías, se realizó el estudio de gálibos de los trenes de trabajo de transporte del cambiavía premontado desde su base de premontaje hasta su punto de implantación para obtener detalle respecto a obstáculos y puntos críticos que deban sortear durante cada transporte para determinar las acciones respectivas. De acuerdo al inciso 2.3.1.4 del Capítulo II, se tuvieron como resultados del análisis la necesidad de cambio de tren de trabajo durante el transporte de determinados cambiavías e inclusión de sistema flotante de falsas traviesas en curvas críticas de radio menor a 100 m.

4.2.2. Interfaces

Días previos al primer montaje de cambiavía, se realizó una caminata en vía junto a los responsables de las diferentes disciplinas del proyecto y el operador para identificar actividades previas al montaje por parte de las mismas y establecer compromisos para su ejecución antes, durante y después del alto impacto. De esta manera, se identificaron las siguientes principales interfaces:

4.2.2.1. Interfaces con disciplinas

a) Obras civiles

En cada tramo de instalación de los nuevos enlaces existe una canaleta central en la entrevía, que contiene en su interior cables eléctricos de media tensión de alimentación al sistema ferroviario. Por ello, como obra civil, se debe realizar el retiro de las tapas de concreto de la canaleta central, la demolición de la canaleta central y desvío del cableado por las canaletas laterales y la reposición de balasto en la entrevía del tramo de inserción del cambiavía (ver Fig. N° 4.5).



Fig. N° 4.5 Zona de canaleta central antes y durante la jornada de alto impacto

Fuente: Elaboración propia

b) Señalización

El sistema de señalización se ve modificado de acuerdo al nuevo esquema de vías con la inclusión de los nuevos cambiavías. Por ello, previo al montaje de cambiavías se debe realizar la desconexión de los cables de señalización en el tramo de inserción del cambiavía para permitir el corte de la vía en la jornada de alto impacto sin afectar a los demás circuitos de vía que permiten la detección de trenes. Al inicio de la jornada de alto impacto, se debe realizar la protección de las canaletas laterales dentro de las cuales pasan los cables de señalización, frente a posible impacto de las patas de pórticos PEM, para lo cual se instalan placas de acero para repartición de cargas de pórticos. De la misma manera, se deben colocar cubiertas de metal sobre las cajas tuning o de sintonía (ver Fig. N° 4.6), las cuales forman parte del sistema de señalización, para su protección frente a impactos por actividades del alto impacto como regado de balasto o impacto de

equipos. En la jornada de alto impacto, culminado el montaje del cambiavía y reconectados los circuitos de vía en los extremos de la zona intervenida, debe realizarse la prueba de detección de trenes en dicho tramo a cargo del área de señalización, como requisito para poder reanudar operación en la línea.



Fig. N° 4.6 Caja tuning antes y durante la jornada de alto impacto

Fuente: Elaboración propia

c) Energización

Conjuntamente con el retiro anteriormente mencionado de la canaleta central en zona de nuevo cambiavía, se debe realizar el desvío del cableado de media tensión a los laterales de la vía, previo al montaje de cambiavía. Al inicio de la jornada de alto impacto, tras coordinación con operación, el área de bloqueo eléctrico realiza el aterramiento eléctrico mediante la colocación de pértigas, en la vía impar y la vía par, en los seccionadores de ambos extremos de la zona de trabajo y verificación de la tensión cero mediante voltímetro, a fin de evitar contacto eléctrico de los equipos con la catenaria existente (ver Fig. N° 4.7). Culminado el montaje del cambiavía, la misma área realiza el retiro de las pértigas.



Fig. N° 4.7 Pértiga colocada en vía durante el alto impacto

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Interfaces con seguridad

a) Señalización del área

Se dispuso la colocación de conos de seguridad con barras retráctiles y varas luminosas de alerta en ambos extremos de la zona de trabajo, considerando

ingresos y salidas de seguridad, para restringir el acceso de personal ajeno a la operación, y se ubicaron letreros de acceso restringido y uso obligatorio de EPPs.

b) Sistema de iluminación

Considerando la falta de visibilidad en la zona de trabajo debido al turno nocturno, resultó imprescindible la implementación de iluminación. Por ello, se consideró la instalación de un sistema de iluminación a lo largo de la zona de trabajo (ver Fig. N° 4.8), compuesto por reflectores con lámpara de vapor de sodio de 400 W de potencia y 220 V de voltaje, ubicados sobre soportes metálicos de 2.5 m de altura sujetos a los parapetos en el caso de viaducto elevado o amarrados al cerco perimétrico en el caso de vía a nivel. Estos reflectores estaban distribuidos cada 6 m aproximadamente, considerando en total 15 unidades al lado de la vía opuesto al de la instalación del cambiavía. Este sistema se alimentaba por medio de extensiones conectadas a un grupo electrógeno ubicado bajo el viaducto o en las proximidades de la línea a nivel al inicio de la jornada de alto impacto.



Fig. N° 4.8 Sistema de iluminación durante el alto impacto

Fuente: Elaboración propia

c) Puntos de hidratación

Como en todos los turnos nocturnos en vía, se implementaron dos cajas de agua y vasos en medio de la zona de trabajo para hidratación del personal.

d) Limitador de altura en equipos biviales

Cada retroexcavadora bivial implicada en izajes en el alto impacto fue implementada con un dispositivo mecánico de limitador de altura, equipado con una alerta sonora (ver Fig. 4.9). Esto complementó al acompañamiento por vigías de cada bivial para evitar eventos que involucren impacto a la catenaria de la vía.

De esta manera, para los traslados en vía la altura a la cual se activaba la alerta era 3.60 m y para los trabajos con maniobras la altura era 4.00 m.



Fig. N° 4.9 Limitador de altura en equipo bivial

Fuente: Elaboración propia

e) Plan de contingencia

Para atención de posibles averías de equipos durante la jornada de alto impacto, se dispuso el acompañamiento permanente de un mecánico. A la vez, como parte del plan de contingencia, se consideraron los siguientes escenarios:

- En caso de avería de una retroexcavadora bivial, el operador la coloca en modo remolque para que la otra bivial la empuje 100 m hacia el lado más alejado, para no interrumpir los trabajos hasta el fin del alto impacto. Luego, la bivial operativa asume el resto de trabajos mientras la bivial de contingencia ubicada en la zona de premontaje acude al área para sustituir a la bivial retirada.
- En caso de avería del Unimog, el operador la coloca en modo remolque. La bivial de contingencia ubicada en la zona de premontaje acude al área para remolcar el Unimog fuera de la zona de trabajo.
- En caso de avería del conjunto PEM-LEM, se debe considerar que según el proveedor el traslado del cambiavía es posible con 3 juegos, por lo que el cuarto juego sirve además como apoyo frente a averías. Si la avería fuera en un LEM, se pone al equipo en modo remolque y se engancha mediante bulón al LEM más cercano para abandonar la zona de trabajo luego de descargar el cambiavía. Si fuera en un PEM, si es capaz de descargar el cambiavía, luego de la instalación se coloca en remolque y es empujado por los otros PEM, y si no, se retira el equipo por medio de las biviales antes de instalar el cambiavía.
- En caso de descarrilamiento de la locomotora, se disponen de un equipo de encarrilamiento y sapas cargadas en el TT1, las cuales se colocan en cada línea de la vía en cuestión para permitir el retorno del equipo a modo de rampa.

f) Plan de emergencia

Para garantizar la integridad física del personal involucrado en el alto impacto, se elaboró un flujograma de comunicación de emergencias, la cual inicia en la alerta por parte de cualquier trabajador que se percate del evento hacia el encargado de vía, de acuerdo a la Fig. N° 4.10. Para la atención primaria, se dispuso la implementación de un botiquín de primeros auxilios ubicado a un lado de la zona de trabajos. De esta manera, en un eventual evento se traslada al afectado sobre la canastilla por la vía mediante trollies hasta la estación cercana y luego se deriva al establecimiento médico más próximo. Para emergencia en caso de derrames, se dispuso la implementación de un kit antiderrame para evitar contaminación.



Fig. N° 4.10 Flujograma de comunicación de emergencias

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3. Interfaces con operación

El montaje de cambiavías implicó intervenciones dentro de vía, por lo que además de interfases internas, se requirió la participación del operador en la coordinación de trabajos previos y de la jornada de alto impacto, para ingreso del personal a la vía, transporte de trenes y recursos asociados. Las principales interfases fueron:

a) Programación de actividades

De acuerdo a lo previsto para el proyecto, la planificación media de los trabajos se presentaba en formatos 4WLA y Plan Bisemanal. En este último, se identificaban las actividades que requerirían acceso a zonas restringidas como la vía principal,

para lo cual el responsable de la actividad debía coordinar con su par en el operador para identificar los recursos y los controles pertinentes. En las reuniones semanales de programación, los responsables de cada disciplina sustentaban sus respectivas actividades planificadas en vía principal y los requerimientos necesarios, tales como desenergización de la zona, bloqueo y aterrado, tránsito por vía par o impar hasta determinado punto, y el acompañamiento de equipos de vía por parte del operador. De esta manera, era posible detectar trabajos de distintas áreas planificadas en el mismo tramo y horario, falta de disponibilidad de acompañantes del operador para algunos trabajos y cruces con pruebas de trenes en tramos de vía principal programadas por el operador. Luego de consensos y de acuerdo a la prioridad de trabajos, monitoreado por los representantes del operador y del concesionario, se lograba una planificación colaborativa plasmada en un layout semanal de vía principal (ver Fig. N° 4.11).

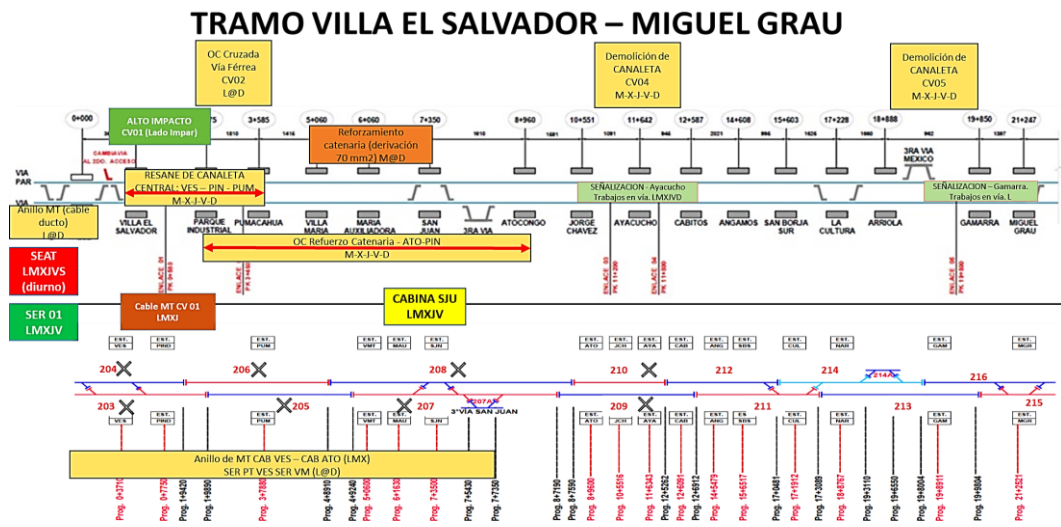


Fig. N° 4.11 Layout semanal de actividades en vía principal

Fuente: Elaboración propia

b) Interrupción de la operación

Para cada intervención se contó con una ventana horaria de 13 horas, desde el sábado a las 11:00 p.m. hasta el domingo a las 12:00 p.m., el cual debía garantizar el desarrollo de todas las actividades implicadas en el montaje del cambiavía, posible paralización ante alguna eventualidad y tiempo de reacción para garantizar la reanudación de la operación comercial. Con este intervalo horario se impactó en mínimo la operación comercial de la Línea 1 del Metro de Lima, el cual se desarrolla de lunes a domingo todo el año, afectando la operación dominical solamente por 6 horas, desde el domingo a las 06:00 a.m. hasta las 12:00 p.m.

Durante las 6 horas de interrupción de la operación, el tramo de vía y estaciones de tren involucradas en el montaje eran restringidos para servicio. El operador, a través de representantes, estaba presente para brindar el acceso a vía principal, y movimiento de trenes de trabajo, así como la entrega de vía al operador al finalizar jornada, para autorizar reanudación de operación en el tramo de vía.

c) Desenergización de la zona

Un día previo a la jornada, se realizaba la programación de actividades y recursos necesarios en la plataforma Sharepoint, las cuales tras revisiones por parte del área eléctrica y el operador seguían formatos de revisión para su autorización (ver Tabla N° 4.1). De ser autorizadas, desde la PCO se realizaba la desenergización de los seccionadores de alimentación eléctrica de la zona de trabajo, lo cual era reforzado en campo mediante colocación de pértigas, bloqueo y aterrado por parte del área eléctrica, y siendo imperante para que el acompañante de la actividad por parte del operador brinde autorización (liberación) de ingreso a vía principal. Al final de las actividades, el acompañante del operador comunicaba lo propio a PCO para volver a energizar la zona para reanudar servicio en el tramo.

Tabla N° 4.1 Flujograma de liberación de actividades en vía principal

Paso	Actividad	Responsables
1	Entrega de formato de liberación 1 y 2 de acuerdo a las actividades programadas, debidamente firmado por el coordinador general de bloqueo (solicitante) y supervisor líder de cada disciplina (operador)	- Coordinador general de bloqueo - Supervisor líder del operador
2	Entrega de formatos de liberación 1 y 2 al PCO y SCADA, según corresponda.	- Supervisor de liberación del operador
3	Ejecución y firma de actividades programadas en los formatos de liberación 1 y 2 de las actividades diarias	- Supervisor PCO - Supervisor SCADA
4	Entrega de copias de formatos de liberación 1 y 2 firmados según corresponda por parte de PCO y/o SCADA, al coordinar de bloqueo	- Supervisor de liberación del operador

Paso	Actividad	Responsables
5	Coordinador de bloqueo y supervisor de liberación del operador comunican la liberación de actividades a los supervisores de campo	- Supervisor de liberación del operador - Coordinador general de bloqueo

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Make Ready

Para garantizar el proceso del montaje de cambiavías se analizaron los 7 flujos y sus precondiciones.

4.2.3.1. Información

- Planos
 - Planos del cambiavía aprobados en el expediente de ingeniería.
 - Plano de replanteo topográfico de cambiavías aprobado por supervisión.
- Procedimientos
 - Procedimientos de trabajo aprobados y difundidos al personal.
 - Programación de trabajos en vía validada por operación.
- Planes preventivos y reactivos
 - Planes de contingencia y emergencia aprobados y difundidos al personal.
 - Plan de evacuación y zona segura de personal aprobado y difundido al personal.

4.2.3.2. Herramientas y materiales

- Herramientas vía cargadas en el TT1.
- Materiales
 - Kits de soldadura aluminotérmica estándar y cala ancha cargados en el TT1.
 - Cambiavía premontado cargado en el tren de trabajo respectivo.

4.2.3.3. Personas

- Mano de obra
 - Obreros calificados para trabajos en vía.
 - Operadores con licencia ferroviaria para operar equipos de vía.
 - Soldadores certificados por el proveedor de soldadura aluminotérmica.
 - Provisión de alimentos para todo el personal involucrado en la jornada.
- Línea de mando

- Designación de roles en el alto impacto: capataz general, encargados de reporte de actividades, encargados de registro cronológico, encargados de la entrega de vía al operador.
- Listado de personal requerido en el alto impacto: personal de vía férrea, eléctrica y bloqueo, señalización, técnico mecánico, control de proyectos, calidad, supervisión, operador y concesionario.

4.2.3.4. Equipos

- Equipos mayores
 - Equipos de todos los trenes de trabajo operativos, repostados y estacionados, incluyendo una cisterna combustible de emergencia:
 - ✓ TT1: locomotora + vagón tipo plataforma).
 - ✓ TT2: 4 juegos de PEM-LEM).
 - ✓ TT3: camión bivial Unimog + 5 plataformas de piso bajo.
 - ✓ TT4 y TT5: retroexcavadoras biviales.
- Equipos menores
 - Equipos menores operativos, calibrados, repostados y cargados en el TT1.

4.2.3.5. Espacio seguro

- Acondicionamiento del área
 - Señalización colectiva del área de trabajo.
 - Sistema de iluminación listo para instalación en vía.
- Actividades preventivas
 - Desenergización, bloqueo y aterrado de la zona.
 - Implementación de limitador de altura en biviales.

4.2.3.6. Trabajo previo

- Actividades previas de vía férrea
 - Pruebas dinámicas de transporte de cambiavías.
 - Premontaje del cambiavía completado.
 - Marcajes de obra realizados en la zona de implantación.
 - Carguío de balasto en tolva para regado en alto impacto.
- Actividades previas de otras disciplinas
 - Ejecución de interfases previas por parte de obras civiles, señalización y energía.

4.2.3.7. Condiciones externas

- Interrupción de la operación durante toda la jornada de trabajo.
- Señalización de los equipos ubicados en los exteriores de la línea (camión grúa y volquete) e implementación de letreros para tránsito vehicular.
- Implementación de vigilancia fuera de la línea.
- Comunicación oportuna a la población (cliente final) del cierre temporal del tramo de línea involucrado en los trabajos de alto impacto.

4.3. ELEMENTOS DEL FLUJO DE VALOR

4.3.1. Identificación de valor

El resultado deseado para el cliente Línea 1 durante la ampliación de capacidad de la línea es lograr la instalación de cambiavías operativos formando parte del sistema de metro. Partiendo de ello, el valor en el proceso de montaje de cambiavías nuevos radica desde el enfoque ferroviario en la conformación del tramo de vía incluyendo la capa renovada de balasto y el nuevo cambiavía instalado en la línea, siendo dicha superestructura el producto a entregar.

4.3.2. Identificación de participantes

Dentro del proceso de montaje de cambiavía en el alto impacto, los interactuantes que tienen participación a lo largo de la jornada son los siguientes:

- Producción: Disciplina ferroviaria encargada de los trabajos de montaje.
- Cliente: Encargado de la supervisión de la calidad del proceso y por sí mismo como participante en el llenado del protocolo de entrega de vía al operador.
- Operador: Encargado de facilidades como desenergización desde PCO e ingreso a vía y participante en el llenado del protocolo de entrega de vía.
- Disciplina de energía: Encargado de las interfaces para desenergización y aterrado del sector de vía involucrado en el montaje.
- Disciplina de señalización: Encargado de la interface para identificación del nuevo aparato en el sistema de señalización de la línea.

4.3.3. Clasificación de actividades

De acuerdo al valor del proceso, las actividades que agregan valor son las relacionadas a la transformación al producto, implicando la inserción del nuevo cambiavía y balasto renovado en la línea existente en reemplazo del tramo de vía existente. En tanto, las actividades que no agregan valor son las relacionadas al

transporte y esperas. La clasificación de actividades de acuerdo a su entrega de valor se detalla en la Tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2 Clasificación de actividades de acuerdo al valor agregado

ID	Actividad actual	Tipo	
		Agrega valor (AV)	No agrega valor (NAV)
1	Inicio de jornada de alto impacto	Hito	
2	Retorno de último tren a patio		X
3	Solicitud de desenergización de zona de trabajo		X
4	Traslado de trenes de trabajo sin CV al punto de instalación		X
5	Traslado de trenes de trabajo con CV al punto de instalación		X
6	Comunicación de desenergización de zona de trabajo	Hito	
7	Bloqueo y aterrado eléctrico de la zona		X
8	Autorización de inicio de actividades de alto impacto	Hito	
9	Corte de parejas de vía	X	
10	Izaje de parejas y carguío en TT3		X
11	Rebaje de balasto con biviales y compactación	X	
12	Descarga de vía provisional		X
13	Colocación de vía provisional y apoyos para PEM		X
14	Descarga del cambiavía mediante PEM-LEM	X	
15	Embridado de extremos y soldaduras aluminotérmicas (vía recta)	X	
16	Primer riego de balasto, colocación de gatos y compactación	X	
17	Segundo riego de balasto, colocación de gatos, compactación y perfilado manual	X	
18	Soldaduras aluminotérmicas (talón y enlace)	X	

ID	Actividad actual	Tipo	
		Agrega valor (AV)	No agrega valor (NAV)
19	Alineamiento y nivelación del cambiavía (continuo)		X
20	Enclavamiento mecánico		X
21	Interfaces con señalización y energía		X
22	Protocolo de entrega de vía al operador		X
23	Comunicación oficial de entrega de vía	Hito	
24	Fin de jornada de alto impacto	Hito	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN

5.1. OBJETIVOS

La implementación se organizó de acuerdo a la Fig. N° 5.1 con los siguientes objetivos:

- Realizar un registro cronológico de las actividades dentro de cada jornada de montaje de alto impacto para análisis de las duraciones.
- Recopilar las lecciones aprendidas luego de cada jornada de alto impacto para la mejora continua del proceso de montaje de cambiavías.
- Elaborar un mapeo de flujo de valor inicial y final para analizar la evolución de la metodología de montaje de cambiavías.

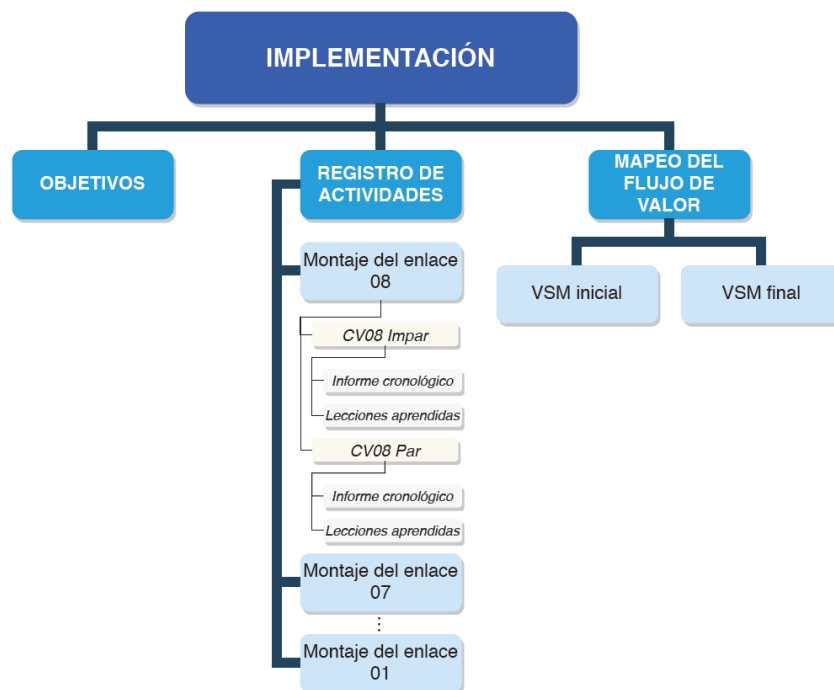


Fig. N° 5.1 Organización de la implementación

Fuente: Elaboración propia

5.2. REGISTRO DE ACTIVIDADES

5.2.1. Montaje del enlace 08

5.2.1.1. CV08 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Tratándose del primer montaje de cambiavías, se realizó el primer registro de actividades considerando las duraciones consideradas en la etapa de planeamiento como base para control de las actividades e hitos. De esta manera,

se obtuvo el cronograma de la Fig. N° 5.2. Los cuadros en azul representan las duraciones previstas en el planeamiento, mientras los cuadros en rojo representan las duraciones reales de las actividades.

