



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PLANIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DE UNA MODERNIZACIÓN DEL
SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO A TRENES METRÓPOLIS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

MAXIMILIANO ALEJANDRO BARRA TORRES

PROFESOR GUÍA:
CHARLES MARK THRIVES CORTÉS-MONROY

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CLAUDIO ENRIQUE PIZARRO TORRES
ROGELIO ALBERTO UMANES ALVAREZ
JUAN CRISTÓBAL SEBASTIÁN ZAGAL MONTEALEGRE

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: MAXIMILIANO ALEJANDRO BARRA TORRES
FECHA: 2021
PROF. GUÍA: CHARLES MARK THRIVES CORTÉS-MONROY

PLANIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DE UNA MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO A TRENES METRÓPOLIS

Actualmente, los trenes están catalogados como un medio de transporte vital en la vida diaria de las personas, ya que su función es el transporte masivo, seguro y rápido de pasajeros de un lugar a otro. En este trabajo, se planifican las etapas de una modernización del sistema de control y monitoreo de trenes (TCMS) de 216 coches de una flota en Santiago de Chile. Para esto, primero se genera un desglose de actividades y un listado de herramientas a ocupar en la modernización del TCMS. Luego, se diseñan instructivos de trabajos que contienen el paso a paso a seguir en las actividades de montaje de componentes. Después se realiza un layout preliminar para las actividades de la modernización del TCMS. Finalmente, se modelan distintos escenarios de productividad, donde las variables son la cantidad de trabajadores y el tiempo requeridos para las primeras 4 unidades, confeccionando curvas de aprendizaje con sus respectivos tiempos y costos totales para finalizar la modernización del TCMS a tiempo.

Los resultados obtenidos, muestran que las curvas de aprendizaje asociadas a las horas hombre (HH) requeridas por unidad, están directamente relacionadas con la gestión que realice la empresa a sus trabajadores, mediante capacitaciones, apoyo de videos para los instructivos, etc. ya que a medida que se disponga de más material para la primera unidad, las HH acumuladas que se requieren para completar la flota, disminuyen considerablemente.

El costo total del proyecto es superior del inicial estimado por la empresa, existiendo así un sobrecosto del 28%. Dado que el mayor costo de la modernización (80%) corresponde a los equipos electrónicos nuevos, se propone como trabajo propuesto para la empresa generar ahorros mediante estrategias de Supply Chain o bien, gestionar los tiempos de producción de la forma más precisa posible, para poder ayudar a la cadena de suministro, evitando así emergencias, gastos de expeditación y traslados.

El modelamiento bajo distintos escenarios de productividad muestra que en promedio se requieren mas HH que las consideradas inicialmente por la empresa, además se puede concluir que en los escenarios muy optimista, optimista y base, con 3 trabajadores se logra modernizar todas las unidades sin incurrir en multas, mientras que en los escenarios pesimista y muy pesimista, se requieren de 4 y 5 trabajadores respectivamente para evitar el costo extra recién mencionado. De esta manera, se concluye que para evitar un sobrecosto producto de multas por atraso, se debe escoger en un inicio, una configuración de 5 trabajadores en simultáneo hasta que se establezca el proceso, y luego de ello, ir evaluando por cada unidad la fuerza de personas necesarias para seguir con la evolución ideal de las unidades.

Todo el análisis realizado en esta tesis se hace previo al inicio de la modernización del TCMS, para luego ser utilizado adaptando los tiempos y costos de cada unidad.

*A mis amigos y familia,
y especialmente a mi comisión, por hacer esto posible.*

Saludos

Agradecimientos

Quiero partir agradeciendo a mi familia la cual siempre fue un apoyo en este largo proceso de titulación, los cuales me motivaron a seguir, incluso en los momentos mas difíciles, a mis amigos de barrio por siempre subirme el ánimo y decirme un sinfin de cosas que podría hacer ya titulado y al colega Claudio de la empresa por asesorarme en lo que llevo de tesis y a la Naty, ya que siempre ella y su familia me aconsejaban y subian el ánimo.

En segundo lugar, quiero agradecer a todos mis amigos de universidad con los cuales crecí y compartí a lo largo de todos estos años, al Mati, Suelto, la Dani, Alfredo y Seba, ya que con todos ellos, compartí muchas anécdotas y crecí como profesional y persona, especialmente esos días que pasabamos por cursos complicados como sólidos, máquinas o elementos de máquinas.

Finalmente, quiero dar las gracias a toda la comisión de mi tesis, al profesor Charles por haber confiado en mi cuando le propuse el tema y por haber dado ese gran paso de ser mi profesor guía, además del tiempo y perseverancia mostrada en cada reunión que tuvimos, al profesor Claudio por sus comentarios y sugerencias en cada etapa de la tesis y en especial al profesor Rogelio por darme ideas y guiarme cuando estuve estancado en algunos puntos de la tesis.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación y antecedentes básicos generales	1
1.2. Justificación	1
1.3. Descripción del problema a abordar	2
1.3.1. Modificaciones en el TCMS de los coches motrices	4
1.3.2. Modificaciones en el TCMS del coche remolque	6
1.3.3. Modificaciones en el sistema de tracción de los coches motrices	7
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Alcance del tema a abordar	8
1.6. Recursos	9
1.7. Carta Gantt	9
2. ANTECEDENTES	10
2.1. Definiciones y Abreviaturas	10
2.2. Configuración y clasificación de los coches y trenes	11
2.3. Descripción de los equipos intervenidos en la modernización del TCMS	13
2.4. Estimación del costo económico	15
2.5. Curvas de aprendizaje	16
2.5.1. Método aritmético	17
2.5.2. Método logarítmico	17
3. METODOLOGÍA	18
3.1. Desglose de actividades de la modernización del TCMS	18
3.2. Listado de herramientas en la modernización del TCMS	19
3.3. Confección de instructivos de trabajo	19
3.4. Obtención layout preliminar de la modernización del TCMS	20
3.5. Estimación HH requeridas por unidad	20
3.6. Análisis de productividad bajo distintos escenarios	21
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	24
4.1. Desglose de actividades del TCMS y listado de herramientas a ocupar	24
4.1.1. Pupitre de coches MC	26
4.1.2. A.E.I de coches MC	27
4.1.3. A.E.D. de coches MC	37
4.2. Análisis del desglose de actividades y listado de herramientas	38
4.3. Instructivos de trabajo	38

4.3.1. Montaje DDU	40
4.3.2. Montaje MPU	42
4.3.3. Montaje de CRSs en coches MC	44
4.3.4. Montaje de RIOMs en coches MC	48
4.4. Análisis de los instructivos de trabajo	51
4.5. Layout preliminar de la modernización	52
4.6. Análisis del layout de la modernización del TCMS	53
4.7. Cronología de contrato y evolución estándar de la Modernización del TCMS en el tiempo	55
4.8. Estimación HH requeridas en las actividades de Modernización del TCMS .	59
4.9. Restricciones de tiempo en la Modernización del TCMS	61
4.10. Modelamiento de productividad bajo distintos escenarios	63
4.11. Análisis del modelamiento bajo distintos escenarios	67
4.12. Costos de la Modernización del TCMS en los diferentes escenarios considerados	70
5. CONCLUSIONES	77
5.1. Trabajos futuros	78
Bibliografía	79
Anexo A. Figuras representativas de las actividades y equipos a instalar	81
A.1. MODERNIZACIÓN DEL TCMS	81
A.1.1. SOPORTES MPU	81
A.1.2. SOPORTES TRS	82
A.1.3. SOPORTES RIOMs	82
A.1.4. FRONTAL A.E.D	83
Anexo B. Tablas de analisis de escenarios	84
B.1. 5 Escenarios a analizar respecto de las HH por unidad y trabajadores disponibles	84
B.1.1. Escenario muy pesimista	85
B.1.2. Escenario pesimista	88
B.1.3. Escenario base	91
B.1.4. Escenario optimista	94
B.1.5. Escenario muy optimista	97
Anexo C. Layout taller en Santiago de Chile	100

Índice de Tablas

2.1.	Abreviaturas utilizadas a lo largo del libro.	10
3.1.	HH estimadas que toma modernizar el TCMS de las 4 primeras unidades en los cinco diferentes escenarios a analizar.	23
4.1.	Herramientas a ocupar en el desmontaje de la DDU.	27
4.2.	Herramientas a ocupar en el desmontaje de la MPU.	28
4.3.	Herramientas a ocupar en el desmontaje de las RIOMs.	28
4.4.	Herramientas a ocupar en el desmontaje del procesador de la DDU.	29
4.5.	Herramientas a ocupar en el desmontaje de los soportes de la MPU.	30
4.6.	Herramientas a ocupar en el desmontaje de los soportes de las RIOMs.	31
4.7.	Herramientas a ocupar en el desmontaje del soporte del procesador de la DDU.	32
4.8.	Herramientas a ocupar en el montaje del soporte del MPU.	33
4.9.	Herramientas a ocupar en el montaje de los soportes del Gateway.	34
4.10.	Herramientas a ocupar en montaje de los soportes del TRS.	35
4.11.	Herramientas a ocupar en montaje de los soportes de las RIOMs.	36
4.12.	Herramientas a ocupar en montaje de los soportes para las CRSs.	37
4.13.	Herramientas a ocupar en montaje y desmontaje de los disyuntores de protección eléctrica.	37
4.14.	Herramientas a ocupar en el montaje de la DDU.	40
4.15.	Listado materiales ocupados en el montaje de la DDU.	41
4.16.	Herramientas a ocupar en el montaje de la MPU.	43
4.17.	Listado materiales ocupados en el montaje de la MPU.	44
4.18.	Herramientas a ocupar en el montaje de las CRSs en los coches MC.	45
4.19.	Listado materiales ocupados en el montaje de las CRSs.	46
4.20.	Herramientas a ocupar en el montaje de las RIOMs en coches MC.	48
4.21.	Listado de materiales utilizados en montaje de RIOMs.	50
4.22.	Evolución de Modernización del TCMS, año 2021.	56
4.23.	Evolución de Modernización del TCMS, año 2022.	57
4.24.	Evolución de Modernización del TCMS, año 2023.	58
4.25.	Evolución de Modernización del TCMS, año 2024.	59
4.26.	Tiempos referenciales asociados a las actividades de Modernización del TCMS de las áreas bajo techo y bajo bastidor.	60
4.27.	Tiempos referenciales asociados a las actividades de Modernización del TCMS del área interior coche.	61
4.28.	Combinaciones para la recepción de las unidades.	62
4.29.	Cantidad de HH según trabajadores y días trabajados por unidad.	63
4.30.	Tasas de aprendizaje promedio y final para estimación de tiempos en los diferentes escenarios.	64
4.31.	Costos de las [HH] en las 71 unidades.	70

4.32.	Costos totales de Modernización del TCMS.	71
4.33.	Meses necesarios y meses extras luego del plazo para finalizar la modernización del TCMS.	73
4.34.	Sobrecostos en las distintas configuraciones de trabajadores.	74
4.35.	Costos totales por escenario y por configuración de trabajadores.	74
4.36.	Sobrecostos en las distintas configuraciones de trabajadores en escenario promedio.	75
B.1.	HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 1 de 3.	85
B.2.	HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 2 de 3.	86
B.3.	HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 3 de 3.	87
B.4.	HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 1 de 3.	88
B.5.	HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 2 de 3.	89
B.6.	HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 3 de 3.	90
B.7.	HH requeridas por unidad, escenario base, 1 de 3.	91
B.8.	HH requeridas por unidad, escenario base, 2 de 3.	92
B.9.	HH requeridas por unidad, escenario base, 3 de 3.	93
B.10.	HH requeridas por unidad, escenario optimista, 1 de 3.	94
B.11.	HH requeridas por unidad, escenario optimista, 2 de 3.	95
B.12.	HH requeridas por unidad, escenario optimista, 3 de 3.	96
B.13.	HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 1 de 3.	97
B.14.	HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 2 de 3.	98
B.15.	HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 3 de 3.	99

Índice de Ilustraciones

1.1.	Secuencia lógica de Modernización a modo general.	3
1.2.	Arquitectura actual del TCMS para una unidad de la flota en estudio.	4
1.3.	Sustitución MPU e instalación de Gateway en coches motrices.	4
1.4.	Sustitución de las RIOMs e instalación de TRS y 2 CRS en coches motrices.	5
1.5.	Sustitución de disyuntores e instalación de nuevos disyuntores en A.E.D.	5
1.6.	Sustitución de DDU en pupitre de coches MC.	6
1.7.	RIOM a sustituir en A. E. I, coche R.	6
1.8.	CRS a instalar en A.E.D, coche R.	7
1.9.	Disyuntor a instalar en A.E.I, coche R.	7
1.10.	Carta Gantt del trabajo en semanas	9
2.1.	Configuración 1 de la flota: Tren compuesto por 1 unidad. Largo 67,25 [m].	11
2.2.	Configuración 2 de la flota: Tren compuesto por 2 unidades interconectadas. Largo 134,5 [m].	11
2.3.	Bajo bastidor. [1]	13
2.4.	Interior del tren. [2]	13
2.5.	Pantalla DDU. [4]	14
2.6.	Curva de aprendizaje logarítmica entre el tiempo de producción por unidad y unidades consecutivas. [11]	16
4.1.	Clasificación actividades de modernización de TCMS.	25
4.2.	Designación lados en 1 unidad.	26
4.3.	DDU de coches MC.	27
4.4.	Ubicación MPU, RIOMs y procesador de DDU.	28
4.5.	Ubicación de soportes actuales de MPU, RIOMs y procesador de DDU.	29
4.6.	Soportes actuales de MPU que se deben remover.	30
4.7.	Soportes actuales de RIOMs que se deben remover.	31
4.8.	Soporte actual del procesador de la DDU que se debe remover.	32
4.9.	Distribución de equipos a instalar en armario eléctrico izquierdo.	33
4.10.	Distribución de equipos a instalar en armario eléctrico izquierdo.	34
4.11.	Distribución de soportes para TRS y RIOMs.	35
4.12.	Soportes a instalar para las CRSs.	36
4.13.	Disyuntor de protección eléctrica ubicado en armarios eléctricos. [13]	37
4.14.	Numeración de materiales y componentes utilizados en montaje DDU.	40
4.15.	Vista trasera de pantalla DDU y sus conectores.	42
4.16.	Vista frontal de la MPU.	42
4.17.	Soportes para MPU y sus respectivos conectores.	43
4.18.	Conector Data Plug y Trenza.	43
4.19.	Numeración de materiales y componentes utilizados en montaje CRSs.	45
4.20.	Vista trasera de una CRS y sus conectores.	47

4.21.	Vista trasera de una CRS y sus conectores.	48
4.22.	Materiales y componentes utilizados en montaje de RIOMs 1.	49
4.23.	Materiales y componentes utilizados en montaje de RIOMs 2.	49
4.24.	Conectores de cada RIOM.	51
4.25.	Línea de tiempo de la modernización del TCMS.	53
4.26.	Línea de tiempo de la modernización del TCMS.	55
4.27.	Curvas de aprendizaje de HH necesarias por unidad, en los diferentes escenarios.	65
4.28.	Evolución de HH acumuladas en las unidades, escenario muy pesimista.	66
4.29.	Días laborales acumulados en los 5 escenarios estudiados con 3,4 y 5 trabajadores en simultáneo.	67
4.30.	Costos totales en los distintos escenarios con distintas fuerzas de trabajo.	75
A.1.	Soportes de MPU que se debe instalar.	81
A.2.	Distribución de soportes para TRS.	82
A.3.	Distribución de soportes para RIOMs.	82
A.4.	Disyuntores del A.E.D + frontal del armario.	83
C.1.	Layout preliminar completo del taller.	101

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación y antecedentes básicos generales

Dentro del campo de la ingeniería mecánica, el estudio de los ferrocarriles y trenes resulta de suma importancia ya que estos sirven para transportar mercancías, animales, productos y personas de un lugar a otro respectivamente. La seguridad es un elemento clave presente en los dos medios de transporte mencionados ya que debe cumplir una serie de normas muy estrictas y específicas, que en conjunto aseguran la integridad física de cada uno de los pasajeros que sube a diario a un tren incluyendo al conductor, y al conjunto de personas que hace posible este servicio (guardias, asistentes de andén, etc.).

Es sabido que todo equipo electrónico tiene un punto óptimo de ventas y producción en masa en una fecha determinada. Pero a medida que avanza la tecnología en el mundo, estos van quedando obsoletos, sin stock de repuestos o de soporte técnico. En el caso de los trenes que circulan por vías terrestres y subterráneas a diario en el mundo, estos poseen componentes electrónicos tales como pantalla en el pupitre del conductor, RIOM (Remote Input Output Module), MPU (Main Process Unit), etc., los que son vitales para la seguridad, dado que controlan el sistema de frenado y tracción. Existen otros equipos electrónicos intervenidos en el rubro ferroviario, por ejemplo, la luminaria del tren cuya función es entregar confort a los usuarios y al conductor en la estadía de estos.

A grandes rasgos, las redes de Metro existentes en algunos países del mundo tales como EEUU, Francia, España y Argentina, están compuestas por trenes cuya función es el transporte masivo, seguro y rápido de personas entre diversos puntos existentes en ciudades. Cuando se habla de tren, la mayoría de las personas piensa que estos se mueven con ruedas metálicas, como lo es el caso de las ruedas de acero. No obstante, muchas ciudades y redes de Metro han optado por rodado con neumático en vez de la tradicional de acero, donde Chile no es la excepción al igual que Ciudad de Mexico y Paris. [2]

1.2. Justificación

La realización de la modernización del TCMS es de suma importancia para los trenes de la flota en estudio, ya que muchos de los equipos, piezas y elementos van quedando obsoletos en el tiempo, ya sea por servicio técnico, stock de repuestos o por la versión en el software que los equipos electrónicos ocupan hoy en día.

Actualmente, muchos trenes en el mundo poseen una gran cantidad de equipos y componentes de alta tecnología, por lo que a nivel nacional e internacional, una gran cantidad de empresas crean nuevos componentes, tecnologías o bien, desarrolla mejoras en sus productos tales como actualizaciones, automatización de actividades rutinarias como las desarrolladas por el conductor de los coches como de las personas que trabajan en conjunto día a día en las redes de metro en el mundo para dar así, un excelente servicio. Al pensar en todas las mejoras y en la fabricación de tecnologías superiores, se crea la necesidad de modernizar las flotas de trenes, ya que mediante la inserción de mayor control a nivel de apertura de puertas, posición y velocidad de los coches, se necesitará de mejoras en los actuales equipos instalados a lo largo de los trenes.

Como se dijo anteriormente, el principal aporte de esta modernización es eliminar parcialmente la obsolescencia de los equipos, dando así como mejoras, un completo stock de repuestos y un amplio rango de actualizaciones de software en los equipos que lo necesiten, sumando seguridad con estándares internacionales.

1.3. Descripción del problema a abordar

El proyecto completo consta de una Modernización del TCMS y una Modernización del Cofre de Tracción a 2 flotas diferentes de trenes en Chile.

Las flotas estudiadas se localizan en Santiago y poseen las siguientes cantidades de trenes y unidades:

- La **Flota 1** posee 72 unidades de 3 coches, lo que dá un total de **216 coches a modernizar**.
- La **Flota 2** posee ocho unidades de 8 coches, tres unidades de 7 coches, que en total dá **85 coches a modernizar**.

La ingeniería que involucra la modernización del TCMS, considera la memoria de cálculo, diseño de conectores para los componentes, selección de componentes según BenchMark de tecnologías existentes en el mercado, cableado y equipamiento, principalmente se desarrollará en Brasil donde, un conjunto de profesionales nacionales, trabajará en las exigencias establecidas por el contrato a nivel de prestaciones, plazos y seguridad ferroviaria.

Por otro lado, la ingeniería asociada a los procesos que involucra el diseño de la nueva caja de Tracción, se desarrollará en Italia.

El soporte en Chile no esta excluido en cuanto a involucrarse en esta modernización de trenes, debido a que estará presente en toda la etapa colaborando con los 2 países mencionados con información técnica de los trenes y componentes; además, será el único líder del proyecto donde se establecerá la industrialización del proceso de **Modernización del TCMS y del Cofre de Tracción**.

Los entregables industriales que debe desarrollar Chile son:

- **Listado de herramientas** a ocupar en cada una de las etapas asociadas a la Modernización.
- **Planes de izaje** para el montaje de los distintos componentes que por su naturaleza requieran izaje.
- **Instructivos de trabajo** para cada una de las etapas de la Modernización del TCMS.
- **PBOM** que corresponde al listado de materiales y equipos a utilizar en cada uno de los montajes de la Modernización del TCMS.
- **Jigs and tools** las cuales son herramientas no comerciales que se fabrican bajo un requerimiento especial con un proveedor local.
- **Layout del taller** que muestra la configuración de las zonas de trabajo donde se realizará la Modernización del TCMS y del cofre de Tracción.
- **PFMEA** es un estudio asociado al análisis de las fallas y sus posibles efectos; este entregable involucra a otras áreas además de la industrial, las cuales en conjunto clasifican las fallas de acuerdo a ciertos estándares establecidos por la empresa investigando los efectos que conllevan estas fallas. Luego, se establecerá un plan de acción para mitigar estas fallas.[8]

La secuencia de trabajo a utilizar a lo largo de cada unidad en estudio, se basa en modernizar un tren a la vez, mediante el siguiente proceso productivo:

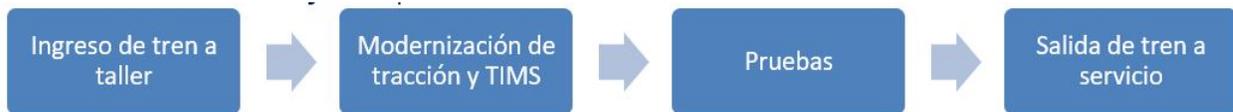


Figura 1.1: Secuencia lógica de Modernización a modo general.

Dentro de las actividades que se debe realizar en la Modernización de la flota están:

- Modificaciones en el TCMS de los coches motrices MC
- Modificaciones en el TCMS del coche remolque R
- Modificaciones en la caja de tracción de los coches motrices MC

El **TCMS** es Control de Trenes y Sistema de Monitoreo; es un tipo de tecnología asociado a control y monitoreo que actualmente llevan incorporados los trenes de alta tecnología en otros países. Incluye dispositivos, equipos electrónicos como softwares de tipo informático, interfaces Hombre-Máquina (la pantalla DDU), equipos remotos de entrada y salida digital y analógica (RIOM), MPU (Unidad de Procesamiento Principal), entre otras que se verán en los siguientes 3 sub-capítulos. El TCMS es un sistema de gestión típico utilizado en el control y comunicación para las diversas plataformas, señales y aplicaciones presentes en el rubro de transporte. El medio de transporte ferroviario es uno de los transportes más seguros en la actualidad a nivel mundial, dado que está sujeto a muchas normas internacionales donde Chile no es la excepción. La arquitectura del TCMS implementada en el rubro de transporte masivo de personas varía dependiendo de las necesidades. En el siguiente esquema se muestra

la actual arquitectura usada por la flota de trenes en estudio, la cual se separa en dos tipos de configuraciones (para más detalles de las configuraciones, leer el apartado 2.2 de este documento). Por simplicidad, se mostrará la arquitectura de la configuración compuesta por 1 unidad; en el caso de un tren que contiene 2 unidades acopladas, la arquitectura del TCMS se duplica, dando así como resultado, la comunicación de los componentes electrónicos de las 2 unidades idénticas.

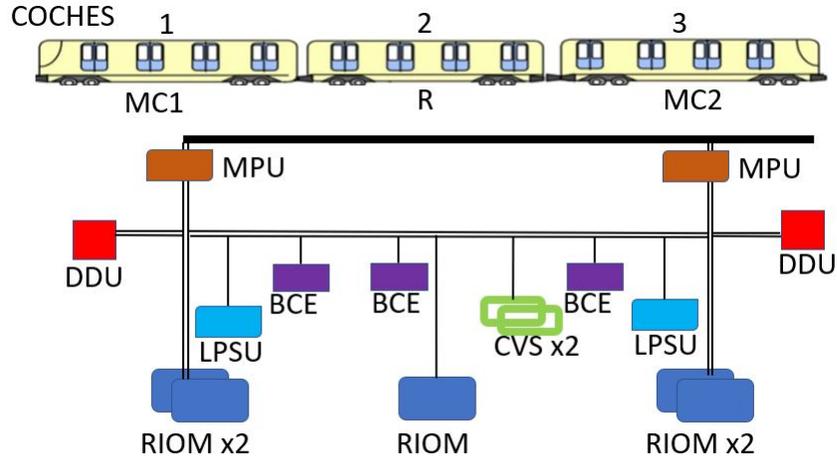


Figura 1.2: Arquitectura actual del TCMS para una unidad de la flota en estudio.

1.3.1. Modificaciones en el TCMS de los coches motrices

En cada uno de los coches motrices de las flotas en estudio, se cambiarán equipos y además, se añadirán equipos que poseen nuevas funciones. En la cabina de los coches MC en el armario eléctrico izquierdo se hará las siguientes modificaciones:

- **Sustitución de actual MPU e instalación de una Gateway:** Se sustituirá la actual MPU por una actualizada y compatible con los nuevos equipos. Además, se instalará un Gateway al lado derecho de la MPU.

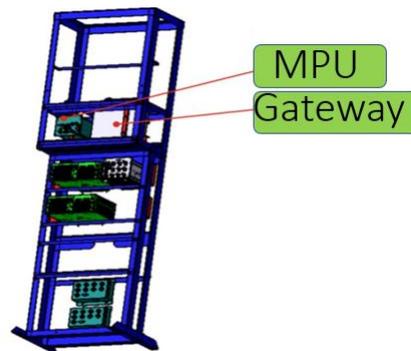


Figura 1.3: Sustitución MPU e instalación de Gateway en coches motrices.

- **Sustitución de las actuales 2 RIOM e instalación de un TRS y 2 CRS:** Se cambiarán las actuales RIOM dispuestas de manera horizontal por nuevos componentes cuya disposición será de manera vertical. Respecto de la instalación de ellos, se añadirá

un TRS aledaña a las RIOMs y también se instalarán 2 CRSs en el lugar ocupado por el procesador de DDU (parte inferior).

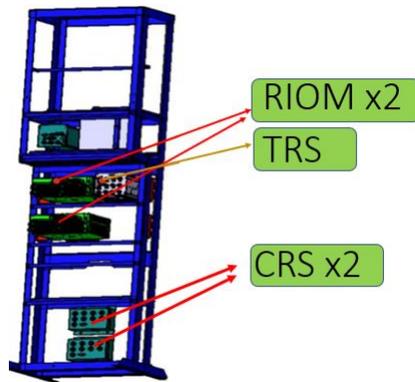


Figura 1.4: Sustitución de las RIOMs e instalación de TRS y 2 CRS en coches motrices.

En el armario eléctrico derecho (A.E.D.) se sustituirá 4 disyuntores que actualmente controlan la DDU, 2 RIOM y 1 MPU y se adicionarán 4 disyuntores para los nuevos componentes instalados que son 2 CRS, 1 Gateway y 1 TRS.

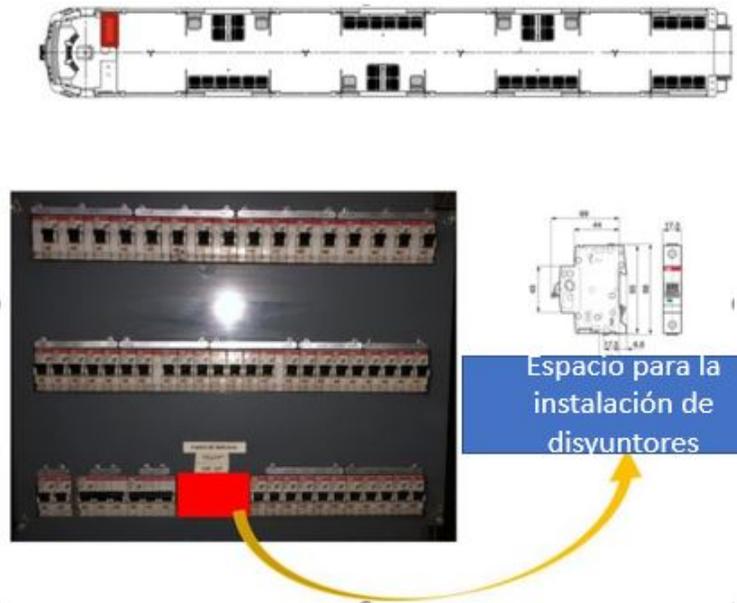


Figura 1.5: Sustitución de disyuntores e instalación de nuevos disyuntores en A.E.D.