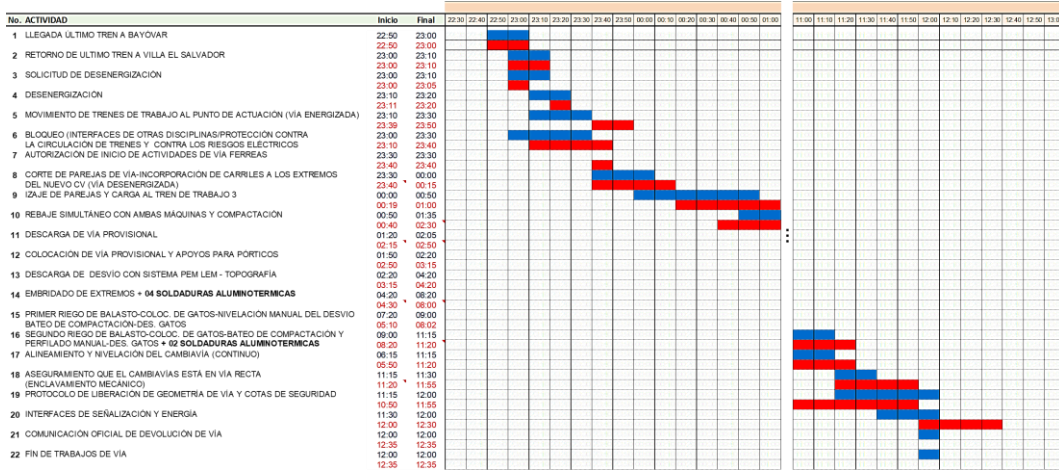


Fig. N° 5.2 Registro cronológico – CV08 impar

Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

El gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.3 demuestra variaciones importantes en las actividades de rebaje y riego de balasto, realizado mediante el vagón tipo tolva. Asimismo, el llenado de protocolo de entrega de vía al operador demandó mayor tiempo debido principalmente a las mediciones geométricas.

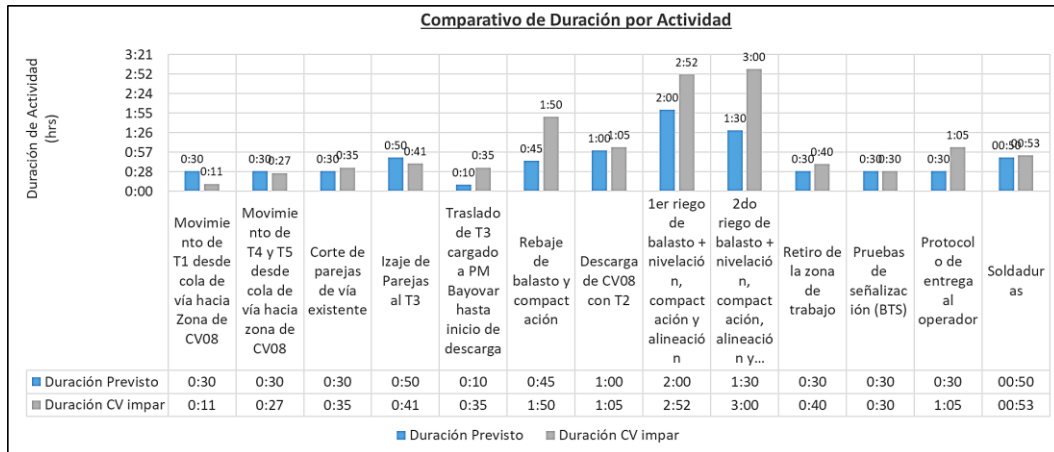


Fig. N° 5.3 Gráfico comparativo de duraciones – CV08 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

Realizando una lluvia de ideas respecto al performance en la primera jornada de alto impacto, se detectaron los siguientes puntos de mejora:

- El riego de balasto mediante la tolva traccionada por la locomotora en el TT1 no fue eficiente debido a la complejidad de la apertura y cierre de la puerta inferior de la tolva, por lo que debe evaluarse nuevamente en el siguiente montaje para tomar una decisión de cambio de metodología.
- La llegada de los trenes de trabajo a la zona de trabajo tuvo un atraso de 20 min debido a los controles previos a su salida por parte del operador, por lo que debe implementarse formatos de checklist de equipos 1 h antes de su partida para levantar cualquier observación y garantizar la partida de los trenes a la hora programada.
- El sistema de iluminación funcionó eficazmente utilizándose la mitad de los soportes instalados. Ello permite adelantar la instalación de la mitad del total de luminarias en la zona del próximo enlace una semana previa al montaje y adelantar el inicio de actividades en la zona en la jornada de alto impacto.
- Se debió proteger previamente los rieles y durmientes ubicados bajo la zona de acopio provisional del balasto retirado de vía, para garantizar su integridad y evitar realizar posterior limpieza y desperdicio de tiempo (20 min en la actividad). Para ello, es necesario verificar los metros lineales de acopio.
- La nivelación del cambiavía luego de su descarga debe acompañarse de mediciones de trocha y peralte a fin de realizar las correcciones topográficas inmediatamente y no dejarlas al final de jornada.

5.2.1.2. CV08 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV08 par en el cronograma de la Fig. N° 5.4 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

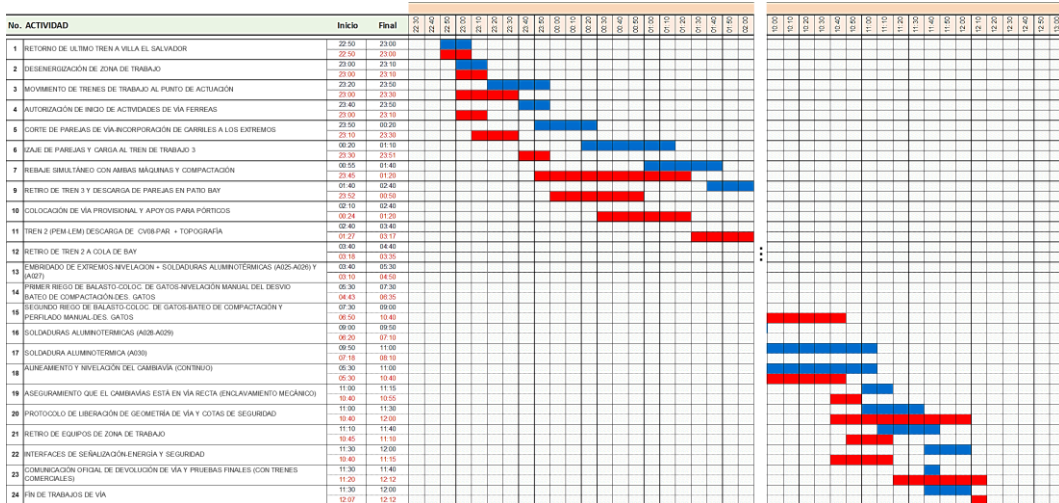


Fig. N° 5.4 Cronograma por horas – CV08 par
Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones
- De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.5, se cuentan con las principales variaciones respecto al montaje previo:
- Menor tiempo de corte de parejas, izaje de parejas al TT3, rebaje de balasto, descarga del cambiavía, primer riego de balasto, retiro de la zona de trabajo.
 - Mayor tiempo de segundo riego de balasto y entrega de vía al operador.

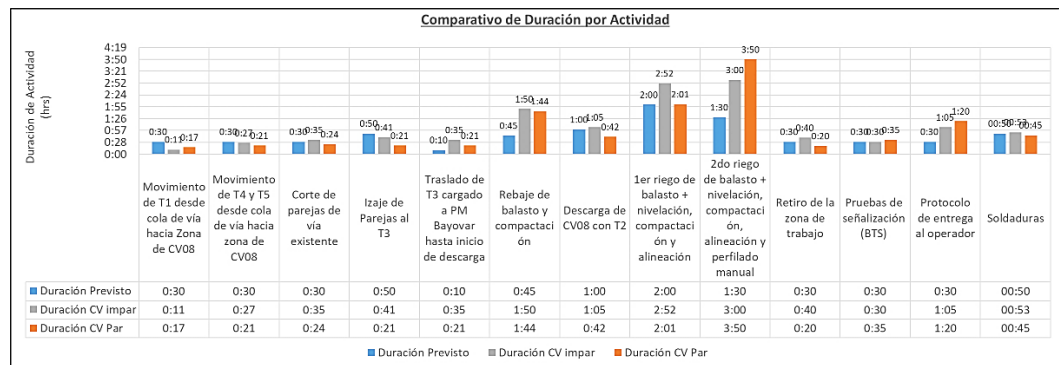


Fig. N° 5.5 Gráfico comparativo de duraciones – CV08 par
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Se realizó la descarga de vía provisional en la jornada previa al montaje para evitar la descarga y traslado de sus elementos durante el alto impacto.
- El izaje de parejas de vía y el rebaje de balasto se traslaparon 6 min al realizar los últimos izajes y el rebaje con ambas biviales, permitiendo reducir tiempos.
- El riego de balasto demandó similar tiempo que el primer montaje (5 h 30 min) debido a la avería del accesorio bivalva de la bivial durante el segundo riego.

Por ello, debió implementarse un checklist de todo lo cargado en el TT1 incluyendo accesorios a verificar en una jornada previa al alto impacto.

- El llenado del protocolo de entrega de vía al operador demandó mayor tiempo que en el montaje previo debido al tránsito de trenes de prueba de una vía a otra a través del enlace. Por ello, para los siguientes montajes, solo la última de las tres pruebas debe pasar por el enlace para reducir tiempo de entrega.

5.2.2. Montaje del enlace 07

5.2.2.1. CV07 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV07 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.6 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

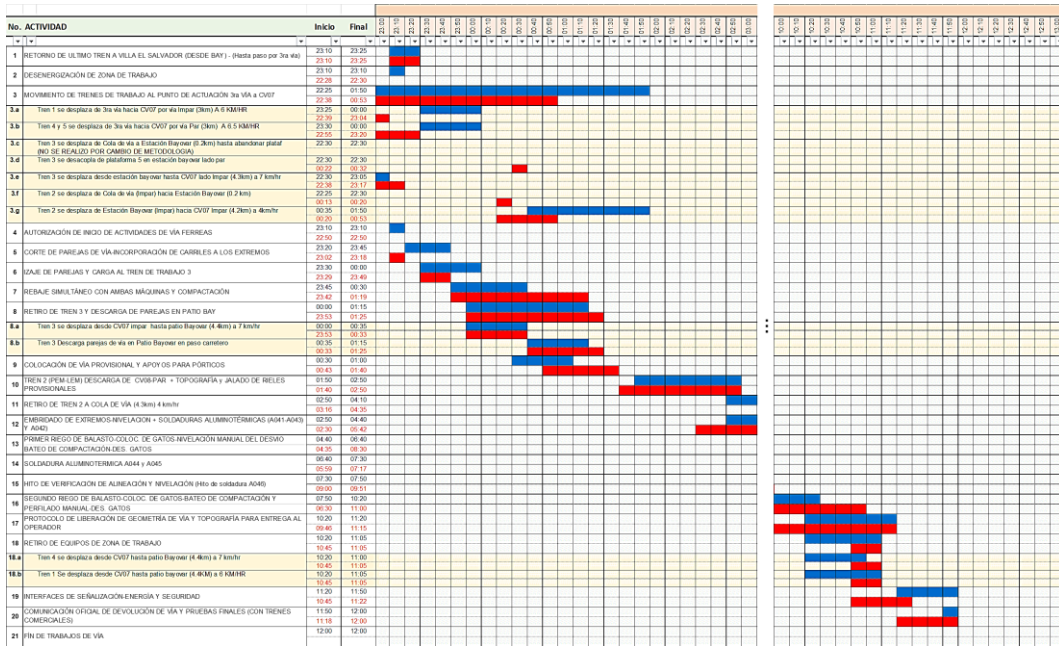


Fig. N° 5.6 Cronograma por horas – CV07 impar

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.7, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de rebaje de balasto, descarga del cambiavía y segundo riego de balasto.
- Mayor tiempo de primer riego de balasto y entrega de vía al operador.

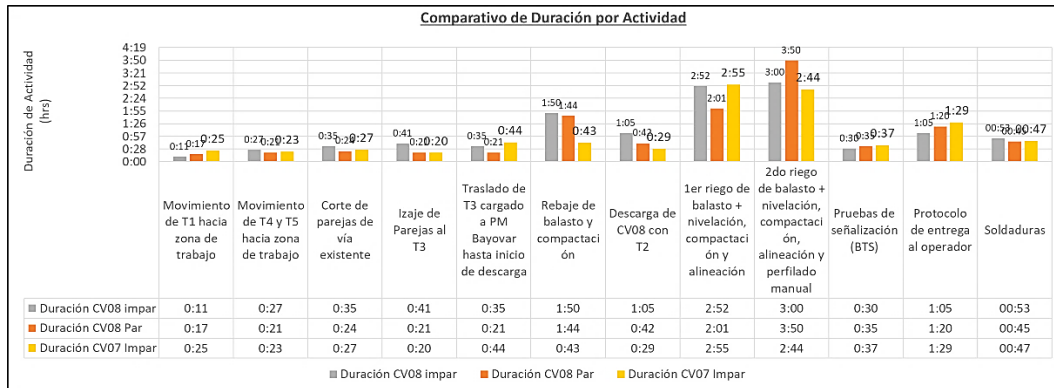


Fig. N° 5.7 Gráfico comparativo de duraciones – CV07 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- La metodología de riego de balasto mediante tolva no resultó efectiva, obteniendo las tres primeras jornadas tiempos mayores a 5 h. Por ello, se planteó el uso de bolsas big bag de 2 T a cargarse en el TT1 y complementar al balasto reutilizado.
- El llenado del protocolo de entrega de vía al operador tardó más tiempo por la llegada tardía de los trenes de prueba, por lo que se plantea que dichos trenes vayan aproximándose a la zona de trabajo y esperen en el límite del área mientras se culminan las mediciones y enclavamiento mecánico, evitando esperas en su traslado a una zona de implantación cada vez más lejana.

5.2.2.2. CV07 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV07 par en el cronograma de la Fig. N° 5.8 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

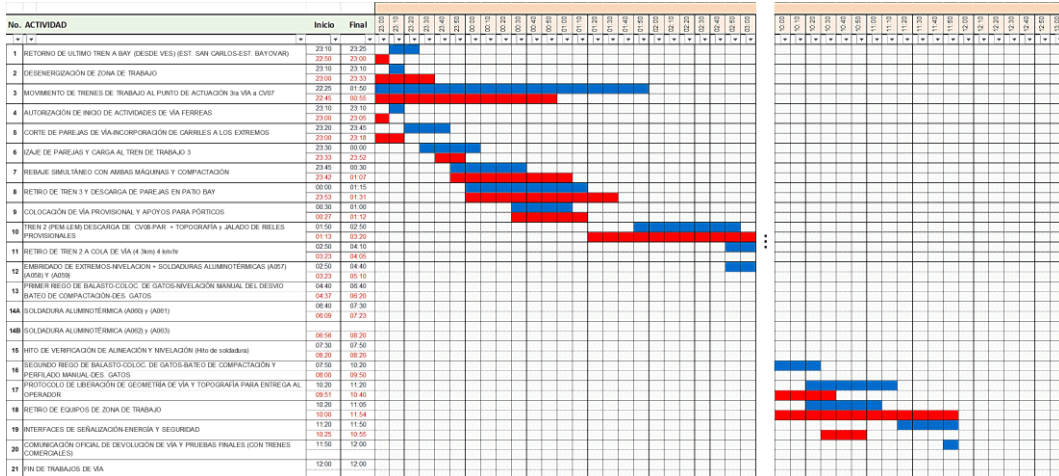


Fig. N° 5.8 Cronograma por horas – CV07 par

Fuente: Elaboración propia

• **Análisis de duraciones**

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.9, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de primer y segundo riego de balasto, y protocolo de entrega de vía al operador.
- Mayor tiempo de rebaje de balasto y descarga del cambiavía y retiro del área.

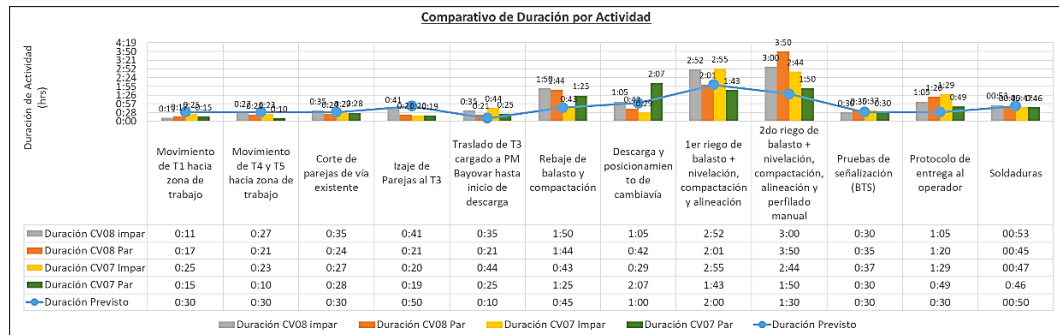


Fig. N° 5.9 Gráfico comparativo de duraciones – CV07 par

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Realizando el corte de parejas de vía una vez que el TT3 llega a la zona de trabajos se redujo la duración del izaje de las parejas al realizarlas directamente de la vía a las plataformas y evitando doble maniobra de bivial al acopiar parejas de vía y cargarlas al TT3 después.
- El riego de balasto mediante big bags permitió reducir 2 h de la actividad, retirando al vagón tipo tolva del TT1 y del programa en adelante.

- El estacionamiento de trenes de prueba en los límites del área redujo 40 min la actividad de llenado, permitiendo entregar la vía con holgura.
- La descarga del cambiavía implicó alrededor de 1.5 h debido a problemas de posicionamiento respecto al cambiavía 07 impar. Además, el descarrilamiento del cuarto PEM obligó a descargar las sapas del TT1 y demorar alrededor de 30 min en su encarrilamiento. De este modo, para los próximos montajes se descargarán las sapas al inicio de jornada y ubicarán en el extremo más cercano al TT1 mientras las biviales están rebajando el balasto, a fin de tener las sapas más cercanas al área, en caso de otro evento similar.

5.2.3. Montaje del enlace 06

5.2.3.1. CV06 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV06 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.10 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

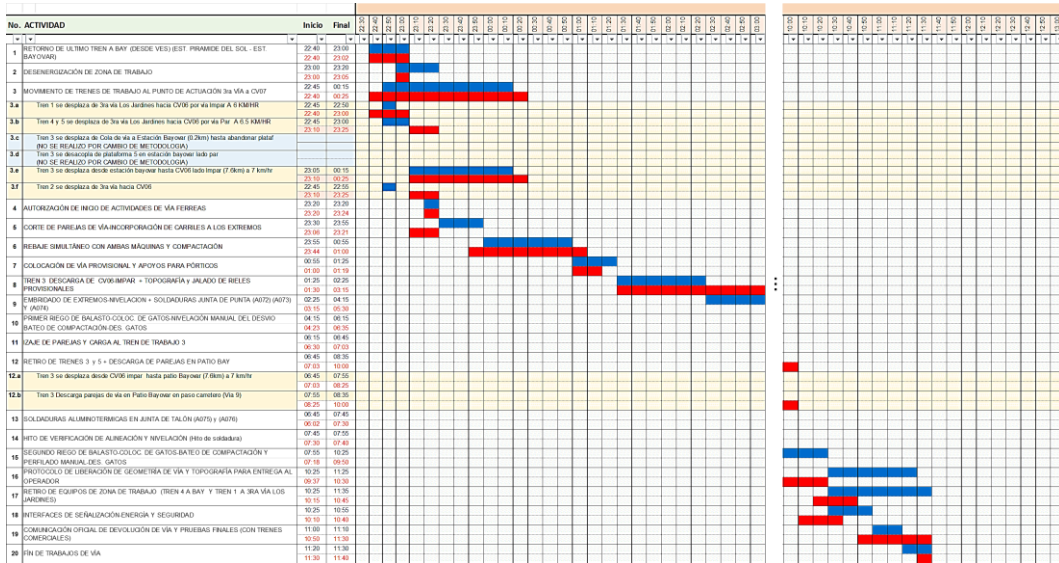


Fig. N° 5.10 Cronograma por horas – CV06 impar

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.11, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de corte e izaje de parejas al TT3, y descarga del cambiavía.
- Mayor tiempo de primer riego de balasto, protocolo de entrega de vía y soldaduras aluminotérmicas.

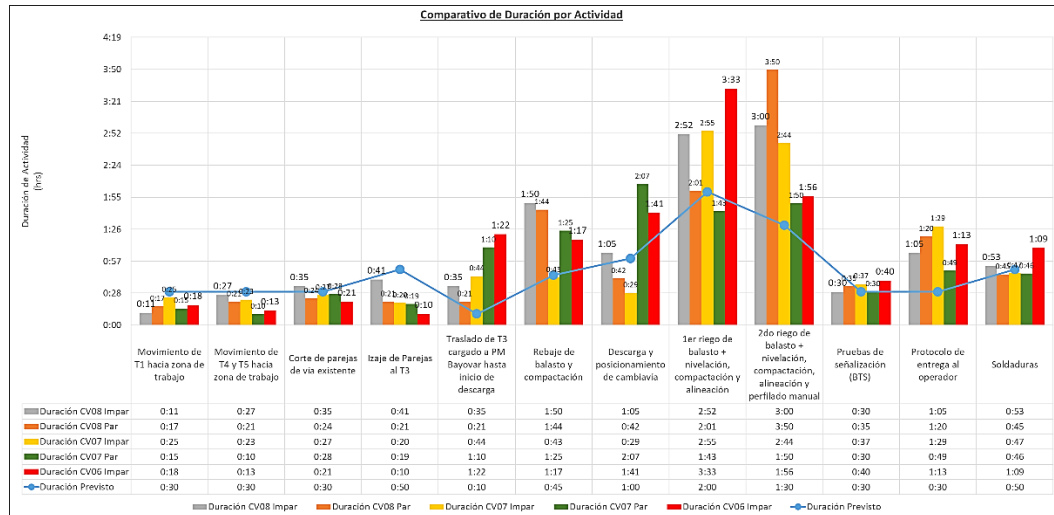


Fig. N° 5.11 Gráfico comparativo de duraciones – CV06 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- El sistema de falsas traviesas en el TT3 para el transporte del cambiavía supuso, además de mayor tiempo de traslado, mayor tiempo de descarga del cambiavía al incluir el retiro de las fijaciones del sistema antes de que el cambiavía pueda ser manipulado por los PEM.
- El primer riego de balasto demandó mayor tiempo debido a que luego de compactarlo el nivel estuvo por debajo de lo establecido y se tuvo que reutilizar más cantidad del balasto retirado. Por consiguiente, en adelante se acordó llegar el nivel hasta 3 mm de lo previsto para considerar ese descenso natural a causa del bateo de compactación.
- La duración promedio de las soldaduras de la jornada sobrepasó en aproximadamente 15 min a las de otras jornadas, debido a observaciones por presencia de rayas en la superficie de un par de soldaduras, lo que supuso realizar esmerilado nuevamente para su corrección. Este defecto surgió a causa del mal estado de la cuchilla de la cortamazarota dañando a la soldadura durante el desbaste, la cual fue reemplazada para las siguientes jornadas.

5.2.3.2. CV06 par

a) Informe cronológico

• Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV06 par en el cronograma de la Fig. N° 5.12 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

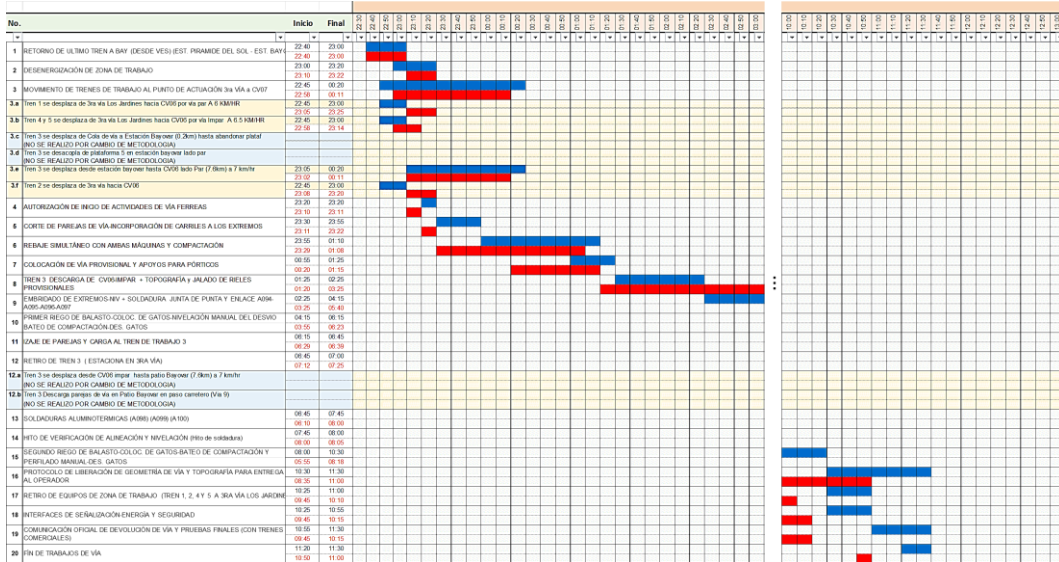


Fig. N° 5.12 Cronograma por horas – CV06 par
Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.13, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de corte de parejas y riego de balasto.
- Mayor tiempo de rebaje de balasto y protocolo de entrega de vía al operador.

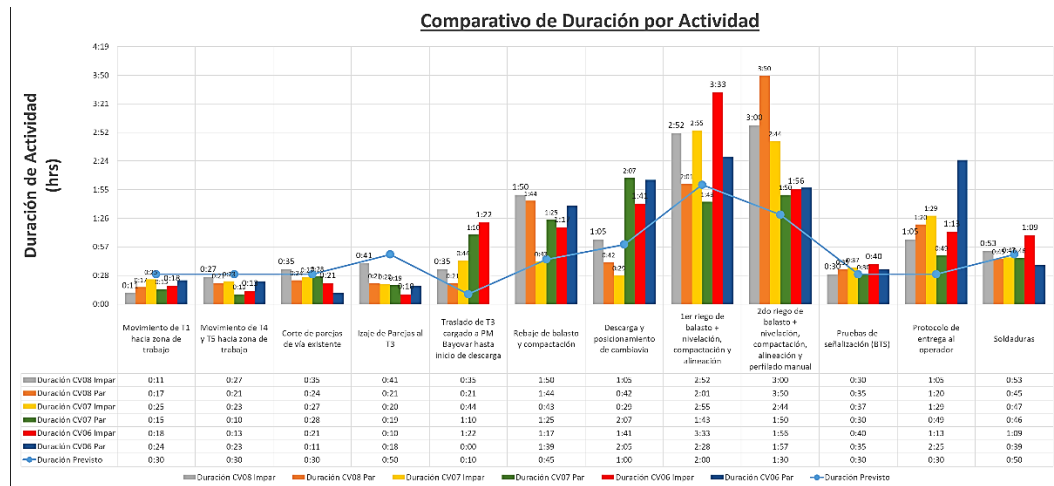


Fig. N° 5.13 Gráfico comparativo de duraciones – CV06 par
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Una causa del retraso creciente en la entrega de vía a lo largo de las jornadas era el aseguramiento del cerrojo de aguja para el enclavamiento mecánico, por lo minucioso de su manipulación. Por ello, se planteó modificar el diseño del cerrojo de fácil colocación para los próximos montajes.
- Para permitir mayor traslape entre las soldaduras aluminotérmicas y el segundo riego de balasto, las soldaduras tenían que poder ejecutarse con más fluidez. Para ello, a partir de este montaje se implementó una carreta rodante para transporte de materiales de soldadura como kits y equipos menores, logrando una secuencia rápida entre las soldaduras de ambos extremos.

5.2.4. Montaje del enlace 01

5.2.4.1. CV01 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV01 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.14 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

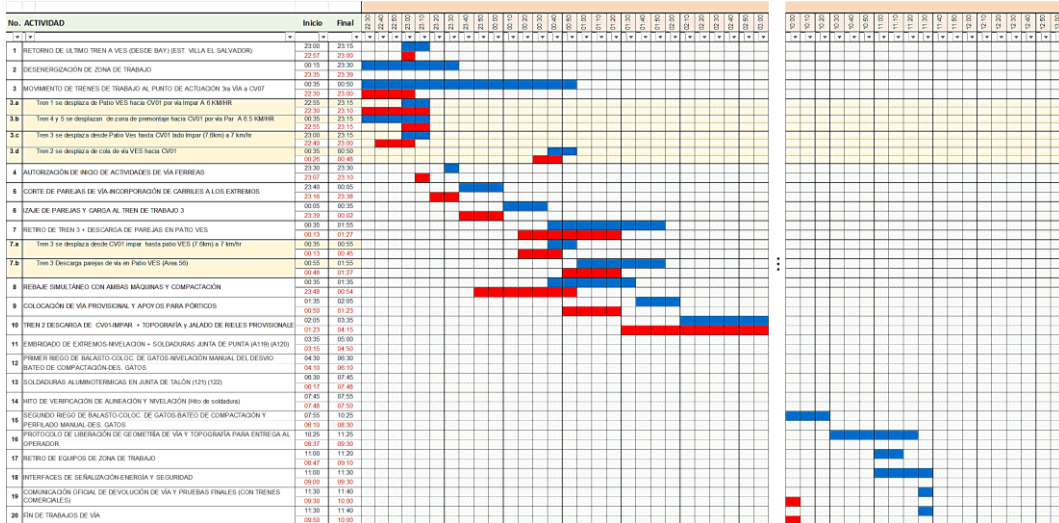


Fig. N° 5.14 Cronograma por horas – CV01 impar

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.15, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de rebaje y primer riego de balasto.
- Mayor tiempo de descarga del cambiavía.

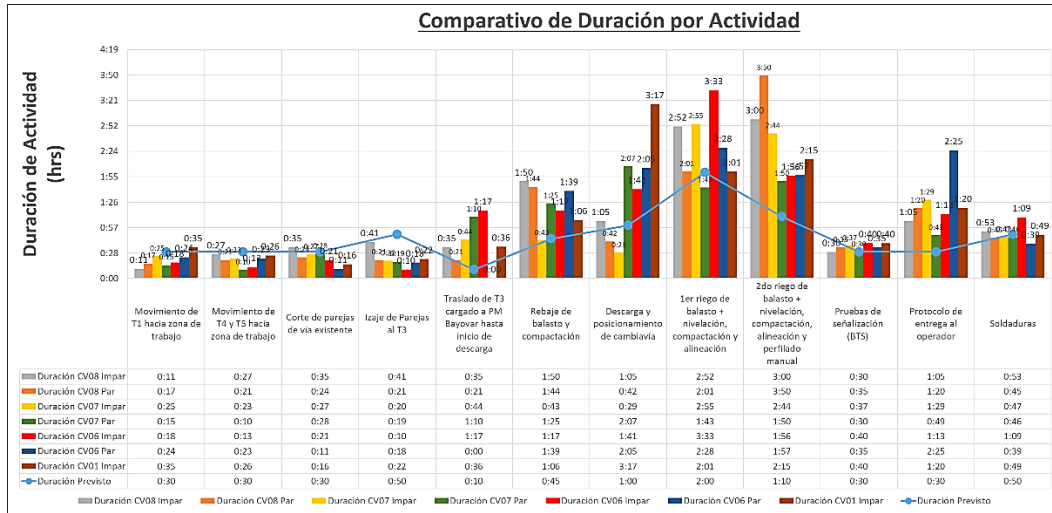


Fig. N° 5.15 Gráfico comparativo de duraciones – CV01 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Los rieles adicionales por la transición de perfil 115RE/100RE conllevaron a que la descarga de cambiavía demora mayor tiempo para el encuadre de dichos riel antes del retiro de los PEM. Previsiblemente ocurrirá similar situación en el otro cambiavía del enlace 01 y en los cambiavías del enlace 02, por lo que se debe garantizar empezar la descarga con mayor prontitud.
- Se utilizó únicamente el balasto de las bolsas big bag para el riego, evitando la reutilización del balasto retirado y permitiendo con ello una renovación propiamente dicha y además reducir el traslado de biviales del acopio temporal al cambiavía que la actividad demanda.

5.2.4.2. CV01 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV01 par en el cronograma de la Fig. N° 5.16 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

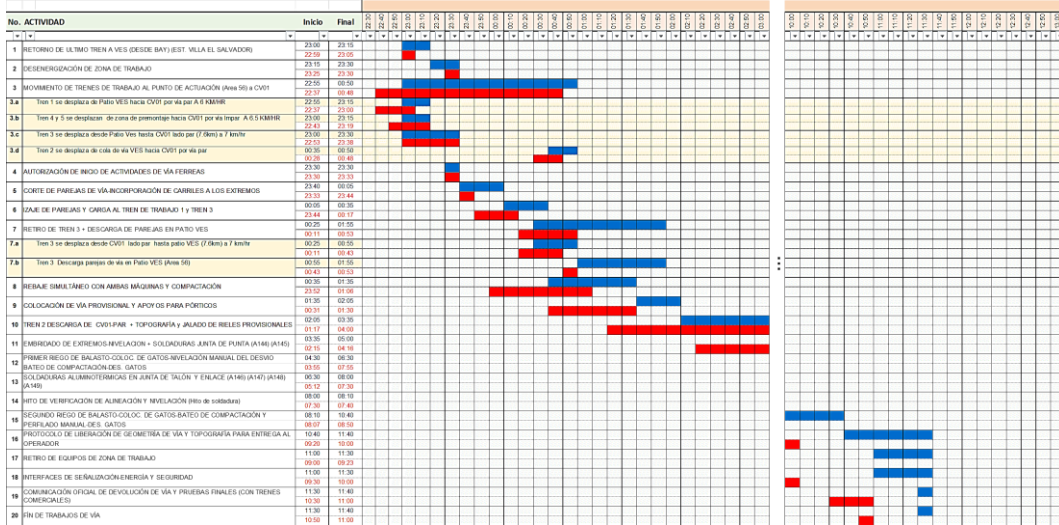


Fig. N° 5.16 Cronograma por horas – CV01 par
Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.17, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de rebaje y primer riego de balasto.
- Mayor tiempo de descarga del cambiavía.

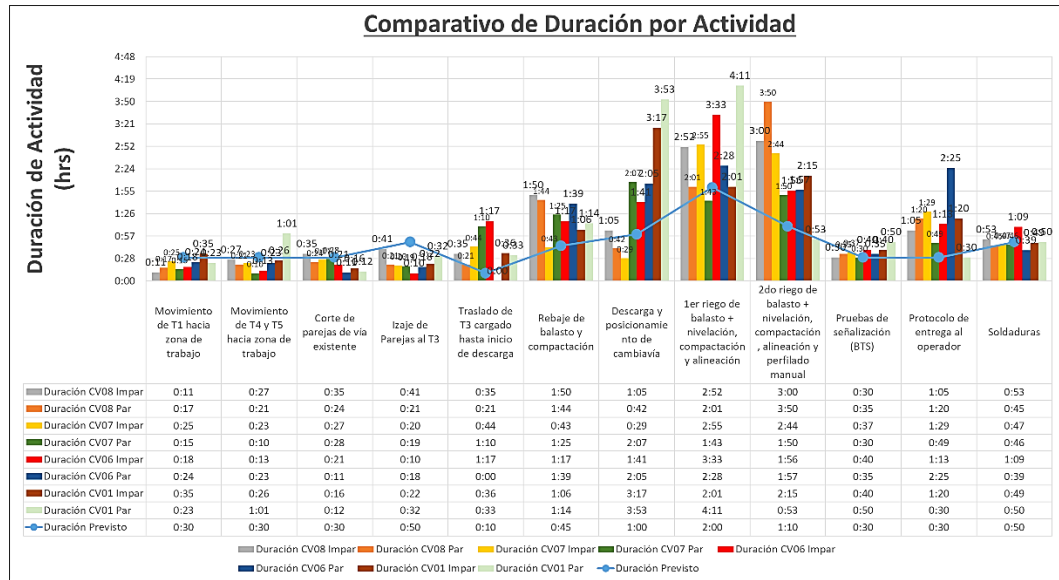


Fig. N° 5.17 Gráfico comparativo de duraciones – CV01 par
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Como lo previsto, la descarga del cambiavía demandó mayor tiempo al incluir los rieles de transición y acoplar con el enlace con el cambiavía impar, lo

que fue equilibrado al reducir tiempos de traslado del TT3 con el cambiavía aprovechando la proximidad de cola de vía VES a la zona de instalación.

- Por segunda jornada consecutiva de montaje, la cantidad de bolsas big bag utilizadas fue de 50 unidades. Esta precisión permitió optimizar en adelante la carga de bolsas en el TT3 realizada durante la semana previa al montaje.

5.2.5. Montaje del enlace 02

5.2.5.1. CV02 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV02 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.18 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

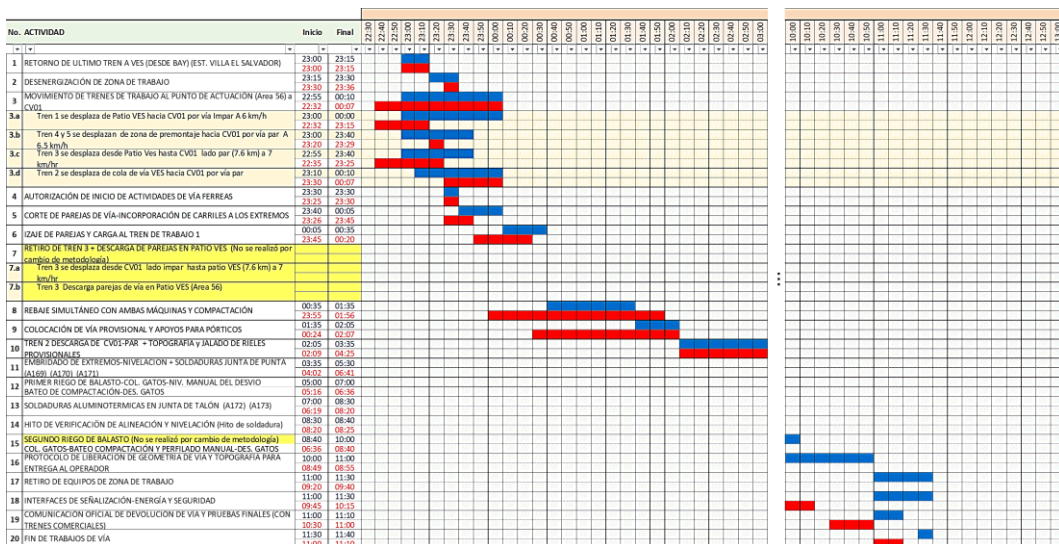


Fig. N° 5.18 Cronograma por horas – CV02 impar

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.19, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

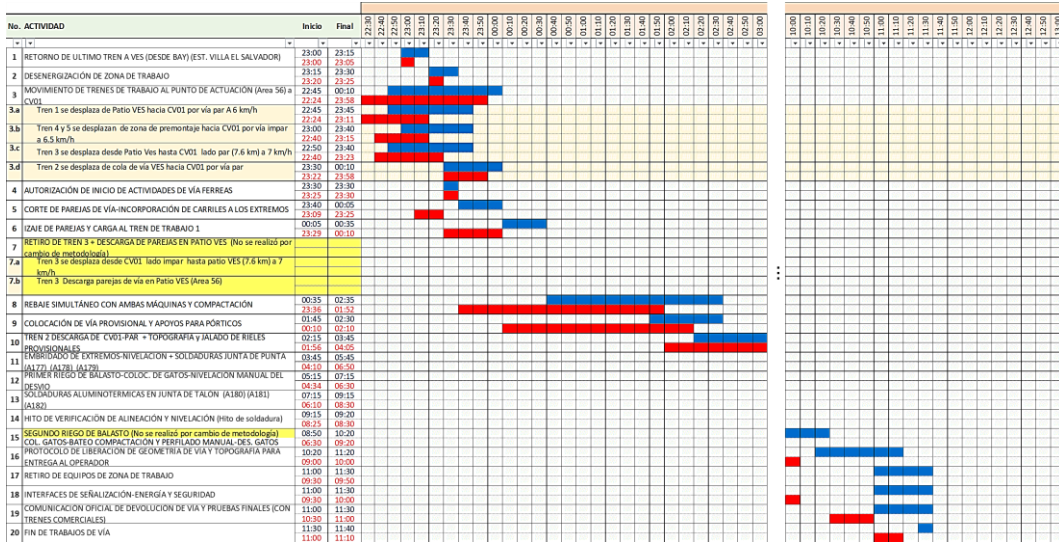


Fig. N° 5.20 Cronograma por horas – CV02 par
Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.21, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de descarga del cambiavía.
- Mayor tiempo de riego de balasto.

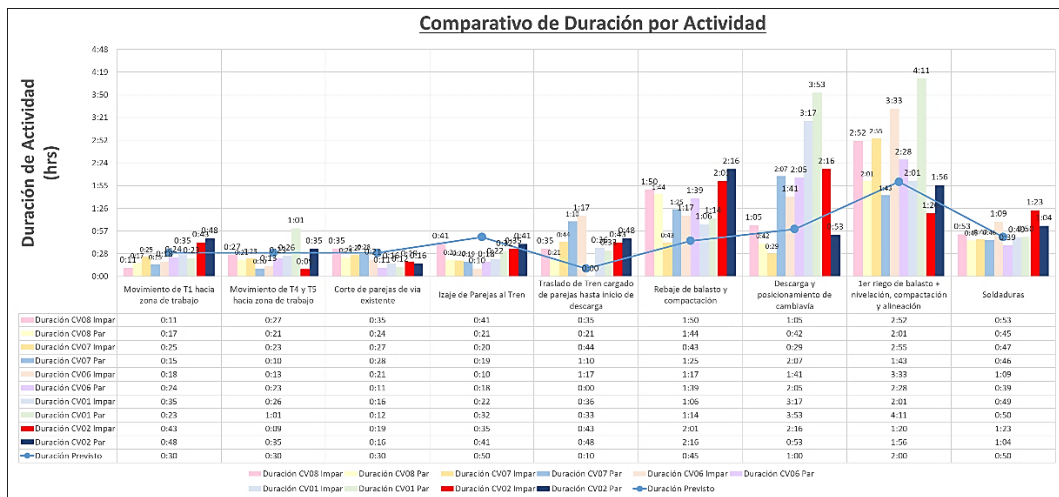


Fig. N° 5.21 Gráfico comparativo de duraciones – CV02 par
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- El riego de balasto incluyó además 4 m3 en la entrevía del CV02 impar, pendientes debido a la canaleta no demolida en la zona, implicando 16 min adicionales respecto al montaje anterior.

- La descarga del cambiavía presentó mejora en su duración, siendo resultado de la curva de aprendizaje en ascenso en actividades topográficas y encuadre.

5.2.6. Montaje del enlace 03

5.2.6.1. CV03 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV03 par en el cronograma de la Fig. N° 5.22 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

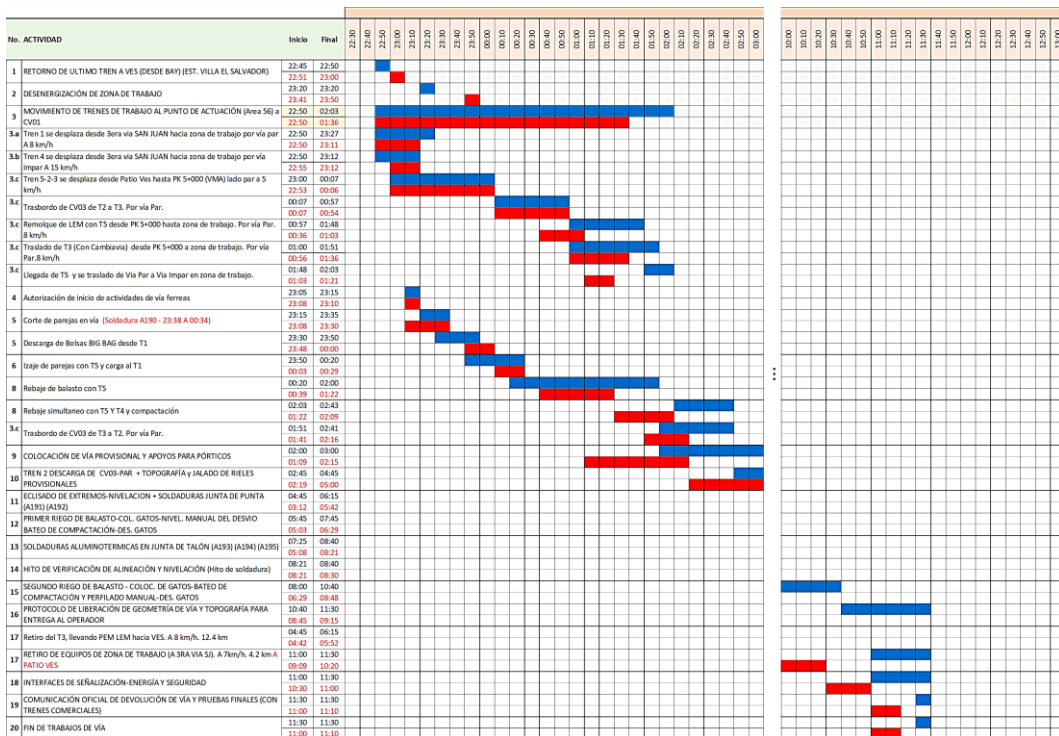


Fig. N° 5.22 Cronograma por horas – CV03 par

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.23, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de movimiento del TT1 y rebaje de balasto.
- Mayor tiempo de movimiento de biviales y descarga del cambiavía.