Por otra parte, en los coches MC, específicamente en la cabina donde esta el conductor, se sustituirá la DDU por una que contenga nuevas funciones y versiones. La sustitución de este componente involucra trabajos de recableado hacia los A.E.I y A.E.D, donde se conectan otros componentes del TCMS.

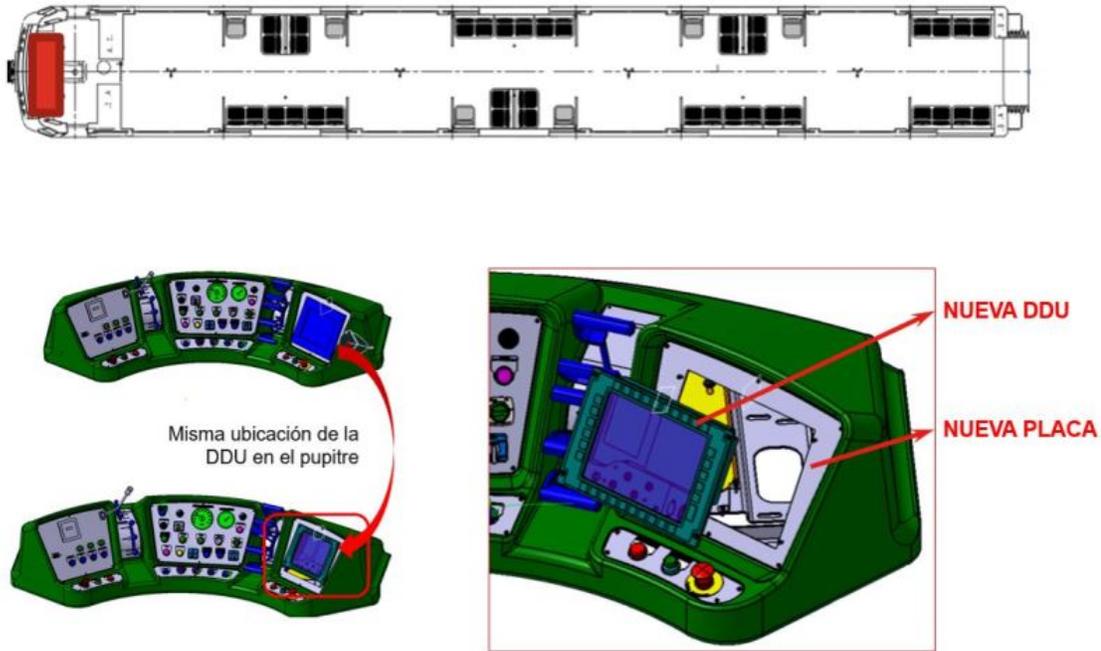


Figura 1.6: Sustitución de DDU en pupitre de coches MC.

1.3.2. Modificaciones en el TCMS del coche remolque

En el coche R de los trenes, se realizarán trabajos en el A.E.I y A.E.D con sustituciones y agregando nuevas componentes, las cuales se nombran a continuación.

- En el A.E.I se sustituirá la actual **RIOM** por una que sea compatible con el nuevo TCMS. Para ello, se realizará un cableado nuevo y se realizarán modificaciones en los soportes actuales de la RIOM. La sustitución de la RIOM se debe realizar ya que el cableado nuevo, contiene conectores que la actual RIOM no posee.

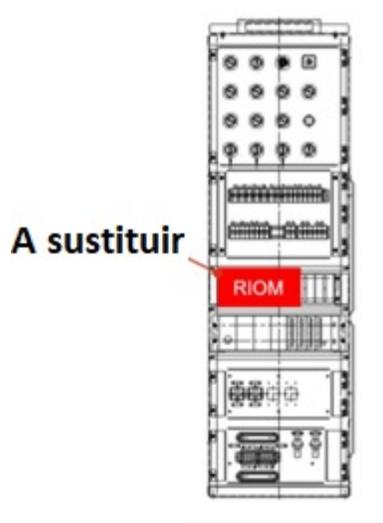


Figura 1.7: RIOM a sustituir en A. E. I, coche R.

- En el A. E. D se añadirá una CRS, mientras que en el A.E.I se añadirá 01 disyuntor de protección eléctrica para ésta. Además se sustituirá el disyuntor asociado a la RIOM del coche R.

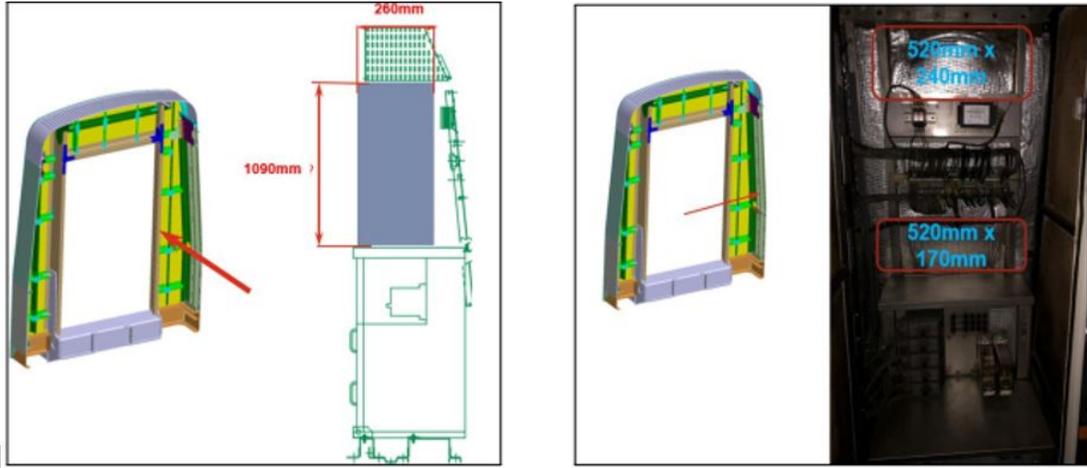


Figura 1.8: CRS a instalar en A.E.D, coche R.

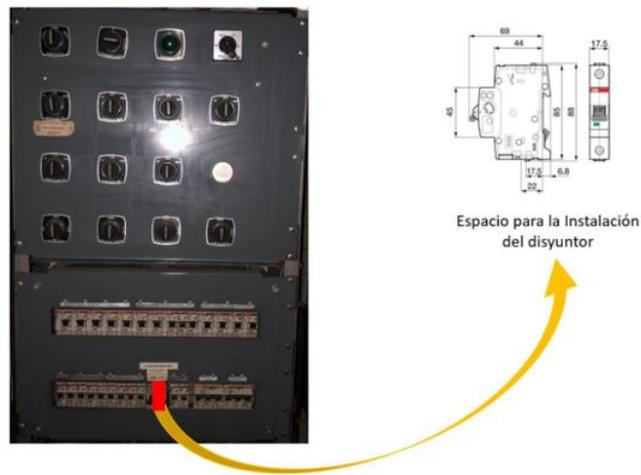


Figura 1.9: Disyuntor a instalar en A.E.I, coche R.

1.3.3. Modificaciones en el sistema de tracción de los coches motrices

Se modernizarán las actual OCUs (Unidades Convertidoras Onix) al igual que las interfaces cableadas. También se cambiará el software de la tracción y se reemplazarán componentes por obsolescencia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Planificar las etapas de una Modernización del Sistema de Control y Monitoreo de Trenes (TCMS) aplicable en 216 coches pertenecientes a una flota de trenes en Santiago de Chile.

1.4.2. Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general del trabajo, se propone los siguientes objetivos específicos:

- Clasificar la modernización del TCMS en etapas, para ello, se debe realizar un desglose de actividades y listado de herramientas a ocupar en cada actividad.
- Definir procedimientos de trabajo para instalar los equipos electrónicos intervenidos en la modernización del TCMS (Train Control and Monitoring System).
- Incluir medidas de mitigación de riesgo en el proceso de modernización del TCMS para las personas.
- Analizar distintos escenarios de productividad para finalizar la modernización del TCMS a tiempo.
- Realizar un Layout preliminar para desarrollar las actividades de modernización del TCMS en el taller de Santiago de Chile, Puente Alto.

1.5. Alcance del tema a abordar

El proyecto enmarcado en esta memoria corresponde a la **Modernización del TCMS** y a la **Modernización del Sistema de Tracción de Trenes**. De esta manera, se abordará un 25 % del proyecto propuesto, ya que se analizará 1 de 2 flotas existentes respecto a la **Modernización del TCMS**. La flota de trenes estudiada corresponde a la **flota 1** que contiene 216 coches.

El presente trabajo se enfoca en definir un instructivo de trabajo para las actividades de montaje de equipos de la Modernización del TCMS, definiendo listado de actividades, herramientas y analizando diversas configuraciones de productividad respecto a trabajadores y HH necesarias por unidad. Esta información se aplica a configuraciones de 1 unidad y de 2 unidades idénticas ensambladas. Cada unidad está compuesta por 3 coches acoplados, MC1, R y MC2.

Respecto a los instructivos de trabajo, su contenido será aplicable a labores relacionadas a la Modernización del TCMS, además se realizará el 25 % del total de los instructivos de esta Modernización (desmontaje, cambio de soportes, cableado y montaje de componentes), donde solo se ejecutará el asociado al montaje de componentes.

1.6. Recursos

Los recursos utilizados no pecuniarios para este trabajo, se determinarán con el desarrollo de este documento. Este proyecto contempla los costos de mano de obra y equipamiento de insumos y componentes electrónicos.

Los recursos no pecuniarios corresponden a las diversas capacitaciones a nivel técnico a las cuales asistirá el apoyo del equipo de industrialización, reuniones con profesionales de otros países vía internet y básicamente, softwares como “Microsoft Visio, Excel, Power Point y Word.”

1.7. Carta Gantt

La Carta Gantt del trabajo para el semestre Otoño 2021 es la siguiente:

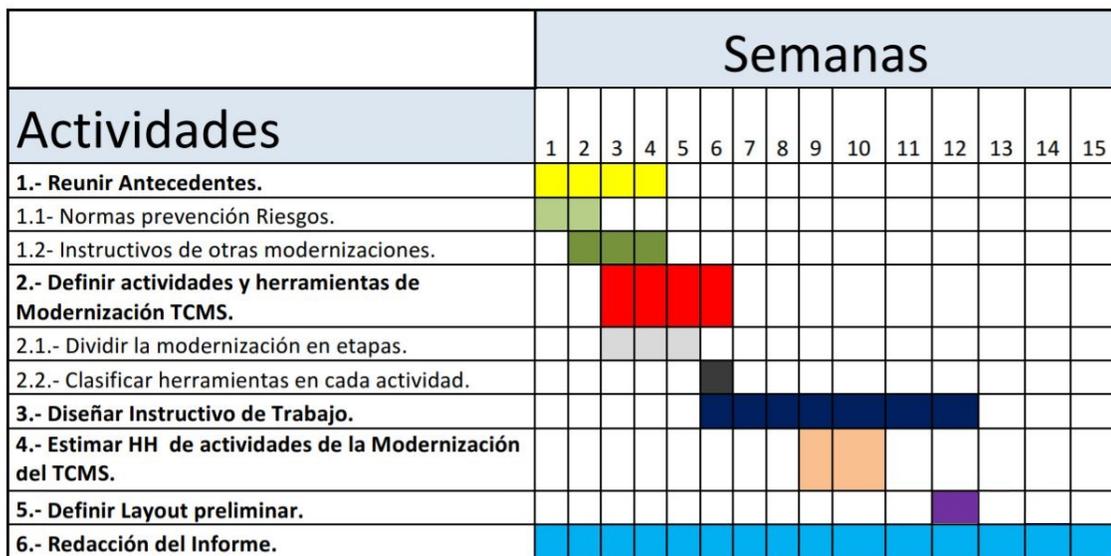


Figura 1.10: Carta Gantt del trabajo en semanas

El punto de partida corresponde al inicio de clases de la Universidad. De esta manera, la semana del 15 al 21 de marzo 2021 es la semana 1.

Capítulo 2

ANTECEDENTES

2.1. Definiciones y Abreviaturas

En la siguiente tabla se muestran las abreviaturas y acrónimos usados a lo largo de este libro.

Tabla 2.1: Abreviaturas utilizadas a lo largo del libro.

Abreviatura	Definición
AED	Armario eléctrico derecho
AEI	Armario eléctrico izquierdo
BCE	Control Electrónico de Freno
BOM	Bill of Materials
CCU	Unidad de control del Convertidor
CRS	Consist Ring Switch
CVS	Convertidor de Tracción Estático
DDU	Unidad Display del Conductor
HH	Horas Hombre
LPSU	Modulo Supervisor
MPU	Unidad de Procesamiento Principal
OCC	Caja central Onix
OCU	Unidad convertidora Onix
PBOM	Production Bill Of Materials
RIOM	Módulo Remoto de Entrada y Salida
T&C	Test and Commissioning
TCMS	Control de Trenes y Sistema de Monitores
TRS	Train Router Switch
[Vca]	Voltaje Corriente Alterna
[Vcc]	Voltaje Corriente Continua

2.2. Configuración y clasificación de los coches y trenes

En el mundo ferroviario, específicamente refiriéndose a las redes de metro en Chile existentes en Santiago, circulan trenes de diferentes estilos, tecnologías y largos. Dependiendo de la flota en estudio, se tienen distintas configuraciones. La flota en estudio para este documento está compuesta por trenes que contienen 1 unidad, o 2 unidades interconectadas. Cada unidad está compuesta por 2 coches MC y 1 coche R, donde el largo de cada uno de estos coches es 22,75 [m]. Las configuraciones se puede resumir de la siguiente forma:

Configuración 1: MC+R+MC

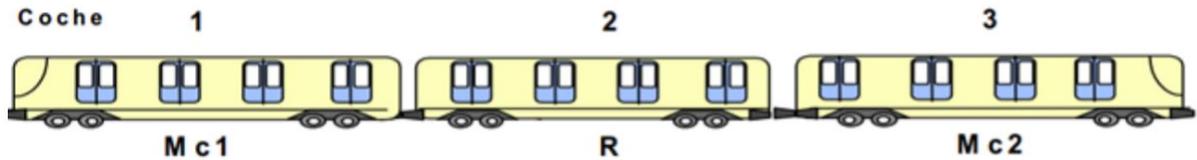


Figura 2.1: Configuración 1 de la flota: Tren compuesto por 1 unidad. Largo 67,25 [m].

Configuración 2: (MC+R+MC) \Leftrightarrow (MC + R + MC)

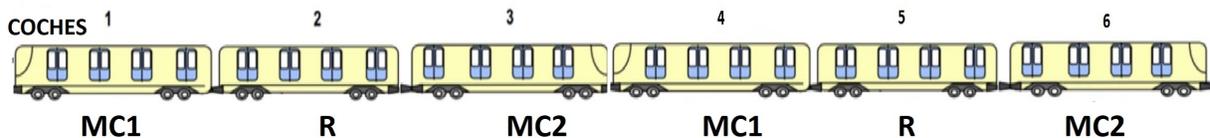


Figura 2.2: Configuración 2 de la flota: Tren compuesto por 2 unidades interconectadas. Largo 134,5 [m].

Donde MC y R corresponden a los llamados coches o carros:

- **MC**: Corresponde a Coche Motriz con Cabina.
- **R**: Corresponde al coche Remolque intermedio.

Tanto la configuración 1 como la 2 posee **Gangways o intercirculaciones** instaladas entre los coches de una unidad (MC+R+MC) los cuales permiten la libre circulación de los usuarios entre los coches mencionados. El Gangway es ocupado para conectar 2 coches y esta conformado por un sistema de 2 mitades tipo acordeón (similar al ocupado por Transantiago para conectar las 2 mitades del bus).

La diferencia entre estos 2 tipos de coches es el equipamiento que contienen.

Equipamiento Coche Motriz (MC):

- Todo coche motriz tiene una cabina de conducción en la cabecera delantera, la cual entre sus principales componentes contiene equipos de mando y control, como el dispositivo de hombre muerto, que corresponde a un sistema de seguridad cuyo principal finalidad es detener el tren en caso que el conductor se ausente o tenga algun problema de salud que dificulte accionarlo; también cuenta con un controlador principal de mando el cual se utiliza para variar la velocidad del tren y a su vez, detenerlo en caso de emergencia. La cabina posee puertas laterales de acceso en ambos lados para ingresar o salir desde/hacia el andén y 1 puerta que comunica la cabina con el salón donde están los pasajeros.
- 2 Captadores de corriente del tercer riel por Bogie, cuya función es coleccionar el voltaje de 750 [V] de corriente continua proveniente del riel y transmitirla al tren mediante el CVS (ubicado en el coche remolque). Cada coche MC posee 2 bogies, por lo que el coche MC posee 4 colectores de corriente del tercer riel.^[5]
- 2 Armarios eléctricos que poseen equipos como la RIOM, MPU, ACU y disyuntores.
- Cajas de control de tracción.
- 2 Inversores de tracción por coche que hacen posible el movimiento del tren en 2 sentidos.
- Enganche automático cuya función es interconectar 2 unidades idénticas a nivel neumático y eléctrico, un punto importante a del enganche automático es que permite la comunicación del TCMS entre 2 unidades idénticas.

Equipamiento Coche Remolque (R):

- **2 Convertidores estáticos (CVS) con cargadores de batería:** este equipo es fundamental en el tren ya que alimenta la gran mayoría de los equipos y sistemas que contiene el tren tales como iluminación en cada uno de los coches, puertas automáticas, calefacción, ventilación. Otra característica clave de este equipo es que convierte los 750 [Vcc] de entrada a los siguientes voltajes de salida: 110 [Vcc], 24 [Vcc], 220 [Vca] y 380 [Vcc].
- Cofre de baterías: Contiene 78 celdas cuya configuración es en serie, generando así una tensión de 110 [Vcc]. La autonomía de este conjunto de baterías en casos de emergencia es de al menos 1 hora manteniendo en la unidad los sistemas principales y de emergencia como lo son el de comunicación, alumbrado de emergencia, frenos y luces exteriores. Este sistema se acciona cuando se produce una caída de tensión en las vías, dejando al tren desenergizado.

El movimiento de cada unidad se hace posible debido a que los coches MC1 y MC2 poseen un sistema de tracción capaz de mover la unidad en ambos sentidos, mientras que el coche R solo es remolcado, vale decir, no tiene un sistema autónomo de tracción que permita el movimiento en solitario de este.

Para facilitar la comprensión del trabajo a realizar en este informe, específicamente la labor de diseñar el procedimiento de trabajo para la modernización del TCMS, cada uno de los coches se sub-dividirá como se muestra a continuación.

- **Bajo Bastidor:** Es el área inferior del coche, como se muestra en la figura 2.3 en el rectángulo verde. En ella, se encuentran los bogies, suspensión, caja de tracción, cableado eléctrico, entre otras.



Figura 2.3: Bajo bastidor.[1]

- **Interior Coche:** Corresponde al área que se encuentra por dentro del coche, lugar donde se puede encontrar los asientos, luminaria, armarios eléctricos, pasa manos, puertas, pupitre y asiento conductor entre otras; y tiene interfaz directa con el pasajero.



Figura 2.4: Interior del tren. [2]

2.3. Descripción de los equipos intervenidos en la modernización del TCMS

Actualmente los trenes poseen un Sistema de Control y Monitoreo (TCMS), que está compuesto por una unidad de procesamiento principal (MPU) para controlar al tren, al equipo de control, comando y monitoreo electrónico. También, el TCMS incluye un Módulo de Entradas y Salidas Remoto (RIOM) cuya función es transmitir información entre la unidad de procesamiento principal y las salidas y entradas del tren, control electrónico, y por último,

equipos de monitoreo que son conectados a subredes para transmitir datos, etc.[6]

El TCMS proporciona un único punto de control para todos los sub-sistemas que posee cada unidad, en pocas palabras, el TCMS inserto en los trenes tiene la finalidad de supervisar y a su vez controlar una variedad de sub-sistemas y funciones, entre las que se destaca la apertura de puertas, control de frenos y sistemas de seguridad.[10] La función más importante que tiene el TCMS es monitorear el estado del tren y el equipamiento de este. Como se ha dicho anteriormente, el TCMS posee un sinnúmero de utilidades y servicios los cuales se satisfacen mediante la MPU y DDU. Un ejemplo de esto es la ayuda que tiene el conductor en la cabina mediante la pantalla DDU, ya que esta muestra información sobre el estado operativo del tren.[9] Esta información es obtenida por la MPU a través de la red, enlaces de entrada y salida y por las RIOMs. La principal información que muestra la DDU es la relacionada al estado del tren en general, estado de la tracción, una lista de las fallas respecto al funcionamiento, el kilometraje actual, entre otras, siendo la pantalla DDU ubicada en el pupitre de las cabinas, la que permite una interacción entre el conductor y el sistema TCMS inserto en el tren mediante su pantalla táctil. Cuando el conductor en la cabina necesita información del tren manipula la pantalla y obtiene una respuesta de esta en función del requerimiento.[3].



Figura 2.5: Pantalla DDU. [4]

En la etapa de modernización se instalarán equipos electrónicos actualizados en cuanto a versión, hardware y software. Adicionalmente se instalarán equipos que no forman parte del actual TCMS, uno de ellos es el "**Gateway**" que brinda otro tipo de funciones. Este equipo permite automatizar el TCMS y corresponde a una puerta de enlace de datos que conecta la red de control de cada coche local a la red de control de las unidades principales. Una de las características que posee el Gateway es brindar soporte para el control completo de múltiples actividades a partir de una sola cabina, dentro de estas actividades se encuentra el control de tracción y frenado, control de puertas, diversos diagnósticos al interior del tren, aire acondicionado, entre otras.[7]

Por debajo de tren, en la zona de bajo bastidor se encuentran equipos de suma importancia cuya función es controlar y comunicar señales al TCMS, estos equipos principalmente son los sensores de velocidad, unidad supervisor, unidades controladoras Onix, entre otras.

A grandes rasgos, el movimiento del tren ocurre debido a que las ruedas giran por acción de 4 motores trifásicos. A su vez, estos obtienen la corriente alterna de las 2 OCUs. Además

de ello, las CCUs localizadas en las OCUs envían una señal al supervisor quien literalmente supervisa y envía señales a la MPU.

Dentro de las principales tareas del convertidor de tracción, una de ellas es convertir el voltaje de 750 [Vcc] proveniente de la barra guía hacia un voltaje inferior trifásico alterno cuya finalidad es alimentar los 4 motores de corriente alterna encontrados en la cadena de tracción de cada coche. Estos motores se encargan de transformar la energía eléctrica proveniente del convertidor (trifásica alterna) en energía mecánica en forma de movimiento de las ruedas para el sistema de tracción.

La unidad supervisora tiene dentro de sus funciones la de reportar al TCMS la situación de la demanda de algunos equipos de propulsión tales como motor, freno y fallos en los equipos de la tracción. De esta manera, el TCMS detecta y encuentra las fallas a nivel de unidad o tren. Otra de las funciones que tiene el LPSU es calcular la velocidad referencial del tren al leer las señales de entrada recibidas por las CCUs, las que a su vez reciben señales provenientes de los sensores de velocidad. La unidad supervisor también tiene la misión de calcular constantemente la potencia que entra en la CCU, la potencia para los motores, y por último, para la resistencia de freno.

2.4. Estimación del costo económico

La modernización por implementar en los trenes consta en primera instancia del TCMS y luego la asociada a la tracción, estas 2 modernizaciones están asociadas entre sí ya que tienen en común equipos electrónicos como el LPSU, sensores de velocidad, entre otros; de esta manera, para hablar del efecto económico que conlleva la modernización del TCMS se debe analizar más bien, la del proyecto completo (TCMS + Tracción), la cual se puede estimar de una forma convencional incluyendo las siguientes simplificaciones:

- Estimación de 10.000 HH tanto en la realización del proyecto de modernización del TCMS como en la de Tracción (proyecto que no forma parte del trabajo).
- Costo de \$9.000 por HH en la modernización.

De esta manera, se tiene que el proyecto completo correspondiente a **Tracción+TCMS** contempla 20.000 HH, cuyo costo promedio de HH alcanza los \$9.000, lo cual llega a la suma de \$180.000.000 en costo de mano de obra.

El costo total del proyecto se divide en un 20% en la mano de obra y un 80% en la inversión de equipos electrónicos, de esta manera, el costo total del proyecto es:

$$20.000[HH] \times \frac{9.000[\frac{\$}{HH}]}{0.2} = \$900.000.000 \quad (2.1)$$

Donde el costo de los equipos corresponde al 80% del costo total, de esta manera, el costo en equipamiento electrónico alcanza los 720 millones de pesos.

Como se dijo anteriormente, el costo total del proyecto es 50 % TCMS y 50 % Tracción, por lo que el costo de cada modernización aproximadamente es **\$450.000.000**.

Del párrafo anterior, se puede desprender que el costo es bastante significativo, ya que se requiere una inversión elevada, la cual entre sus principales ventajas tiene dar mayor seguridad a cada uno de los miles de pasajeros que sube a diario en los trenes.

2.5. Curvas de aprendizaje

El concepto de curva de aprendizaje se definió por primera vez en 1936 por Theodore Paul Wright.

Una curva de aprendizaje es una línea o función que muestra el comportamiento del tiempo de producción por unidad versus el número de unidades de producción, también corresponde al porcentaje del éxito que se consigue en el entrenamiento a medida que pasa el tiempo. La estimación de esta curva y el conocimiento de ella, es muy útil para planificar cantidades de trabajo y así, estimar el tiempo requerido en completar dichas actividades. Un ejemplo de una curva de aprendizaje se visualiza en la siguiente figura.

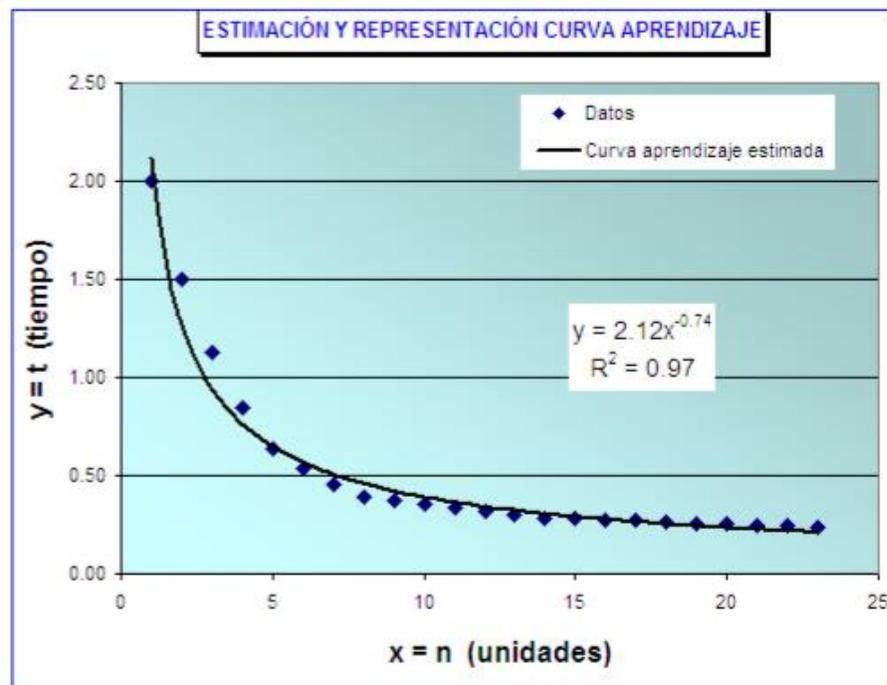


Figura 2.6: Curva de aprendizaje logarítmica entre el tiempo de producción por unidad y unidades consecutivas.[11]

Existen curvas de aprendizaje cuyos métodos de aplicación son: método aritmético, logarítmico y del coeficiente de la curva de aprendizaje.

En las siguientes subsecciones se describen los primeros 2 métodos.

2.5.1. Método aritmético

El método aritmético es uno de los más simple para los problemas de curvas de aprendizaje. Se tiene que cada vez que la producción se duplica, el tiempo requerido por unidad disminuye un factor constante, el cual corresponde a la conocida tasa de aprendizaje, la fórmula del método aritmético es la siguiente:

$$T_{2N} = L \times T_N \quad (2.2)$$

Donde:

T_{2N} : Corresponde al tiempo de producción de la unidad 2N.

T_N : Es el tiempo de producción de la unidad N.

L : Corresponde a la tasa de aprendizaje.

Notar que este método solo permite obtener el tiempo de producción por unidad para valores duplicados, es decir, sirva para hallar el tiempo de la unidad 2N. Si se requiere obtener el tiempo de producción de alguna unidad que no sea el doble de la que se tiene, este método no funciona, sin embargo, el siguiente método es más completo y funciona para todos los casos.

2.5.2. Método logarítmico

Como se dijo en el párrafo anterior, este método sirve para calcular el tiempo de producción por unidad requerido para cualquier unidad, su fórmula es la siguiente:

$$T_x = T_1 \times x^{\frac{\log L}{\log 2}} \quad (2.3)$$

Donde:

T_x : Corresponde al tiempo de producción de la unidad x.

x : Corresponde a la unidad x.

L : Corresponde a la tasa de aprendizaje.

T_1 : Es el tiempo de producción de la primera unidad.

Para estimar la tasa de aprendizaje se debe tener el tiempo de producción de la unidad x, y también el tiempo de producción de la unidad 2x, de esta manera la tasa de aprendizaje se calcula como:

$$L = \frac{T_{2x}}{T_x} \times 100 \quad (2.4)$$

Donde:

T_x : Corresponde al tiempo de producción de la unidad x.

T_{2x} : Corresponde al tiempo de producción de la unidad 2x. [12]

Capítulo 3

METODOLOGÍA

El presente trabajo está compuesto mayoritariamente de recopilación de información y de elaboración de documentos de índole industrial. Es por esto que se seguirá un orden lógico para lograr las metas estipuladas en el subcapítulo de objetivos específicos.

El desarrollo de este trabajo se puede organizar en 4 etapas. La primera, corresponde a la generación de un desglose de actividades y listado de herramientas de la modernización del TCMS, a través de una serie de reuniones con profesionales de Chile y Brasil. La segunda, corresponde a la confección de algunos instructivos de trabajo asociados al montaje de componentes electrónicos del TCMS. La tercera etapa corresponde a la generación de un Layout preliminar asociado a la modernización del TCMS. Finalmente, en la cuarta etapa se estiman las HH requeridas por cada unidad y se plantean 5 escenarios de productividad distintos, luego de ello, se analiza toda la información y se concluye.

3.1. Desglose de actividades de la modernización del TCMS

En primera instancia se realizan reuniones con profesionales de Chile, para proponer y definir las actividades de la modernización junto con las secuencias lógicas a seguir de cada una de estas actividades. Al cabo de cuatro semanas de trabajo, se visita un tren y se realiza un seguimiento a la arquitectura actual del TCMS, donde se visualiza los equipos que se deben desmontar y montar. Luego, se hace una lluvia de ideas asociada a la secuencia lógica en que los equipos electrónicos deben ser desmontados y también, montados.

Posteriormente, se realiza una reunión con el departamento de ingeniería de Brasil de la empresa, donde se discute y analiza la secuencia óptima de actividades en la modernización del TCMS, en la cual se tiene como hipótesis realizar 4 fases, una tras otra. Primero el desmontaje de componentes electrónicos. Luego, la etapa de modificaciones en el tren, que incluye el desmontaje y montaje de soportes de los equipos actuales y equipos nuevos que se instalarán o sustituirán, respectivamente. Tercero, instalación de cableados para todos los componentes electrónicos que se instalarán. Finalmente, la etapa de montaje de componentes con sus respectivos cableados.

3.2. Listado de herramientas en la modernización del TCMS

En primera instancia, se observan los distintos tipos de mantenimiento preventivo aplicados al tren tanto en el interior coche como en el bajo bastidor, registrando las herramientas utilizadas con el fin de confeccionar un inventario de herramientas.

Luego de obtener la secuencia de actividades en la modernización del TCMS, y por consiguiente los equipos, la empresa realiza la BOM (listado de materiales), en consecuencia se investiga todas las herramientas que se utilizan, tanto para el desmontaje como el montaje de los componentes electrónicos. Primero se analiza la etapa de desmontaje de componentes y la de modificaciones en el tren, en donde para toda la pernería, soporte y tornillería conocida, se propone utilizar las herramientas que fueron registradas en el inventario generado en la etapa anterior. Finalmente, se inspecciona la pernería nueva en catálogos, o bien, en la web. Esta búsqueda se realiza en base a la pernería existente, específicamente con la norma asociada al perno, arandela o tuerca. Donde a partir de este dato, se clasifica el tipo de herramienta a utilizar. Los tipos de pernos más utilizados son:

- **Perno hexagonal**, en este caso la herramienta a utilizar corresponde a dado hexagonal y/o llave punta corona dependiendo de la métrica del perno o tuerca en estudio.
- **Perno allen**, para ello se debe ocupar como herramienta un **dado allen** y una llave allen dependiendo de la métrica del perno.

3.3. Confección de instructivos de trabajo

Se confeccionan instructivo de trabajo para algunas actividades del montaje de componentes electrónicos de la modernización del TCMS, cada uno de ellos contiene la siguiente información.

- Listado específico de herramientas a utilizar que corresponde a una tabla con el listado y tipo de herramienta por cada actividad.
- Una tabla resumen de los materiales a ocupar, indicando en ella, el nombre técnico del material, número de pieza (referencia), cantidad necesaria y la ubicación donde se instala.
- Figuras ilustrativas del ensamble de los materiales y de los terminales electrónicos del componente a instalar.
- Secuencia de trabajo para montar el componente electrónico en estudio incluyendo en ella el porceso de torque.

Con esta información se procede a crear los instructivos de trabajo.

Primero se genera el listado de herramientas a ocupar en la actividad, luego se muestran las figuras representativas que contienen los materiales, luego se inserta la tabla resumen de los materiales. Finalmente, se adiciona la secuencia de trabajo para montar el componente, en la cual se describe cada uno de los pasos a seguir, en relación al listado de materiales.

Para ello, la nomenclatura utilizada para mencionar el material, es a través del número de referencia que posee éste, para facilitar la comprensión lectora.

3.4. Obtención layout preliminar de la modernización del TCMS

La metodología empleada para diseñar el layout preliminar asociado a la modernización del TCMS, es la siguiente:

- Traspasar planos del taller de Puente Alto, desde el papel hacia un documento en Microsoft VISIO de carácter editable.
- Designar un espacio para el tren cumpliendo las restricciones de la empresa.
- Recopilar información de las actividades de la modernización del TCMS.
- Para aquellas actividades que requieran un meson de trabajo, anotarlas y designar un espacio cerca del tren.
- Diseñar un espacio para la maqueta de cables, herramientas y gavetas a utilizar.
- Dado que se ejecutan 2 modernizaciones en simultáneo, se debe generar todo el equipamiento necesario para la modernización de los cofres de tracción, esta información se pide a la empresa. La idea de mezclar el equipamiento de las 2 modernizaciones es generar un único layout con todo lo indispensable para llevar a cabo ambas modernizaciones.

3.5. Estimación HH requeridas por unidad

Para finalizar la modernización del TCMS a tiempo y así, no incurrir en multas asociadas a retrasos, es necesario realizar un análisis de productividad bajo distintos escenarios.

Primero se debe construir una línea de tiempo, que contenga información relacionada a la evolución de la modernización del TCMS, es decir, una tabla en función de las unidades y de su evolución en el tiempo. Para realizar esta tabla es necesario usar la información de la cronología de la modernización del TCMS en los trenes, respecto a fecha de inicio y termino de la ejecución de las actividades del TCMS. Luego, se debe estimar el tiempo máximo promedio disponible por unidad, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Tiempo_{unidad} = \frac{Días\ disponibles}{Unidades} \quad (3.1)$$

Donde **Días disponibles** corresponde a la cantidad de días entre las fechas de inicio de la segunda unidad a modernizar y la última, mientras que **Unidades** corresponde a la cantidad de unidades a modernizar luego del prototipo, lo cual es 71.

Obs: La primera unidad según el contrato estipulado por la empresa, estará en modernización durante un periodo de 9 meses, luego de ello, se modernizan las **71 unidades restantes**.

Luego de generar la tabla de evolución del TCMS, se estiman las HH requeridas para las actividades de la Modernización del TCMS, para ello, se debe seguir la siguiente metodología:

- Dirigirse al taller de la empresa, subir al interior del tren con un experto, luego estimar las HH para las actividades de desmontaje de componentes y modificaciones al interior del tren, éstas respecto a desmontaje de soportes actuales y montaje de nueva soportería.
- Luego, comunicarse con el equipo de trabajo de Brasil, vía conferencia, con la finalidad de estimar las HH requeridas para el montaje de todos los componentes, acá la reunión se centra en la instalación de los nuevos equipos respecto a cableado y soportes.
- El tercer paso, es ir bajo el tren y con ayuda de los profesionales de Brazil (como el paso anterior), estimar las HH requeridas para el desmontaje y montaje de bogies, la inserción de los nuevos cableados y soportes de estos, para todas los componentes electrónicos involucrados en el TCMS en el área bajo bastidor.
- Realizar una tabla resumen para las HH requeridas en el interior del tren y otra relacionadas con el bajo techo y bajo bastidor. Para ello se debe ocupar las siguientes fórmulas:

$$HH_{TOTAL} \text{ BajoTecho} + \text{ BajoBastidor} = 2 \times \sum \text{ BajoTecho} + 2 \times \sum \text{ BajoBastidor} \quad (3.2)$$

$$HH_{TOTAL} \text{ Interior Coche} = 2 \times \sum \text{ CocheMC} + \sum \text{ CocheR} \quad (3.3)$$

3.6. Análisis de productividad bajo distintos escenarios

Para analizar cada uno de los casos, se hará uso de la **Curva de aprendizaje** presente en **Antecedentes**.

La metodología a seguir en esta sección es la siguiente:

- Estimar HH que requieren cada una de las primeras 4 unidades en los 5 escenarios distintos.
- Calcular L_1 , L_2 y L en los 5 escenarios.
- Obtener la fórmula para el tiempo T_x que toma modernizar cada unidad, en los 5 escenarios.
- En un gráfico de líneas, mostrar la evolución de las 5 curvas logarítmicas (1 por cada escenario).
- Obtener la fórmula para las $HH_{acumuladas}$ hasta la unidad n en cada uno de los escenarios.
- Graficar las $HH_{acumuladas}$ en los 5 escenarios, insertando el valor final de estos, es decir, la sumatoria de HH requeridas para modernizar las 71 unidades luego de la unidad cero.

- Realizar un gráfico de barras que contenga un resumen de los 5 escenarios con las horas totales requeridas.
- Obtener el costo total de la modernización del TCMS en los 5 escenarios y obtener el promedio de estos.

Los escenarios se analizan ocupando curvas de aprendizaje con el **método logarítmico** aplicado al tiempo de producción de las 71 unidades luego de la unidad cero. Esta última unidad se moderniza en un periodo de 9 meses, tiempo más que necesario para realizar pruebas y distintas formas de ordenamiento para encontrar la manera óptima de llevar a cabo la modernización del TCMS. De esta manera, esta unidad queda descartada para los diferentes escenarios, ya que sin importar el escenario que se está evaluando, el tiempo disponible para esta unidad seguirá siendo el mismo. En consecuencia, el estudio asociado a los escenarios será para las 71 unidades restantes y tendrá como factores claves, la cantidad de trabajadores disponibles y el tiempo requerido en ejecutar la Modernización del TCMS.

Observación: Unidad cero se refiere a la unidad que se moderniza durante los primeros 9 meses, luego de ello, se contabiliza las unidades desde la 1 hasta la 71, esto es, para efectos de cálculos.

Para estimar la tasa de aprendizaje L , se promedian 2 tasas distintas de aprendizaje cuyos cálculos, se obtienen de los primeros cuatro valores de tiempo requerido para las actividades de Modernización del TCMS, de la siguiente manera:

$$L_1 = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.4)$$

$$L_2 = \frac{T_4}{T_2} \quad (3.5)$$

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (3.6)$$

Donde:

L :Corresponde a la tasa de aprendizaje.

L_1 : Es la la tasa de aprendizaje asociada a producir el doble de 1 unidad.

L_2 : Es la tasa de aprendizaje asociada a producir el doble de 2 unidades.

T_1 : Corresponde al tiempo que toma modernizar la unidad 1.

T_2 : Corresponde al tiempo que toma modernizar la unidad 2.

T_4 : Corresponde al tiempo que toma modernizar la unidad 4.

Para analizar cada uno de los escenarios, se ocupan valores referenciales para el tiempo requerido en modernizar el TCMS de las primeras 4 unidades, este conteo se realiza luego de haber modernizado la primera unidad durante un periodo de 9 meses, es decir, los tiempos estimados en la siguiente tabla, corresponden a las primeras 4 de las 71 unidades restantes a modernizar, luego de haber finalizado las actividades del TCMS de la unidad prototipo.

Tabla 3.1: HH estimadas que toma modernizar el TCMS de las 4 primeras unidades en los cinco diferentes escenarios a analizar.

N° de Tren	Escenarios				
	Muy optimista	Optimista	Base	Pesimista	Muy pesimista
1	720	608	240	624	624
2	550	480	240	600	608
3	504	424	240	504	560
4	396	384	240	464	512

Los valores referenciales utilizados en la tabla 3.1, fueron estimados por profesionales expertos que posee la empresa, cuya fuente de datos es respecto de otras modernizaciones pasadas.

Se debe notar que en los escenarios optimista, pesimista y muy pesimista se escogió un valor cercano para el tiempo asociado a modernizar la primera unidad, pero en el escenario muy optimista, se escogió un valor más alto que corresponde a 720 [HH]. Este valor es superior, puesto que en este escenario se realiza una metodología diferente, donde se realizan videos, capacitaciones especiales, entre otras técnicas disponibles por la empresa, para reducir así, el tiempo necesario de las actividades del TCMS en las unidades que se modernizan inmediatamente después.

Capítulo 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Desglose de actividades del TCMS y listado de herramientas a ocupar

Al cabo de algunas semanas en la empresa, se empezó a ocupar recursos claves de la empresa prestadora de servicios, tales como el uso de las instalaciones, almacén y trenes principalmente.

El desglose de actividades se definió en múltiples reuniones con profesionales de Brasil y Chile. En estas reuniones, se fue explicando lo exigido por la empresa a nivel de contrato, mecánico, eléctrico e industrial. Cabe destacar que el enfoque de estas reuniones es comprender que tipo de modificaciones se debe realizar en cada una de los coches que componen a una unidad.

El proceso productivo que sigue la modernización del TCMS en la flota se puede resumir en 4 etapas, las cuales aplican al interior y por bajo bastidor del tren, cuyo resumen es:

- **Desmontaje de equipos:** Esta etapa está caracterizada por el retiro de componentes a sustituir en el proceso de modernización del TCMS. Cabe destacar que el retiro de estos componentes se realiza solamente al interior de cada coche de una unidad.
- **Modificaciones en el tren:** Es la segunda fase del proceso de modernización del TCMS, el cual da lugar al desmontaje de la soportería de los equipos electrónicos intervenidos y a la instalación de una nueva soportería al interior del tren, cuya finalidad es sostener todos los equipos a instalar y sustituir durante el proceso.
- **Cableado:** Luego de haber retirado los equipos electrónicos intervenidos y haber realizado las modificaciones pertinentes respecto a los soportes para los equipos, continúa la etapa de cableado, fase en la cual se debe fabricar distintas extensiones de cables y terminales para llevar a cabo una correcta fijación a nivel de red eléctrica y de datos.

Se deben realizar nuevas conexiones entre coches por medio de jumpers, estos permiten la continuidad del cableado eléctrico mediante conectores.

- **Montaje de equipos y puesta en marcha:** Corresponde a la última etapa donde se debe proceder al montaje de los equipos nuevos que se deben instalar para luego realizar la puesta en servicio (**T&C**). Cabe destacar que la T&C es la fase más importante dentro del proceso de modernización del TCMS ya que en esta se debe verificar el correcto funcionamiento de cada componente como de la funcionalidad del TCMS por completo incluyendo, además, la prueba de los otros subsistemas que no se vieron intervenidos para comprobar que todo está en orden, al igual que la funcionalidad del tren, tanto operativa, como de seguridad ferroviaria.

Las actividades que se deben realizar en la modernización del TCMS de los trenes se separarán por coche, como se mencionó más arriba; la configuración de trenes estudiada esta compuesta de 2 coches motrices (uno en cada extremos) y 1 coche remolque entre medio, de esta manera, las actividades variarán dependiendo del coche en estudio (MC o R), esto se ejemplifica en la siguiente imagen:

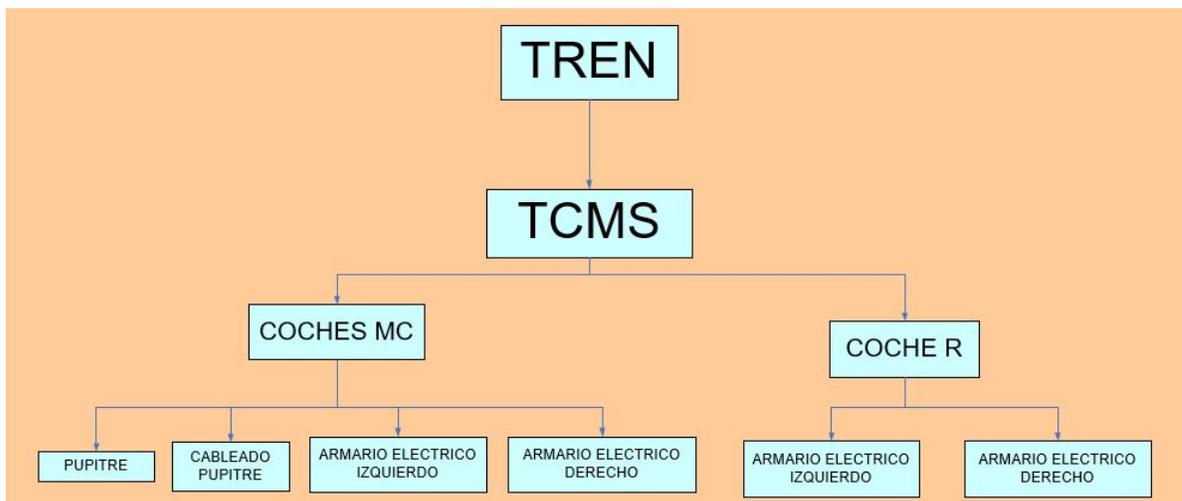


Figura 4.1: Clasificación actividades de modernización de TCMS.

En la figura anterior, se tiene el coche R y por otra parte los coches MC, respecto de los coches MC se puede hacer la siguiente clasificación de procesos y ubicaciones, los cuales son:

- **PUPITRE:** Esta asociado al proceso de desmontaje y montaje de los equipos electrónicos intervenidos en el PUPITRE del tren cuya ubicación es la cabina donde va sentado el conductor, el principal equipo reemplazado en esta sección es la DDU.
- **CABLEADO PUPITRE:** Corresponde a la etapa de instalar el nuevo cableado en el PUPITRE para conectar la nueva DDU.
- **A.E.I.:** Corresponde al armario izquierdo que va ubicado detrás del conductor en los coches MC, contiene la mayoría de los equipos intervenidos en el TCMS tales como RIOM, MPU y procesador de DDU. El armario eléctrico izquierdo tiene asociado una secuencia de 4 procesos que corresponden al desmontaje de equipos existentes, el cambio de soportes para los nuevos equipos, el cableado al interior del armario y por último el montaje de los nuevos componentes.
- **A.E.D.:** Corresponde al armario derecho ubicado al costado derecho trasero del conductor, contiene principalmente todos los disyuntores asociados a componentes eléctricos

del coche. Este armario tiene asociado los procesos de desmontaje de disyuntores existentes, cableado para los nuevos disyuntores, y montaje de los nuevos disyuntores. La instalación de este componente eléctrico es de vital importancia ya que corta el paso de corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones, además sirve para proteger a los pasajeros, conductor y a los dispositivos electrónicos con sus procesos respectivos.

El coche R tiene asociado la ubicación del armario eléctrico izquierdo y derecho. Notar que no posee pupitre ni cableado de pupitre.

A lo largo de la Modernización del TCMS, se hablará de A.E.I y A.E.D. para hacer alusión a ubicaciones en los distintos coches MC y R. De esta manera, una unidad tanto en el coche MC_1 como en la R, la ubicación de los A.E.I están a la izquierda de la DDU que se encuentra en la parte delantera del coche MC_1 , mientras que el A.E.I del coche MC_2 se encontrará a la derecha de la DDU del coche MC_1 , en la siguiente figura se resume los lados de cada coche:

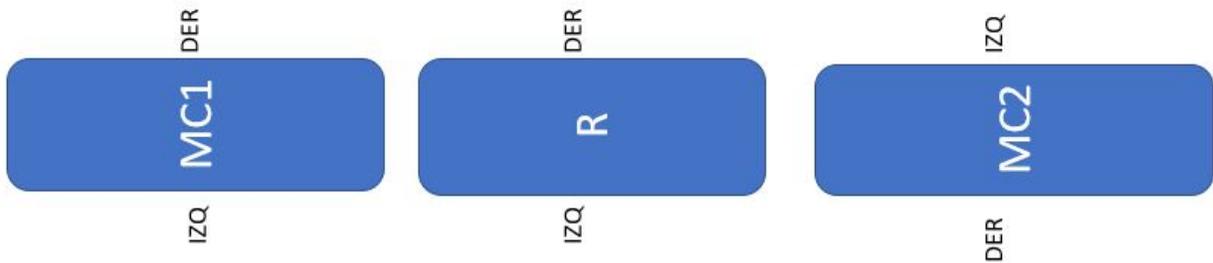


Figura 4.2: Designación lados en 1 unidad.

En la siguiente sección, se explica en detalle las actividades a realizar en las ubicaciones Pupitre, A.E.I y A.E.D de los coches MC.

Todas las actividades a realizar en la modernización se clasificarán dependiendo del coche en estudio y del grupo que se esté analizando, los cuales son:

4.1.1. Pupitre de coches MC

La ubicación del pupitre está en la cabina de los coches motrices, donde se ubica el conductor. En esta área se ubica la **DDU**, la cual se representa en la siguiente figura con color negro.



Figura 4.3: DDU de coches MC.

Las herramientas necesarias para desmontar la DDU son:

Tabla 4.1: Herramientas a ocupar en el desmontaje de la DDU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de cruz	PH2
Llave allen	2,5 [mm]
Llave punta y corona	8 [mm]
Dado hexagonal	7 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Llave patrón	Específica

La llave patrón es utilizada para abrir puertas y piezas específicas dentro del tren tales como: armarios eléctricos, interiorismo del bajo techo (al interior del tren), etc.

4.1.2. A.E.I de coches MC

La ubicación del A.E.I. se encuentra en la cabina del coche MC detrás del conductor. En este armario se encuentra: una MPU, dos RIOMs y un procesador de DDU, en la siguiente imagen se muestra la ubicación precisa de los equipos mencionados.

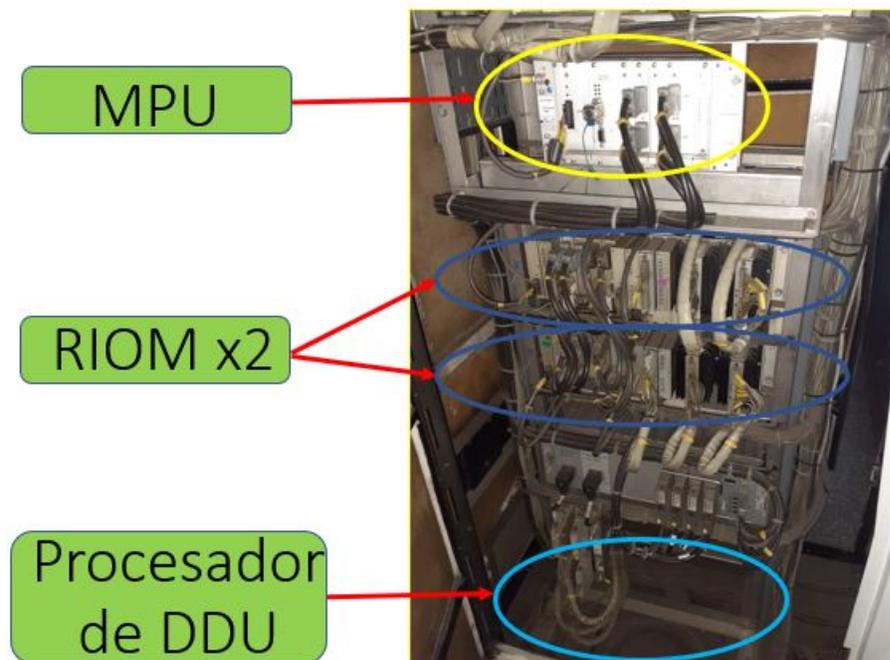


Figura 4.4: Ubicación MPU, RIOMs y procesador de DDU.

Para **desmontar la MPU** se necesita las siguientes herramientas:

Tabla 4.2: Herramientas a ocupar en el desmontaje de la MPU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de paleta	3 [mm]
Destornillador de cruz	PH2
Llave allen	2,5 [mm]
Dado hexagonal allen	6 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Llave patron	Específica

Para **desmontar las 2 RIOMs** se necesita las siguientes herramientas:

Tabla 4.3: Herramientas a ocupar en el desmontaje de las RIOMs.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de paleta	3 [mm]
Destornillador de cruz	PH2
Llave allen	2,5 [mm]
Dado hexagonal allen	6 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Llave patron	Específica

Para **desmontar el Procesador de la DDU** se necesita las siguientes herramientas:

Tabla 4.4: Herramientas a ocupar en el desmontaje del procesador de la DDU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de paleta	3 [mm]
Destornillador de cruz	PH2
Llave allen	2,5 [mm]
Dado hexagonal allen	6 [mm]
Dado hexagonal allen	5 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Llave patrón	Específica

Notar que para el desmontaje de las 3 componentes mencionadas se ocupan las mismas herramientas, esto sucede debido a que se tienen elementos fijadores respecto a cableado y estructura similares entre sí. De esta manera, las herramientas a utilizar son similares. La diferencia entre estos procesos, radica en los diferentes terminales de cableados y elementos que se deben remover.

Luego de haber desmontado y quitado del interior del tren la MPU, RIOMs y Procesador de DDU se debe remover los soportes existentes de las componentes recién nombradas. La idea principal de quitar la soportería actual es insertar nuevos soportes para fijar las componente que se deben sustituir, pero esta vez con geometrías diferentes ya que se adicionarán componentes extras como **una Gateway**, **dos CRS** y **una TRS**. En la siguiente figura se puede visualizar los diversos soportes que actualmente se utilizan en el armario eléctrico izquierdo, destacando en rojo aquellos que se debe remover. Los soportes de la MPU estan ubicados a la derecha del número "1", luego los soportes de las RIOMs son los que están arriba y abajo del número "2", por último, los soportes del procesador de la DDU están en la parte inferior del armario y estan designados por el número "3".

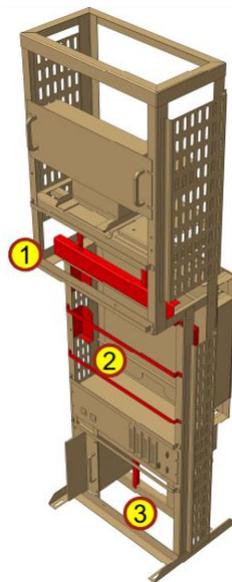


Figura 4.5: Ubicación de soportes actuales de MPU, RIOMs y procesador de DDU.

En el proceso de desmontaje de los soportes utilizados para los componentes electrónicos, se debe ocupar herramientas especiales, que difieren de las requeridas para desmontar equipos. Esto ocurre debido a que, los armarios eléctricos actuales poseen soldadura de punto como principal mecanismo de junta de perfiles metálicos.

Los trenes poseen una gran cantidad de equipos electrónicos, de los cuales una gran mayoría están ubicados en los A. E. I y A. E. D, especialmente en el izquierdo. Es por este motivo que a la hora de desmontar los soportes existentes en el armario eléctrico izquierdo es necesario resguardar aquellos componentes que no se deben intervenir. Para ello, se ocupará una manta protectora que se pondrá encima de los equipos que quedan a la vista para evitar fallas catastróficas producto de la viruta desprendida durante el proceso.

En el proceso de **desmontaje de los soportes actuales para la MPU**, dado que estos poseen soldadura de punto, se utilizarán las siguientes herramientas:

Tabla 4.5: Herramientas a ocupar en el desmontaje de los soportes de la MPU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Barretilla	Estándar
Taladro neumático	90°
Broca	6 [mm]
Broca	4 [mm]
Mantas protectoras	1×1[m ²]

Una vista esquemática de los soportes y soldaduras de punto mencionadas en los soportes de la MPU se pueden visualizar a continuación. Las soldaduras de punto se encierran con círculos negros y rojos.