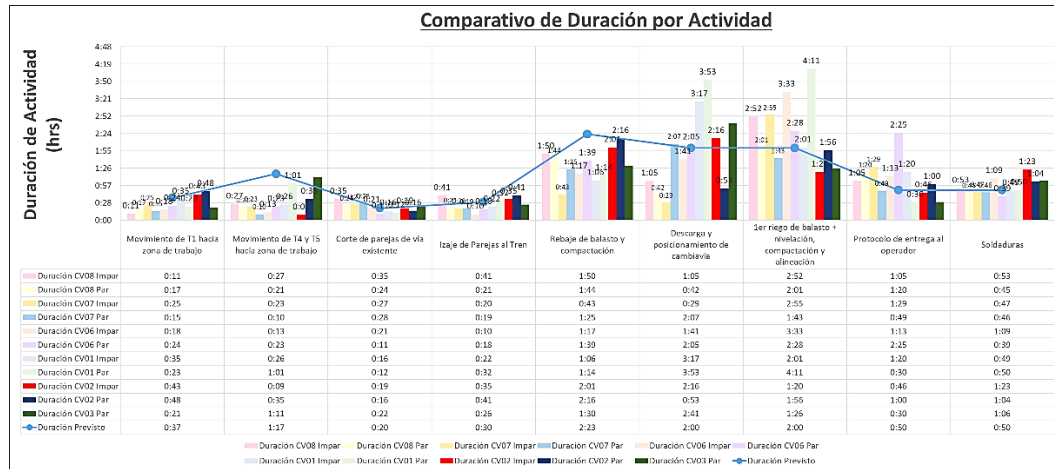


Fig. N° 5.23 Gráfico comparativo de duraciones – CV03 par

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

Debido a la curva crítica en la trayectoria hasta la zona, este montaje supuso un trasbordo del cambiavía del TT2 al TT3 en la PK 4+900 y un nuevo trasbordo del TT3 al TT2 en la PK 11+000, en la proximidad de la zona de instalación. Para poder remolcar el TT2 delante del TT3 en el recorrido mencionado, el TT5 tuvo que remolcar a los LEM por la vía par, y luego moverse a la vía impar mediante un paso carretero en la entrevía, realizado por la otra bivial cerca de la zona de instalación con el balasto retirado en el rebaje, reduciendo su duración al evitar acopios temporales lejanos.

5.2.6.2. CV03 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV03 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.24 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

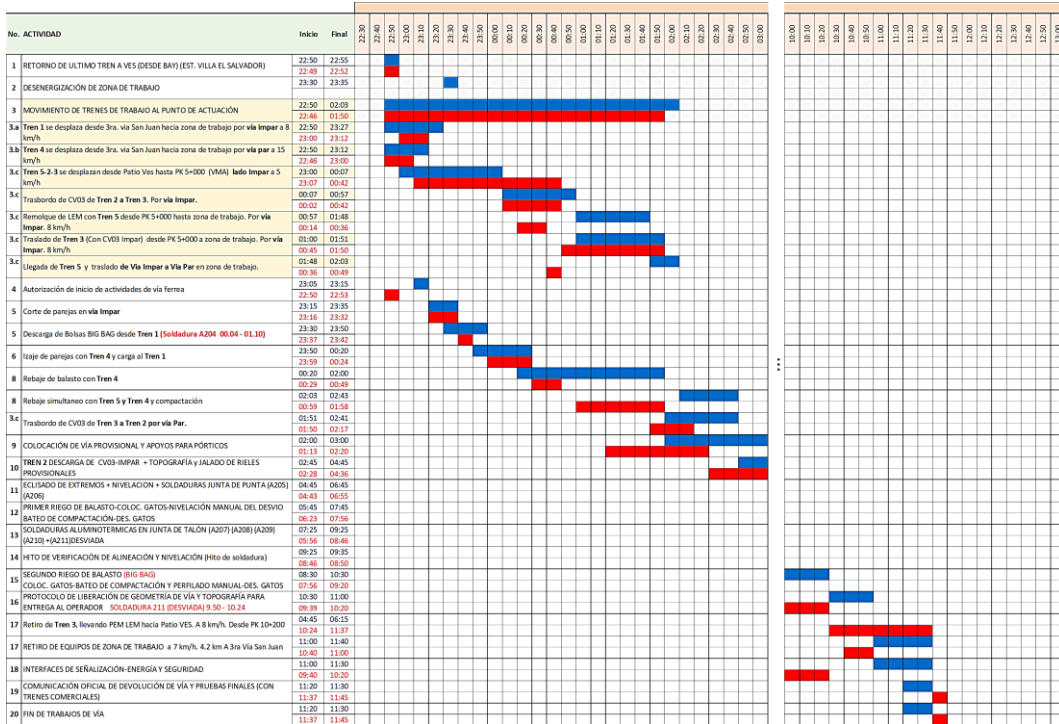


Fig. N° 5.24 Cronograma por horas – CV03 impar

Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.25, se cuentan como principales variaciones respecto a los montajes previos menor tiempo de trasbordo del cambiavía entre TT2 y TT3 y descarga del cambiavía.

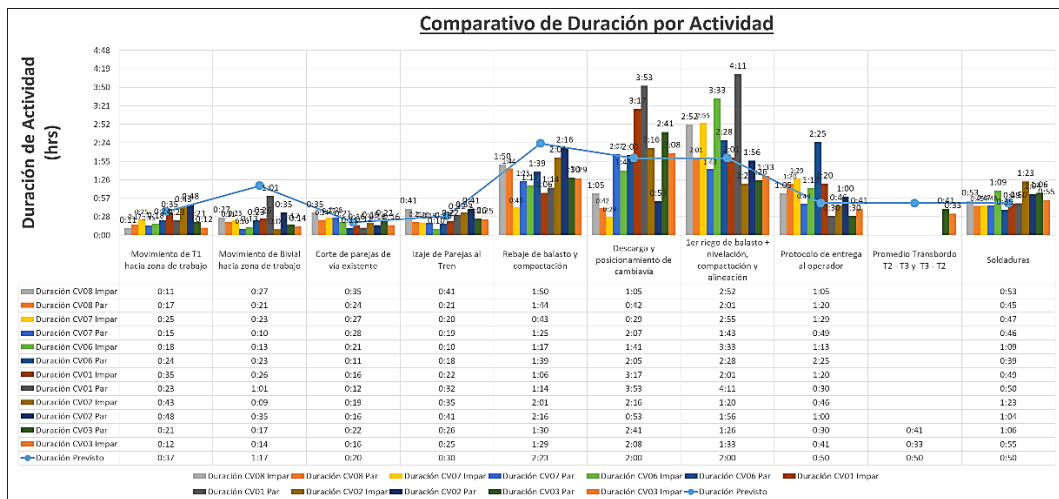


Fig. N° 5.25 Gráfico comparativo de duraciones – CV03 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

El trasbordo del cambiavía tomó 8 min menos que en el anterior montaje por el hecho de que el paso carretero para traslado del TT5 de la vía impar a la vía par ya se había realizado la jornada anterior, brindando fluidez al segundo trasbordo.

5.2.7. Montaje del enlace 04

5.2.7.1. CV04 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV04 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.26 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

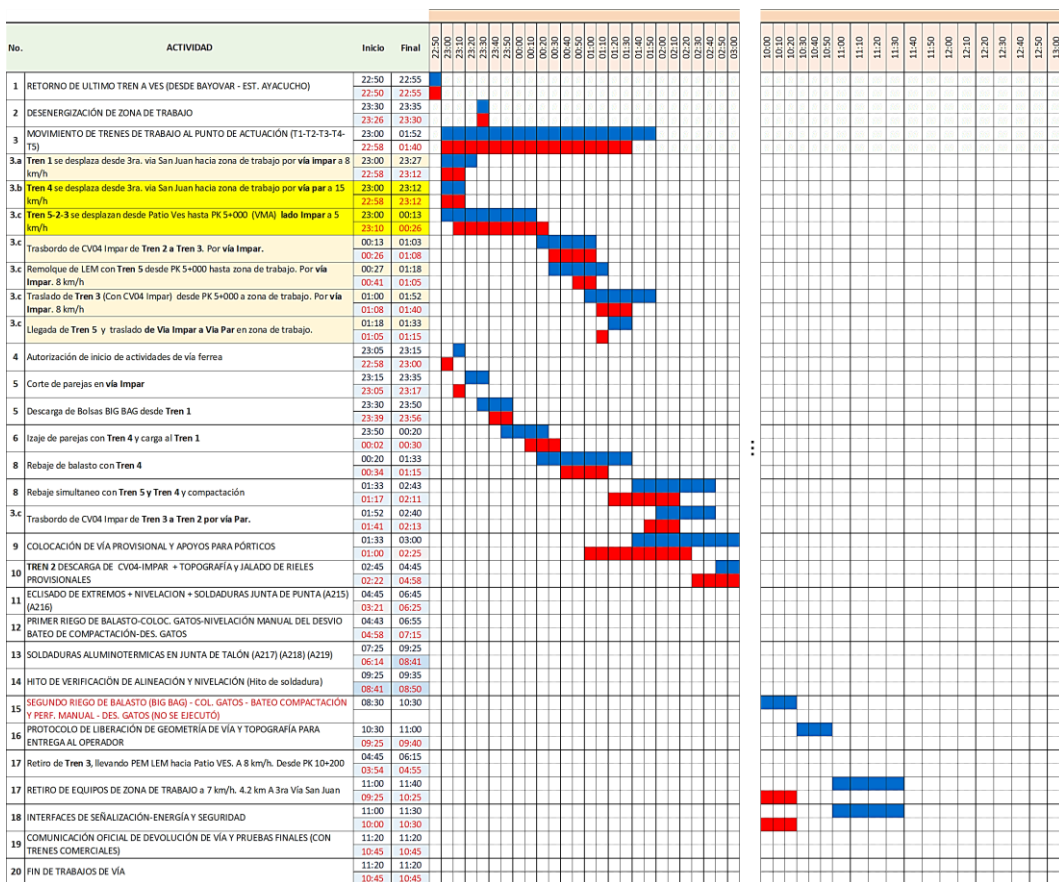


Fig. N° 5.26 Cronograma por horas – CV04 impar

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.27, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de llenado de protocolo de entrega de vía al operador.
- Mayor tiempo de descarga del cambiavía, riego de balasto y soldaduras aluminotérmicas.

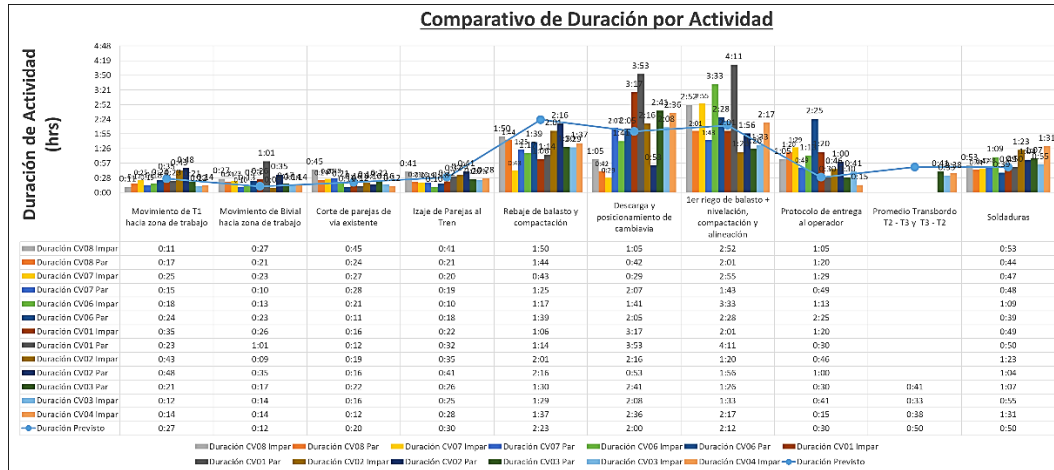


Fig. N° 5.27 Gráfico comparativo de duraciones – CV04 impar
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

- Se tuvo demora de 36 min en el posicionamiento del cambiavía respecto al montaje anterior debido a la presencia de cables de señalización en la entrevista del lado impar, lo que a su vez generó que el riego de balasto culmine con 20 min adicionales, desviación que se recuperó al no tener que realizar un segundo riego de balasto.
- La ejecución de las 2 primeras soldaduras (zona de aguja) tuvo inconvenientes en el alineamiento y nivelación de la cala, por lo cual demoraron más de 1.5 h obteniendo una duración promedio de 1 h 30 min entre las 5 soldaduras, lo cual no afectó a la jornada debido al arranque temprano de la actividad.

5.2.7.2. CV04 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV04 par en el cronograma de la Fig. N° 5.28 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

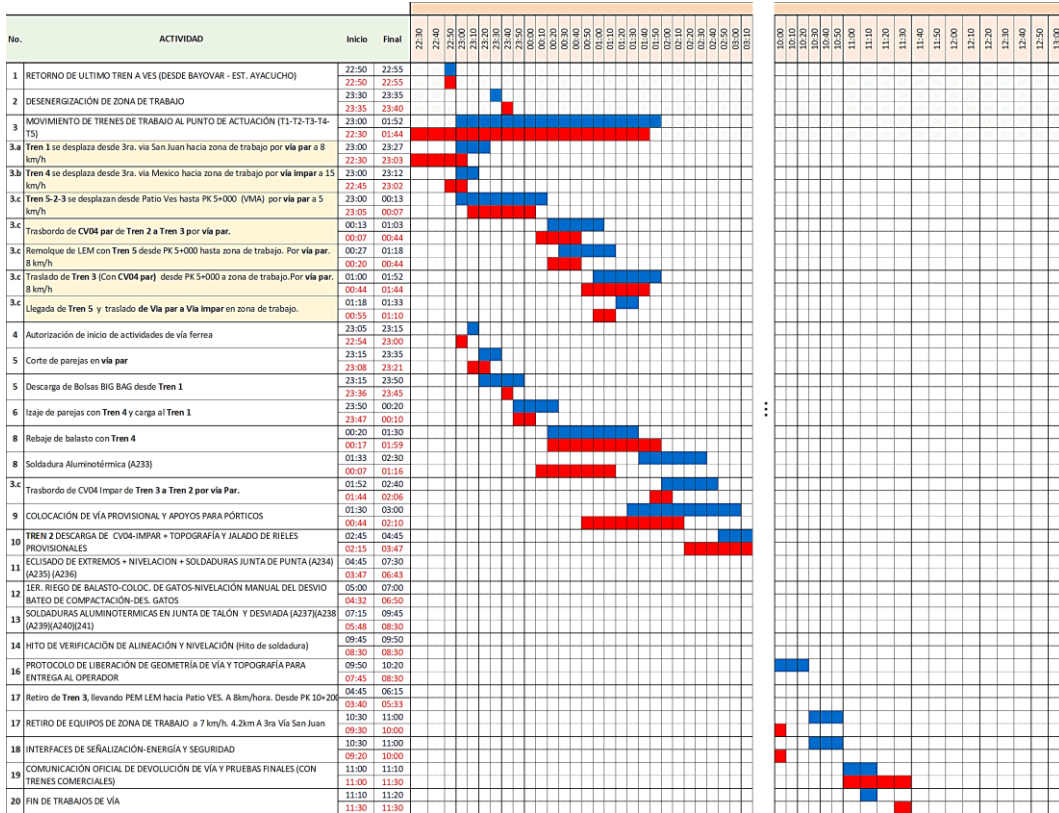


Fig. N° 5.28 Cronograma por horas – CV04 par
Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones
- De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.29, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:
- Menor tiempo de movimiento rebaje de balasto y descarga del cambiavía.
 - Mayor tiempo de movimiento del TT1.

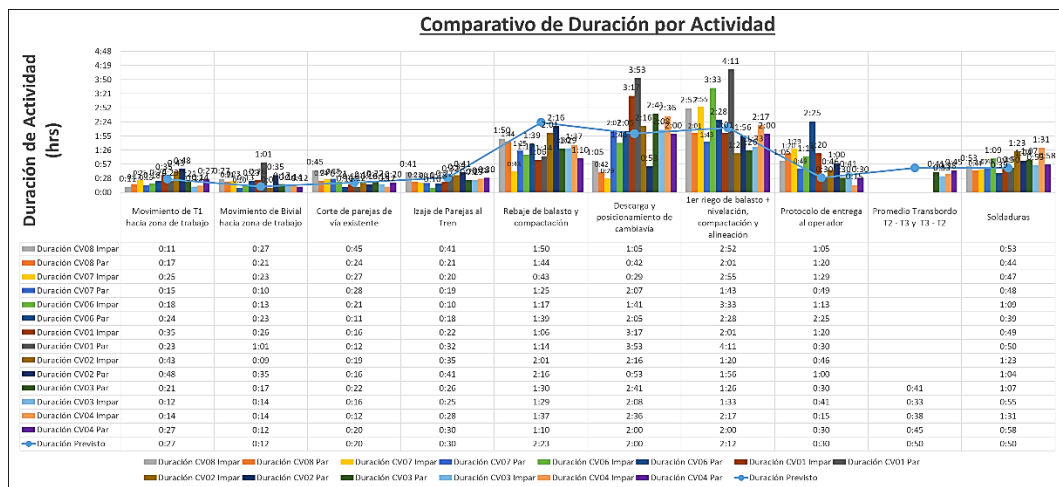


Fig. N° 5.29 Gráfico comparativo de duraciones – CV04 par
Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

Hubo 13 min adicionales respecto al montaje previo en el movimiento del TT1 desde la tercera vía de San Juan hasta la zona del enlace 04 debido a que a minutos de partir tuvo que frenar para retorno de una dresina y una plataforma ferroviaria de la disciplina de energía hacia el Patio Taller VES.

5.2.8. Montaje del enlace 05

5.2.8.1. CV05 par

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV05 par en el cronograma de la Fig. N° 5.30 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

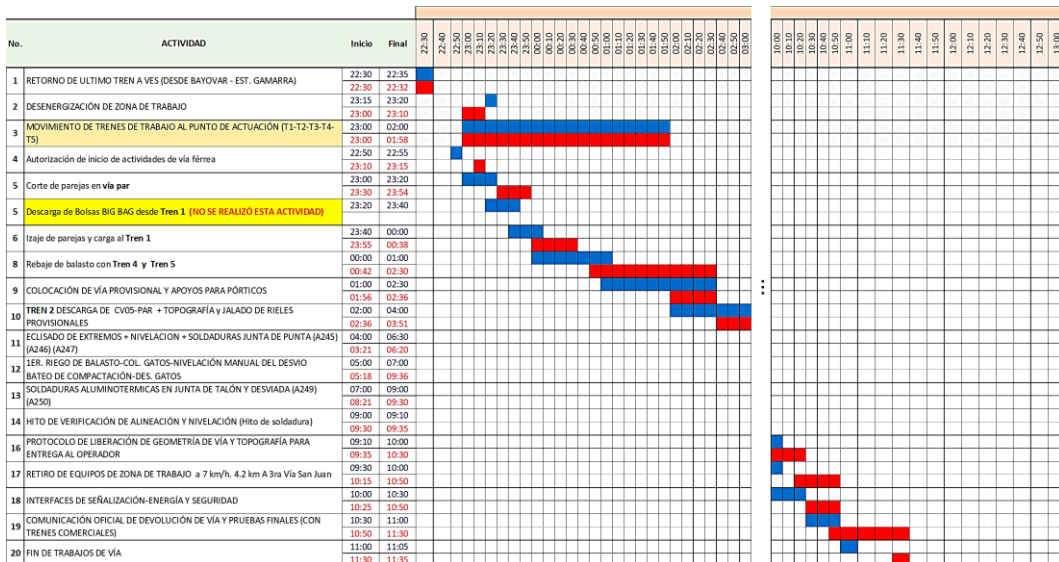


Fig. N° 5.30 Cronograma por horas – CV05 par

Fuente: Elaboración propia

- Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.31, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de descarga del cambiavía.
- Mayor tiempo de riego de balasto.

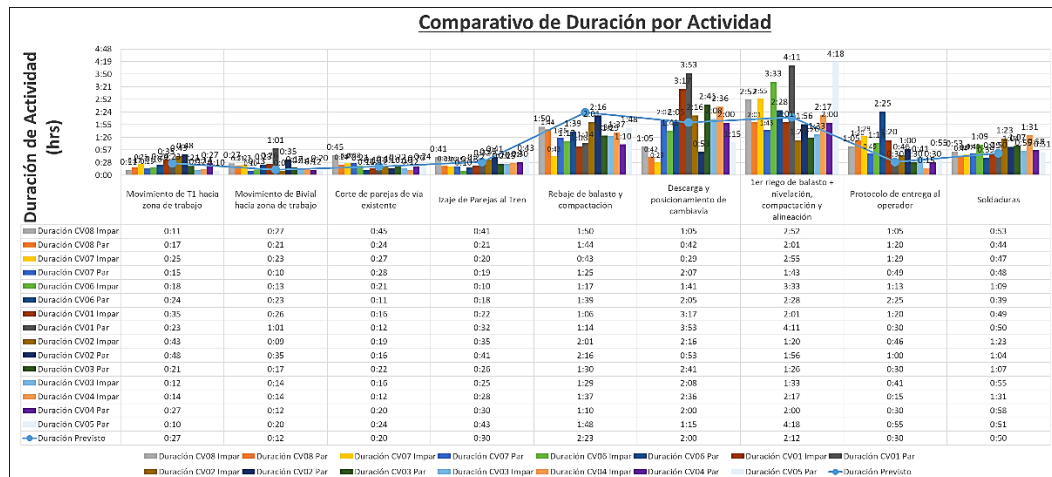


Fig. N° 5.31 Gráfico comparativo de duraciones – CV05 par

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

Se planteó realizar la actividad de posicionamiento del cambiavía de manera más rápida y conllevando a un riego de balasto con mayor duración, de modo de que las soldaduras inicien más temprano y permita a los equipos volver al Patio Taller VES en la misma jornada en el próximo montaje.