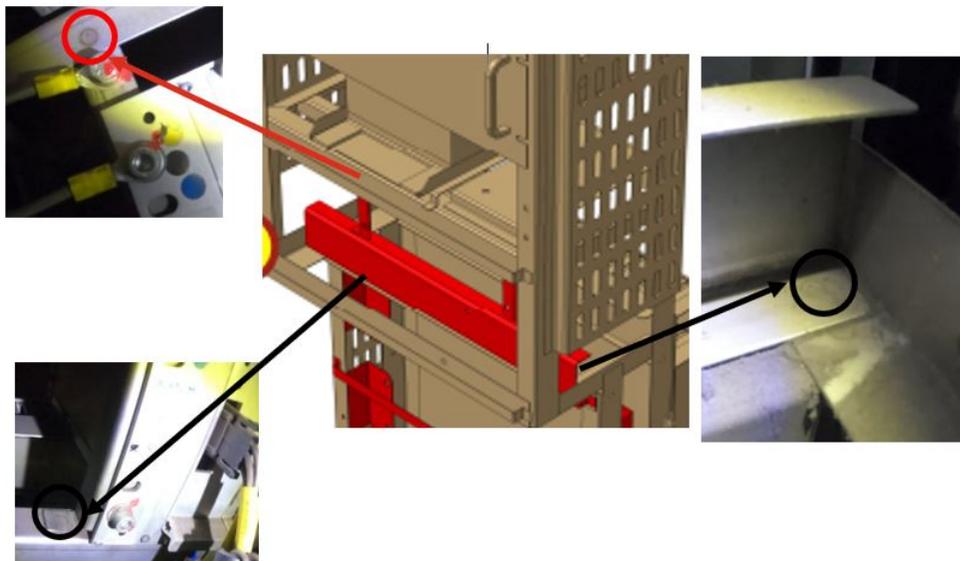


Figura 4.6: Soportes actuales de MPU que se deben remover.

Notar que por el diseño que poseen los componentes actuales y dada la ubicación de estos

en el armario eléctrico izquierdo es necesario ocupar un taladro neumático en 90° en vez del tradicional.

Para **remover los soportes de las RIOMs** presentes en el armario eléctrico izquierdo se deben ocupar las siguientes herramientas.

Tabla 4.6: Herramientas a ocupar en el desmontaje de los soportes de las RIOMs.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Barretilla	Estándar
Taladro Neumático	90°
Taladro eléctrico	Estandar
Broca	6 [mm]
Mantas protectoras	1×1[m ²]

En la siguiente imagen, se ve en detalle los soportes actuales de las RIOMs que se deben remover del armario eléctrico izquierdo.

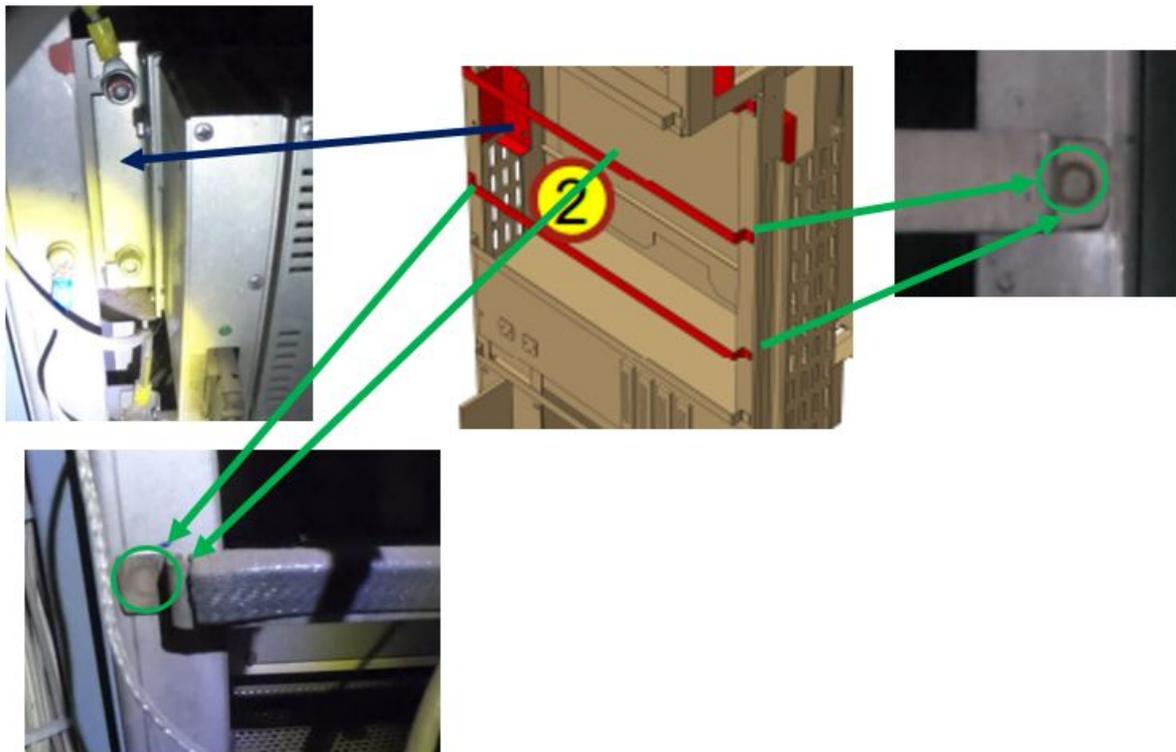


Figura 4.7: Soportes actuales de RIOMs que se deben remover.

La última etapa del desmontaje de soportes corresponde a los que utiliza el procesador de la DDU ubicado en la parte inferior del armario eléctrico izquierdo. Para remover estos soportes, al igual que en los 2 casos anteriores, se debe remover soldaduras de punto, de esta manera el desglose de herramientas ocupadas en el **desmontaje de los soportes del procesador de la DDU** son:

Tabla 4.7: Herramientas a ocupar en el desmontaje del soporte del procesador de la DDU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Barretilla	Estándar
Taladro Neumático	90°
Broca	5 [mm]
Mantas protectoras	1×1[m ²]

En la siguiente figura se muestra el soporte del procesador de la DDU que se debe remover en un rectángulo negro. Recordar que el desmontaje de los soportes ocurre únicamente una vez que los componentes electrónicos intervenidos en el TCMS ya fueron desmontados.

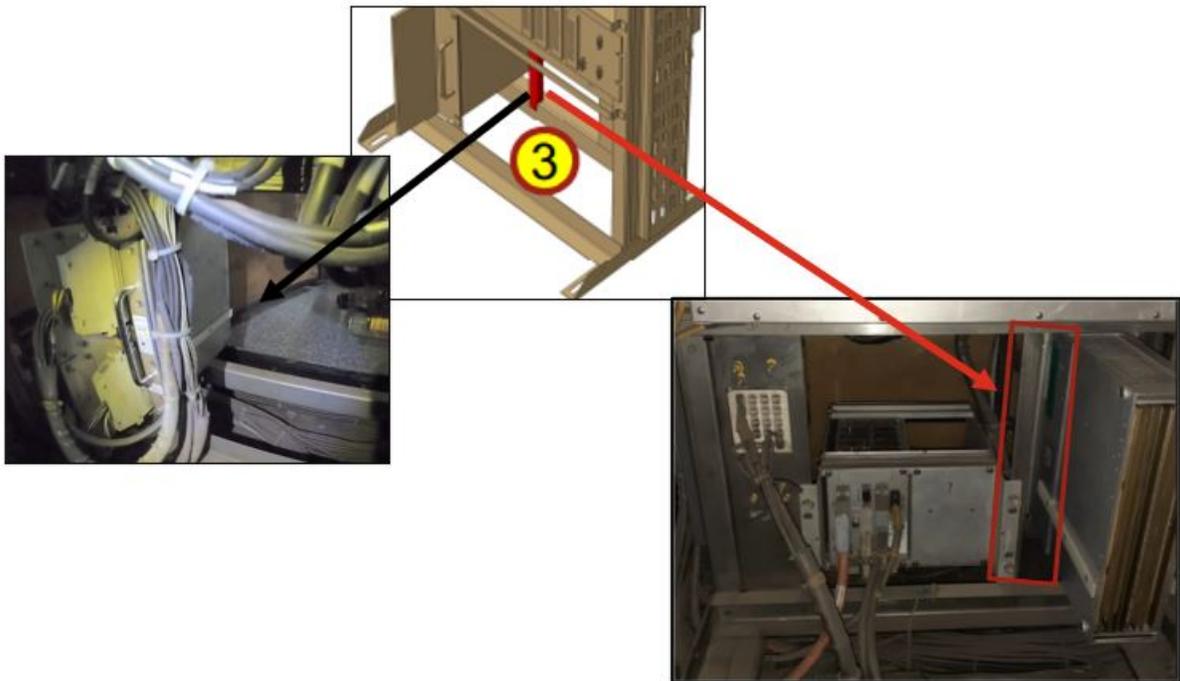


Figura 4.8: Soporte actual del procesador de la DDU que se debe remover.

Luego de haber removido los componentes electrónicos y soportes de estos, al interior del armario eléctrico izquierdo, se debe instalar los nuevos soportes para los equipos que se sustituirán y para aquellos que se agregarán. En la siguiente imagen, se muestra la nueva distribución de equipos y en los siguientes párrafos, se describe las herramientas necesarias para la instalación de cada uno de los soportes.

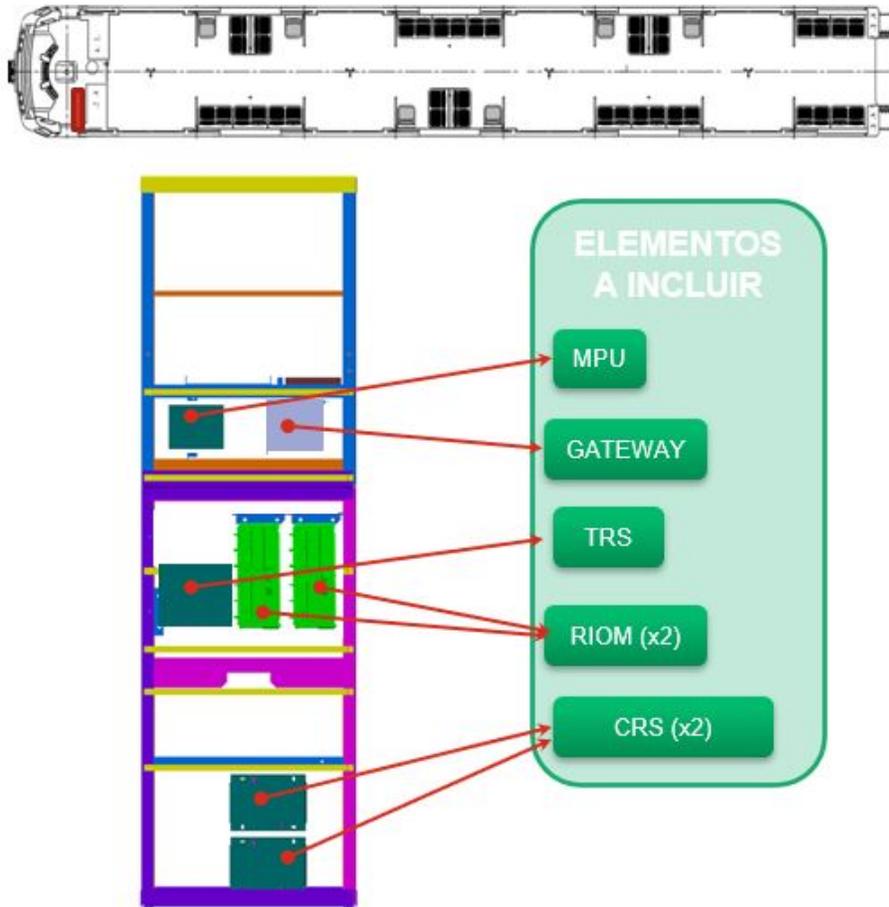


Figura 4.9: Distribución de equipos a instalar en armario eléctrico izquierdo.

Para la instalación del soporte de la MPU, es necesario realizar perforaciones en el armario eléctrico izquierdo. De esta manera, se utilizará las siguientes herramientas:

Tabla 4.8: Herramientas a ocupar en el montaje del soporte del MPU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Llave punta y corona	14 [mm]
Dado hexagonal	14 [mm]
Taladro neumático	90°
Broca	8 [mm]
Llave dinamométrica 3/8 "	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Lápiz marcador	Para metal
Mantas protectoras	1×1[m ²]

Para la **instalación de los soportes del Gateway** (equipo nuevo a instalar), se requiere utilizar las siguientes herramientas:

Tabla 4.9: Herramientas a ocupar en el montaje de los soportes del Gateway.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Llave punta y corona	14 [mm]
Dado hexagonal	14 [mm]
Taladro	estándar
Broca	8 [mm]
Llave dinamométrica 3/8 "	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Lápiz marcador	Para metal
Mantas protectoras	1×1[m ²]

Se debe notar que en la instalación de los soportes para la MPU y Gateway se ocupan las mismas herramientas, excepto el tipo de taladro, esto ocurre por el poco espacio que existe donde se instalará el soporte de la MPU. En la siguiente imagen, se puede ver los soportes de estos 2 componentes.

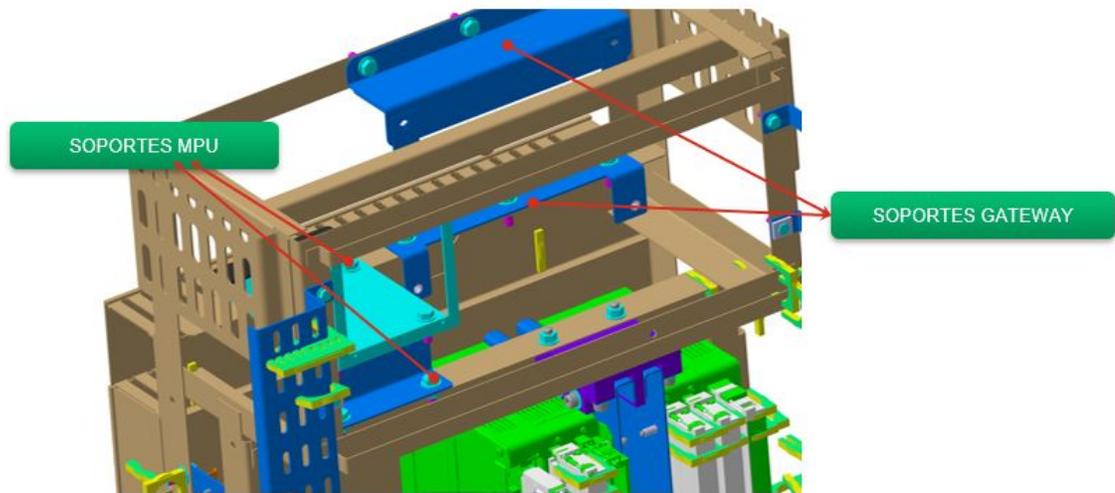


Figura 4.10: Distribución de equipos a instalar en armario eléctrico izquierdo.

El montaje de las RIOMs será de manera vertical, para ello, se instalarán soportes en la parte inferior y superior. Respecto de la TRS, coontendrá 2 soportes, uno en la parte delantera y uno en su parte trasera, en la siguiente imagen, se puede ver la disposición de estos soportes.

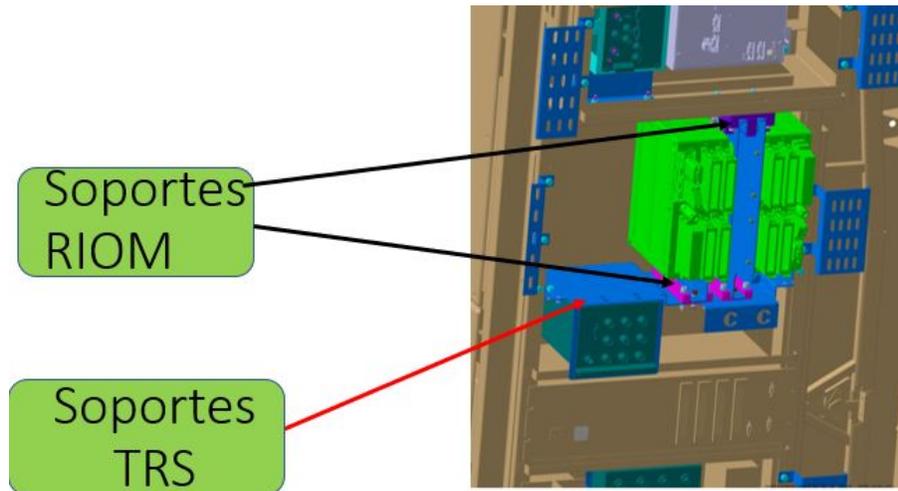


Figura 4.11: Distribución de soportes para TRS y RIOMs.

Para la instalación de la TRS se usará las siguientes herramientas:

Tabla 4.10: Herramientas a ocupar en montaje de los soportes del TRS.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Llave punta y corona	13 [mm]
Dado hexagonal	13 [mm]
Taladro	Estándar
Taladro	90°
Broca	6 [mm]
Remachadora	Estándar
Llave dinamométrica 3/8 "	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Lápiz marcador	Para metal
Mantas protectoras	1×1[m ²]

Para ver más información de los soportes de la TRS, ir a Anexos, soportes TRS.

Las RIOMs y la TRS comparten una placa horizontal como base de los soportes para estas, pero se necesitan herramientas diferentes en estas 2 actividades ya que poseen pernería y una ubicación espacial distinta. De esta manera, Para la instalación de las RIOMs se usarán las siguientes herramientas:

Tabla 4.11: Herramientas a ocupar en montaje de los soportes de las RIOMs.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Llave punta y corona	13 [mm]
Dado hexagonal	13 [mm]
Dado hexagonal allen	6 [mm]
Taladro	90°
Broca	6 [mm]
Llave dinamométrica 3/8 "	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Lápiz marcador	Para metal
Mantas protectoras	1×1[m ²]
Trabapernos	Loctite

Para ver más información de los soportes de las RIOMs, ir a Anexos A.1.3, **soportes RIOM**.

El montaje de los soporte para las 02 CRSs será a través de una base inferior y una superior, las cuales serán perforadas, ensambladas por pernos y a su vez, remachadas con un remache con rosca, tipo hembra. En la siguiente figura, se puede observar los soportes a instalar en el A.E.I de los coches MC, en color azul.

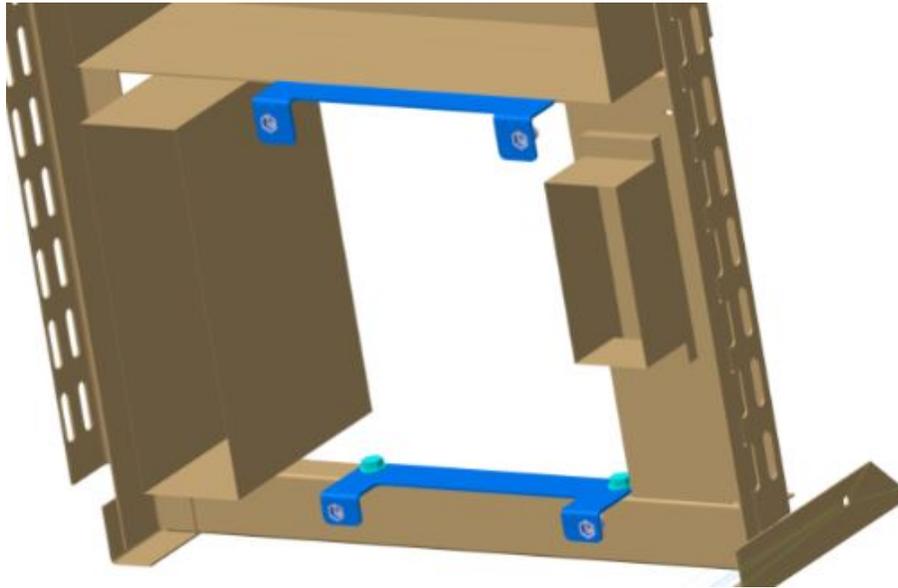


Figura 4.12: Soportes a instalar para las CRSs.

Para el montaje de los soportes del CRS se ocuparán las siguientes herramientas:

Tabla 4.12: Herramientas a ocupar en montaje de los soportes para las CRSs.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Llave punta y corona	11 [mm]
Dado hexagonal	11 [mm]
Dado hexagonal allen	5 [mm]
Taladro	Estándar
Remachadora	Universal
Broca	5 [mm]
Llave dinamométrica 3/8 "	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Lápiz marcador	Para metal
Mantas protectoras	1×1[m ²]
Trabapernos	Loctite

4.1.3. A.E.D. de coches MC

La ubicación del A.E.D. es la cabina de los coches MC, precisamente atrás del conductor, en su costado derecho. En este armario eléctrico se encuentran los disyuntores de protección eléctrica para los equipos intervenidos en el TCMS, entre otros. Los principales disyuntores existentes en el A.E.D son los asociados a la MPU, RIOM y procesador de DDU. En la siguiente imagen, se muestra un disyuntor, el cual sirve para ejemplificar la actividad a realizar.



Figura 4.13: Disyuntor de protección eléctrica ubicado en armarios eléctricos. [13]

Las herramientas necesarias para desmontar y montar los disyuntores del A.E.D son:

Tabla 4.13: Herramientas a ocupar en montaje y desmontaje de los disyuntores de protección eléctrica.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Dado hexagonal allen	5 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Llave patrón	Estándar
Destornillador de cruz	PH2

En la tabla anterior, el uso de la llave patrón es de uso exclusivo para abrir el A.E.D,

mientras que el dado hexagonal allen + chicharra 1/4” es para remover el frontal del A.E.D. que cubre los espacios vacíos del armario. Para más información sobre el frontal, ir a Anexos A.1.4, **FRONTAL A.E.D.**

Luego de la etapa del desmontaje de las componentes y de las modificaciones a realizar en los A.E de los coches MC y R, viene la etapa del montaje de los componentes eléctricos nuevos, los cuales se deben instalar de una manera lógica respecto al montaje en los armarios y también respecto de la conexión mediante el cableado nuevo insertado. En la sección **Instructivos de trabajo**, se explica en detalle la instalación de estos componentes, incluyendo las herramientas necesarias para el montaje de cada uno.

4.2. Análisis del desglose de actividades y listado de herramientas

Los resultados obtenidos dan cuenta de la gran cantidad de actividades que se debe realizar en una modernización de este tamaño. En primera instancia, toda la modernización se dividió en los trabajos a ejecutar en los coches MC y R, pero a medida que se clasifican las tareas a realizar por coche, aparece una gran cantidad, de esta manera, lo que parece una actividad de mantenimiento rutinaria, se transforma en una secuencia de trabajo, la cual se debe realizar profesionales capacitados. Este último punto, obedece principalmente al factor seguridad ferroviaria, a que los trenes están conectados a una alta tensión y también al hecho que toda persona que manipule un tren, debe pasar por una serie de inducciones y capacitaciones que aseguren la integridad física de la persona, tomando los resguardos apropiados.

Respecto del listado de herramienta a utilizar en la fase de desmontaje de componentes electrónicos, estas son fáciles de conseguir ya que son de uso comercial, además, existe un gran porcentaje de estas que se ocupa en la mayoría de las actividades, tales como: chicharra 3/8”, llave dinamométrica, destornillador de cruz, llaves allen, entre otras. Esto sucede porque, estos componentes poseen conectores electrónicos similares entre sí, y debido a que están soportados sobre el mismo armario eléctrico, de esta manera, poseen pernería similar.

Las actividades más críticas encontradas en el desglose, corresponden al desmontaje de la DDU y del procesador de esta. En el caso de la pantalla DDU, se debe tener especial cuidado con el equipo en sí al momento de manipularlo y extraerlo, ya que no se debe dañar un sello impermeable que contiene; respecto del procesador de la DDU, es una actividad crítica ya que para desmontarlo se debe quitar además, otros equipos que por su naturaleza están en la periferia del armario en la parte inferior, de esta manera, si se requiere desmontar este procesador, primero se debe quitar otros equipos que no forman parte del TCMS, lo que conlleva mayor cuidado y seguridad.

4.3. Instructivos de trabajo

Para ejecutar la modernización del TCMS en las 72 unidades de manera segura y satisfactoria, es necesario seguir una serie de instrucciones las cuales describen una secuencia segura y efectiva para llevar a cabo el funcionamiento de los diversos equipos. De esta manera, a lo

largo de este subcapítulo, se hablará de los instructivos de trabajo asociados al montaje de los nuevos componentes cuyo origen proviene de una sustitución o bien, de una adición de un nuevo componente al actual TCMS de las unidades.

Los instructivos que se analizarán en este subcapítulo son los asociados a:

- MONTAJE DDU.
- MONTAJE MPU.
- MONTAJE CRSs COCHES MC.
- MONTAJE RIOMs COCHES MC.

Principalmente, se describirá la secuencia lógica que debe seguir cada actividad teniendo presente la seguridad ferroviaria, eficacia en tiempos de operación y el uso correcto de los EPPs en las actividades involucradas.

Las actividades al interior de los coches, las deben realizar profesionales calificados con conocimientos de interiorismo, electricidad, entre otras. También deben realizar capacitaciones en procesos especiales tales como TORQUE y CRIMPADO, la cual realiza la empresa a sus trabajadores cada 1 año, con revalidación cada 6 meses de ser necesario. La modernización del TCMS involucra trabajos eléctricos en el cableado, de esta manera, resulta imprescindible que los trabajadores tengan la revalidación de este curso al día, al momento que inicie la modernización del TCMS en Junio 2021.

Como nota general, se debe conocer y aplicar una serie de procedimientos de seguridad relacionadas al área de prevención de riesgos de la empresa, los cuales son:

- Lock-Out, Tag-Out (LOTO).
- Seguridad Eléctrica.
- Seguridad de la maquinaria.
- Trabajos en Altura.

Los equipos de protección personal de **uso obligatorio** en toda etapa de la modernización del TCMS son:

- Casco.
- chaleco reflectante.
- Zapato de seguridad.
- Antiparras.
- Guantes Showa o best.

4.3.1. Montaje DDU

El montaje de la DDU es una de las actividades del TCMS más importantes, ya que mediante la DDU se puede visualizar una gran cantidad de parámetros y funciones. Las herramientas necesarias para el montaje de la DDU son:

Tabla 4.14: Herramientas a ocupar en el montaje de la DDU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de cruz	PH2
Llave dinamométrica 1/4"	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Llave punta y corona	08 [mm]
Dado hexagonal	08 [mm]
Dado hexagonal allen	04 [mm]
Dado hexagonal allen	03 [mm]
Chicharra 1/4"	Estándar
Lápiz marcador	Para metal

En la siguiente figura, se muestra un esquema con los materiales utilizados en el montaje de la DDU.

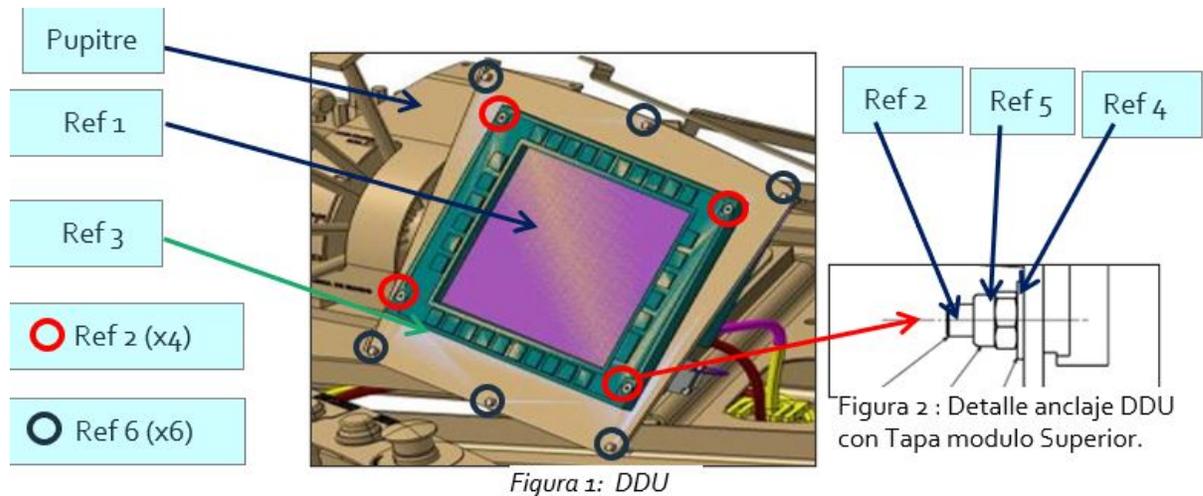


Figura 4.14: Numeración de materiales y componentes utilizados en montaje DDU.

En la figura anterior, se muestra cada uno de los componentes utilizados en el montaje de la DDU. El nombre técnico de estos, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.15: Listado materiales ocupados en el montaje de la DDU.

Ref.	Materiales	Cantidad	Unidad	Pos. Car.
1	PANTALLA DDU	1	Un	Pupitre MC
2	TORNILLO FHC. ISO10642-M5X25-A2-70	4	Un	Pupitre MC
3	TAPA DEL MODULO SUPERIOR DERECHO	1	Un	Pupitre MC
4	ARANDELA PLANA ACERO INOXIDABLE 5 mm	4	Un	Pupitre MC
5	TUERCA H LOCK PLASTICO M5-A2-70 ISO7040	4	Un	Pupitre MC
6	TORNILLO CBLZ.ISO7045-M4X16- A2-70	6	Un	Pupitre MC
7	TUERCA HEXAGONAL M5	1	Un	Pupitre MC

Para realizar un correcto montaje de la pantalla DDU se debe seguir cuidadosamente la siguiente metodología de trabajo:

- Verificar que los números de identificación y de serial de la **Ref. 1** sean los asociados a la unidad que se esta modernizando.
- Insertar la **Ref.1** en la **Ref.3**.
- Insertar y fijar **Ref.2** por el frente de la **Ref.3**, luego insertar la **Ref.4** con la **Ref.5** por detrás de la **Ref.3**
- Dar el torque especificado por el fabricante de 3.8 Nm al conjunto **Ref.2 + Ref.4 + Ref.5** realizando una marca de torque apropiada.

Obs: La marca de torque es un indicador que sirve para identificar si un conjunto mecánico compuesto por perno + tuerca se ha soltado con el tiempo producto de las vibraciones. De ser así, se debe realizar el proceso de torque otra vez desde el inicio.

- Insertar **Ref. 1 + Ref. 3** en el pupitre sin dañar el sello impermeable que trae la DDU.
- Insertar conectores DDU_{XS2} , DDU_{XS1} y DDU_{XS4} en **Ref. 1**, luego trabar los clips (ver imagen a continuación para los conectores).

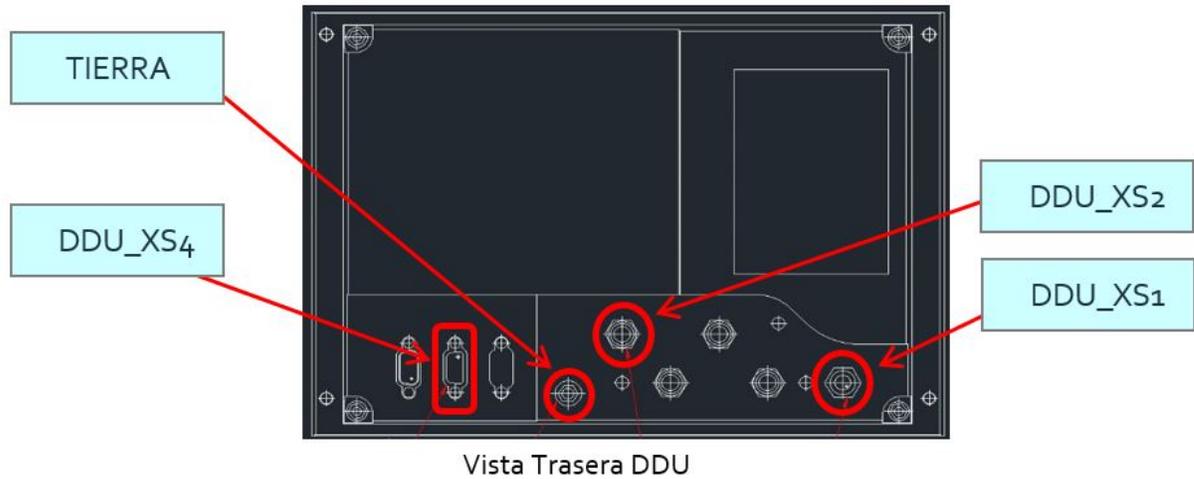
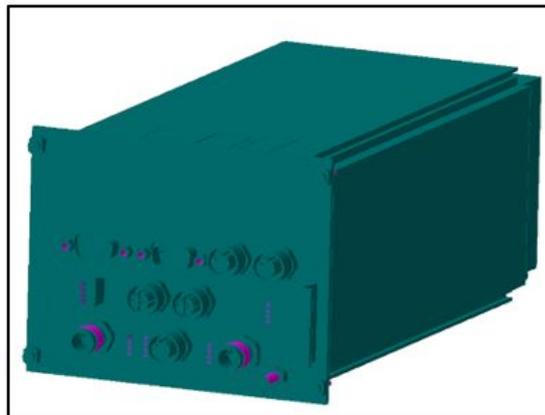


Figura 4.15: Vista trasera de pantalla DDU y sus conectores.

- Fijar trenza insertando **Ref. 7** sobre el conector TIERRA, luego dar 7.8 Nm recordando el marcaje de torque con el lápiz marcador de metal.
- Posicionar **Ref. 3** en el pupitre, luego insertar **Ref.6** en los extremos de **Ref. 3**.
- Dar 1.8 Nm de torque a **Ref. 6**, no olvidar el marcaje.

4.3.2. Montaje MPU

La MPU como se mencionó en las secciones anteriores cumple un rol importante en el TCMS a nivel de recepción y envío de información. En la siguiente figura, se muestra la MPU a montar.



MPU

Figura 4.16: Vista frontal de la MPU.

Para montar la MPU se necesita del siguiente listado de herramientas:

Tabla 4.16: Herramientas a ocupar en el montaje de la MPU.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de paleta	2,5 × 7,5 [mm]
Llave dinamométrica 3/8"	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Dado hexagonal	10 [mm]
Llave allen	2,5 [mm]
Chicharra 3/8"	Estándar
Lápiz marcador	Para metal

En la siguientes 2 figuras, se muestra un esquema con los materiales utilizados en el montaje de la MPU.

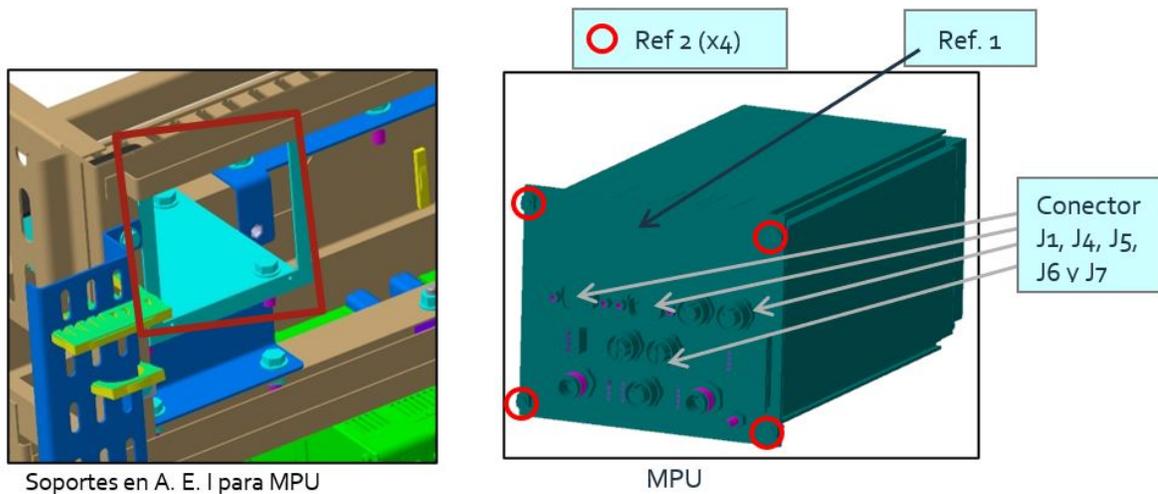


Figura 4.17: Soportes para MPU y sus respectivos conectores.

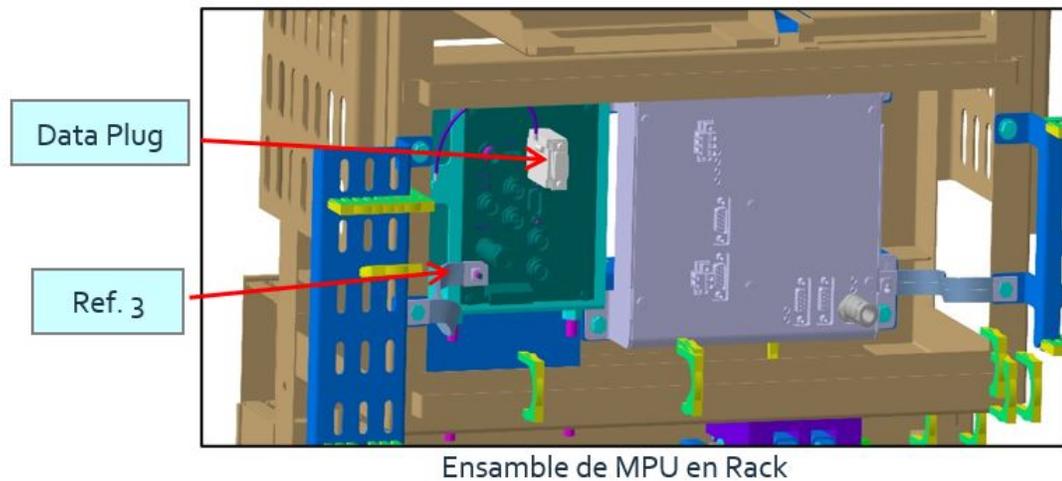


Figura 4.18: Conector Data Plug y Trenza.

En la figura anterior, se muestra una vista esquemática de la MPU montada en el A.E.I con solo dos conectores, los cuales corresponden al Data Plug y la trenza (conexión a tierra).

En la siguiente tabla, se muestra el nombre técnico de los componentes mostrados en estas 2 figuras, los cuales se ocupan en el montaje correcto de la MPU.

Tabla 4.17: Listado materiales ocupados en el montaje de la MPU.

Ref.	Materiales	Cantidad	Unidad	Pos. Car.
1	NETBOX V2 MPU 32 GB / XPU 32 GB	1	Un	A.E.I MC
2	SCREW HE- XAGONAL HEAD · M6X20 · A2 -70 · ISO 4017	5	Un	A.E.I MC
3	TRENZA	1	Un	A.E.I MC
4	DATAPLUG	1	Un	A.E.I MC

Para **montar la MPU** de manera segura y garantizar su operatividad se debe seguir la siguiente secuencia de trabajo:

- Verificar que los números de identificación y de serial de la **Ref. 1** sean los asociados a la unidad que se esta modernizando.
- Acceder al frente del panel de **Ref. 1**.
- Insertar **Ref. 1** en los soportes del A.E.I.
- Insertar **Ref. 2** en **Ref. 1** en cada canto del Rack (en los agujeros de las esquinas de la MPU) con chicharra 3/8" + dado hexagonal 10 [mm].
- Insertar conectores J_1 , J_4 , J_5 , J_6 y J_7 , luego apretar tornillos de conectores con llave allen 2,5 [mm] o destornillador de paleta.
- Insertar **Ref. 4** en la MPU, luego apretar con llave allen 2,5 [mm].
- Insertar **Ref. 3** en MPU fijandolo con **Ref. 2**, luego apretar perno con chicharra 3/8" + dado hexagonal 10 [mm].
- Generar par de apriete de 6.7 [Nm] a los 5 pernos **Ref. 2** con llave dinamométrica 3/8" + dado hexagonal 10 [mm], luego con el lápiz marcador, realizar el marcaje de torque.

4.3.3. Montaje de CRSs en coches MC

LAS CRSs son un elemento clave en el nuevo TCMS, ya que le adicionan funciones respecto del control de puertas y tracción, lo que se traduce como mayor control a nivel tren. En la siguiente tabla, se muestra las herramientas necesarias para montar la base con las CRSs en los soportes del A.E.I de los coches MC.

Tabla 4.18: Herramientas a ocupar en el montaje de las CRSs en los coches MC.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de cruz	PH2
Llave dinamométrica 3/8"	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Dado hexagonal 3/8"	10 [mm]
Llave punta y corona	10 [mm]
Dado hexagonal 3/8"	13 [mm]
Llave punta y corona	13 [mm]
Chicharra 3/8"	Estándar
Lápiz marcador	Para metal
Traba pernos	Loctite

En la siguiente imagen, se muestra las CRSs a montar, junto con todos los materiales necesarios para realizar el montaje de las CRSs en los coches MC.

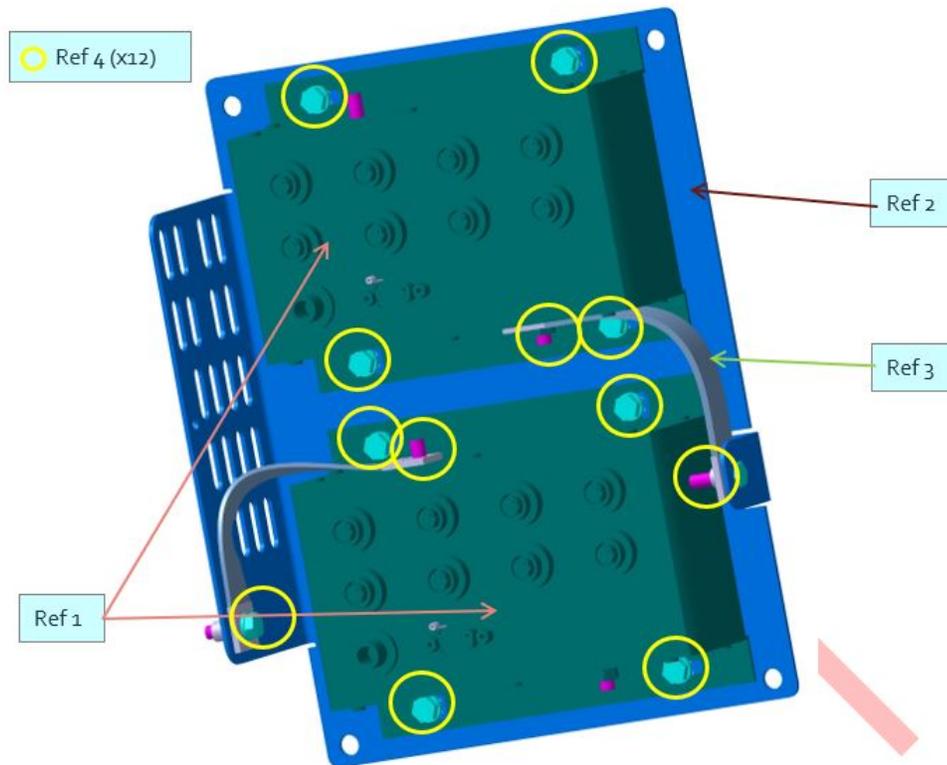


Figura 4.19: Numeración de materiales y componentes utilizados en montaje CRSs.

En la siguiente tabla, se muestra el nombre técnico de los materiales mencionados en la figura anterior.

Tabla 4.19: Listado materiales ocupados en el montaje de las CRSs.

Ref.	Materiales	Cantidad	Unidad	Pos. Car.
1	CRSV2 EVO	2	Un	A.E.I MC
2	SOPORTE CRS	1	Un	A.E.I MC
3	TRENZA	2	Un	A.E.I MC
4	TORNILLO HEXAGO- NAL M M6 x20- A2-70 ISO4017	12	Un	A.E.I MC
5	ARANDELA PLANA M M6	12	Un	A.E.I MC
6	ARANDELA CS P M6	12	Un	A.E.I MC
7	TORNILLO HEXAGO- NAL M M8 x20- A2-70 ISO4017	4	Un	A.E.I MC
8	ARANDELA PLANA M M8	4	Un	A.E.I MC

Para montar las CRSs de manera segura y garantizar su operatividad, se debe seguir la siguiente secuencia de trabajo:

- Posicionar **Ref. 1** y **Ref. 2** en una plataforma horizontal.
- Montar ambas **Ref. 1** sobre **Ref. 2** como lo mostrado en la figura anterior, e insertar **Ref. 4** en los agujeros ubicados en los extremos de ambas **Ref. 1**.
- Montar **Ref. 3** mediante fijaciones **Ref. 4** + **Ref. 5** + **Ref. 6** (02 x trenza) con ayuda de una chicharra 3/8" + dado hexagonal 10 [mm].

Obs: Se debe depositar una o 2 gotas de trabaperno en **Ref. 4** antes de insertarlos.

- Dar torque de 6.7 Nm a cada una de las fijaciones **Ref. 4** con una llave dinamométrica 3/8", no olvidar el marcado de torque que se debe realizar mediante el lápiz marcador.
- Posicionar verticalmente sobre el A.E.I en la parte inferior, el conjunto compuesto por las CRSs, soporte y pernería asociada a esta.

- Montar el conjunto en los soportes mostrados en la figura 3.20, insertando **Ref.7** (con 1 gota de trabaperno) + **Ref.8** sobre las esquinas de **Ref. 2**.
- Apretar **Ref.7** + **Ref.8** con una chicharra 3/8" + dado hexagonal 13 [mm].
- Dar torque de 12 Nm a cada una de las fijaciones **Ref. 7** con una llave dinamométrica 3/8j, no olvidar el marcado de torque que se debe realizar utilizando el lápiz marcador.
- Insertar y apretar con destornillador de cruz PH2 los siguientes conectores: **CRS1**, **CRS1_{X2}**, **CRS1_{X3}**, **CRS1_{X8}**, **CRS1_{X9}**, **CRS1_{X10}**, estos conectores se muestran en la figura 4.21.

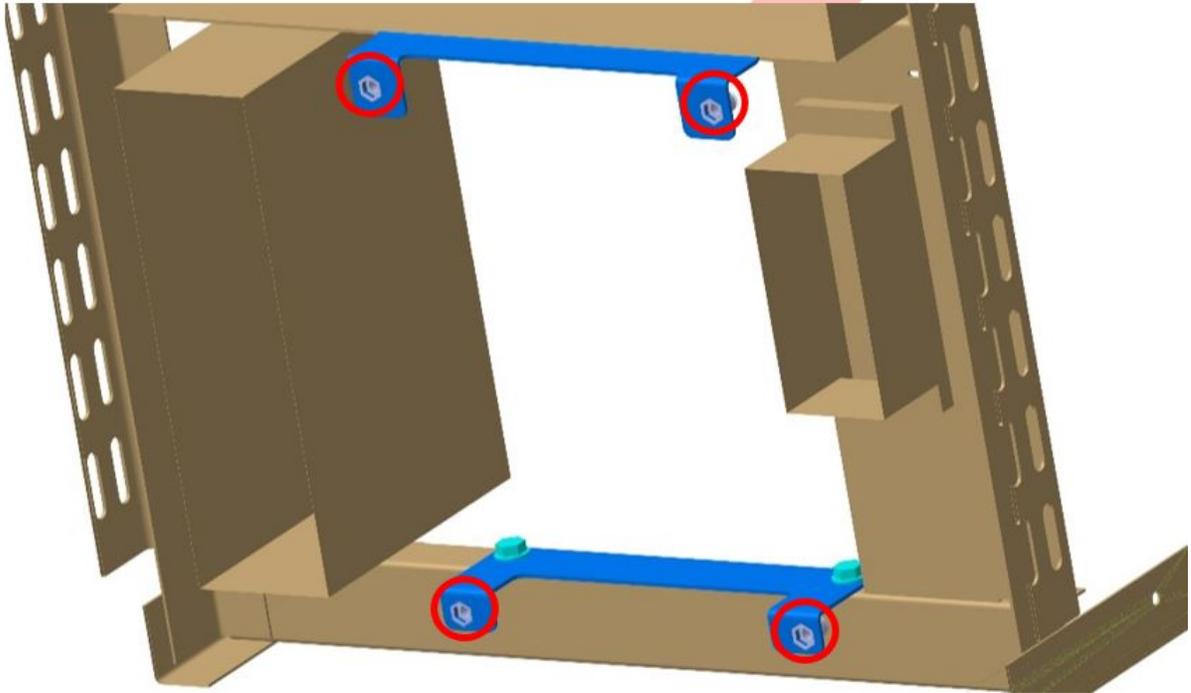


Figura 4.20: Vista trasera de una CRS y sus conectores.

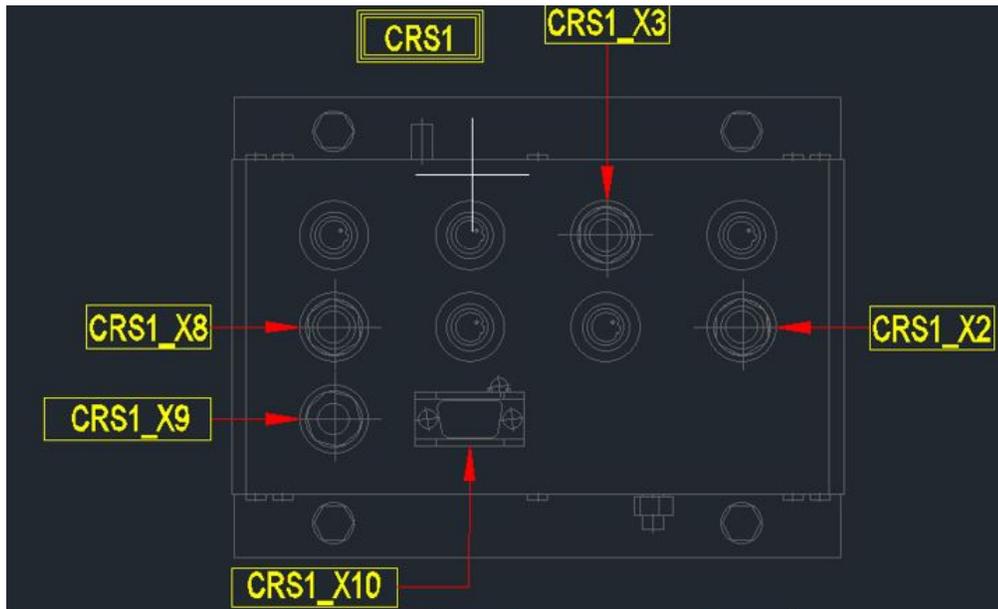


Figura 4.21: Vista trasera de una CRS y sus conectores.

4.3.4. Montaje de RIOMs en coches MC

La RIOM es uno de los componentes electrónicos más importantes que posee el TCMS, ya que su función es transmitir información entre la MPU y otras unidades del tren. De esta manera, su correcta sustitución es clave para el funcionamiento del tren, de no ser efectivo esto, podría tener consecuencias graves a nivel de seguridad tanto para las personas como para los demás sistemas de comunicación o equipos. Las herramientas necesarias para montar las RIOMs en los coches MC son las siguientes:

Tabla 4.20: Herramientas a ocupar en el montaje de las RIOMs en coches MC.

Herramientas	Tipo de Herramienta
Destornillador de paleta	2,5 × 7,5 [mm]
Llave dinamométrica 3/8"	Capacidad de 4.6 a 25 [Nm]
Dado hexagonal	08 [mm]
Llave punta y corona	08 [mm]
Dado hexagonal allen	06 [mm]
Llave allen	06 [mm]
Llave allen	2,5 [mm]
Chicharra 3/8"	Estándar
Lápiz marcador	Para metal

En la siguiente imagen, se muestra los componentes a instalar en la actividad asociada al montaje de las RIOMs.

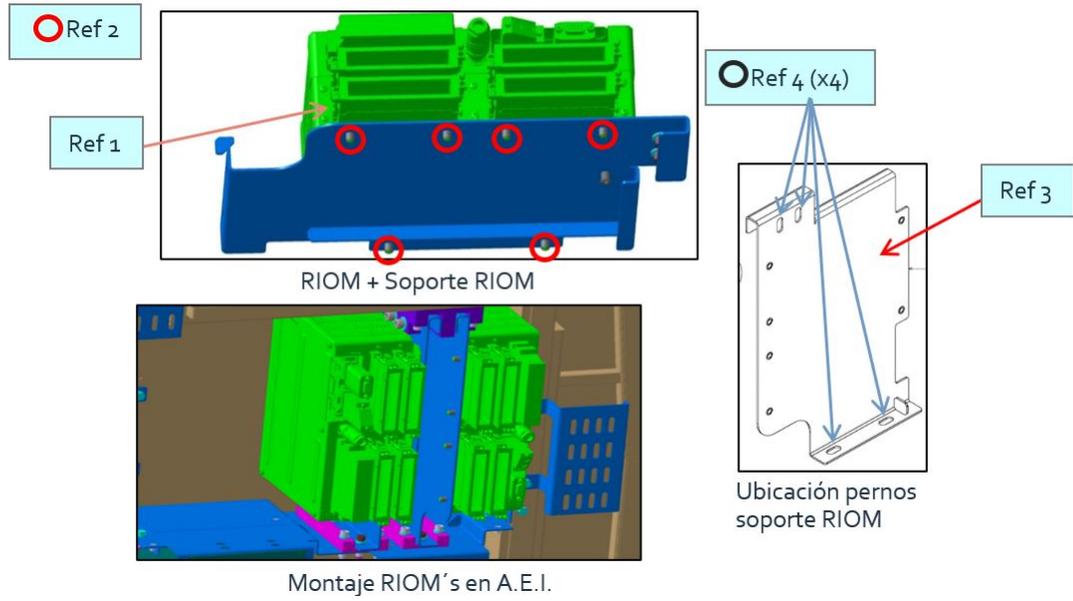


Figura 4.22: Materiales y componentes utilizados en montaje de RIOMs 1.

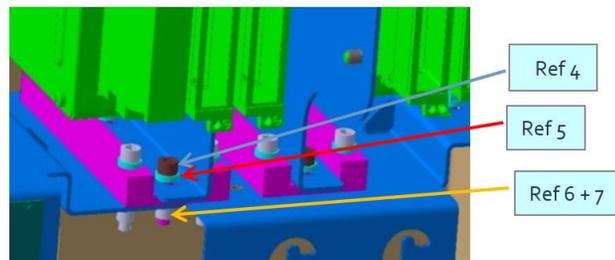


Figura 4.23: Materiales y componentes utilizados en montaje de RIOMs 2.

En la siguiente tabla, se muestra el nombre técnico del detalle de materiales anterior.

Tabla 4.21: Listado de materiales utilizados en montaje de RIOMs.

Ref.	Materiales	Cantidad	Unidad	Pos. Car.
1	RIOM T325 72-110V 64E32S2LS4EA4SA E-C CF	2	Un	A.E.I, MC
2	TORNILLO M5x20 A2-70 ISO4017	12	Un	A.E.I, MC
3	SOPORTE GUIA RIOM	1	Un	A.E.I, MC
4	TORNILLO M8x35 ACE- RO INOX. A2-70 ISO 4762 ALLEN	8	Un	A.E.I, MC
5	ARANDELA CS E25-511- 5-12-1.1-A2-70	12	Un	A.E.I, MC
6	ARANDELA CS M M8 AC. INOX. A2 NF 325-511	16	Un	A.E.I, MC
7	TUERCA H M8 A2-70	8	Un	A.E.I, MC

Para montar las RIOMs correctamente, se debe seguir la siguiente secuencia de trabajo:

- Posicionar cada **Ref. 1** sobre **Ref. 3** de forma horizontal.
- Montar las **Ref. 1** sobre **Ref. 3**, luego insertar y apretar en cada agujero **Ref. 2** + **Ref. 5** con ayuda de la chicharra 3/8" + dado hexagonal allen 06 [mm] + llave allen 06 [mm].
- Dar 3.8 Nm de Torque con la llave dinamométrica 3/8" a **Ref. 2** y marcar correctamente el conjunto con el lápiz marcador.
- Posicionar verticalmente el conjunto **Ref. 1** + **Ref. 2** + **Ref. 3**, luego deslizar hacia el interior del A.E.I.
- Montar conjunto **Ref. 4** + **Ref. 5** + **Ref.6** + **Ref. 7** con trabapernos en **Ref. 3**, luego dar Torque con llave dinamométrica 3/8" de 12 Nm a **Ref. 4** con su respectivo marcaje, utilizando el lápiz marcador.
- En cada **Ref. 1**, conectar Dataplug, e insertar conectores R1_J0, R1_J2, R1_J4, R1_ETH utilizando llave allen 2,5 [mm] y destornillador de paleta. El detalle de estos conectores y Dataplug se muestra en la siguiente figura.