5.2.8.2. CV05 impar

a) Informe cronológico

- Cronograma por horas

Se registraron actividades e hitos del montaje del CV05 impar en el cronograma de la Fig. N° 5.32 considerando las duraciones previstas (azul) y reales (rojo).

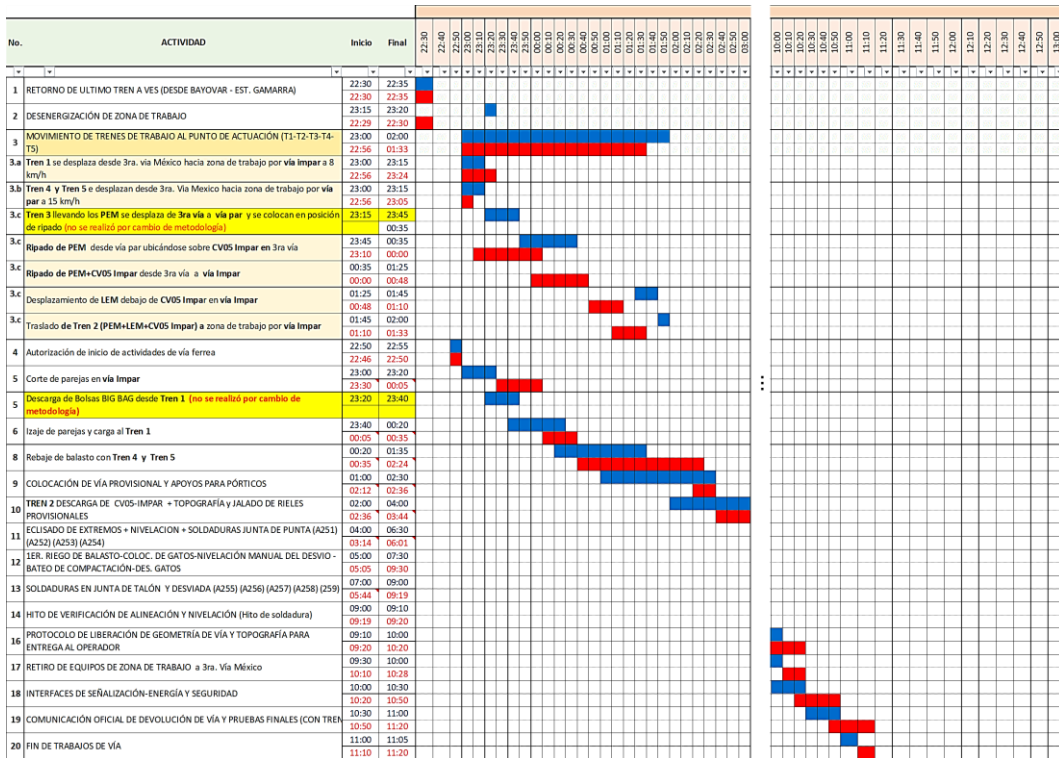


Fig. N° 5.32 Cronograma por horas – CV05 impar

Fuente: Elaboración propia

• Análisis de duraciones

De acuerdo al gráfico comparativo de barras de la Fig. N° 5.33, se cuentan con las principales variaciones respecto a los montajes previos:

- Menor tiempo de descarga del cambiavía.
- Mayor tiempo de riego de balasto.

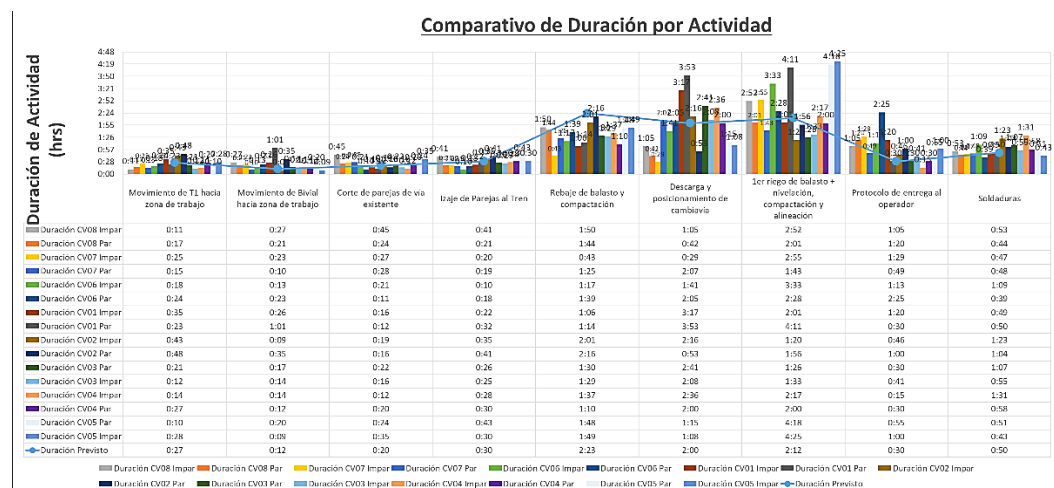


Fig. N° 5.33 Gráfico comparativo de duraciones – CV05 impar

Fuente: Elaboración propia

b) Lecciones aprendidas

Del mismo modo que el montaje anterior, en el montaje del segundo cambiavía del enlace 05 se obtuvo menor tiempo de descarga del cambiavía y por consiguiente mayor tiempo de riego de balasto para llegar a las cotas requeridas, logrando que los trenes de trabajo retornen a Patio Taller VES a fin de jornada dentro de la ventana horaria permitida.

5.3. MAPEO DEL FLUJO DE VALOR

5.3.1. VSM inicial

Con base en el registro cronológico de las actividades e hitos del primer montaje de cambiavía (CV08 impar), se elaboró el mapeo de flujo de valor (VSM) del proceso (ver Fig. N° 5.34). En este mapeo se reflejaron las interacciones entre los entes participantes del proceso según lo establecido en el planeamiento.

5.3.2. VSM final

Con base en el registro cronológico de las actividades e hitos del último montaje de cambiavía (CV05 impar), se elaboró el mapeo de flujo de valor (VSM) del proceso (ver Fig. N° 5.35). En este mapeo se reflejaron las implementaciones realizadas a lo largo de los montajes que permitieron mejoras en el proceso constructivo para reducir la duración de las actividades y de la jornada en general.

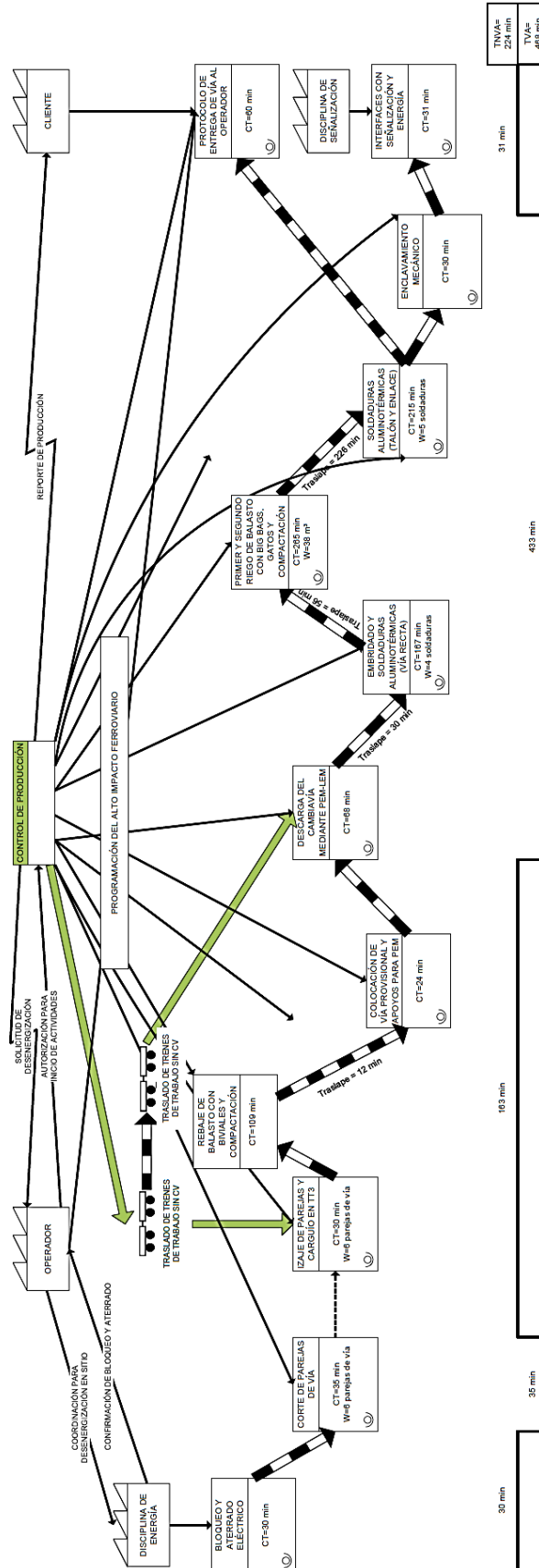


Fig. N° 5.35 VSM inicial del proceso de montaje de cambiavía en alto impacto
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS**6.1. INTERFERENCIAS PRESENTADAS**

A lo largo de las jornadas de alto impacto se presentaron algunas interferencias no identificadas en el planeamiento y con impacto en la ejecución del montaje, descritas en la Tabla N° 6.1.

Tabla N° 6.1 Interferencias presentadas en el montaje de cambiavías

Interferencias	Descripción	Acción preventiva	Impacto
Canaleta central no retirada en el montaje del CV02 impar	No se realizó el retiro oportuno de tapas y demolición de la canaleta central en la entrevía del CV02 impar previo a la jornada de alto impacto.	El rebaje de balasto se ralentizó para evitar daños en la cuchara de las biviales por impacto con la canaleta central.	* 47 minutos de retraso en el rebaje de balasto respecto al montaje anterior (CV01 par). * 16 minutos adicionales en el riego de balasto en el montaje posterior (CV02 par). * 11 h 36 min de duración total del montaje.
Cables de señalización en el montaje del CV04 impar	Se encontraron cables y tubería PVC de señalización y contro en la entrevía del lado impar al sur de la zona del CV04 impar, en la zona de corte de parejas de vía e instalación del cambiavía.	Se coordinó con la disciplina de señalización para desvío de cables por debajo del balasto, para especial protección durante la descarga del cambiavía y riego de balasto.	* 36 minutos de retraso en la descarga de cambiavía respecto al montaje anterior (CV03 impar). * 20 minutos de retraso en el riego de balasto respecto al montaje anterior (CV03 impar). * 10 h 42 min de duración total de montaje.

Interferencias	Descripción	Acción preventiva	Impacto
Traslado de plataformas ferroviarias de energía en el montaje del CV04 par	Una dresina y una plataforma ferroviaria de la disciplina de energía tuvo que retornar detrás del último tren comercial debido a una contingencia atendida horas antes en la vía principal.	El TT1 tuvo que esperar que los equipos mencionados pasen por su zona de estacionamiento (3° vía de San Juan) para poder salir a la zona de implantación.	* 13 minutos adicionales en el movimiento del TT1 respecto al montaje anterior (CV04 impar). * 11 h 20 min de duración total del montaje.

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, las interferencias suscitadas si bien tuvieron impacto en actividades específicas dentro de la jornada, no afectaron significativamente la duración total del montaje toda vez que la totalidad de los mismos se realizaron dentro de la ventana horaria autorizada de 13 horas.

6.2. ACTIVIDADES CRÍTICAS

Con la finalidad de determinar el grado de criticidad de las actividades dentro de la jornada de montaje, se realizó un diagrama de Pareto (curva 80-20) teniendo como base las duraciones promedio de las actividades cronometradas en el alto impacto. Los porcentajes acumulados de las duraciones de las actividades fueron plasmados en el gráfico de la Fig. N° 6.1 para el análisis de la criticidad de actividades.

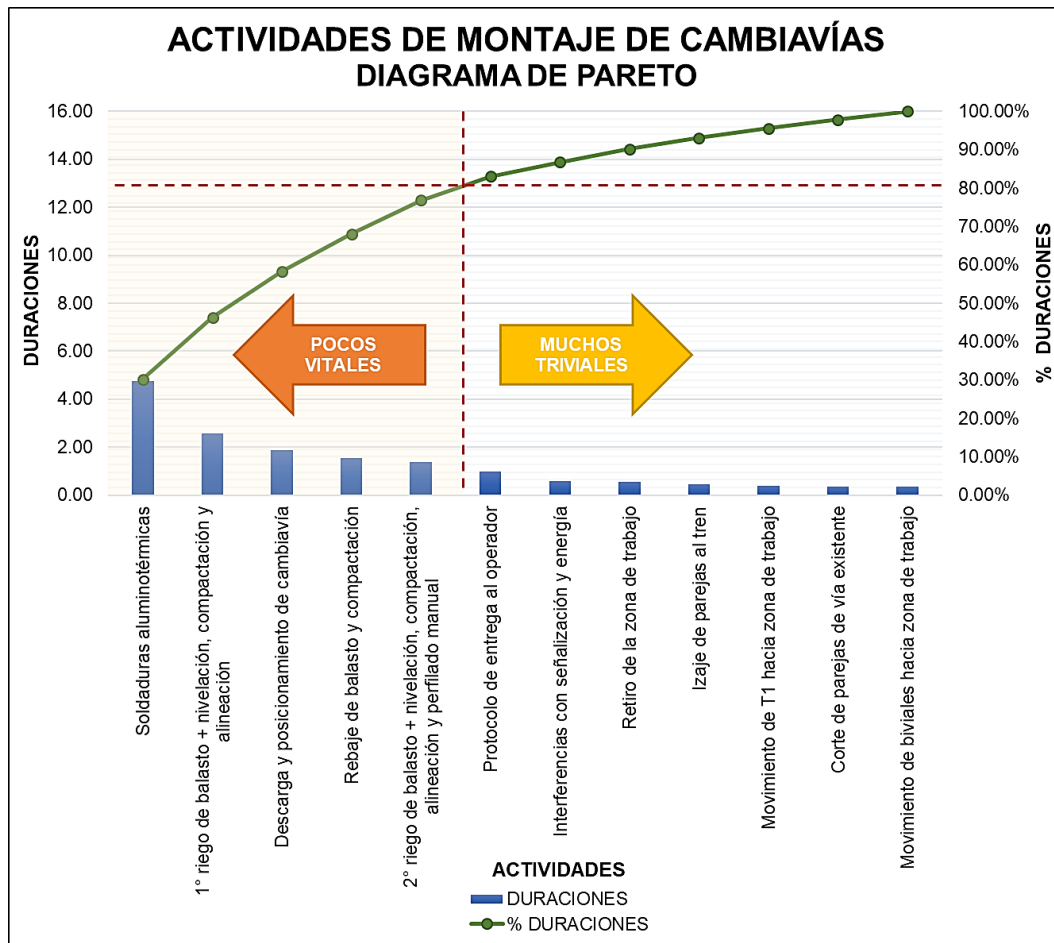


Fig. N° 6.1 Diagrama de Pareto de actividades de montaje de cambiavías

Fuente: Elaboración propia

Bajo el análisis, las actividades de mayor criticidad, parte del 20% de los pocos vitales, fueron las siguientes:

- Soldaduras aluminotérmicas.
- Primer riego de balasto, nivelación y compactación.
- Descarga y posicionamiento del cambiavía.
- Rebaje de balasto y compactación.
- Segundo riego de balasto, nivelación, compactación y perfilado manual.

Estas actividades son las que se debían mejorar principalmente para reducir sus duraciones y con ello reducir significativamente la duración total del montaje.

6.3. PRINCIPALES DESPERDICIOS

De acuerdo al VSM inicial (ver Fig. N° 5.33) y a las lecciones aprendidas de cada montaje se identificaron los 10 principales desperdicios dentro del proceso, indicados en la Tabla. N° 6.2.

Tabla N° 6.2 Desperdicios en el proceso de montaje de cambiavías

N°	Desperdicio	Tipo de desperdicio	Efecto
1	Espera entre corte de parejas e izaje y carguío en el TT3	Pérdida de tiempo (espera)	4 min de espera a la llegada del TT3 para carga de parejas
2	Demora por descarga de vía provisional del TT1	Pérdida de tiempo (trabajo innecesario)	35 min de demora por descarga y traslado de elementos del TT1
3	Demora por descarga y traslado de materiales y herramientas de soldadura del TT1 a la zona	Pérdida de tiempo (movimiento innecesario)	10 min de espera por descarga y traslado de materiales del TT1 para inicio de soldaduras
4	Demora por traslado de materiales y herramientas de soldadura entre puntos de ejecución	Pérdida de tiempo (movimiento innecesario)	5 min de demora en traslado manual de materiales y herramientas por soldadura
5	Espera por nivelación topográfica luego del primer riego de balasto	Pérdida de tiempo (trabajo innecesario)	8 min de espera entre el primer y el segundo riego de balasto
6	Descarga improductiva de balasto mediante tolva del TT1 para riego	Pérdida de material (uso no óptimo de maquinaria)	5 h 22 min de riego de balasto a ritmo de 7.08 m ³ /h
7	Stand-by por avería de equipos de trenes de trabajo durante el montaje	Pérdida de tiempo (espera)	30 min de demora en riego de balasto por cambio de accesorio de bivial
8	Limpieza de rieles y durmientes luego del retiro de los acopios temporales de balasto de rebaje	Pérdida de tiempo (trabajo innecesario)	20 min de demora en compactación del balasto por realizar limpieza de rieles y durmientes
9	Espera entre enclavamiento mecánico e interfaces con disciplinas	Pérdida de tiempo (espera)	5 min de demora en entrega de vía por llegada tardía de la disciplina de señalización

N°	Desperdicio	Tipo de desperdicio	Efecto
10	Espera por llegada de los trenes de prueba para llenado de protocolo de entrega de vía al operador	Pérdida de tiempo (espera)	19 min de demora en inicio de prueba de trenes para entrega de vía al operador

Fuente: Elaboración propia

Estos desperdicios se consideraron puntos de mejora para modificaciones en el proceso constructivo, pues significaban actividades de no valor agregado dentro del proceso de montaje de cambiavías.

6.4. MEJORA DE PROCESO

6.4.1. Plan de acción

Conforme la identificación de puntos de mejora dentro del mapeo de flujo de valor y los desperdicios mencionados previamente, se implementaron acciones para mejora de actividades a lo largo de las jornadas de alto impacto, de acuerdo a la Tabla. N° 6.3, generando un sistema pull (jalar) para izaje de parejas de vía, una actividad continua de riego de balasto e implementando alertas tempranas.

Tabla N° 6.3 Plan de acción para mejora de proceso de montaje de cambiavías

N°	ACCIÓN	ACTIVIDAD RELACIONADA	INICIO DE IMPLEMENTACIÓN
1	inicio de corte a partir de llegada TT3 para carguío inmediato	Izaje de parejas de vía	CV07 par
2	Descarga de vía provisional del TT1 en la jornada anterior al alto impacto	Descarga de vía provisional (actividad no incluida en adelante)	CV08 par
3	Descarga de materiales y herramientas de soldadura durante el primer paso del TT1	Soldaduras aluminotérmicas	CV08 par
4	Implementación de una carreta rodante para	Soldaduras aluminotérmicas	CV06 par

N°	ACCIÓN	ACTIVIDAD RELACIONADA	INICIO DE IMPLEMENTACIÓN
	transporte de materiales y herramientas de soldadura		
5	Riego de balasto continuo con referencias topográficas hasta llegar a la cota requerida	Riego de balasto	CV02 impar
6	Riego de balasto mediante bolsas big bag de 2 T descargadas mediante biviales	Riego de balasto	CV07 par
7	Checklist de equipos una jornada previa al alto impacto	Movimiento de trenes de trabajo	CV08 par
8	Colocación de manta plástica en zonas de acopio temporal de balasto de rebaje	Riego de balasto	CV08 par
9	Alerta temprana (30 min antes) a la disciplina de señalización para pruebas	Protocolo de entrega de vía al operador	CV08 par
10	Espera por llegada de los trenes de prueba	Protocolo de entrega de vía al operador	CV07 par

Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Resultados del plan

Con el propósito de evaluar el resultado de la implementación del plan de acción en la mejora del proceso hasta lograr la metodología propuesta en el VSM final (ver. Fig. N° 5.34), se realizó un gráfico de barras de las duraciones del montaje de cambiavías de cada alto impacto, en la que se consideró además la duración de 13 h prevista en el planeamiento como línea base, de acuerdo a la Fig. N° 6.2.

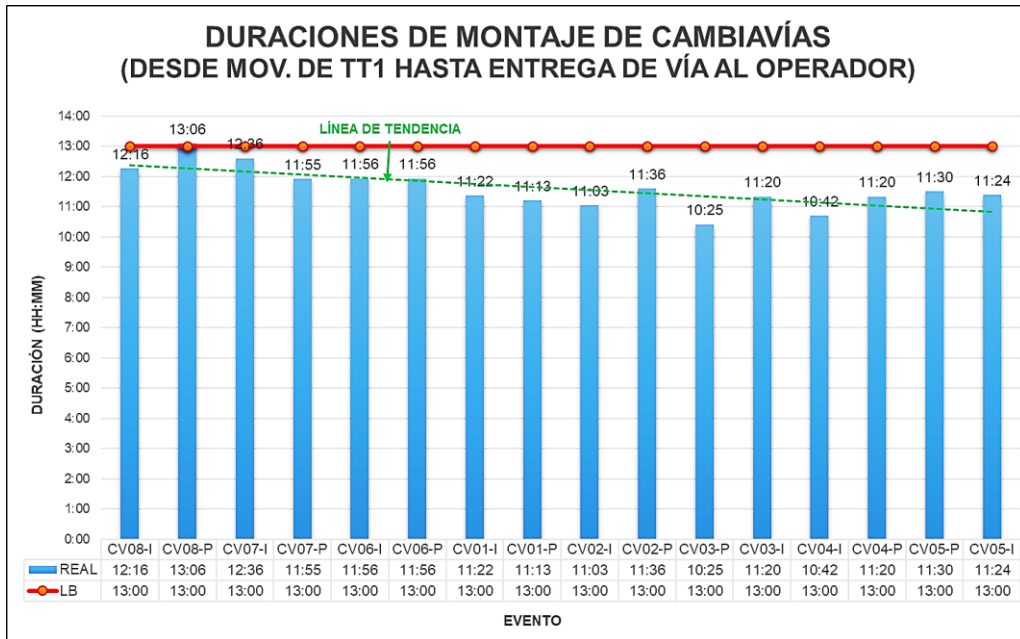


Fig. N° 6.2 Duraciones de montaje de cambiavías

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, todos los montajes de cambiavía tuvieron una duración menor a 13 h a excepción del CV08 par (13 h 6 min). No obstante, se debe considerar que las duraciones inician desde el movimiento del TT1, el cual salía de su punto de partida luego del pase del último tren comercial, en su mayoría antes de las 11:00 p.m., hora de inicio prevista de la ventana horaria autorizada. Se puede identificar que con el transcurso de los montajes la duración de la ejecución iba disminuyendo, logrando una duración promedio de 11 h 36 min por montaje, representando un 10.77% menos respecto a la duración prevista de 13 h.