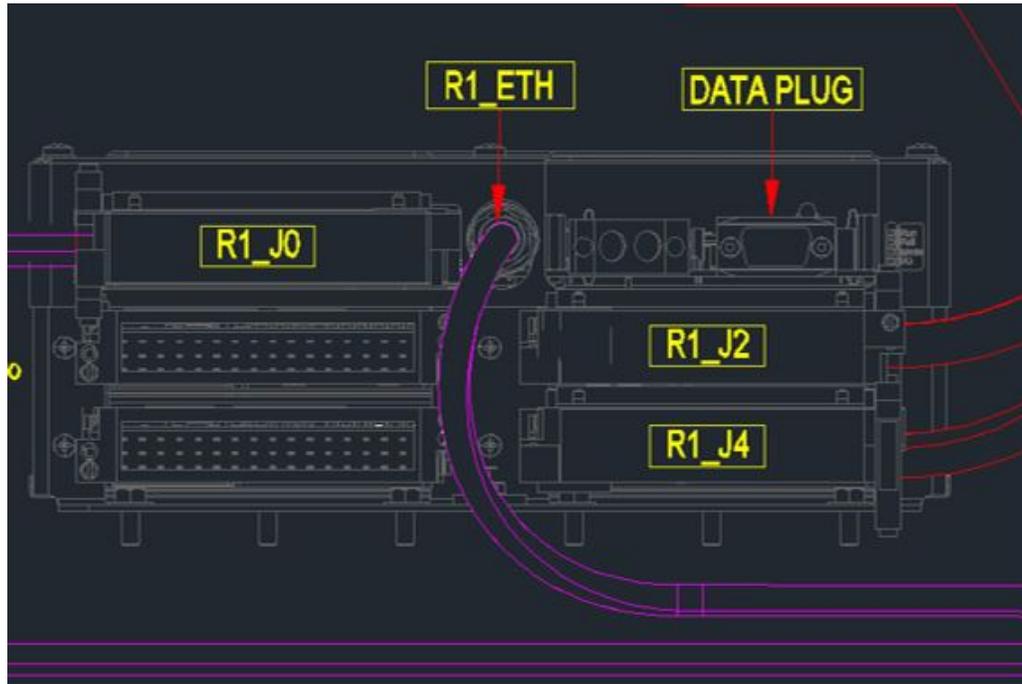


Figura 4.24: Conectores de cada RIOM.

4.4. Análisis de los instructivos de trabajo

Los componentes electrónicos que se deben instalar al interior de los trenes poseen conectores nuevos, así, los instructivos de trabajo son una excelente herramienta para los trabajadores debido a que contienen imágenes referenciales que ilustran de buena manera, los materiales utilizados junto con su disposición espacial al momento de ensamblarlos. Además, cada uno de ellos posee imágenes de la ubicación de los conectores, las cuales complementan y facilitan las tareas a desarrollar de los trabajadores involucrados.

De todas las actividades respecto al montaje de componentes electrónicos de la modernización del TCMS, el montaje de las CRSs es el que llama la atención, de acuerdo a su larga extensión en cuanto a pasos y materiales utilizados. Esto se explica en gran medida porque primero se debe montar las 2 CRS en una base con su respectiva pernería y trenzas, para luego montar este ensamble en el armario eléctrico y posterior a ello, conectar 6 de sus salidas a conectores nuevos.

Los instructivos de trabajo creados son un bien indispensable para la empresa y trabajador, ya que sin ellos no se podría ejecutar la modernización del TCMS, esto porque la empresa tiene la obligación de contener dicho material para sus trabajadores, de no ser así, se podría incurrir en multas por parte del cliente por no cumplir con las normas establecidas a nivel de contrato. Respecto del trabajador, es de vital importancia que los instructivos existan, ya que sin ellos se podría poner en peligro su vida al interactuar con una tecnología que no se conoce ni se sabe manipular, de esta manera, los instructivos de trabajo creados para el montaje de los componentes electrónicos son sin duda, una de las herramientas fundamentales y más importantes de la modernización del TCMS.

4.5. Layout preliminar de la modernización

Para ejecutar correctamente las actividades de la modernización del TCMS se debe tener el equipamiento apropiado, tanto para actividades de montaje/desmontaje de componentes electrónicos como las asociadas a la confección e instalación de cableado. Para ello, se dispone de la siguiente indumentaria para el montaje y desmontaje de las componentes:

- **Mesones para herramientas** los cuales sirven para resguardar y disponer de todas las herramientas manuales, eléctricas y neumáticas ocupadas en las distintas etapas de la modernización.
- **Doble gaveta** el cual es un estante de doble compartimiento para guardar los principales componentes electrónicos del TCMS, tales como MPU, pantalla DDU, RIOMs, CRSs, Gateway, TRS, entre otros y también utilizado para guardar toda la pernería correspondiente, entre las que destacan: pernos, arandelas y tuercas.
- **Mesas de trabajo** utilizadas para el ensamble de diversas componentes electrónicas, que según su naturaleza, requieren ensamblarse a una base antes de insertarse en las distintas ubicaciones del tren. Las principales componentes electrónicas que requieren un ensamble son: pantalla DDU, CRSs y las RIOMs, todas pertenecientes a los coches MC.

Para las labores relacionadas a la confección de cableado, se dispone de los siguientes equipos:

- **Impresora para cables** la cual sirve para crear mensajes de seguridad, identificación y etiquetado de los diversos cables que se ocupan en la modernización del TCMS.
- **Cortadora de cables** ocupada para tronzar los cables provenientes de rollos.
- **Maquetas de cableado** que sirve como guía para confeccionar los distintos cableados. Las maquetas son de gran relevancia, ya que sirven como guía para los trabajadores y porque disminuyen de manera significativa los tiempos de confección de cableado, ya que si bien, se puede ver el instructivo de trabajo asociado a los cableados, se puede ver las maquetas, las cuales disponen a la vista los largos, etiquetado, mensajes de seguridad, entre otros que posee cada uno de los cables. De esta manera, el uso de maquetas implica un mejor uso del tiempo.
- **Mesones para herramientas** los cuales sirven para resguardar y disponer de todas las herramientas manuales y eléctricas ocupadas en las distintas etapas respecto del cableado de la modernización del TCMS.
- **Mesa jumpers** cuya función es ejecutar el armado de los jumpers. Recordar que **jumper** es una unión de diferentes tipos de cables mediante conectores.
- **Doble gaveta** el cual es un estante de de doble compartimiento cuya función es guardar los principales componentes electrónicos asociados a la confección de cableados del TCMS. Además, sirve para guardar los diversos conectores para los cables a utilizar, en el proceso de confección de cableado para los componentes electrónicos del TCMS.
- **Estanterías de bobina** para guardar los distintos rollos de cable a utilizar en la confección de cableados.

En la siguiente imagen, se muestra el detalle del layout utilizado para una unidad en estudio, el que incluye zonas demarcadas para el trabajo de coches MC y R, confección de cableado y 2 escaleras para subir al tren.

Obs: En **Anexos C**, se incluye una imagen completa del layout del taller, el cual contiene todas las áreas del taller.

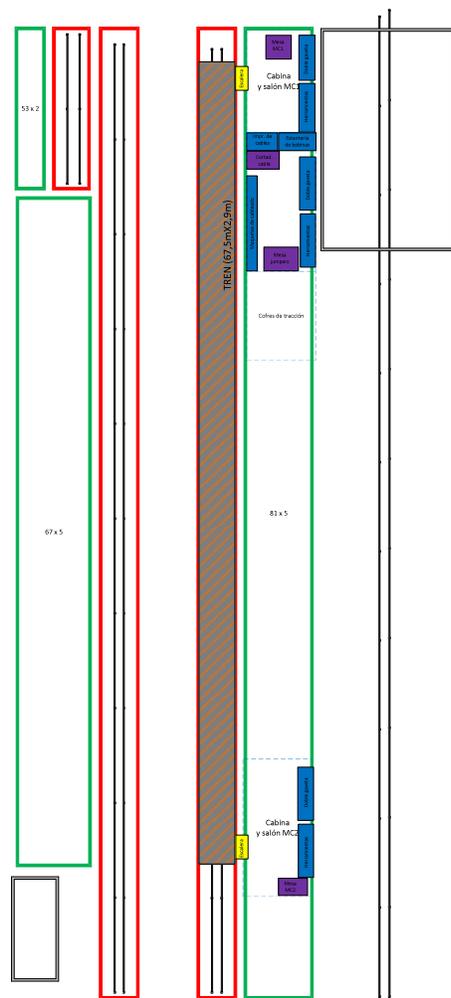


Figura 4.25: Línea de tiempo de la modernización del TCMS.

4.6. Análisis del layout de la modernización del TCMS

Respecto del layout, se debe notar que este contiene todo el equipamiento para la modernización del TCMS, adicionalmente se sumó una zona para la modernización de los cofres de tracción.

El layout considerado, contiene una mesa de trabajo para el coche MC1 y otra para el MC2, las cuales sirven para el ensamble y montaje de los distintos componentes electrónicos considerados en la modernización del TCMS, no obstante, no se contempla una mesa de tra-

bajo para el coche R. Esto se debe principalmente a que en el coche R, no se requiere hacer un ensamble previo en las actividades de la modernización como lo es el caso de los coches MC, en donde se debe hacer un ensamble previo para actividades asociadas al montaje de CRSs y RIOMs, entre otras.

Respecto a la zona de confección de cableados, esta contiene todo el equipamiento necesario para realizar los diversos cableados. Se contempla en el layout, una área de maquetas de cableado, cuya función es servir como guía a los profesionales en la confección de los cableados; Es claro notar que las maquetas podrían quitarse del layout considerado, sin embargo, éstas ayudan en gran medida a los trabajadores en cada paso, trayendo como beneficios calidad y buen acabado en esta etapa. Esto último es porque se tienen instructivos, los cuales mencionan el paso a paso a seguir para confeccionar los cableados, y por otra parte, se encuentra el resultado esperado mediante las maquetas, con las cuales, los trabajadores cercioran visualmente si lo generado por ellos, se adapta a los requerimientos de la empresa en términos de largo, grosor, cantidad y conectores del cableado.

4.7. Cronología de contrato y evolución estándar de la Modernización del TCMS en el tiempo

La modernización del TCMS debe finalizarse antes de los 5 años como se mencionó anteriormente, ya que de lo contrario habría multas y otro tipo de sanciones. De esta manera, es de suma importancia analizar el tiempo por actividad y a su vez el tiempo de ciclo de cada unidad, desde que ingresa al taller hasta que finalizan las actividades de modernización en ella.

El **primer Tren a modernizar** tiene como fecha de inicio Junio del 2021, el cual estará 9 meses en estudio en las dependencias del taller de Santiago. De esta manera, durante este tiempo se realizarán distintos estilos y combinaciones de montaje, modificaciones en el tren, y de cableado. Respecto al cableado, se estudiará la factibilidad de hacer maquetas sobre los mesones de trabajo al exterior del tren, para luego montarlos directamente, optimizando así, el tiempo requerido del pasaje de cables en los armarios eléctricos, por bajo techo y bajo bastidor.

La cronología respecto a la modernización del TCMS en los trenes es la siguiente:

- El contrato por parte de la empresa empieza el 01-10-2019.
- La primera unidad comienza con la modernización el 01-06-2021 y finaliza el 28 de Febrero 2022.
- Desde el 01-03-2022 hasta el 30-09-2024 se modernizan las unidades restantes.
- La fecha límite de finalización de modernización es el 01-10-2024, donde deben estar todas las unidades ya modernizadas, probadas y ensambladas.

En la figura 4.26, se resume la cronología del contrato.

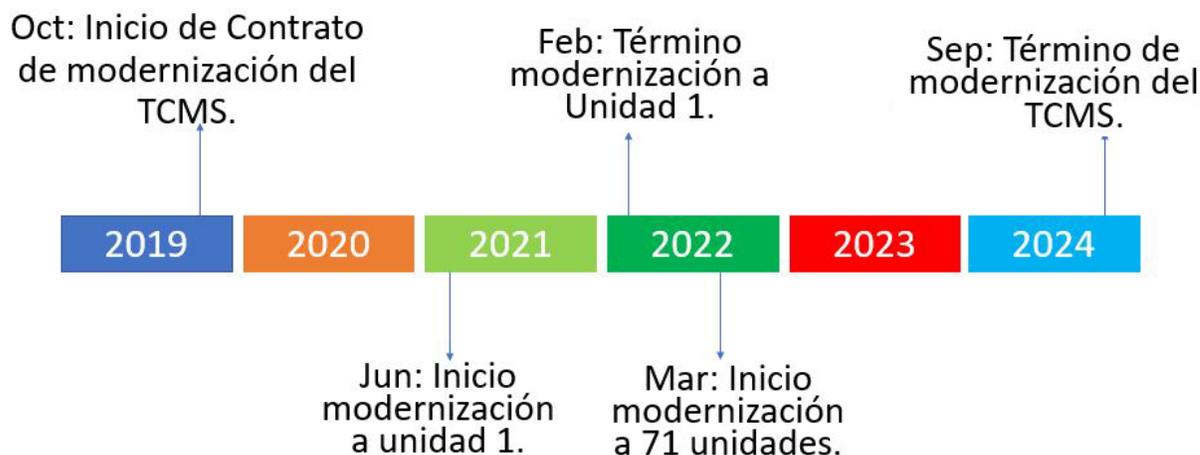


Figura 4.26: Línea de tiempo de la modernización del TCMS.

En el caso que no se cumpla con la entrega de las 72 unidades al cabo de los 5 años desde que comenzó el contrato, **se generarán multas** asociadas, las cuales corresponden al 5% de la facturación mensual por cada mes de atraso, que es aproximadamente \$20.000.000 de multa mensual en la entrega de las unidades, vale decir, si el proyecto se atrasa 2 meses, la

multa total corresponde a \$40.000.000. De esta manera, el valor recién calculado corresponde al 8.8 % del costo total estimado del proyecto, tomando como referencia un retraso de 2 meses.

En las siguientes cuatro tablas, se muestra la evolución de la modernización del TCMS según la cronología descrita anteriormente. Primero se tiene una unidad a modernizar, la cual estará 9 meses en periodo de prueba durante los meses de junio 2021 hasta febrero 2022. Luego, se irá modernizando una unidad a la vez hasta Septiembre 2024, fecha en que finaliza el periodo de modernización establecido en el contrato. En resumen, la primera unidad se moderniza en 9 meses y las 71 unidades restantes se modernizan en el tiempo sobrante que corresponde a 31 meses, es decir, **944 días**. Se asume que las 71 unidades se modernizan en la misma cantidad de tiempo, de esta manera, el tiempo máximo a trabajar en cada una de ellas, se calcula ocupando la fórmula 3.1 de **metodología**:

$$Tiempo_{unidad} = \frac{944}{71} \left[\frac{días}{unidades} \right] = 13.3 \left[\frac{días}{unidad} \right] \quad (4.1)$$

El tiempo máximo disponible en el que se puede modernizar cada unidad si se trabaja a una tasa constante, corresponde a 13.3 días, por lo que se establece **13 días** como el tiempo tope para finalizar las actividades de la modernización del TCMS en cada una de las unidades.

Tabla 4.22: Evolución de Modernización del TCMS, año 2021.

Año	2021						
Mes	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic
Unidad 1							

En las siguientes 3 tablas, se considera que cada unidad comprendida entre la N° 2 y 72, tarda un tiempo de 13 días en modernizarse, por lo que resulta natural que en algunos meses aparezcan 3 unidades modernizandose, ya que si se considera que el día 1 de "x" mes se empieza a trabajar, al cabo de 26 días ya se modernizaron 2 unidades, luego el día 27 se empieza a modernizar otra unidad, la cual finaliza sus actividades el siguiente mes, representandose así en las tablas en 2 meses, esto porque empieza un mes y finaliza el siguiente (en la tercera unidad sucede esto). Existe otro caso en que ciertos meses se contabilizan 4 unidades, esto ocurre porque los primeros días del mes se finaliza la Modernización de una unidad, luego se modernizan 2 unidades (una después de otra), luego, los últimos días del mes se empieza a modernizar la cuarta unidad del mes.

Tabla 4.23: Evolución de Modernización del TCMS, año 2022.

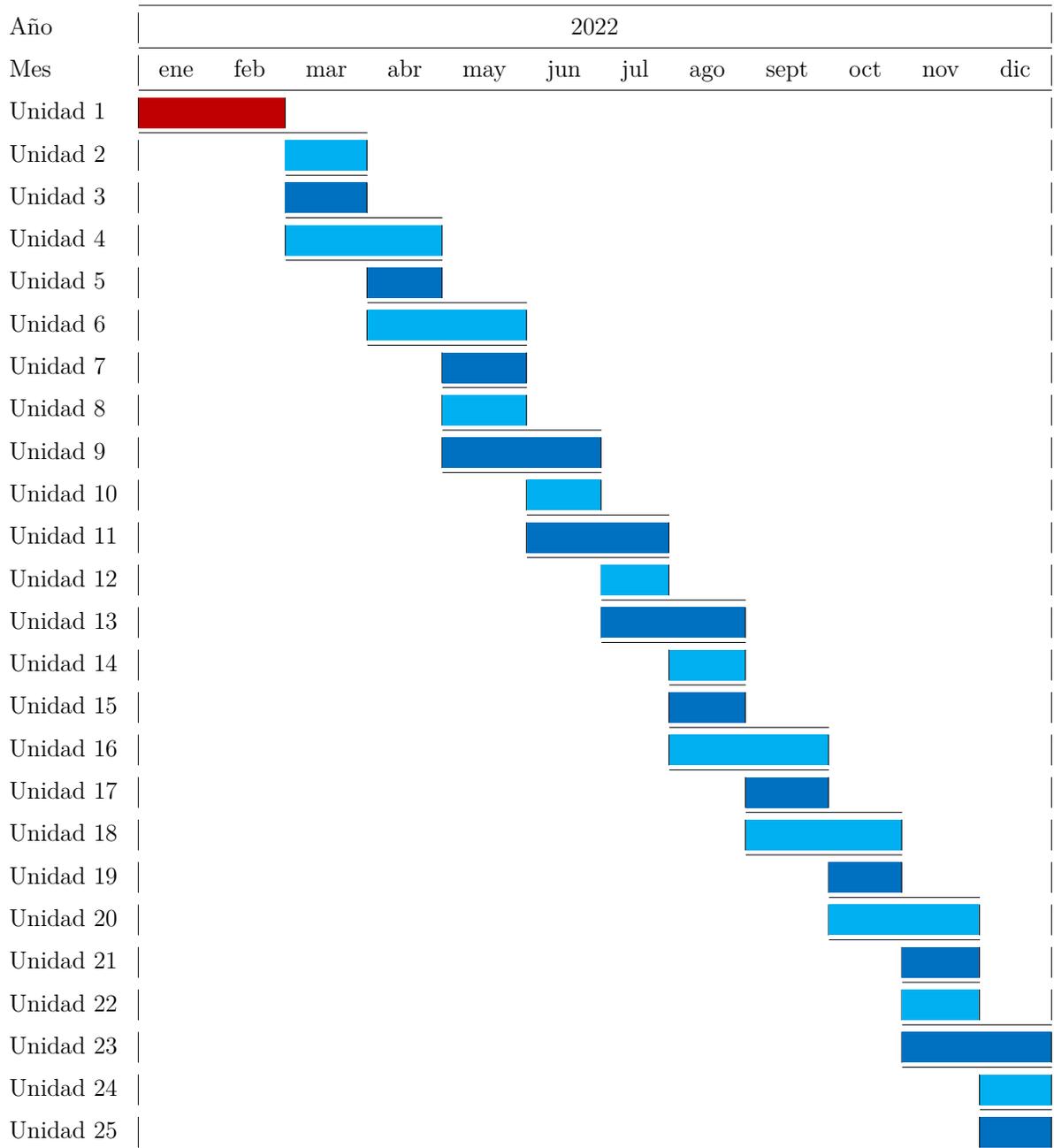


Tabla 4.24: Evolución de Modernización del TCMS, año 2023.

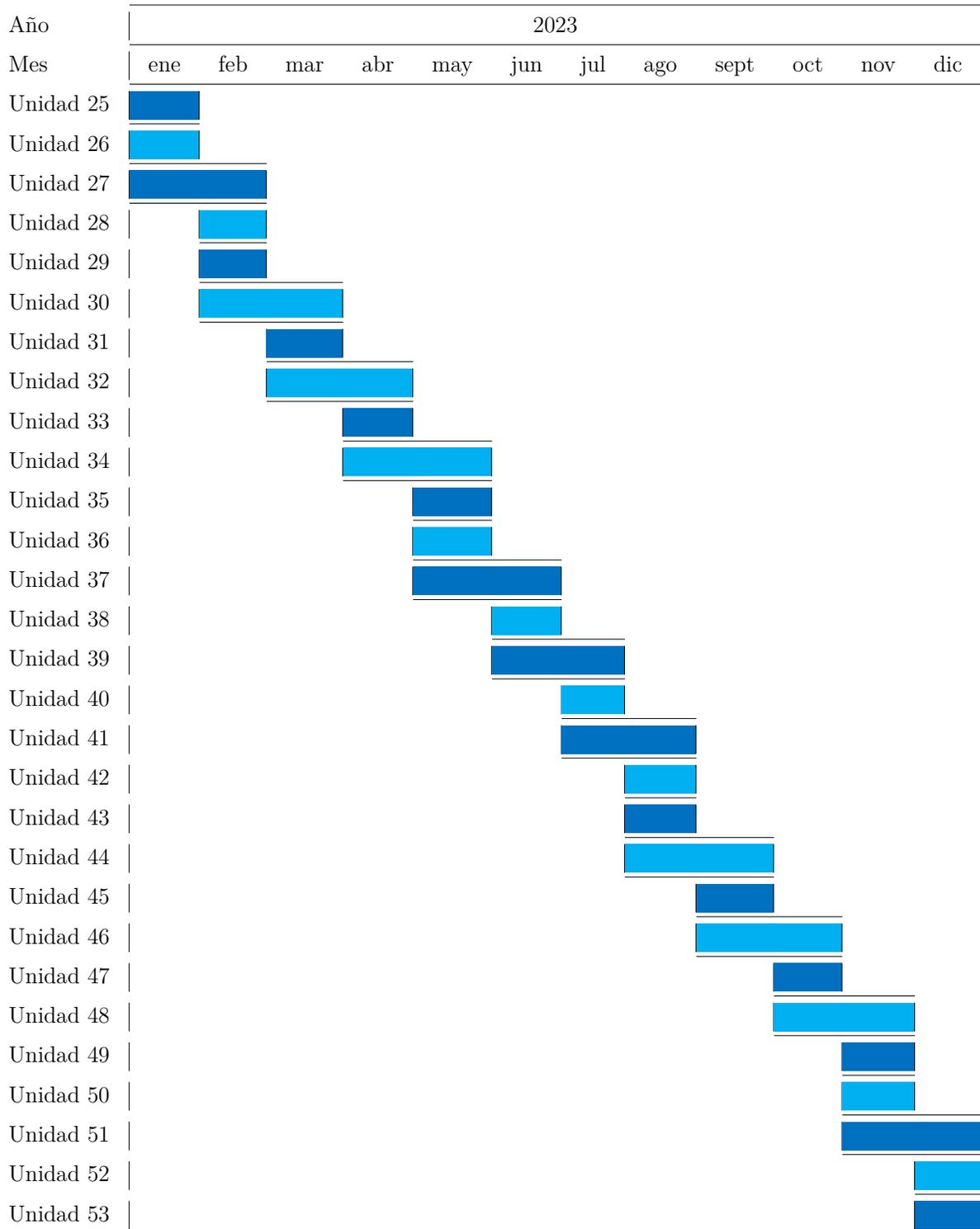
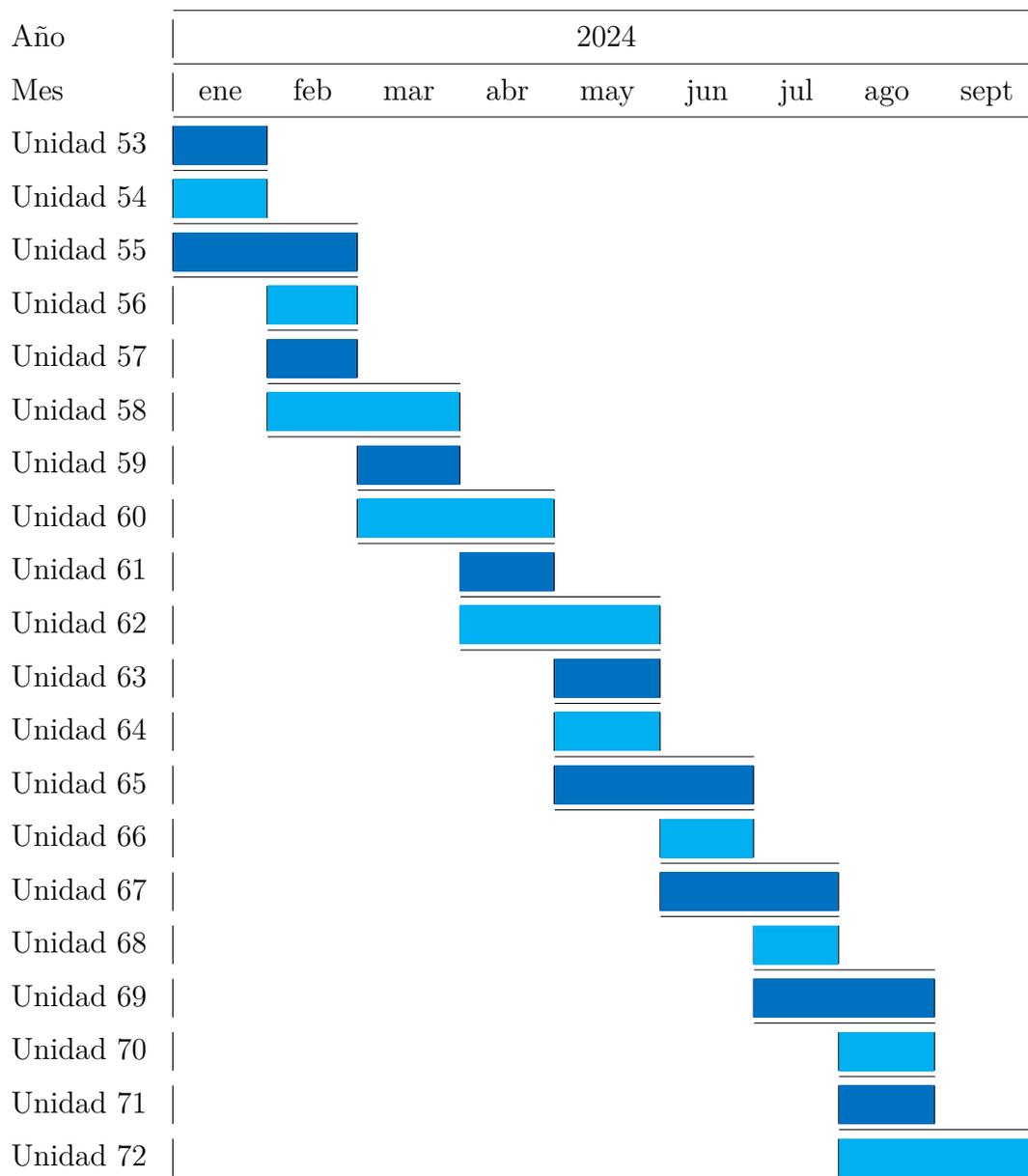


Tabla 4.25: Evolución de Modernización del TCMS, año 2024.



4.8. Estimación HH requeridas en las actividades de Modernización del TCMS

Las actividades que se debe realizar en cada unidad, como se ha mencionado a lo largo de este documento, se clasifican por coche y también, por su naturaleza de **interior coche**, **bajo techo** y **bajo bastidor**. En los tres casos, los tipos de actividades pueden ser: Desmontaje de componentes, modificaciones en el tren, montaje de componentes, o bien, cableado.

Los tiempos estimados de las actividades del TCMS, que corresponden en este caso a las áreas de **bajo techo + bajo bastidor** se muestran en la tabla 4.26. El total de horas corresponde a **128 HH**, este tiempo se obtuvo ocupando la fórmula 3.2 presente en **Metodología**.

Donde \sum **Bajo Techo** corresponde al tiempo de la actividad "*Pasaje de cables desde A. E. Izq. final coche MC +Jumper*", y \sum **Bajo Bastidor** corresponde a la suma del resto de las actividades.

Tabla 4.26: Tiempos referenciales asociados a las actividades de Modernización del TCMS de las áreas bajo techo y bajo bastidor.

Bajo bastidor y bajo techo		
Actividad	Ubicación	[HH]
Desmontar bogie (1 por coche)	Bajo bastidor	12
Montaje bogie	Bajo bastidor	12
Perforar caja ligación	Bajo bastidor	4
Insertar y fijar tubo para cables	Bajo bastidor	6
Pasaje de cables al nuevo panel de compresor + jumper	Bajo bastidor	6
Cableados desde HSCV hacia OCU	Bajo bastidor	8
Cableados desde HSCV hacia 4 Sensores de posición	Bajo bastidor	8
Pasaje de cables desde A.E.Izq. hasta final de coche MC+jumper	Bajo techo	8
$HH_{TOTAL} \text{Bajo techo} + \text{bajo bastidor}$		128 [HH]

En la tabla 4.27 se muestra el tiempo requerido por cada actividad en el **interior coche**, notar que el total de horas corresponde a **112 HH**, este tiempo se obtuvo en función de la fórmula 3.3 presente en **Metodología**.

En esta ecuación \sum **Coche MC**, corresponde a la suma de todos los tiempos de las actividades que estén asociadas al coche MC (desde desmontaje de DDU hasta la instalación de las CRSs), mientras que \sum **Coche R** corresponde a aquellos tiempos del coche R.

Tabla 4.27: Tiempos referenciales asociados a las actividades de Modernización del TCMS del área interior coche.

Interior Coche		
Actividad	Coche	[HH]
Desmontaje DDU	MC	1
Montaje DDU	MC	2
Desmontaje disyuntores AED	MC	2
Montaje disyuntores AED	MC	3
Desmontaje RIOM	MC	1,5
Desmontaje MPU	MC	1,5
Desmontaje procesador DDU	MC	1,5
Desmontaje soportes actuales de MPU, RIOMs y Proc. DDU	MC	4
Montaje soportes nuevos de MPU, RIOMs, CRS y TRS	MC	5,5
Cableado de DDU a AED y AEI	MC	7
Cableado A. E. Izquierdo	MC	10
Montaje MPU	MC	1,5
Montaje 2 RIOMs	MC	3
Montaje 2 CRS	MC	3
Desmontaje RIOM	R	1,5
Desmontaje soportes RIOM	R	2,5
Montaje Soportes para RIOM	R	2
Cableado RIOM	R	4
Desmontaje disyuntor	R	2
Montaje disyuntores coche R (2)	R	2
Montaje soportes para CRS	R	2,5
Montaje CRS	R	2,5
HH_{TOTAL}Interior Coche		112 [HH]

Del desglose anterior, se puede observar que para modernizar el TCMS de 1 unidad compuesta por 2 coches MC y 1 coche R, se requieren $(112 + 128)$ [HH], es decir, **240 HH**. Este total de horas incluye la suma de los tiempos de cada una de las actividades en interior coche, bajo bastidor y bajo techo.

4.9. Restricciones de tiempo en la Modernización del TCMS

Durante el transcurso de la modernización del TCMS en la primera unidad, puede ocurrir que los tiempos preliminares estimados en las tablas 4.26 y 4.27 se vean afectados. De esta manera, se analizan 5 escenarios distintos. Es importante analizar cada uno de estos, ya que en proyectos de gran envergadura puede ocurrir que el tiempo real de trabajo, difiera del calculado teóricamente. Los escenarios a analizar son:

- Escenario muy pesimista.

- Escenario pesimista.
- Escenario base (preliminar considerado en 4.7).
- Escenario optimista
- Escenario muy optimista

Se debe tener en cuenta que el tiempo disponible para entregar cada unidad debe contemplar 2 tiempos asociados, los cuales son el tiempo total requerido para la Modernización del TCMS y el tiempo necesario para las pruebas de la puesta en marcha. Este último tiempo puede oscilar entre 2 y 3 días en promedio, de esta manera, de los 13 días disponibles, 2 o 3 de ellos se ocuparán en pruebas, además se debe contabilizar la existencia de 1 o 2 días que corresponden a feriados (Domingo), en consecuencia, el tiempo disponible para realizar la Modernización del TCMS corresponde al rango de 8 a 10 días trabajados. Para analizar los diferentes escenarios, se analizará el rango de días restantes para realizar las actividades de Modernización (8 a 10 días) y la cantidad de personas trabajando en dichas actividades (3 a 5 trabajadores).

En la siguiente tabla, se visualiza todos los casos en que se podría recibir un tren para modernizarlo, es decir, corresponde a los casos en que se recibe el día Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes, Sabado o bien, el Domingo, aunque este último día no se trabaja, así, el tren se recibe al día siguiente. En 6 de las 7 combinaciones se observa que durante la estadía de la unidad en las actividades de Modernización del TCMS, esta contiene 2 festivos (domingos), días en los cuales no se trabaja. De esta manera, se asumirá que de los 13 días que el tren está en taller para su Modernización, solo 10 de ellos estará disponible para los trabajos, lapso en que se debe realizar la modernización del TCMS y realizar las pruebas.

Tabla 4.28: Combinaciones para la recepción de las unidades.

Combinaciones	Dias												
1	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
2	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
3	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L
4	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M
5	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M
6	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J
7	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V

Existe una restricción por parte de la empresa en que se debe cumplir con cierto porcentaje de fiabilidad en la flota, es decir, no puede haber más de 3 unidades detenidas al mismo tiempo, esto respecto de los proyectos de Modernización del TCMS, Modernización de Traccion, Modernización de iluminación Led, o bien, de la Gran Revisión (GR), la cual corresponde a intervenciones o actividades de mantenimiento mayor, definidas en el manual de mantenimiento del tren, las cuales incluyen intervenciones profundas de sus componentes

y equipos. Al realizar diversas proyecciones, donde los principales parámetros son el personal operativo, la cantidad de trenes y las 4 actividades en conjunto, se llega a la conclusión que puede haber solo 1 unidad modernizándose respecto al TCMS a la vez, por lo que para cumplir con el contrato de la empresa, se debe modernizar cada unidad en un plazo máximo de 13 días en promedio (contando las pruebas que se deben realizar luego de finalizar las actividades de Modernización del TCMS).

4.10. Modelamiento de productividad bajo distintos escenarios

Como se dijo anteriormente, los distintos escenarios se evaluarán desde 3 a 5 personas , además, la cantidad de días laborales en los que se puede realizar la modernización en cada unidad son 8, 9 o bien, 10 días como máximo. De esta manera, se tiene el siguiente resumen de HH disponibles para modernizar las 71 unidades en el periodo marzo-2022 hasta septiembre 2024 mostrado en la tabla 4.29.

Tabla 4.29: Cantidad de HH según trabajadores y días trabajados por unidad.

	8 días	9 días	10 días
Con 3 trabajadores	13.632	15.336	17.040
Con 4 trabajadores	18.176	20.448	22.720
Con 5 trabajadores	22.720	25.560	28.400

En la tabla cruzada anterior, se tiene la cantidad de HH involucradas en la Modernización. El cálculo de cada una de ellas se hizo multiplicando la cantidad de trabajadores, los días trabajados y la jornada laboral mediante la siguiente fórmula:

$$HH(x, y) = x \left[\frac{\text{trabajadores}}{\text{día}} \right] \times 71 [\text{unidades}] \times y \left[\frac{\text{días}}{\text{unidad}} \right] \times 9 \left[\frac{HH}{\text{trabajador}} \right] \quad (4.2)$$

Al simplificar la ecuación anterior se llega a la siguiente ecuación:

$$HH(x, y) = 639 \times x \times y \quad (4.3)$$

Donde x corresponde a la cantidad de trabajadores disponibles por día, los cuales pueden ser 3, 4, o bien, 5; mientras que y corresponde a la cantidad de días en los que se trabaja por unidad en la Modernización del TCMS.

En la siguiente tabla, se muestra la tasa de aprendizaje obtenida para los distintos casos ocupando las fórmulas 3.4, 3.5 y 3.6 de la **sección 3.6** de metodología.

Tabla 4.30: Tasas de aprendizaje promedio y final para estimación de tiempos en los diferentes escenarios.

Escenarios	L1	L2	Tasa de Aprendizaje L
Muy optimista	76,39 %	72,00 %	74,19 %
Optimista	78,95 %	80,00 %	79,47 %
Base	-	-	-
Pesimista	96,15 %	77,33 %	86,74 %
Muy pesimista	97,44 %	84,21 %	90,82 %

Ocupando la ecuación 2.3, los valores obtenidos para T_1 presente en la sección **Metodología** y los valores de L de la tabla 4.30, se llega a las siguientes fórmulas para calcular las HH requeridas por unidad en cada uno de los escenarios:

▪ **Escenario muy optimista**

$$T_x = 720 \times x^{-0.4307} \left[\frac{HH}{Unidad} \right] \quad (4.4)$$

▪ **Escenario optimista**

$$T_x = 608 \times x^{-0.3315} \left[\frac{HH}{Unidad} \right] \quad (4.5)$$

▪ **Escenario Base**

$$T_x = 240 \left[\frac{HH}{Unidad} \right] \quad (4.6)$$

▪ **Escenario pesimista**

$$T_x = 624 \times x^{-0.2052} \left[\frac{HH}{Unidad} \right] \quad (4.7)$$

▪ **Escenario muy pesimista**

$$T_x = 624 \times x^{-0.1389} \left[\frac{HH}{Unidad} \right] \quad (4.8)$$

Donde x corresponde a la unidad en estudio. Esta fórmula es aplicable a partir de la quinta unidad, ya que el valor de las actividades del TCMS para las 4 primeras unidades son valores estimados. En el **Anexo B**, capítulos **B.1.1**, **B.1.2**, **B.1.3**, **B.1.4** y **B.1.5** se encuentran los valores calculados para las HH requeridas para cada unidad usando el método logarítmico de la curva de aprendizaje. Además, se muestra la cantidad de días laborales necesarios por unidad cuando se tiene 3, 4 y 5 trabajadores en simultáneo realizando las actividades de modernización del TCMS.

En la figura 4.27, se muestra las curvas de aprendizaje asociadas a los escenarios estudiados, donde se ve que a medida que se modernizan más unidades, el tiempo requerido por unidad va disminuyendo de forma logarítmica.

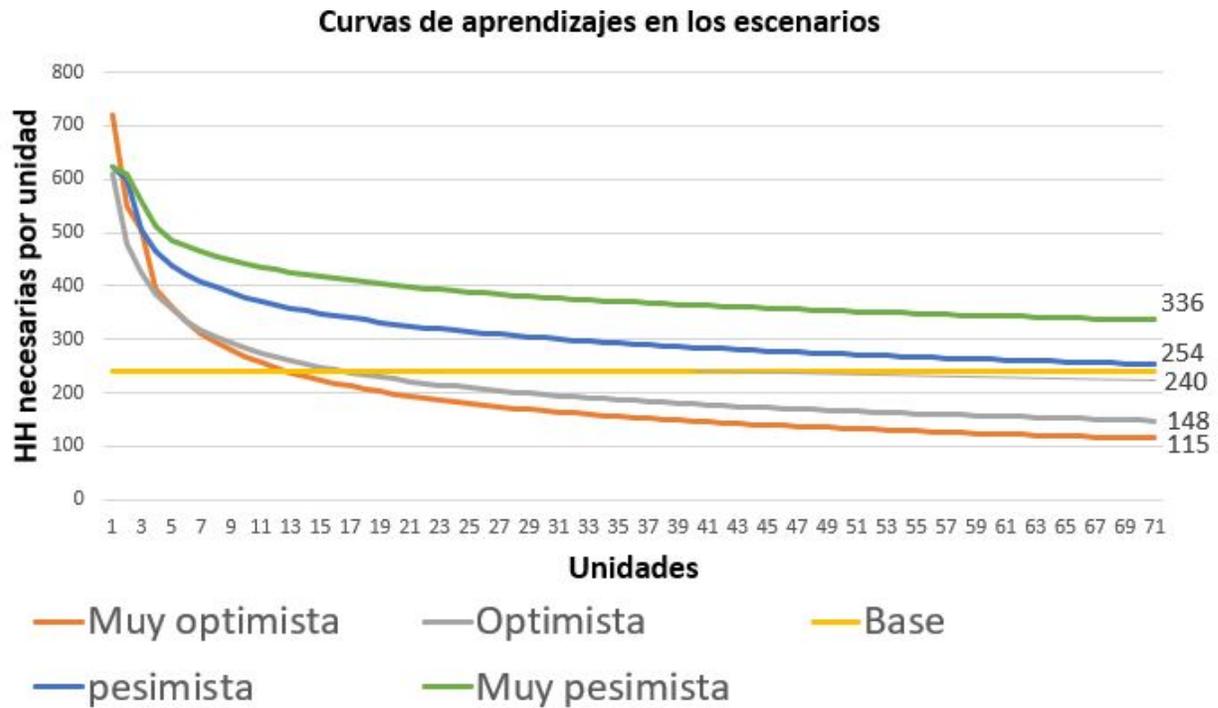


Figura 4.27: Curvas de aprendizaje de HH necesarias por unidad, en los diferentes escenarios.

Otro indicador importante a analizar corresponde a las HH acumuladas en cada uno de los escenarios en función de las unidades, ya que éste muestra la evolución de las HH requeridas, además, de la información relacionada a la suma total de HH necesarias para la modernización del TCMS junto a los puntos donde se intersectan las curvas de los distintos escenarios. Las ecuaciones para graficar cada una de las curvas se muestra a continuación.

$$HH_{acumuladas}_n = \sum_{i=1}^n T_i \quad (4.9)$$

Donde T_i corresponde a las HH requeridas para modernizar el TCMS de la unidad i , y $HH_{acumuladas}_n$, corresponde a las HH acumuladas hasta la unidad n .

A partir de la quinta unidad a Modernizar, las HH acumuladas hasta la unidad "n" $HH_{acumuladas}_n$ en los distintos escenarios, se calculan mediante las siguientes fórmulas:

- **Escenario muy optimista**

$$HH_{acumuladas}_n = 2.170 + \sum_{i=5}^n 720 \times i^{-0.4307} [HH] \quad (4.10)$$

- **Escenario optimista**

$$HH_{acumuladas}_n = 1.896 + \sum_{i=5}^n 608 \times i^{-0.3315} [HH] \quad (4.11)$$

- Escenario Base

$$HH_{acumuladas}_n = 240 \times n[HH] \tag{4.12}$$

- Escenario pesimista

$$HH_{acumuladas}_n = 2.192 + \sum_{i=5}^n 624 \times i^{-0.2052}[HH] \tag{4.13}$$

- Escenario muy pesimista

$$HH_{acumuladas}_n = 2.304 + \sum_{i=5}^n 624 \times i^{-0.1389}[HH] \tag{4.14}$$

Los números 2.170, 1.896, 2.192 y 2.304, que aparecen en las ecuaciones para los escenarios muy optimista, optimista, pesimista y muy pesimista respectivamente, corresponde a la suma de las HH requeridas para modernizar las primeras 4 unidades según la **tabla 4.9**.

En la siguiente figura, se muestran curvas con las **HH acumuladas** a medida que se modernizan las unidades en los diferentes escenarios, donde el escenario base (recta amarilla) es aquel que toma 240 HH para cada una de las unidades. Notar que este gráfico solo incluye desde la unidad N°2 hasta la la 72 ya que la primera unidad toma 9 meses y se analiza a parte.

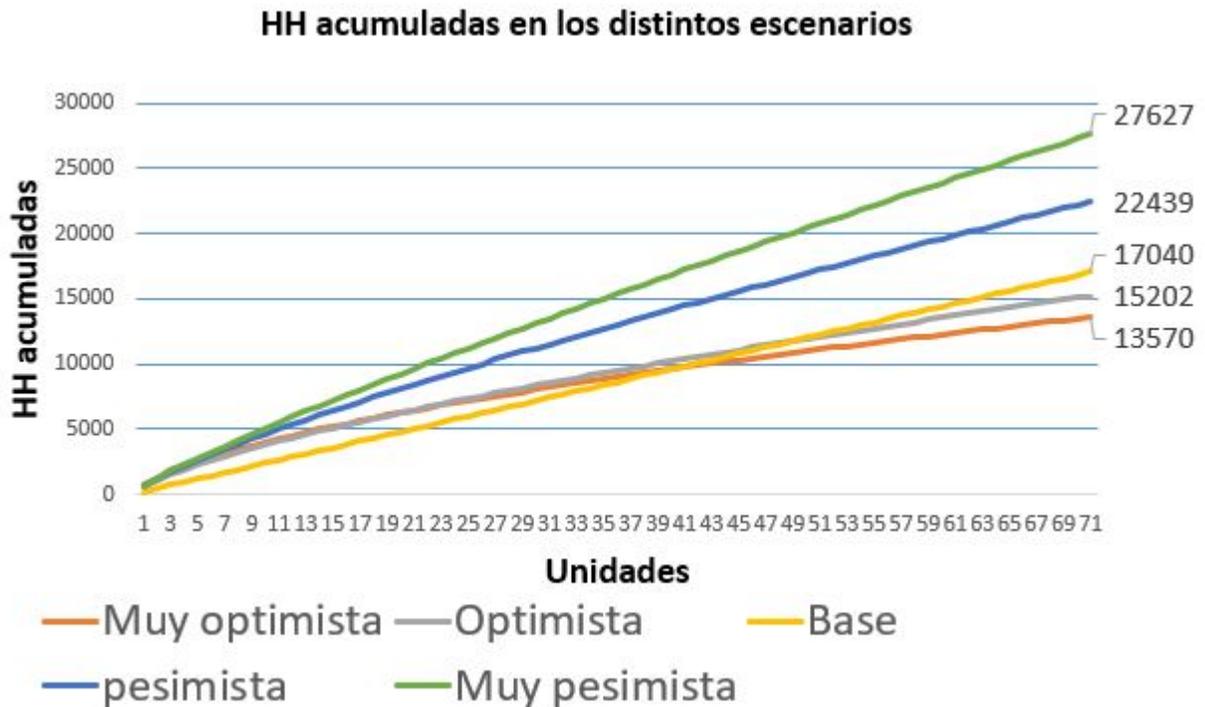


Figura 4.28: Evolución de HH acumuladas en las unidades, escenario muy pesimista.

En la siguiente figura, se muestra la evolución de los días laborales necesarios por unidad cuando se dispone de 3, 4 y 5 trabajadores en simultáneo, en los 5 escenarios considerados.

Además, se incluye una línea roja horizontal que corresponde a los días laborales disponibles para terminar la modernización del TCMS a tiempo sin someterse a multas.

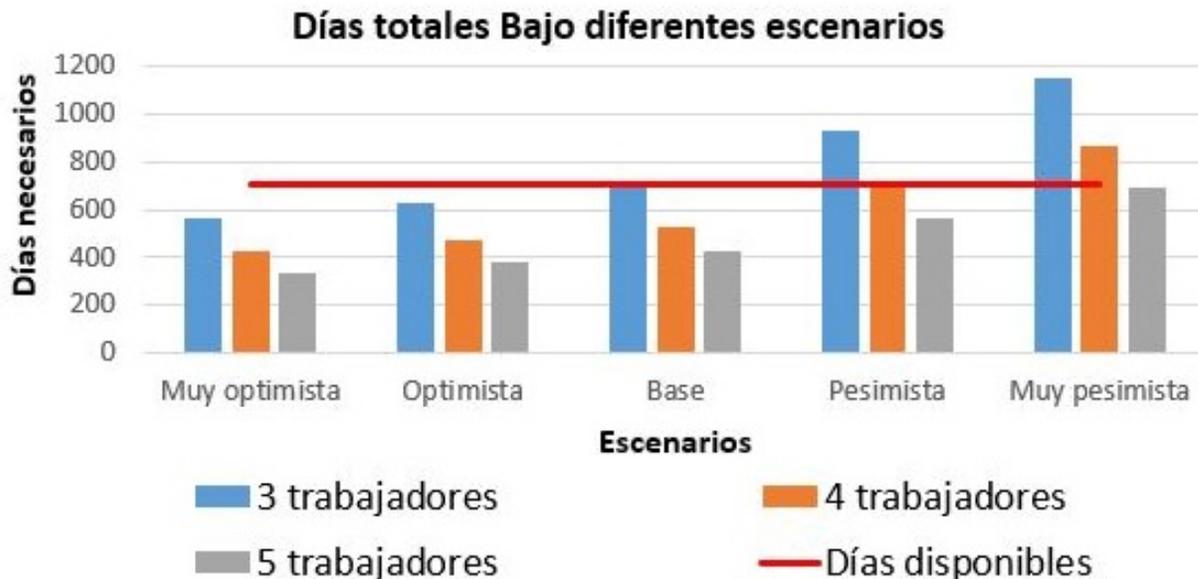


Figura 4.29: Días laborales acumulados en los 5 escenarios estudiados con 3,4 y 5 trabajadores en simultáneo.

4.11. Análisis del modelamiento bajo distintos escenarios

Es sabido que en toda actividad nueva de carácter repetitivo, los tiempos de producción van decreciendo con el tiempo, esto se explica de mejor manera con la figura 2.6 de curva de aprendizaje, presente en **Antecedentes**, donde a medida que pasa el tiempo, la variable asociada a la cantidad de horas de producción de la unidad "x", decae en el tiempo de manera logarítmica.

De la figura 4.27, se debe notar que para las primeras unidades, se debe tener una gran cantidad de HH para lograr terminarlas, pero a medida que se avanza en el número de unidades, el valor asociado a las HH requeridas por unidad va disminuyendo lo que quiere decir, que los trabajadores van aprendiendo y desarrollando nuevas tácticas con el tiempo y cada vez demoran menos en modernizar las unidades. Además, a medida que se avanza en el número de unidades, el valor absoluto de la pendiente del gráfico disminuye, el comportamiento de la pendiente se debe a que los trabajadores van completando sus habilidades y destrezas por lo que cada vez resulta más difícil aprender nuevas tácticas que permitan disminuir de manera considerable el tiempo necesario por unidad. De esta manera, se tiene que a medida que se avanza en la Modernización del TCMS, las curvas de aprendizaje en los diferentes escenarios van adquiriendo un valor constante a partir de alguna unidad. La curva en amarillo representa el caso base en que todas unidades se modernizan con la misma cantidad de **240 HH**, respecto de las cuatro curvas restantes, asociadas a los escenarios muy optimista, optimista, pesimista y muy pesimista; se observa de la figura 4.27 que la curva en verde y

en azul en todo momento están por encima del escenario base, lo que se traduce en que se requerirá de muchas horas extras que no están contempladas en el contrato para terminar en los plazos establecidos. Respecto de las curvas en gris y naranja, se observa que tienen un decaimiento logarítmico bastante elevado dentro de las primeras 20 unidades, donde el escenario optimista, (gris) al cabo de 17 unidades, requiere menos de 240 HH, mientras que en el escenario muy optimista, a partir de la unidad 13 se tienen tiempos menores a 240 [HH], de esta forma, estos últimos 2 escenarios vistos, corresponden a los deseados en todo proyecto, ya que al cabo de pocas unidades, se requiere menos del tiempo estimado en promedio para modernizar las unidades.

De la figura 4.27, se puede ver que en los casos muy optimista y optimista, la pendiente de las curvas son ligeramente más pronunciadas que en los casos pesimista y muy pesimista. Esto se debe principalmente a que las HH consideradas en las primeras 4 unidades de estos escenarios hacen que el exponente asociado a las fórmulas en los escenarios sean mayores que en los casos pesimista y muy pesimista. Si se quisiera tener un mejor desempeño en cada escenario, se debería dedicar más HH en capacitaciones para los trabajadores o bien, aplicar técnicas para la mejora de la gestión de los recursos humanos en la empresa tales como: contratar a un mentor o coach, que es un profesional especializado en motivar a los empleados y enseñarles técnicas de gestión del tiempo y mejora del desempeño laboral, o también, mediante la inserción de objetivos junto a un incentivo económico para ellos si se logra, ya que de esta manera, los trabajadores estarían más motivados con sus tareas y tratarían de hacerlas de la mejor manera la mayor parte del tiempo, para conseguir el incentivo económico.

De la figura 4.28, se puede extraer que los escenarios muy pesimista y pesimista, necesitan más HH que el caso base, es decir, se requerirá de más personas para poder entregar el trabajo a tiempo, la única combinación posible para cumplir con el contrato en el escenario con 27.627 [HH], es disponer de 5 trabajadores en simultáneo los cuales demorarían en promedio 9,7 días por unidad, en consecuencia, al observar la **tabla 4.29**, la combinación posible para cumplir con lo requerido, es contar con 5 trabajadores y trabajando en promedio 10 días por unidad, ya que esta combinación disponen de 28.400 HH, lo cual es mayor que las 27.627 necesarias. Respecto del escenario pesimista, el cual necesita de 22.439 [HH], las combinaciones posibles para cumplir con el plazo establecido corresponden a elegir: 4 trabajadores los cuales trabajan en promedio 9,9 días en cada unidad (se debe tener presente que en las primeras unidades la cantidad de días necesarios para modernizar la unidad es alto, pero a medida que se modernizan unidades, este va disminuyendo considerablemente), o bien, con 5 trabajadores entregando cada unidad en un tiempo promedio de 7.9 días. Esta información es respecto de la entrega por la **tabla 4.29** donde se destaca en color rosado las 2 combinaciones descritas, las cuales poseen 22.720 [HH disponibles] cuyo valor es ligeramente superior al necesitado (22.439 [HH]). De estas combinaciones, por temas de multas, es más conveniente tener 5 trabajadores al mismo tiempo, ya que de lo contrario puede que no se cumpla con el plazo establecido del contrato, lo que trae como consecuencias, multas millonarias.

De la figura 4,28 se observa que en el **escenario optimista** se requieren 15.202 [HH], lo cual es inferior al caso base en que se necesitan 17.040 [HH], en el cual se tiene a 3 trabajadores en simultáneo los cuales terminan cada unidad en un plazo de 10 días. De la tabla 4.27, la combinación posible para el caso optimista, es tener 3 trabajadores en simultáneo, los cuales entregan la unidad en 9 días promedio cuya suma de [HH disponibles] es 15.336,

valor ligeramente superior al requerido de 15.202 [HH], en conclusión, el escenario optimista requiere 3 trabajadores en simultáneo demorando 9 días promedio en entregar cada unidad.

De todas las curvas presentes en la figura 4.28, la asociada al **escenario muy optimista** es la más favorable en terminos de HH y su vez en costos, ya que solo requiere 13.570 [HH], muy por debajo de lo estimado en el caso base donde se necesitan 17.040 [HH]. Se debe notar que las 13.570 [HH] invertidas en las 71 unidades, equivalen a 7.96 días laborales promedio por cada unidad, si se considera que trabajan 3 profesionales en simultáneo. De la tabla 4.29, la configuración que mejor se adapta a este requerimiento es tener 3 trabajadores en simultáneo trabajando en las actividades de la modernización del TCMS, los cuales entregan cada unidad en un periodo promedio de 9 días laborales, teniendo así, 15.336 [HH disponibles]. En conclusión, para el escenario muy optimista, basta tener 3 trabajadores en simultáneo, para entregar cada unidad en 9 días promedio.

En la figura 4.29, para cumplir con el contrato de la modernización del TCMS, se debe escoger las configuraciones que estan **por debajo de la línea roja**. En los escenarios muy optimista, optimista y base, se debe notar que con 3, 4 y 5 trabajadores se alcanza a cumplir con el plazo establecido por la empresa. En estos escenarios, se puede ver que con 3 trabajadores en simultáneo se cumple con lo requerido. De esta manera, se escoge el mínimo valor posible para estos escenarios, que corresponde a 3 trabajadores. Dado que es de suma importancia cumplir con la modernización del TCMS a tiempo para no incurrir en multas, se podría escoger la configuración de 5 trabajadores en cada uno, ya que así, se terminaría la modernización mucho antes de lo estimado. En general, tener más trabajadores en un proyecto trae como consecuencia, costos elevados de mano de obra, sin embargo, en la modernización del TCMS esto no es un problema dado que la empresa cambia las funciones de los trabajadores constantemente, trasladandolos desde un proyecto a otro sin ningún costo asociado en ello. De esta manera, se opta por la configuración mínima que satisface la necesidad, que corresponde a 3 trabajadores en los 3 casos mencionados.