Adicionalmente, se elaboró un gráfico de barras de las horas de fin de jornada de los altos impactos, las cuales debían culminarse antes de las 12:00 p.m., hora máxima de fin de trabajos autorizada por la concesionaria para inicio de reanudación del servicio comercial, de acuerdo a la Fig. N° 6.3.

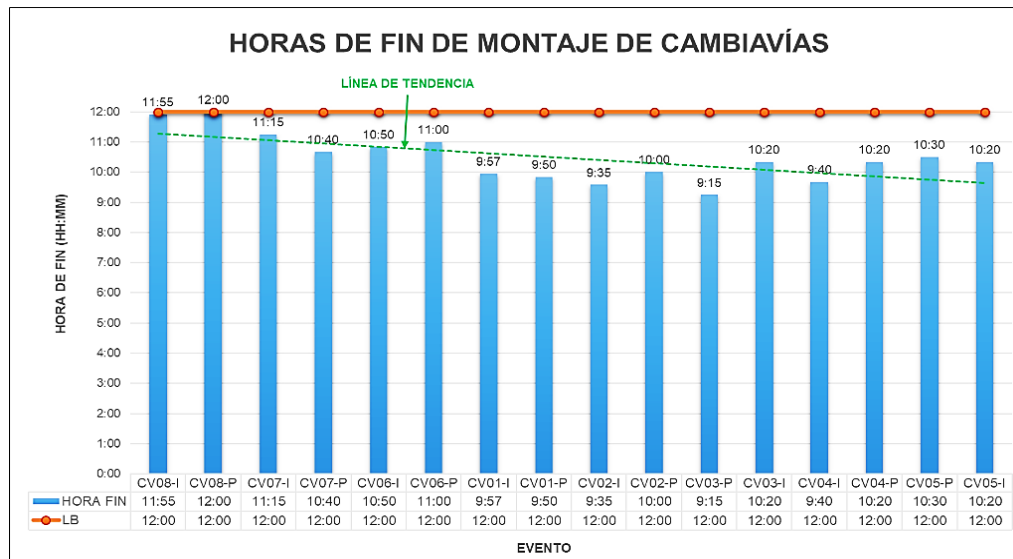


Fig. N° 6.3 Hora de fin de montaje de cambiavías

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al gráfico, se verifica que la totalidad de cambiavías fueron instalados dentro de la ventana horaria autorizada por la concesionaria (11:00 p.m.–12:00 p.m.), logrando una hora fin promedio de 10:27 p.m.

6.5. EVALUACIÓN DE INDICADORES

6.5.1. Indicadores de valor del proceso

Con base en la información de los VSM inicial y final del proceso de montaje de cambiavías, se obtuvieron los siguientes indicadores:

a) Tiempo de ciclo

Se calculó la variación porcentual del tiempo de ciclo del proceso de montaje de cambiavías de acuerdo a la Ecuación 1, considerando que el tiempo de ciclo final fue menor que el tiempo de ciclo final debido a la optimización del proceso.

$$\Delta TC = \% \frac{TC_{\text{final}} - TC_{\text{inicial}}}{TC_{\text{inicial}}} \quad (1)$$

$$\Delta TC = \% \frac{692 \text{ min} - 790 \text{ min}}{790 \text{ min}}$$

$$\Delta TC = -12.41\%$$

Se determinó que el tiempo de ciclo del montaje final disminuyó en 12.41% respecto al tiempo de ciclo del montaje inicial.

b) Tiempo de valor agregado / tiempo de ciclo

Se calculó la variación porcentual de la proporción del tiempo de valor agregado respecto al tiempo de ciclo del proceso de montaje de cambiavías, considerando

que el tiempo de valor final tuvo mayor proporción en el montaje final que en el montaje inicial debido a la reducción de desperdicios, de acuerdo a la Ecuación 2.

$$\Delta \text{TVA/TC} = \% \frac{(\text{TVA/TC})_{\text{final}} - (\text{TVA/TC})_{\text{inicial}}}{(\text{TVA/TC})_{\text{inicial}}} \quad (2)$$

$$\Delta \text{TVA/TC} = \% \frac{468/692 - 527/790}{527/790}$$

$$\Delta \text{TVA/TC} = \% \frac{0.676 - 0.667}{0.667}$$

$$\Delta \text{TVA/TC} = 1.35\%$$

Se determinó que la proporción de tiempo de valor agregado del montaje final aumentó en 1.35% respecto a la proporción de tiempo de valor agregado del montaje inicial, generando mayor valor para el cliente en el proceso.

c) Espera en inventario

Se calculó la variación porcentual del tiempo de espera en inventario final respecto al tiempo de espera inicial del proceso de montaje de cambiavías, considerando que el tiempo de espera final fue menor que el tiempo de espera inicial debido a la reducción de desperdicios, de acuerdo a la Ecuación 3.

$$\Delta \text{EI} = \% \frac{E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}}}{E_{\text{inicial}}} \quad (3)$$

$$\Delta \text{EI} = \% \frac{27 - 0}{27}$$

$$\Delta \text{EI} = -100\%$$

Se determinó que las esperas se redujeron en 100%, logrando flujos continuos sin pérdidas de tiempo dentro del proceso de montaje de cambiavías.

6.5.2. Indicadores de calidad

Con el objetivo de verificar el cumplimiento de la calidad en el proceso de montaje de cambiavías, se implementaron los siguientes protocolos como criterio de aceptación:

- Protocolo de verificación de montaje de vía férrea: Checklist de actividades propias del montaje de cambiavías, desde la verificación topográfica inicial hasta la verificación topográfica final.
- Protocolo de inspección de inspección de soldadura: Checklist del estado visual y tolerancias geométricas de soldaduras aluminotérmica.

- Listado de verificación de soldadura aluminotérmica: Checklist de actividades propias de la soldadura aluminotérmica, desde limpieza de rieles hasta inspección visual.
- Parte diario de soldaduras aluminotérmicas: Registro de soldaduras ejecutadas por jornada con identificación de código, ubicación, características y ejecución.
- Reporte de ensayos de ultrasonido y dureza: Registro de las pruebas de UT y dureza de las soldaduras aluminotérmicas.
- Protocolo de trazabilidad de durmientes de madera: Registro de los durmientes de madera del cambiavía con identificación de código y longitud.
- Protocolo de instalación de cambiavías: Registro de verificación geométrica (aguja, contracarriles, cota de protección, etc.) del cambiavía.
- Protocolo de entrega de vía al operador: Registro de verificación de trocha y peralte, desde 60 m antes del CMV hasta 60 m posteriores al FMV.

Durante todos los montajes de cambiavía los protocolos mencionados fueron aprobados al 100% de manera oportuna por el cliente, lo cual verifica el cumplimiento de calidad de la metodología de montaje de cambiavías.

6.5.3. Indicadores de seguridad

Con la finalidad de evaluar el performance en seguridad se obtuvieron el índice de frecuencia y al índice de gravedad o severidad del trabajo realizado en el montaje de cambiavías, de acuerdo a las Ecuaciones 4 y 5 respectivamente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú, 2006, p. 25).

$$\text{Índice de frecuencia} = \frac{\text{Suma de accidentes reportables} \times 200'000}{\text{N}^\circ \text{ de horas hombre trabajadas}} \quad (4)$$

$$\text{Índice de gravedad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de días no trabajados} \times 200'000}{\text{N}^\circ \text{ horas hombre trabajadas}} \quad (5)$$

Considerando las 9'152 horas hombre involucradas en los montajes de cambiavía y ningún accidente suscitado, se obtiene los siguientes índices:

Índice de frecuencia= 0.00.

Índice de gravedad= 0.00.

CAPÍTULO VII: CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

7.1. CONTRASTE DEL PLAN VS EJECUCIÓN

7.1.1. Validación de la secuencia constructiva

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la duración de las jornadas de alto impacto, se evaluó la eficacia de la secuencia constructiva elegida mediante la siguiente variable específica: número de jornadas de alto impacto finalizadas dentro de la ventana horaria de 13 horas autorizada por la concesionaria.

Las actividades y flujos considerados en el proceso constructivo del montaje de cambiavías, reflejadas en los mapas de flujo de valor, sumados a las medidas preventivas y actividades previas al montaje, permitieron que la totalidad de los 16 montajes se ejecuten dentro de la ventana horaria autorizada por la concesionaria, lo que valida la secuencia constructiva (ver Tabla N° 7.1).

Tabla N° 7.1 Efectividad de la secuencia constructiva de montaje

Indicador	Medida
Duración máxima permitida	13 h
Duración máxima ejecutada	12 h (CV08 par)
Duración promedio ejecutada	10.45 h
N° jornadas de montaje	16
N° jornadas en tiempo	16
% N° jornadas dentro de duración máx. permitida/ N° total de jornadas	100%

Fuente: Elaboración Propia

7.1.2. Validación del estudio de gálibos

Se evaluó la eficacia del estudio de gálibos mediante la siguiente variable específica: número de interferencias en el transporte de equipos. El estudio de gálibos determinó las curvas críticas para el transporte de los trenes de trabajo a los puntos de ejecución, originando la inclusión de una actividad de transferencia de cambiavía entre trenes de trabajo en estas curvas.

De acuerdo al inciso 6.1 del Capítulo VI, sucedieron tres interferencias durante el montaje de cambiavías, pero ninguna de ellas relacionadas a impacto de equipos entre sí o con la infraestructura existente, lo que valida el estudio de gálibos de los trenes de trabajo utilizados en el montaje.

7.1.3. Validación de la identificación de restricciones

Con el fin de evaluar la eficacia de la identificación de restricciones, interfaces y prerrequisitos, se consideró la siguiente variable específica: número de interferencias con impacto significativo, considerando significativo si la interferencia genera que la jornada de montaje no finalice dentro del intervalo horario autorizado por la concesionaria.

Según el análisis de interferencias presentadas en la Tabla N° 6.1, el montaje con mayor impacto desfavorable fue el correspondiente al CV02 impar con 63 min de retraso en total; sin embargo, la duración de la jornada fue menor al intervalo horario de 13 horas. De esta manera, si bien el tiempo de impacto de las interferencias suscitadas, las cuales no fueron identificadas previamente, representaron un 4% de la duración del total de montajes, no llegaron a ser significativas, lo que valida la identificación de restricciones realizada en el planeamiento del montaje (ver Tabla N° 7.2).

Tabla N° 7.2 Efectividad de la identificación de interferencias para el montaje

Indicador	Medida
N° interferencias presentadas	3
% Tiempo impacto/ Duración total de montajes	492 min/ 12480 min = 4%
Duración jornada con mayor impacto	11 h 36 min < 13 h
% N° interferencias con impacto significativo/ N° interferencias	0%

Fuente: Elaboración Propia

7.1.4. Validación de la mejora de proceso mediante VSM

La aplicación del VSM para mejora del proceso se evaluó con base en las siguientes variables específicas: variación del tiempo de ciclo, variación de la proporción del tiempo de valor agregado y variación del tiempo de espera.

De acuerdo al inciso 6.4.1 del Capítulo VI, los valores de los indicadores de valor reflejaron una reducción de duración, aumento de valor y menor desperdicio, características de mejora del proceso en términos de eficiencia, lo que valida la aplicación de la herramienta para tal fin (ver Tabla N° 7.3).

Tabla N° 7.3 Efectividad de la identificación de interferencias para el montaje

Indicador	Criterio de evaluación	Medida	Efectividad
Δ TC	(+): Aumento de duración	-12.41%	100%
	(-): Reducción de duración		
Δ TVA/TC	(+): Aumento de valor	1.35%	100%
	(-): Reducción de valor		
Δ EI	(+): Mayor desperdicio	-100%	100%
	(-): Menor desperdicio		

Fuente: Elaboración propia

7.1.5. Validación de la fiabilidad de metodología

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la eficacia, calidad y seguridad de la metodología de montaje de cambiavías, se puede medir la confiabilidad de la metodología en base a las siguientes variables específicas:

a) *Número de jornadas de alto impacto finalizadas dentro de la ventana horaria de 13 horas autorizada por la concesionaria*

Conforme al inciso 7.1.1, se logró una efectividad del 100% en cuanto a la ejecución de los montajes dentro de los límites horarios establecidos, lo que valida la eficacia de la metodología aplicada.

b) *Protocolos de calidad correspondientes el montaje de cambiavías aprobados por el cliente*

La metodología de montaje de nuevos enlaces logró asegurar la calidad del proceso al lograr la totalidad de protocolos aprobados y levantamiento de observaciones del cliente dentro de dos semanas posteriores a su generación, lo que valida la metodología empleada en términos de calidad (ver Tabla N° 7.4).

Tabla N° 7.4 Efectividad de la metodología de montaje de cambiavías con respecto a la calidad

Indicador\ Documento	Protocolos de calidad	Levantamiento de observaciones
N° documentos generados	128: 8 documentos por montaje de cambiavía (topografía, instalación,	3: 2 observaciones en CV08 IMPAR (reemplazo de durmiente, nivelación adicional) + 1 en CV03 IMPAR (esmerilado)

Indicador\ Documento	Protocolos de calidad	Levantamiento de observaciones
	soldaduras, durmientes, etc.)	adicional de dos soldaduras)
Tiempo de aprobación promedio/CV	1 semanas efectiva	2 semanas efectivas
N° documentos aprobados	128	3
% N° p. aprobados/ N° p generados)	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia

c) Número de accidentes registrados durante las jornadas de alto impacto

La metodología de montaje de nuevos enlaces permitió garantizar la seguridad en el trabajo. Comparando el índice de frecuencia e índice de gravedad del montaje de cambiavías respecto a índices de empresas referentes en el sector construcción como GyM S.A. (Grupo Graña y Montero, 2019, p. 82), Cosapi S.A. (Cosapi, 2019, p. 46), JJC Contratistas Generales S.A. (Grupo JJC, 2019, p. 62) y VINCI Construction Ltd. (VINCI Group, 2019, p. 197), los índices del montaje resultan menores (ambos de valor 0.00), lo que valida la metodología en términos de seguridad (ver Tabla N° 7.5).

Tabla N° 7.5 Efectividad de la metodología con respecto a la seguridad

Indicador\ Panorama	Montaje de cambiavías L1	GyM S.A.	Cosapi S.A.	JJC Contratistas Generales S.A.	Vinci Construction Ltd.
Índice de frecuencia	0.00	0.25	0.91	0.11	1.21
Índice de gravedad	0.00	60.77	5.86	4.04	78.00

Fuente: Elaboración Propia

7.2. OPINIÓN EXPERTA

Con el propósito de realizar el proceso de validación de la metodología de montaje de nuevos enlaces en la Línea 1 del Metro de Lima, se envió una carta de solicitud a un representante encargado de la Línea 1 que fue partícipe de cada montaje realizado con el fin de que brinde conformidad a la metodología aplicada. Esta carta obtuvo su respuesta confirmando la efectividad del proceso, adjunta como Anexo 3.

CONCLUSIONES

- Se estableció una metodología fiable de montaje de cambiavías nuevos en la vía principal en operación de la Línea 1 del Metro de Lima, la cual permitió ejecutar los montajes dentro de las condiciones de trabajo establecidas, con la calidad requerida por la concesionaria para la entrega de vía a operación de forma segura y sin generar accidentes.
- Las medidas preventivas, recursos y proceso constructivo organizados en orden lógico y secuencial permitieron ejecutar la totalidad de montajes de cambiavías dentro de las condiciones de trabajo establecidas.
- El estudio de gálibos y las pruebas dinámicas de transporte de cambiavías mediante distintos trenes de trabajo permitieron determinar los trenes de trabajo y la metodología de transporte óptima para cada montaje de cambiavías nuevo sin generar interferencias con impacto significativo en el transporte de equipos y solo tres interferencias con 4% de impacto en la duración de la totalidad de montajes.
- Las restricciones de infraestructura, transporte e interfaces con otras disciplinas, seguridad y operación permitieron ejecutar todos los montajes de cambiavías nuevos sin generar interferencias durante el proceso.
- El mapeo de flujo de valor del proceso de montaje de cambiavías permitió identificar puntos de mejora que, sumados a las lecciones aprendidas a través de las jornadas de alto impacto, permitieron establecer un plan de acción para mejora del proceso.
- Se garantizó la fiabilidad de la metodología de montaje de cambiavías propuesta mediante la evaluación de duraciones de jornadas, indicadores de valor del proceso, calidad y seguridad, así como la opinión experta por parte de la concesionaria.
- De acuerdo al registro cronológico de las jornadas de alto impacto, todos los cambiavías se ejecutaron dentro de las ventanas horarias de 13 horas de corte de servicio autorizadas por la concesionaria.
- El método de montaje de cambiavías mediante PEM-LEM junto al sistema de falsas traviesas para el transporte en curvas críticas resultaron ser procedimientos efectivos frente a las condiciones de trabajo requeridas en la

- vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima, incluyendo las restricciones de infraestructura, transporte e interfases necesarias con otros entes del proyecto.
- Las actividades más críticas del proceso de montaje de cambiavías fueron la soldadura aluminotérmica, descarga de cambiavía, rebaje y riego de balasto, las cuales representaban el 80% de las duraciones de las actividades del montaje, por lo que gran parte de las acciones de mejora se enfocaron en ellas, como la implementación de una carreta rodante para traslado de materiales de soldadura y el riego de balasto a través de bolsas big bag.
 - El principal desperdicio mapeado dentro del flujo del proceso de montaje de cambiavías fue la espera, llegando a representar 27 min de desperdicio de tiempo entre actividades, razón por la cual se encauzaron los esfuerzos en garantizar un flujo constante principalmente mediante la generación de un sistema pull (jalar) para izaje de parejas, una actividad continua de riego de balasto y alertas tempranas para pruebas de señalización y prueba de trenes.
 - Como resultado del plan de acción se logró la reducción del tiempo de ciclo del proceso en un 12.41%, el aumento de la proporción de tiempo de valor agregado respecto al tiempo de ciclo en un 1.35% y eliminando las esperas, desperdicio principal dentro del mapeo del flujo de valor, en un 100%, agregando mayor valor al cliente a través del proceso de montaje de cambiavías nuevos.
 - Se logró el aseguramiento de calidad del proceso de montaje de cambiavías nuevos mediante la implementación de la metodología propuesta, obteniendo la aprobación de la totalidad de los protocolos de calidad correspondientes al proceso y brindando respuesta en tiempo oportuno para el levantamiento de observaciones, lo que permitió la entrega de vía a operación de forma segura para reanudación del servicio comercial y posteriores actividades en los cambiavías por parte de otras disciplinas.
 - A través de medidas preventivas, planes de contingencia y emergencia aplicadas en la implementación de la metodología de montaje descrita, se evitaron accidentes de trabajo logrando índices de accidentabilidad de valor cero durante la totalidad de jornadas de alto impacto.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de concentrar el análisis en la fiabilidad de la metodología en su aplicación en los montajes en vía principal de la Línea 1 se omitió la estandarización de parámetros como distancia a los puntos de instalación, fuerza laboral y equipos de transporte. Sin embargo, se recomienda considerar la metodología propuesta como una referencia base sobre la cual incluir otros parámetros en caso sea necesario de acuerdo a las características de las líneas de metro en las que se realicen procesos similares, de modo que permita un análisis de otros factores como la productividad de mano de obra y equipos.
- La metodología de montajes de alto impacto (en vías en operación) supuso la utilización del método de cambiavía premontado utilizando sistema PEM-LEM, resultando efectivo. Sin embargo, se plantea explorar otros métodos innovadores de instalación como el cambiavía modular o el sistema PWP en futuros proyectos similares, de contarse con la disposición de equipos y logística requerida, pues dichos métodos han obtenido buenos resultados en cuanto a montaje de cambiavías con similares condiciones de trabajo en otros países, con mejora en la seguridad (movimientos más sincronizados) y productividad (sin necesidad de vías auxiliares).
- El estudio de gálibos permitió realizar un análisis de interferencias en el transporte de los trenes de trabajo en zonas específicas, relacionándolo con secciones y curvas críticas, lo que permitió evitar colisiones entre equipos y desprendimiento del cambiavía respecto a su medio de transporte; sin embargo, durante la ejecución se presentaron interferencias con sistemas existentes, como señalización. Por tanto, se sugiere promover la aplicación de modelos virtuales BIM para proyectos de infraestructura vial de este tipo, de tal modo que la simulación de la infraestructura y superestructura de la línea ferroviaria no solo permita la identificación completa de interferencias potenciales, sino también el análisis de distintos escenarios en la logística de transporte y ejecución del montaje de manera dinámica para su optimización.
- Ejecutar actividades a cargo de distintas disciplinas y operación en una vía principal en etapa de operación, en áreas compartidas y horarios limitados involucró una coordinación compleja para la ocupación de las áreas para cada jornada, mediante la cual se logró finalmente desarrollar una eficaz dinámica de programación de trabajos mediante un layout de actividades en vía principal

basado en horarios de actividades y traslado de equipos por disciplina y por tramo. Por tanto, se sugiere extender esta dinámica de programación no sólo en futuros trabajos en vía férrea en operación sino en frentes de trabajo con concentración de varias disciplinas de trabajo en espacios reducidos, para evitar interferencias y garantizar fluidez en la producción.

- El mapeo de flujo de valor o VSM permitió identificar de manera dinámica las interrelaciones entre interactuantes y actividades para su optimización. Por ello, se recomienda difundir esta herramienta para mejorar la comprensión y análisis de la producción en otros procesos constructivos por medio de la gestión visual.
- Mediante los registros cronológicos y lecciones aprendidas se obtuvo información concisa para el análisis y mejora del proceso de montaje de cambiavías nuevos, por lo que se recomienda promover tales prácticas como input para el análisis y mejora de otros procesos constructivos.
- La problemática a solucionar mediante el montaje de los nuevos enlaces en la Línea 1 del Metro de Lima surgió a raíz de un incremento en la demanda mayor a lo previsto, el cual debió atenderse en el corto plazo. Por consiguiente, se recomienda una evaluación continua de la demanda del servicio en futuras líneas ferroviarias, de modo que permita elaborar un plan de ampliación de capacidad de manera progresiva en caso la demanda experimente una tendencia por sobre lo previsto, a fin de reducir la cantidad de cortes de servicio para la ejecución de trabajos de alto impacto ferroviario, lo cual repercute en pérdidas económicas para la concesionaria y disminución disponibilidad de la línea para los pasajeros durante los horarios de intervención.
- Se recomienda para proyectos futuros realizar visitas conjuntas con todas las disciplinas involucradas a las áreas de intervención antes de cada proceso de adaptación de infraestructura a la línea ferroviaria a modo de ceder el área con las condiciones requeridas, con el objetivo de evitar interferencias y restricciones en la ejecución de cada fase de integración al sistema ferroviario y permitiendo con ello una reanudación del servicio comercial en menor tiempo.
- Siendo el montaje de cambiavías nuevos en vías en operación un proceso repetitivo, se propone realizar un seguimiento de los índices de productividad o ratios reales en futuros proyectos ferroviarios, considerando además de que el montaje de vía férrea aún es incipiente en nuestro país, a fin de evaluar el rendimiento del trabajo, lograr una curva de aprendizaje a través de las jornadas que garantice la rentabilidad del proceso y obtener data histórica para

intervenciones similares en las líneas pendientes de la Red Básica del Metro de Lima.

- Una infraestructura sostenible debe soportar la estructura medioambiental, social y económica de modo integrador durante todo su ciclo de vida, no solamente en la fase de operación, como el caso de la Línea 1 del Metro de Lima, sino también en fases como la construcción. La búsqueda de mejorar niveles de sustentabilidad adquiere mayor relevancia considerando los altos niveles de contaminación, la reducción de ingresos laborales y el desempleo creciente en la capital. Para enfrentar estas cuestiones y lograr sostenibilidad, especialmente en proyectos ferroviarios, el Estado debe establecer políticas que soporten y promuevan el desarrollo del mercado nacional en cuanto a materiales, maquinarias y mano de obra, para la generación de nuevos empleos, nuevas líneas de negocio y mercados que respondan a la necesidad creciente de los próximos proyectos ferroviarios, considerando que actualmente la ejecución de estos proyectos implica tecnología y personal de mercado extranjero, cuya disponibilidad representa incertidumbre al depender de la relación política comercial presente en el país al momento de necesidad de tales recursos.
- Finalmente, se debe dar prioridad al desarrollo de proyectos ferroviarios en el Perú, tanto de líneas comerciales como de transporte urbano, con una visión integral de largo plazo para su planificación, considerando redes interconectadas que brinden dinamismo a las actividades económicas entre regiones, tal como se viene realizando en países desarrollados. Ante esta potencial demanda, resulta imperante que se considere en los próximos contratos de construcción de líneas ferroviarias la priorización de recursos locales en el diseño, construcción y operación, de tal modo que se establezca una industria peruana especializada con el know-how requerido para el desarrollo de proyectos ferroviarios de gran envergadura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALAF. (2014). *Manual Integral de Vías*. Buenos Aires, Argentina.
- [2] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. (2009). *AREMA*.
- [3] American Society of Testing Materials. (2018). *ASTM A 1 - 00 Standard Specification for Carbon Steel Tee Rails*.
- [4] Bølviken, T., Rooke, J., & Koskela, L. (Junio de 2014). The Wastes of Production in Construction – A TFV Based Taxonomy. *22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- [5] Calvo, F., Jurado, R., Lorente, J., & De Oña, J. (2005). *Diseño y características de la vía ferroviaria*. Granada, España: Grupo Editorial Universitario.
- [6] Colas Rail. (2 de Octubre de 2017). *Colas Rail Business Development*. Obtenido de You buy france: www.youbuyfrance.com/medias/document/Microsoft_PowerPoint_-_Colas_Rail_Business_Development_Scandinavia_02_10_17_17_44.pdf
- [7] Cosapi. (2019). *Reporte de Sostenibilidad 2019*. Lima.
- [8] Decreto Supremo D.S. N° 032-2005-MTC. (5 de Enero de 2005). *Diario Oficial El Peruano*.
- [9] Decreto Supremo D.S. N° 039-2010-MTC. (12 de Agosto de 2010). *Diario Oficial El Peruano*.
- [10] Geismar. (22 de Junio de 2018). PEM-LEM Track and switch panel installation system. *PUM*. Obtenido de www.herzog.com/wp-content/uploads/Pums.pdf
- [11] Grupo Graña y Montero. (2019). *Reporte Integrado 2019*. Lima.
- [12] Grupo JJC. (2019). *Reporte de Sostenibilidad 2019*. Lima.
- [13] INACAL. (13 de Marzo de 2014). NTP 251.065. *Durmientes de madera. Requisitos generales*.

- [14] Koskela, L. (26-28 de July de 1999). Management of Production in Construction: A Theoretical view. *8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- [15] Koskela, L. (2000). *An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction*. (L. Ukskoski, Ed.) Espoo, Finlandia: VTT Publications.
- [16] Koskela, L., Rooke, J., Bertelsen, S., & Henrich, G. (July de 2017). The TFV Theory of Production: New Developments. *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- [17] Liebherr. (2016). Excavadoras sobre ruedas A 922 Rail Litronic. *Liebherr*.
- [18] Línea 1 del Metro de Lima. (2019). *Línea Uno*. Obtenido de <http://www.lineauno.pe/preguntas/que-avenidas-principales-cruza-linea1/>
- [19] López Pita, A. (2006). *Infraestructuras ferroviarias*. Barcelona, España: Universitat Politecnica de Catalunya.
- [20] MAINLINE Consortium. (2014). *Development of new technologies for S&C replacement*. París: MAINLINE Consortium.
- [21] Mercedes Benz. (2016). Unimog Bivial. *Unimog Bivial*.
- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- [23] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú. (Junio de 2006). Norma G.050 Seguridad durante la Construcción. *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- [24] Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Lima. (2019). *El mercado ferroviario en Perú*. Lima: ICEX España Exportación e Inversiones.
- [25] Railway International. (16 de Octubre de 2020). *Railway International News*. Obtenido de <http://railway-international.com/news/32453-pwp>
- [26] Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda* (1.2 ed.). (J. Womack, & D.

Jones, Edits.) Brookline, Massachusetts, USA: The Lean Enterprise Institute.

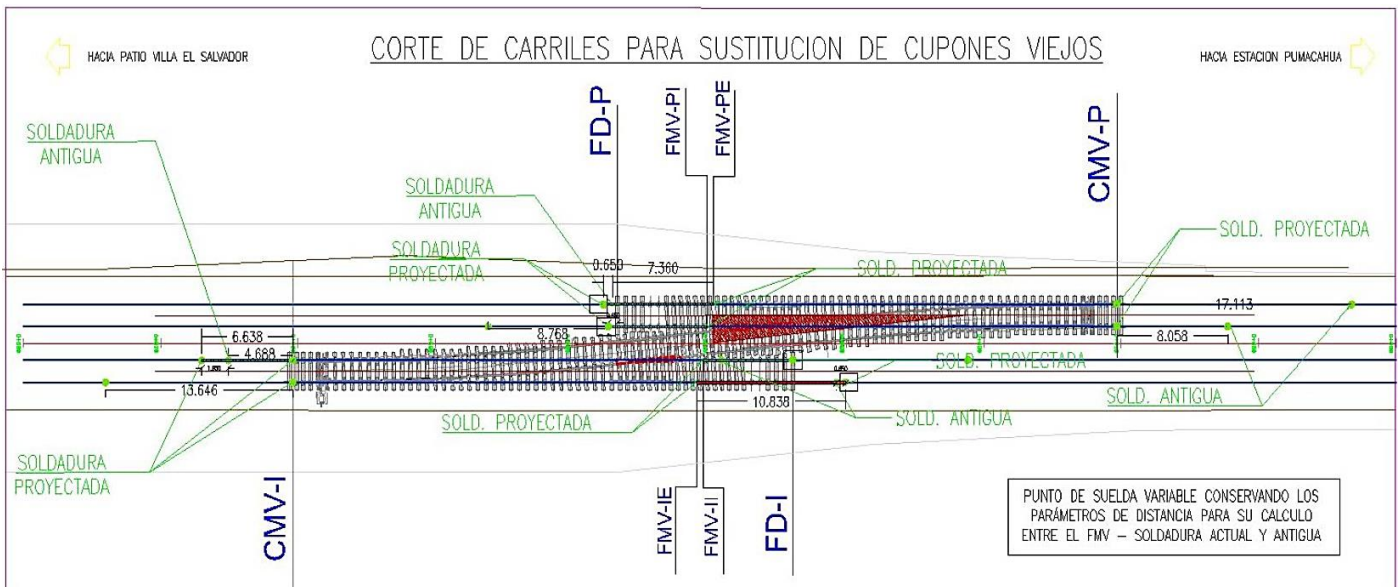
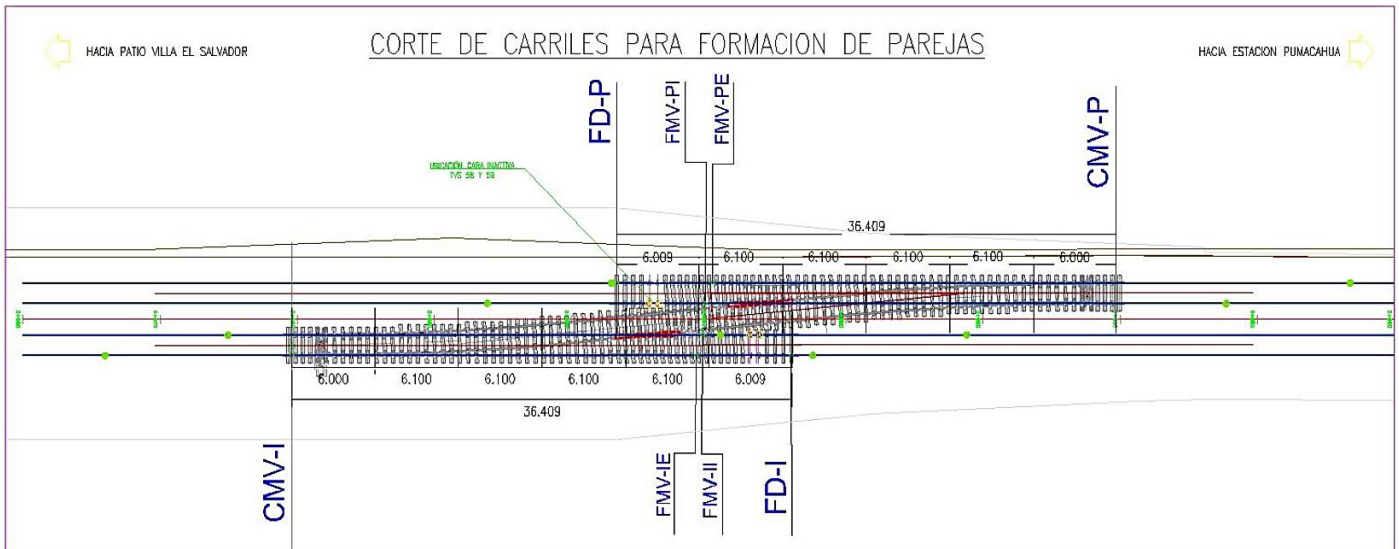
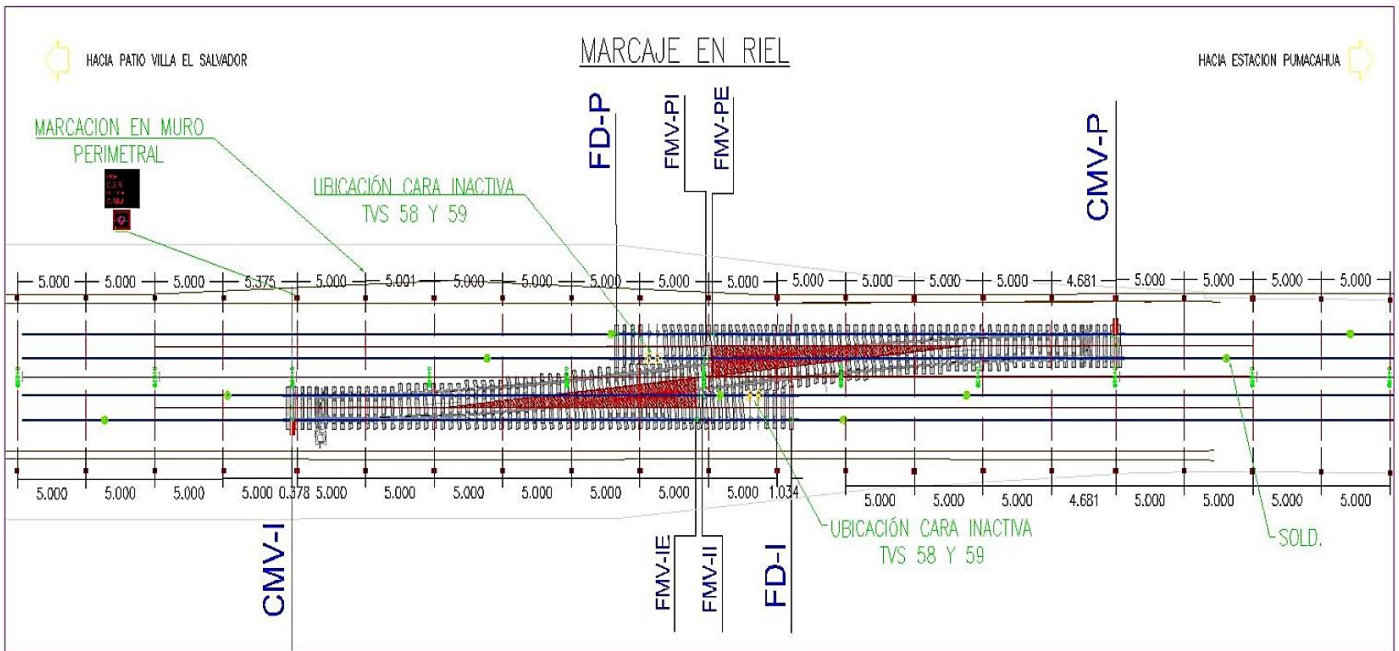
- [27] The Rail Engineer. (5 de Noviembre de 2012). *btpa.police.uk*.
Obtenido de <https://btpa.police.uk/livesite/wp-content/uploads/2012/11/20121102-Rail-Engineer-New-London-Overground-service.pdf>
- [28] Tonchev, G. P. (2017). *Diccionario Ferroviario*. León, España.
- [29] VINCI Group. (2019). *2019 Annual Report*. Rueil-Malmaison.
- [30] Zaayman, L. (2017). *Tecnologías fundamentales de mecanización para el mantenimiento de vías férreas*. Bingen, Alemania: PMC Media House GmbH.

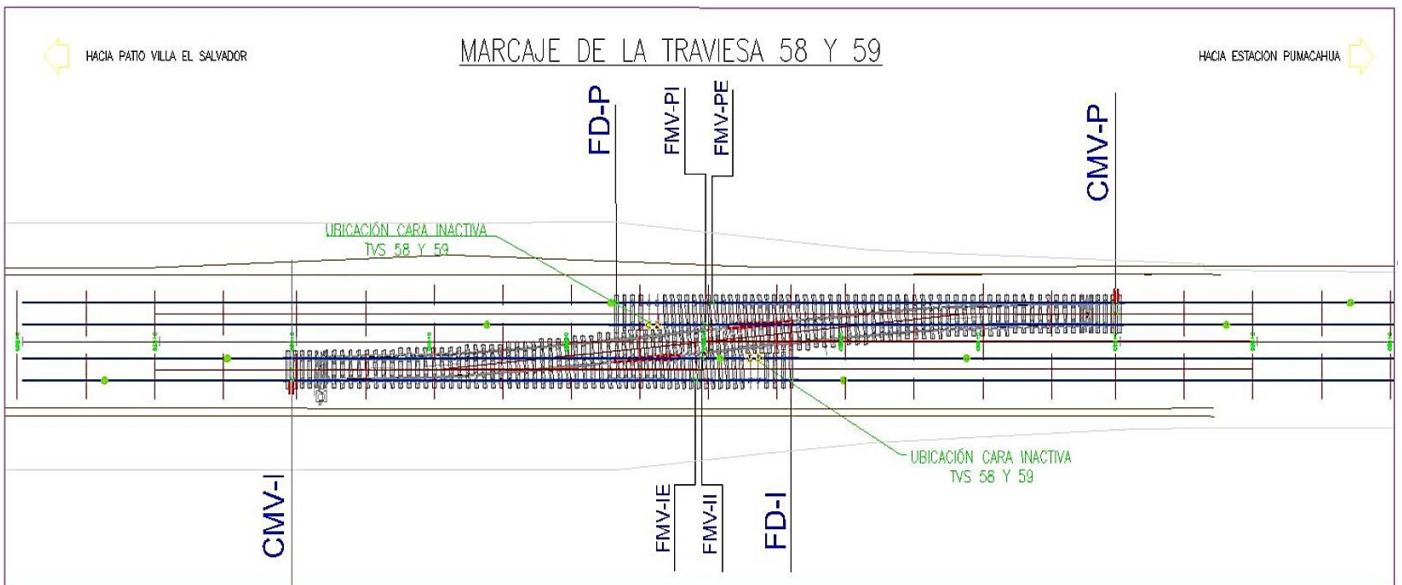
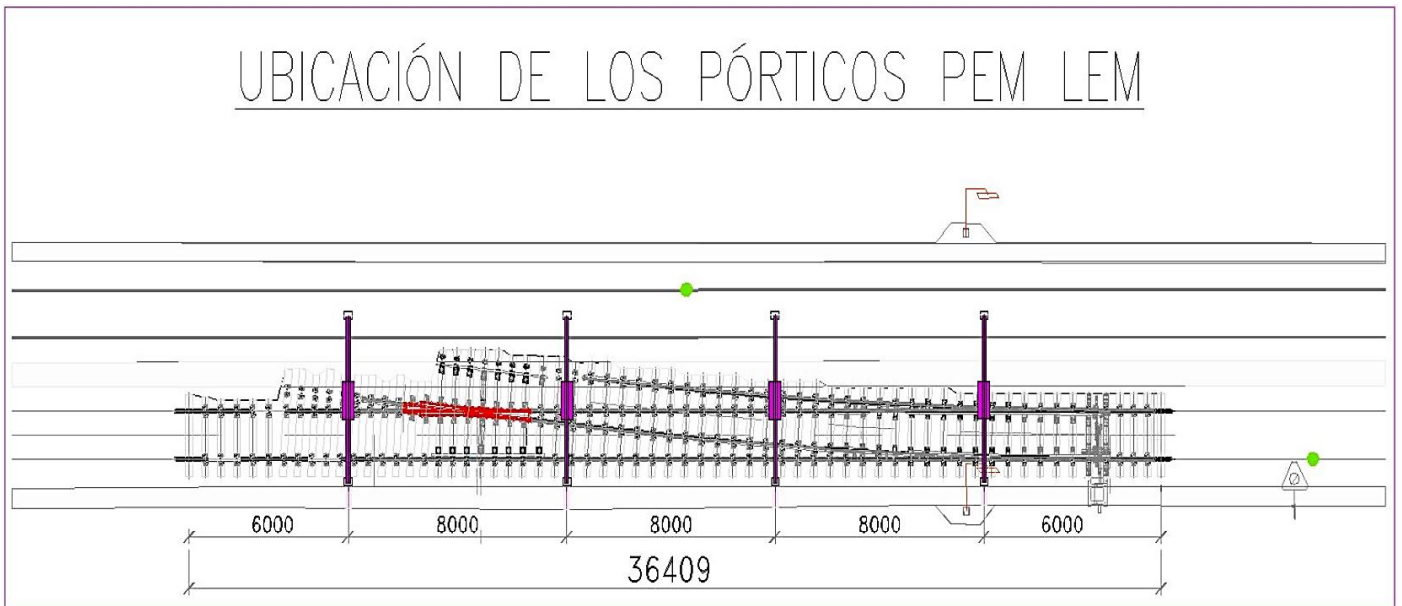
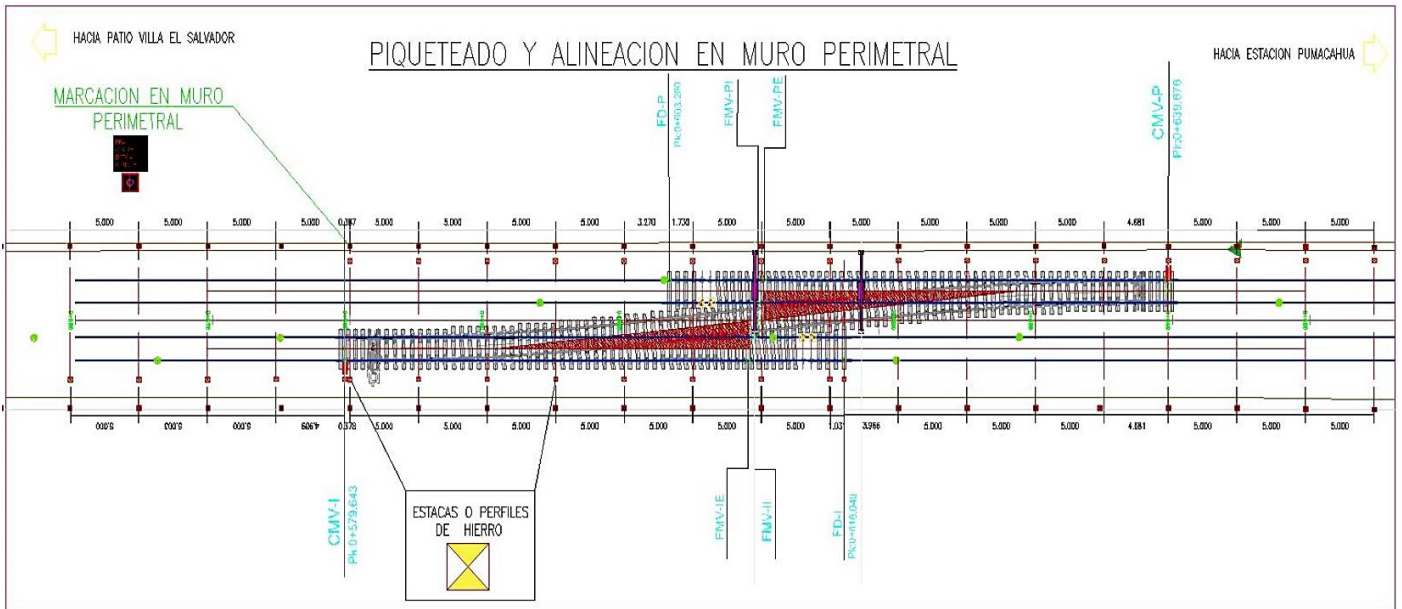
ANEXOS

- Anexo 1: Plano de simbología de marcaje en cambiavías.
- Anexo 2: Sistemas de montaje de cambiavías PEM-LEM y PWP.
- Anexo 3: Opinión experta de validación de la metodología de montaje de nuevos enlaces por parte de Línea 1.

ANEXO 1

PLANO DE SIMBOLOGÍA DE MARCAJE EN CAMBIAVÍAS





ANEXO 2
SISTEMAS DE MONTAJE DE CAMBIAVÍAS
PEM-LEM Y PWP



GEISMAR[®]

MÉTODO

PEM-LEM

PEM para levantamiento y giro de carga



LEM para transporte de carga

Vía temporal



PEM



No se necesita grúa para moverse en el cambiavía.

Ajustable al sitio de trabajo.

PEM



PEM : Carga, descarga y posicionamiento.

LEM : Transporte.

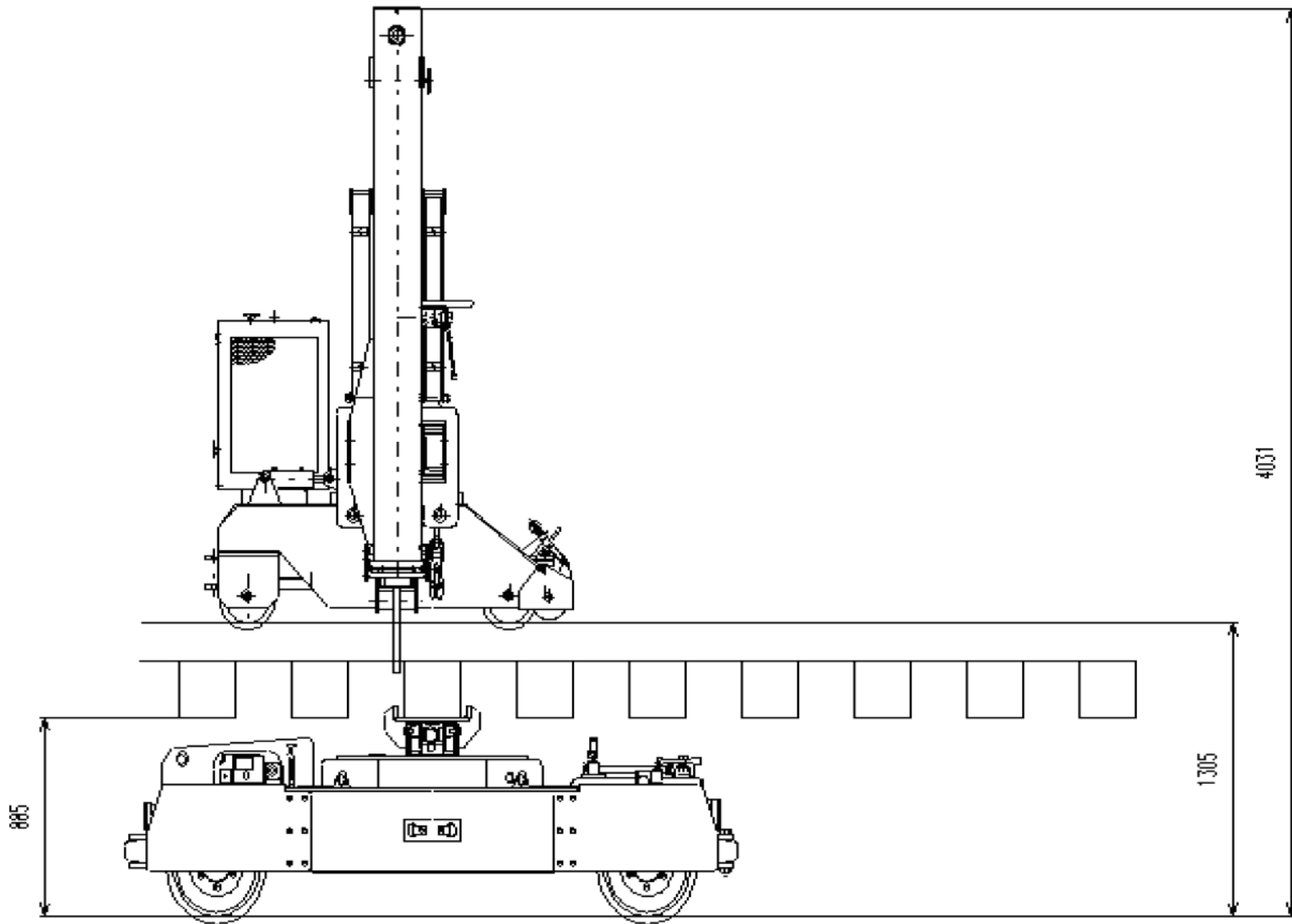
PEM + LEM : Carga y transporte



La modularidad del sistema PEM-LEM permite la instalación de cualquier tipo de cambiavía o panel de vía sin límite de longitud.

Para diferente longitud la cantidad de módulos difiere en proporción de dichas longitudes.

El uso de un sistema de control remoto facilita las operaciones.



Vista Lateral

LEM 460 y PEM 807

PEM-LEM EN TODO EL MUNDO





GEISMAR[®]

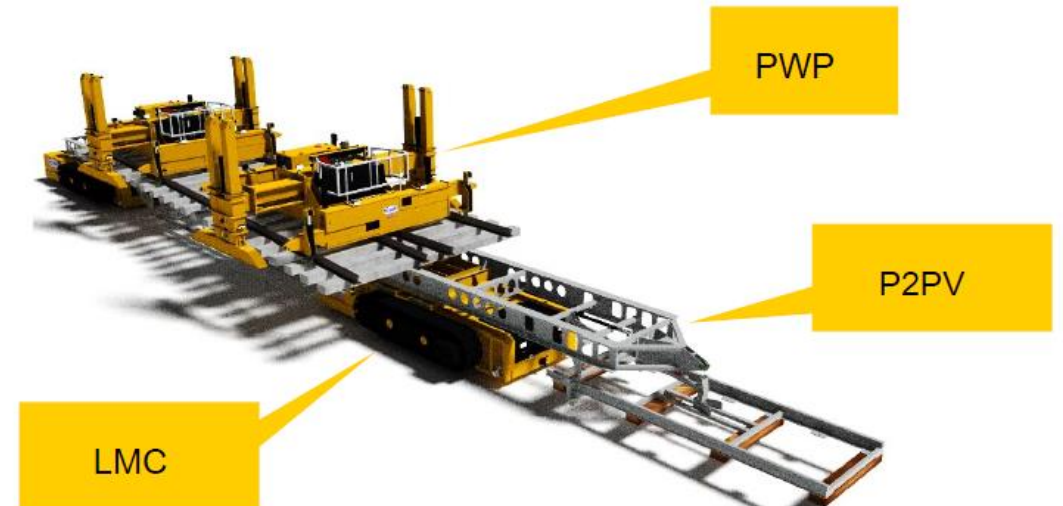
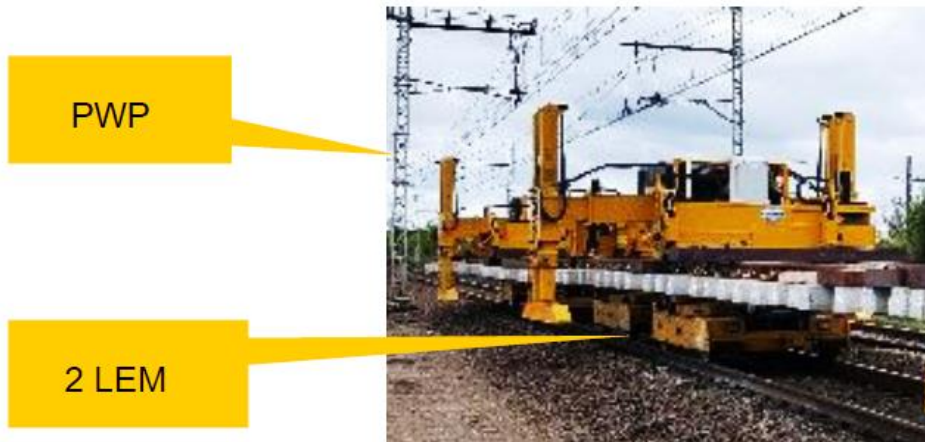
MÉTODO

PWP

PEM-LEM: Últimas evoluciones

Sistema reconocido: más de 400 unidades en el mundo.

PWP, última evolución de PEM, también se puede utilizar con LEM o por sí mismos.



PWP



Pórticos de colocación adecuados para:

- Descarga/carga de vagones basculantes.
- Colocación de cambiavías.
- 4 abrazaderas ajustables.
- Aumento de la rotación de carga transversal y longitudinal.
- Equipado con pies auxiliares y pies de elevación estables.
- Capacidad de carga: 20 T.
- Peso: 10 T.
- Extensión de patas: hasta 6100 mm.

PWP

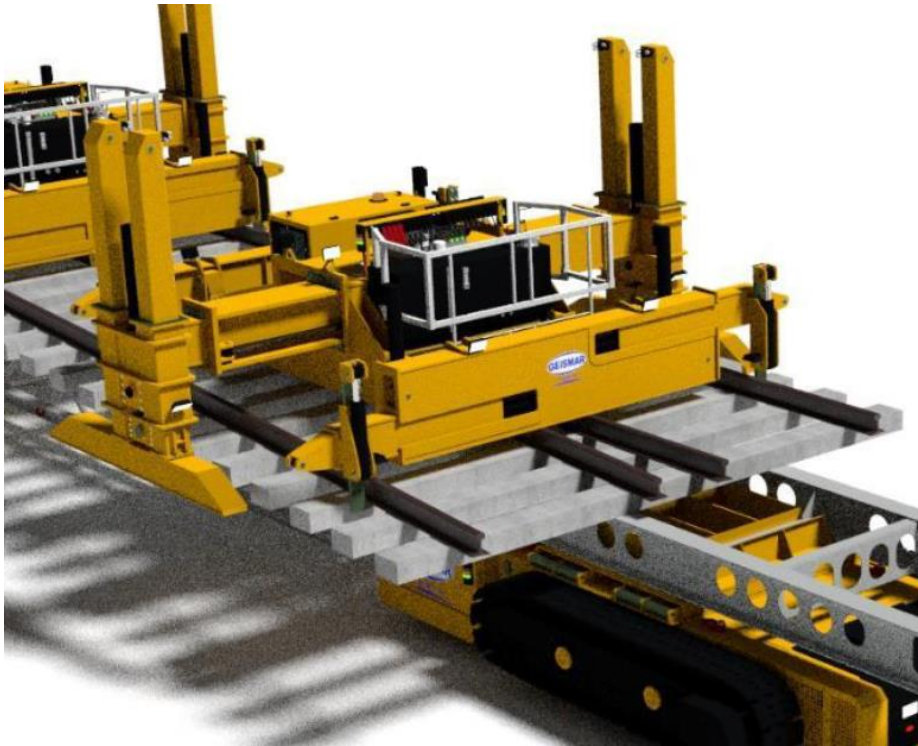
Características



- Posicionamiento preciso.
- Autónomo.
- Transporte en vagón o camión estándar (posible ruta por carretera).
- Se requiere espacio limitado en el sitio.
- Distancia de giro larga.
- Modularidad.

PWP

Seguridad



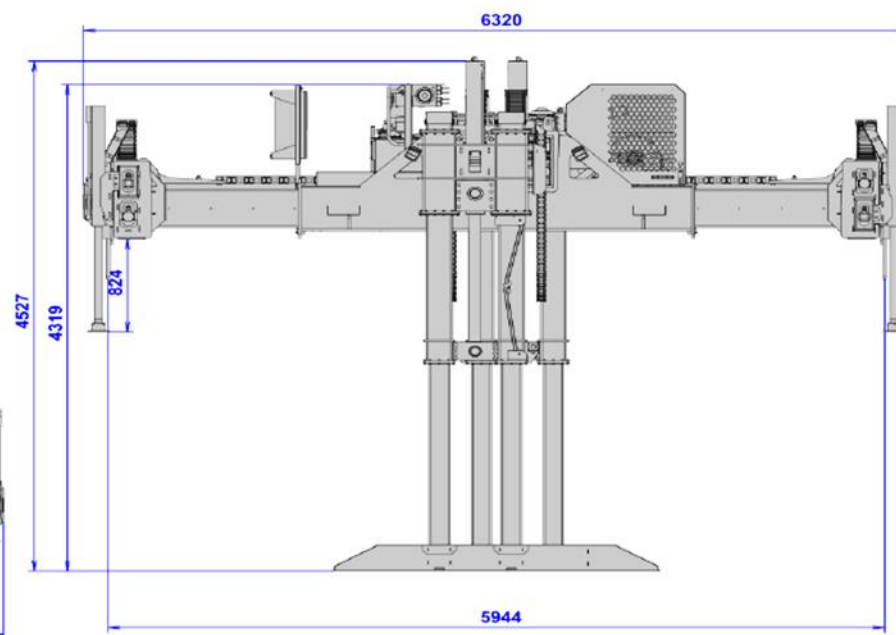
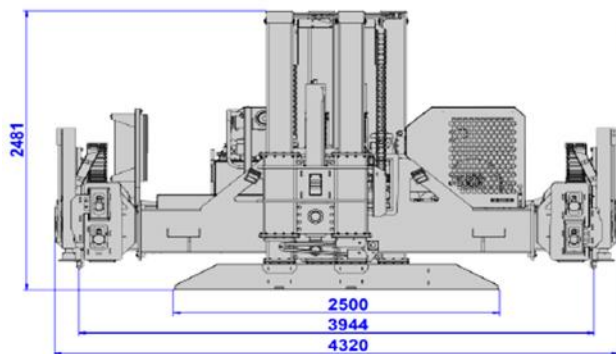
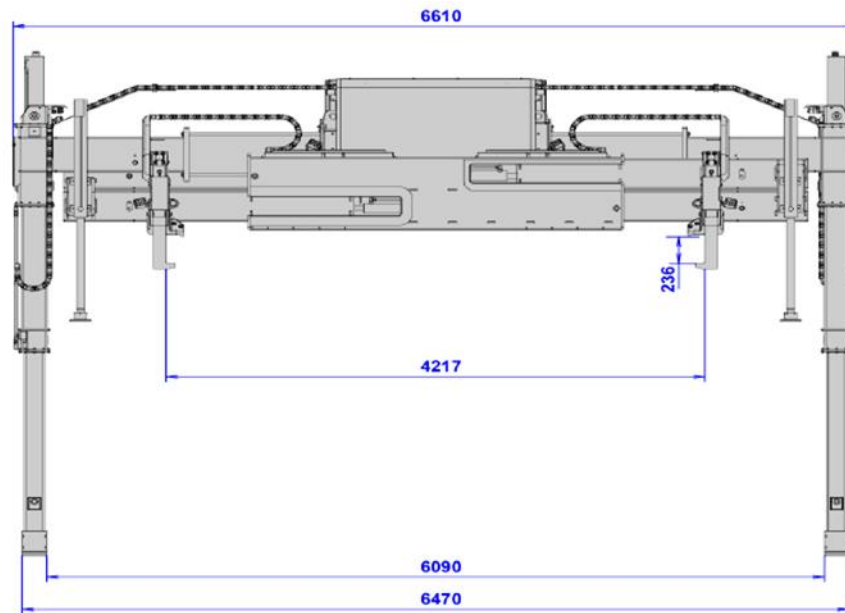
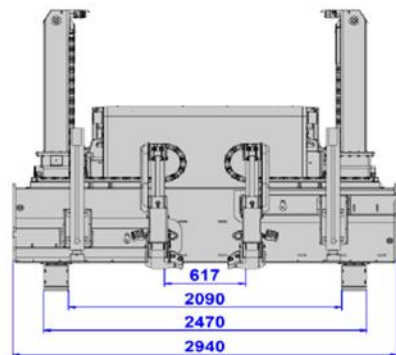
- Sin péndulo.
- Carga centrada.
- Movimientos controlados por radio.
- Abrazaderas debajo de la pata para riel.
- Sin peligro de vuelco.

PWP: Características técnicas

Actuaciones	Carga máxima	2000 kg
	Carrera de elevación	2700 mm
	Carrera de giro lateral	2000 mm
	Carrera de giro longitudinal	1000 mm
	Apertura máxima de patas (interior)	6000 mm
	Carrera lateral de abrazaderas	1800 mm

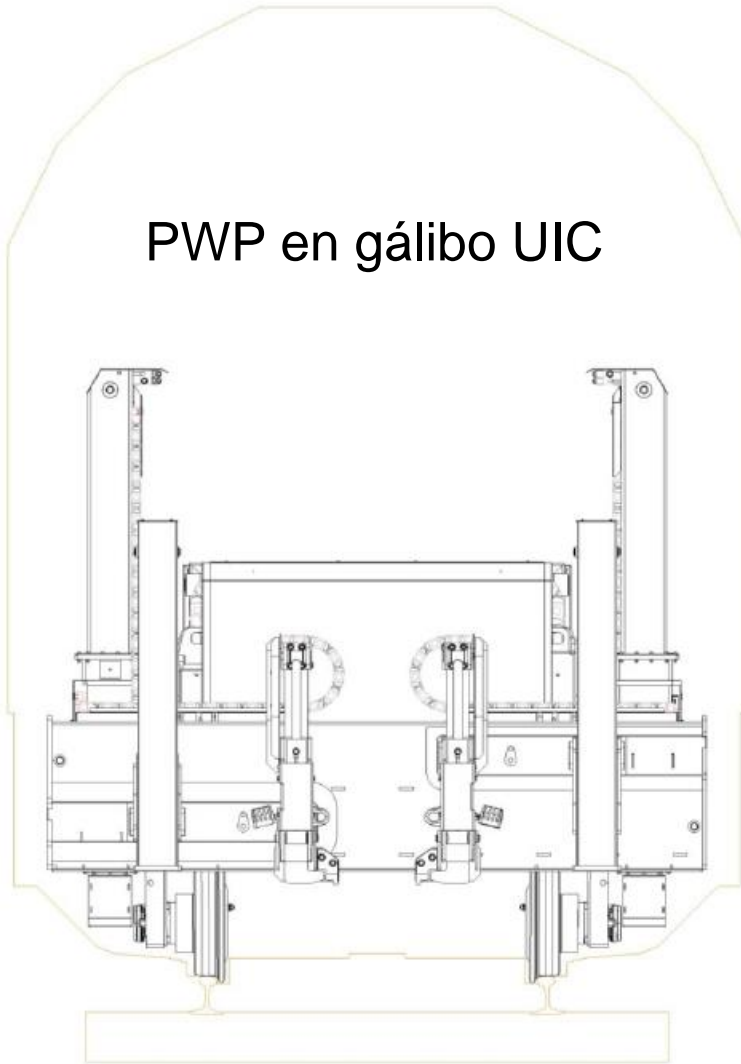
Radiocomando	1 control remoto para 2 PWP (posibilidad de ampliación a 4)		
Motor	Tipo	KDI 1903 TCR	
	Poder	42 kW (57 HP) hasta 2600 tr/min	
	Combustible	Diésel	
	Cilindro	1861 cm ³	
	Capacidad de tanque	120 L	
	Bomba hidráulica	Cilindro	51 cm ³
		Flujo	132 L/min hasta 2600 T/min
Presión de trabajo		160 bar	

PWP: Dimensiones



PWP: Ruedas opcionales para riel (velocidad máxima en ferrocarril 5 km/h)

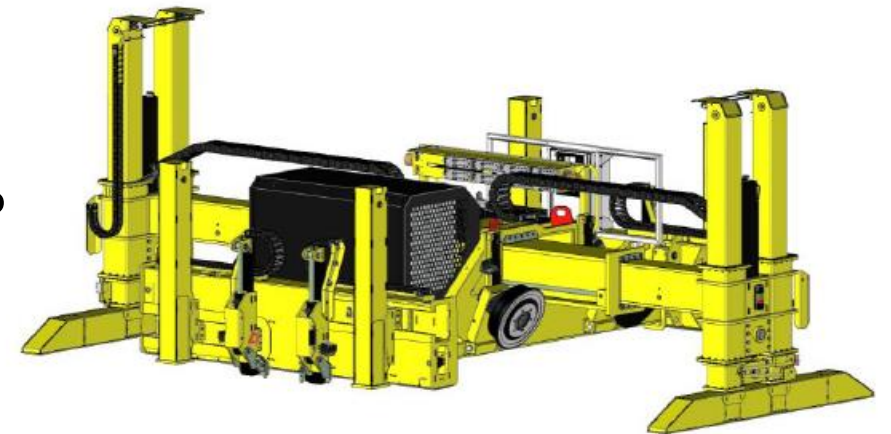
PWP en gálibro UIC



PWP sobre ruedas para riel



Posición de trabajo PWP



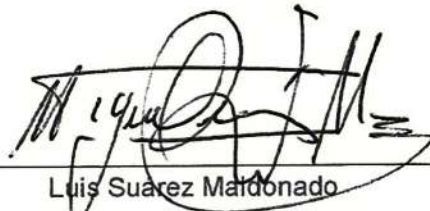
ANEXO 3

OPINIÓN EXPERTA DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MONTAJE DE NUEVOS ENLACES
POR PARTE DE LÍNEA 1

OPINIÓN EXPERTA DE VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MONTAJE DE NUEVOS ENLACES EN LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LIMA

Quien suscribe, SUÁREZ MALDONADO, Luis Miguel, ingeniero civil CIP 52778, con DNI 07408779, ejerciendo el cargo de especialista de vías de la Línea 1 del Metro de Lima, por medio de la presente hago constar que, luego de haber leído y evaluado la tesis titulada "Metodología para montaje de nuevos enlaces en vía principal en operación de la Línea 1 del Metro de Lima", elaborada por el Bach. CASHPA CAPCHA, Ruddy Andreé, brindo mi validación a la metodología de montaje expuesta en la investigación, aplicada para la inserción de los nuevos enlaces en la vía principal de la Línea 1 del Metro de Lima en el marco de la Adenda N°4 al Contrato de Concesión, la cual representó una metodología fiable al garantizar la ejecución de cada uno de los dieciséis (16) montajes en vía principal dentro de las ventanas de trabajo de 13 horas con corte de servicio autorizado por la Línea 1 y la AATE, y cumplir los estándares de calidad y seguridad establecidos, con la obtención de la aprobación de los protocolos de calidad del proceso de instalación y la ejecución de jornadas de trabajo con cero accidentes. Los enlaces instalados actualmente forman parte del sistema ferroviario en operación de la Línea 1 del Metro de Lima.

Atentamente,



Luis Suárez Maldonado

Especialista de vías

Línea 1 del Metro de Lima

Lima, 18 de octubre del 2020