Para los escenarios pesimista y muy pesimista el análisis es similar, pero con la diferencia que con 3 trabajadores no es viable el proyecto y no se alcanza a cumplir con el contrato en la fecha de término. El escenario pesimista requiere al menos de 4 trabajadores para entregar las unidades a tiempo, mientras que el caso muy pesimista requiere de 5 trabajadores en simultáneo. Además, de la figura 4.29, se puede ver que en todos los escenarios, al menos una combinación de trabajadores hace posible que los días necesarios para finalizar las actividades de la modernización del TCMS sean menos que la cantidad de días disponibles, de esta manera, **no se incurre en multas en ninguno de los escenarios**. Para asegurar la entrega a tiempo de todas las unidades, en cada uno de los escenarios, basta escoger la configuración mínima. De esta manera, en el escenario pesimista se escogen 4 trabajadoresw y en el caso muy pesimista, 5 trabajadores en simultáneo.

Obs: El costo de mano de obra esta basado en HH necesarias y no en trabajadores en simultáneo, es por ello que se escoge la máxima cantidad de trabajadores disponible, para la modernización del TCMS en los 5 escenarios analizados.

En conclusión, se escoge la cantidad mínima de trabajadores en cada escenario, para asegurar el cumplimiento en las fechas correspondientes.

4.12. Costos de la Modernización del TCMS en los diferentes escenarios considerados

El costo asociado a la Modernización del TCMS se divide en los gastos incurridos en los equipos electrónicos, insumos necesarios y mano de obra de los trabajadores (3, 4 o 5 en simultáneo) durante la Modernización del TCMS de la unidad prototipo 1 y de las 71 unidades restantes.

En la sección 2.4 de este libro, se estimó que el gasto asociado a la Modernización del TCMS era de 450 millones de pesos, de los cuales, **360 millones de pesos corresponden a los equipos electrónicos**, mientras que, la mano de obra corresponde a 90 millones de pesos. Para efectos prácticos y de comparación en la Modernización del TCMS, se seguirá usando que el costo asociado a equipos electrónicos corresponde a \$360.000.000, mientras que los asociados a mano de obra serán en base a las HH calculadas durante el capítulo 4 de este libro en los 5 escenarios vistos.

La [HH] asociada a la Modernización del TCMS, se fijó en **\$9.000 la hora**, de esta manera, en la siguiente tabla se muestra la cantidad de HH necesarias en cada escenario con sus respectivos costos asociados a Modernizar las 71 unidades luego del prototipo, sin incluir los costos de los equipos e insumos.

Tabla 4.31: Costos de las [HH] en las 71 unidades.

Escenario	HH requeridas	Costos Modernización 71 unidades
Muy optimista	13.570	\$ 122.130.000
Optimista	15.202	\$ 136.818.000
Base	17.040	\$ 153.360.000
Pesimista	22.439	\$ 201.951.000
Muy pesimista	27.627	\$ 248.643.000
Promedio	19.176	\$ 172.580.400

La primera unidad estará 9 meses en estudio, con 2 personas en simultáneo, esto se justifica ya que hay diversas actividades de la Modernización que se requiere hacer de 2 personas en simultáneo, por lo que el mínimo valor a escoger es 2. A su vez, como la unidad estará 9 meses en modernización, basta con elegir 2 personas para que hagan los estudios correspondientes y realicen las actividades de diversas maneras, cambiando la secuencia, estudiando mejoras, analizando los instructivos para ver si a estos hay que aplicarle modificaciones entre otras, en conclusión, basta con escoger 2 personas en simultáneo, con la jornada laboral de la empresa en que trabajan 9 horas al día, 5 días a la semana, entre el 01 de Junio 2021 hasta 28 febrero 2022, lapso en el cual hay 39 semanas. En la siguiente fórmula se calcula el costo correspondiente a la primera unidad, la cual se moderniza por un periodo de 9 meses, trabajando 2 personas en simultáneo. Durante este periodo, hay exactamente 39 semanas, en cada semana se trabaja 5 días, de esta manera, el total de días invertidos en la primera unidad es 195 días.

$$HH_{unidad1} = 2\left[\frac{personas}{día}\right] \times 9\left[\frac{HH}{persona}\right] \times 195[días] = \mathbf{3.510[HH]} \quad (4.15)$$

$$Costos_{unidad1} = 3.510[HH] \times 9.000\left[\frac{\$}{HH}\right] = \mathbf{\$31.590.000} \quad (4.16)$$

Los insumos y consumibles presentes en la modernización, tales como herramientas manuales, brocas, entre otros, se estimarán como el 3% del costo de los equipos eléctricos, lo que se traduce en que el costo de los equipos eléctricos, insumos y consumibles corresponde a:

$$Costos \text{ equipos eléctricos} + insumos = 1,03 \times \$360.000.000 = \mathbf{\$370.800.000} \quad (4.17)$$

En la siguiente tabla se resume el costo total asociado a la Modernización del TCMS:

Tabla 4.32: Costos totales de Modernización del TCMS.

Escenario	Costo Total de modernización del TCMS
Muy optimista	\$ 524.520.000
Optimista	\$ 539.208.000
Base	\$ 555.575.000
Pesimista	\$ 604.341.000
Muy pesimista	\$ 651.033.000
Promedio	\$ 574.935.400

Un indicador adecuado para representar el costo del proyecto corresponde al costo promedio de los 5 escenarios presente en la tabla 4.32, este valor es más alto que el calculado en la sección 2.4 ya que la estimación de HH de dicha sección, considera un valor estimado en base a otras modernizaciones empleadas en Chile en los últimos años. El costo total promedio, representa un 128% del valor estimado en la sección 2.4, es decir, se incurre en un 28% más de gastos asociados a la Modernización del TCMS producto de insumos, consumibles y una gran cantidad de [HH] requeridas que no forman parte de la primera estimación.

Dado que las HH requeridas promedio para finalizar a tiempo la modernización del TCMS son **19.175 [HH]**, se puede obtener la cantidad de horas hombre al tener 3, 4 y 5 trabajadores en simultáneo, durante los 31 meses en que se modernizan los 71 trenes desde marzo 2022 hasta el cierre del contrato en septiembre 2024 tiempo donde finaliza la modernización del TCMS. Las HH acumuladas en el caso **real** durante este periodo se obtienen empleando un factor de productividad de 0,8 que corresponde al porcentaje de tiempo trabajado efectivamente durante la jornada laboral respecto de la jornada de trabajo. Este valor es facilitado por la empresa y se obtiene mediante el promedio del último año entre todos los trabajadores del taller, para ello, la empresa posee un sistema por el cual obtiene la productividad de cada uno de los trabajadores.

Considerando que cada trabajador aporta con 180 HH por mes, de las cuales solo el 80%

son efectivas, la cantidad de HH que aporta cada trabajador durante el periodo de los 31 meses es:

$$HH_{trabajador} = 180 \left[\frac{HH}{mes} \right] \times 0,8 \times 31 [meses] = \mathbf{4.464} \text{ [HH]} \quad (4.18)$$

Las HH aportadas por 3, 4 y 5 trabajadores en simultáneo durante la modernización de los 71 trenes aplicando el factor de productividad real en la empresa son:

■ **3 trabajadores en simultáneo**

$$HH_{3trabajadores} = 4.464 \left[\frac{HH}{trabajador} \right] \times 3 [trabajador] = \mathbf{13.392} \text{ [HH]} \quad (4.19)$$

■ **4 trabajadores en simultáneo**

$$HH_{4trabajadores} = 4.464 \left[\frac{HH}{trabajador} \right] \times 4 [trabajador] = \mathbf{17.856} \text{ [HH]} \quad (4.20)$$

■ **5 trabajadores en simultáneo**

$$HH_{5trabajadores} = 4.464 \left[\frac{HH}{trabajador} \right] \times 5 [trabajador] = \mathbf{22.320} \text{ [HH]} \quad (4.21)$$

La cantidad de meses necesarios para finalizar la modernización del TCMS en las 3 configuraciones de trabajadores en un caso mas realista empleando el factor de productividad es:

$$Mesesnecesarios_i = \frac{HH \text{ requeridas del escenario}}{i \times 180 \times 0.8} \quad (4.22)$$

Donde **i** corresponde a la cantidad de trabajadores en simultáneo mientras que las **HH requeridas del escenario** se obtienen de la tabla 4.31.

En los casos donde se obtenga una cantidad de meses mayor a 31, que corresponde al tiempo destinado para modernizar los 71 trenes, la **cantidad de meses extras requeridos** luego del plazo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Mesesextras_i = Mesesnecesarios_i - 31 [meses] \quad (4.23)$$

En las siguientes fórmulas se detalla los meses necesarios para cada escenario en función del número de trabajadores en simultáneo **i**.

■ **Escenario muy optimista**

$$Mesesnecesarios_i = \frac{13.570}{i \times 144} [meses] \quad (4.24)$$

■ **Escenario optimista**

$$Mesesnecesarios_i = \frac{15.202}{i \times 144} [meses] \quad (4.25)$$

▪ **Escenario Base**

$$Mesesnecesarios_i = \frac{17.040}{i \times 144} [meses] \quad (4.26)$$

▪ **Escenario pesimista**

$$Mesesnecesarios_i = \frac{22.439}{i \times 144} [meses] \quad (4.27)$$

▪ **Escenario muy pesimista**

$$Mesesnecesarios_i = \frac{27.627}{i \times 144} [meses] \quad (4.28)$$

En la tabla 4.33 se resumen los escenarios en estudio con sus distintas configuraciones de trabajadores en simultáneo, con los meses necesarios para finalizar la modernización del TCMS, y la cantidad de meses extras requeridos luego del lapso de los 31 meses.

Tabla 4.33: Meses necesarios y meses extras luego del plazo para finalizar la modernización del TCMS.

Escenario	Cantidad de trabajadores en simultáneo	Meses necesarios para finalizar la modernización del TCMS	Meses extras requeridos luego del plazo
Muy optimista	3	31,41	0,41
	4	23,56	No se requiere
	5	18,85	No se requiere
Optimista	3	35,19	4,19
	4	26,39	No se requiere
	5	21,11	No se requiere
Base	3	39,44	8,44
	4	29,58	No se requiere
	5	23,67	No se requiere
Pesimista	3	51,94	20,94
	4	38,96	7,96
	5	31,17	0,17
Muy pesimista	3	63,95	32,95
	4	47,96	16,96
	5	38,37	7,37

Recordando que si la modernización se retrasa, trae consecuencias en forma de sobrecostos

por multas, las cuales corresponden al 5% de la facturación mensual por cada mes de atraso, que es aproximadamente \$20.000.000 de multa mensual, se obtiene la siguiente tabla con los sobrecostos respectivos en los 5 escenarios con las configuraciones de 3, 4 y 5 trabajadores.

Tabla 4.34: Sobrecostos en las distintas configuraciones de trabajadores.

Escenario	Cantidad de trabajadores en simultáneo		
	3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
Muy optimista	\$ 8.240.741	\$ -	\$ -
Optimista	\$ 83.796.296	\$ -	\$ -
Base	\$ 168.888.889	\$ -	\$ -
Pesimista	\$ 418.842.593	\$ 159.131.944	\$ 3.305.556
Muy pesimista	\$ 659.027.778	\$ 339.270.833	\$ 147.416.667

Incluyendo el sobrecosto producto del atraso en los distintos escenarios y configuraciones de trabajadores obtenidos en la tabla 4.34 y el costo total de la modernización del TCMS de la tabla 4.32, se llega a la siguiente tabla:

Tabla 4.35: Costos totales por escenario y por configuración de trabajadores.

Escenario	Cantidad de trabajadores en simultáneo		
	3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
Muy optimista	\$ 532.760.741	\$ 524.520.000	\$ 524.520.000
Optimista	\$ 623.004.296	\$ 539.208.000	\$ 539.208.000
Base	\$ 724.463.889	\$ 555.575.000	\$ 555.575.000
Pesimista	\$ 1.023.183.593	\$ 763.472.944	\$ 607.646.556
Muy pesimista	\$ 1.310.060.778	\$ 990.303.833	\$ 798.449.667

En la siguiente figura, se visualizan los datos de la tabla 4.35 en los 5 escenarios.

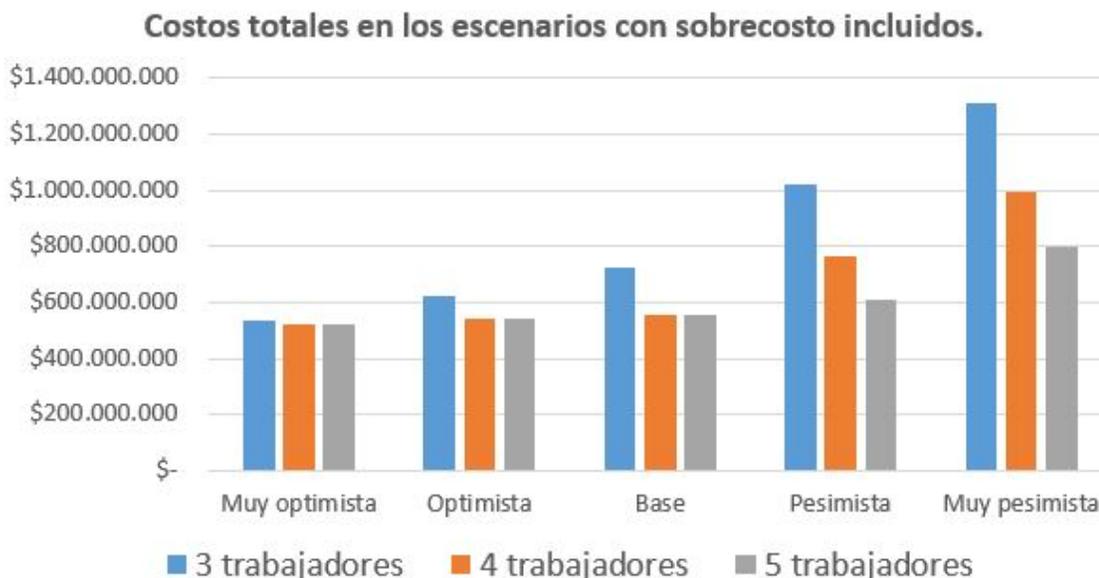


Figura 4.30: Costos totales en los distintos escenarios con distintas fuerzas de trabajo.

En la tabla 4.36 se resume los sobrecostos producto del atraso con 3, 4 y 5 trabajadores en simultáneo para el escenario promedio, el cual considera el promedio de las HH requeridas en los 5 escenarios.

Tabla 4.36: Sobrecostos en las distintas configuraciones de trabajadores en escenario promedio.

Cantidad de trabajadores en simultáneo	Meses extras necesarios para finalizar la modernización del TCMS	Sobrecostos por configuración de trabajadores
3	13,4	\$ 267.777.778
4	2,3	\$ 45.833.333
5	no se requiere	sin sobrecosto

De la tabla 4.33, se puede ver que en la mayoría de las configuraciones escenario-trabajadores se necesita más de 31 meses para finalizar la modernización del TCMS, lo que significa que el proyecto sobrepasa el tiempo límite estipulado en el contrato. De esta manera, en estos casos se incurre en sobrecostos producto de multas. Notar que, solo en 6 configuraciones no se requiere de tiempo extra, las cuales corresponden a los escenarios muy optimista, optimista y base con una fuerza de trabajo de 4 o 5 trabajadores en simultáneo en cada una, es decir, solo 6 de 15 configuraciones posibles están libres de costos extras. Esto se explica básicamente porque en dichos escenarios, las HH requeridas por unidad van disminuyendo rápidamente según la tasa de aprendizaje calculada, por lo que la cantidad de trabajo a ejecutar se ve aminorado respecto a los 2 escenarios restantes. Respecto del escenario pesimista, se puede observar que con 3 trabajadores se requiere más de 20 meses extras, mientras que con 4 y 5 trabajadores solo se requiere de 8 y 0,2 meses adicionales. El escenario muy pesimista, muy por el contrario de los demás escenarios, requiere de muchos meses adicionales ya que con 3

trabajadores requiere prácticamente de 2 años y medio adicionales, mientras que con 4 y 5 empleados se requiere de 17 y 7,4 meses extras respectivamente.

De la tabla 4.34, se puede ver la representación de las configuraciones de la tabla 4.33 respecto del sobrecosto por atraso. En esta tabla se observa sobrecostos que van desde los 8 hasta los 659 millones dependiendo el escenario, donde solo los escenarios muy optimista, optimista y base con 4 y 5 trabajadores no conllevan sobrecosto. Notar que tener 5 trabajadores en simultáneo es la opción más viable respecto a costos, ya que solo 2 casos poseen sobrecostos y son los escenarios mas desfavorables con montos de **3** y **147 millones de pesos**.

De la tabla 4.35 se puede notar que el menor costo total corresponde a 524 millones mientras que el mayor es de 1.310 millones de pesos, es decir, todos los escenarios analizados son sensibles respecto de la variable tiempo ya que el costo crece considerablemente a medida que el proyecto se atrasa de la fecha límite. La configuración más desfavorable corresponde al escenario muy pesimista con solo 3 trabajadores en simultáneo ya que el costo asciende de 651 a 1.310 millones de pesos producto de multas que bordean los 660 millones.

De la figura 4.30 se puede observar el crecimiento exponencial del costo total desde el escenario más favorable al más desfavorable que corresponde al escenario muy pesimista. También se puede ver que el crecimiento exponencial decrece a medida que aumenta la cantidad de trabajadores en simultáneo, esto se explica por la alta multa asociada a sobrecostos, ya que a medida que aumenta el valor de la multa mensual, el gráfico muestra una curva más explosiva para los escenarios respecto del costo total, mientras que si la multa disminuye considerablemente hasta un valor bajo, el gráfico mostraría curvas de pequeño crecimiento respecto de los costos totales desde la izquierda a la derecha en los escenarios.

Analizando el sobrecosto del caso más representativo que corresponde al escenario promedio de la tabla 4.36, se llega a la conclusión que con 3 trabajadores se requieren de 13,4 meses extras para finalizar la modernización con un sobrecosto asociado de 267 millones de pesos, que corresponde al 50 % del costo total promedio calculado en la tabla 4.32 que no considera el factor de productividad, además, el valor asociado al sobrecosto corresponde a 3 veces el costo total de las HH estimadas en la sección 2.4 de este libro. Realizando el mismo análisis para la configuración de 4 trabajadores, se llega a la conclusión que existe un sobrecosto de 46 millones de pesos producto de los 2,3 meses extras necesarios, los cuales corresponden a un 50 % del valor inicial estimado en un inicio (**sección 2.4**). La única configuración que esta libre de sobrecostos es con 5 trabajadores en simultáneo como era de esperar, ya que de esta manera, se completa la modernización del TCMS en el tiempo acordado en el contrato, además, se puede notar que el costo de oportunidad al pasar de 5 a 4 trabajadores en simultáneo corresponde a 46 millones de pesos, mientras que al pasar de 5 a 3 trabajadores corresponde a 268 millones de pesos.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

Se cumple el objetivo general ya que se logra planificar las etapas de la modernización del TCMS mediante el cumplimiento de las siguientes metas: la clasificación de las actividades junto a sus respectivas herramientas; Definir instructivos de trabajo para la etapa de montaje de componentes incorporando medidas de mitigación de riesgo en este de modo general; modelando distintos escenarios de productividad para finalizar la modernización a tiempo y obteniendo el layout preliminar de la modernización del TCMS.

En este trabajo se ha desarrollado una secuencia propicia para la metodología con la que se pudo planificar las diversas etapas de la modernización del TCMS, en donde se incluyó un modelamiento bajo distintos escenarios. Todos los datos necesarios para comprender el proyecto y los trenes, son tratados en detalle en la introducción y antecedentes de este trabajo, proporcionando los conocimientos necesarios para analizar todo lo que resta de trabajo.

En este estudio, se comprueba que tanto el desglose de actividades, el listado de herramientas, los instructivos de trabajo y el layout de trabajo asociados a la modernización del TCMS, son entregables industriales necesarios para el proyecto descrito, ya que éstos en conjunto definen, organizan y planifican la modernización del TCMS para llevar a cabo su implementación. En el caso de los instructivos, se propone seguir una serie de instrucciones relacionadas a mitigación de riesgos, mediante la inserción de capacitaciones de seguridad y EPPs que deben tener obligatoriamente los trabajadores.

El modelamiento bajo distintos escenarios muestra resultados alentadores, donde en los escenarios **muy optimista, optimista y base** se manifiesta que, con 3 trabajadores se puede completar las actividades de la modernización del TCMS a tiempo, además, en los escenarios **pesimista y muy pesimista** se requieren 4 y 5 trabajadores en simultáneo respectivamente, para finalizar la modernización del TCMS a tiempo. Luego de incorporar el factor de productividad real, se obtiene que solo los escenarios muy optimista, optimista y base con 4 y 5 trabajadores en simultáneo están libres de sobre costo producto de atrasos en el contrato, mientras las demás configuraciones escenario-trabajadores, tienen un sobre costo asociado. Se concluye que en el escenario promedio, ya sea con 3 o 4 trabajadores se incurre en multas ya que el proyecto se atrasa 13 y 2 meses respectivamente con costos en multas de 267 y 45 millones de pesos aproximadamente en cada caso. La configuración óptima corresponde a 5 trabajadores en simultáneo ya que de esta manera no se incurre en tiempo extra y en multas.

En la actualidad, ya se está ejecutando la modernización del TCMS. En base a los resultados obtenidos en la realidad respecto de la unidad prototipo que se modernizará hasta febrero 2022, se propone modernizar las primeras unidades con 5 trabajadores en simultáneo hasta que se establezca el proceso, luego de ello, evaluar la cantidad mínima de trabajos requeridos en función de la tasa de avance de la modernización, esto dado que al tener 5 trabajadores en simultáneo, se evita una multa producto de sobretiempo de aproximadamente 268 millones de pesos. Del análisis de resultados respecto a los escenarios, se deduce una relación en el comportamiento logarítmico asociado a las HH requeridas por unidad, donde a medida que se realiza más capacitaciones o trabajo asociado a recursos humanos en los trabajadores, las HH requeridas para la primera unidad aumentan, sin embargo, para el resto de las unidades se nota una baja considerable, la cual tiene como consecuencia que la pendiente de las curvas de aprendizaje sea más pronunciada, consecuencia que repercute considerablemente en las HH requeridas al final del proyecto.

El costo total del proyecto obtenido luego de la modelación de los escenarios, es ampliamente superior al estimado en un principio, esto se explica de mejor manera recordando las etapas de un proyecto, donde la primera corresponde al nivel de perfil, donde se usa el juicio, opiniones y experiencias de expertos, lo que se relaciona completamente con este trabajo porque en la estimación inicial se usó información basada en el juicio y opinión de expertos en otras modernizaciones. Aunque hay una diferencia notoria de un 28 % en los costos totales de la modernización del TCMS, esta modernización sigue siendo viable, ya que su principal objetivo es eliminar la obsolescencia de los equipos actuales asociados al TCMS y dar mejoras a nivel de seguridad y mejoras en el tren.

El proyecto completo ofrecido por la empresa es complejo, debido a la cantidad de trabajo que se debe desarrollar y porque requiere de competencias elevadas, para la estimación y entendimiento de las variables claves que poseen los trenes respecto de los sistemas considerados. Por lo tanto, el desarrollo de la modernización de los cofres de tracción, que no se desarrolló en este trabajo, es una alternativa para complementar con este trabajo desarrollado.

Se debe tener en cuenta que, todo el análisis respecto al modelamiento de escenarios de productividad y los costos en los que se incurren, serán utilizados en la empresa previo a la modernización de las 71 unidades luego de haber terminado la unidad prototipo, para adaptar los tiempos y costos de toda la flota.

5.1. Trabajos futuros

Los resultados de este trabajo muestran una relación directa entre las HH requeridas por cada unidad en un inicio, con el valor terminal de horas requeridas para terminar la modernización del TCMS de las 71 unidades, con lo cual se explica que el costo promedio de la modernización asociado a mano de obra, está conformado principalmente por estos valores de un inicio. Para modificar esta tendencia, y así obtener un valor más representativo para el costo total del proyecto, se propone añadir al menos 3 escenarios más al modelamiento luego de haber terminado la primera unidad, los cuales exijan evaluar nuevas curvas de aprendizaje. De esta manera, se tendría mayor cantidad de escenarios para modelar, así, el costo promedio asociado a la mano de obra y en consecuencia, al proyecto completo de la modernización del TCMS, sería mucho más representativo.

Bibliografía

- [1] *La electrificación de los ferrocarriles*. [En línea]. <<https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/nuevo-tren-en-linea-1-del-metro-comenzara-pruebas-la-proxima-semana>>. [Consulta: 18 Mayo 2021].
- [2] *Tren vista*. 2020. *Metros del mundo con ruedas sobre neumáticos*. [En línea]. <<https://www.trenvista.net/a-fondo/metros-del-mundo-con-ruedas-sobre-neumaticos/>>. [Consulta: 20 Noviembre 2020].
- [3] *US 8,712,611 B2. Computerized on-board system for controlling a train*. [En línea]. 29 Abril 2014. <<https://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US8712611.pdf>>. [Consulta: 27 Noviembre 2020].
- [4] *Trema Romero*. 2016. *Optimización del software empotrado de los equipos HMI y sDIAG del TCMS COSMOS. MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS EMPOTRADOS*. Escuela Politécnica Donostia-San Sebastián, Facultad de Informática. 111p.
- [5] *Tram metropolitano de ALICANTE*. 2020. *Manual de Conducción Tren Tram de Alicante S/4100*. [En línea]. Septiembre 2006. <https://pacobelda.files.wordpress.com/2013/09/vossloh_4100.pdf>. [Consulta: 01 Diciembre 2020].
- [6] *KONČAR - Electrical Engineering Institute, Inc*. 2020. *KONTRAC TRAIN CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEM*. [En línea]. <https://www.koncar-institut.hr/wp-content/uploads/2017/10/KoncarInstitute_Train_control_management_system-TCMS-70-0916.pdf>. [Consulta: 03 Diciembre 2020].
- [7] *EKE*. 2020. *Technology for smarter trains. Meeting the challenges of modern train management systems*. [En línea]. <https://eke.fi/wp-content/uploads/2019/01/EKE_Trainnet_Brochure.pdf>. [Consulta: 04 Diciembre 2020].
- [8] *Modernización de flotas Metro - Industrial Management Plan*. 04 Marzo, 2020. *GEN-TRCD-CA-IMP004*. Rogelio Umanes.
- [9] *TCMS COSMOS. Train Control and Monitoring Solutions*. [En línea]. <<https://www.cafpower.com/en/systems/control-communication/tcms-train-control-monitoring-system>>. [Consulta: 04 Marzo 2021].
- [10] *High-Speed EMU TCMS Design and LCC Technology Research*. [En línea]. 01 Febrero 2017. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917301455>>. [Consulta: 04 Abril 2021].
- [11] *Estimación de la curva de aprendizaje*. [En línea] <<https://www.economia-excel.com/2012/03/estimacion-curva-de-aprendizaje.html>>. [Consulta: 10 Mayo 2021].

[12] *Curvas de aprendizaje*, *Administración de la Producción 3° C T.* [En línea] <https://admonapuntos.files.wordpress.com/2013/06/curvas-de-aprendizaje-op-i.pdf> >. [Consulta 10 Mayo 2021].

Anexo A

Figuras representativas de las actividades y equipos a instalar

A.1. MODERNIZACIÓN DEL TCMS

A.1.1. SOPORTES MPU

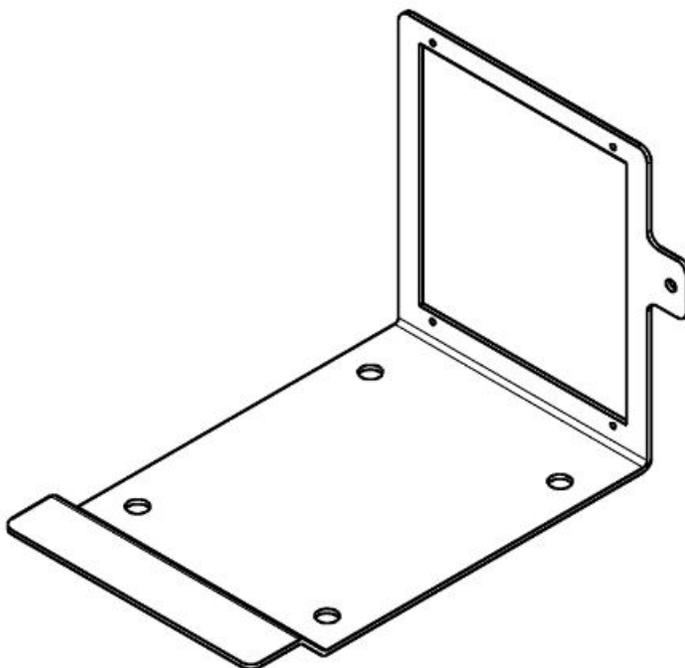


Figura A.1: Soportes de MPU que se debe instalar.

A.1.2. SOPORTES TRS

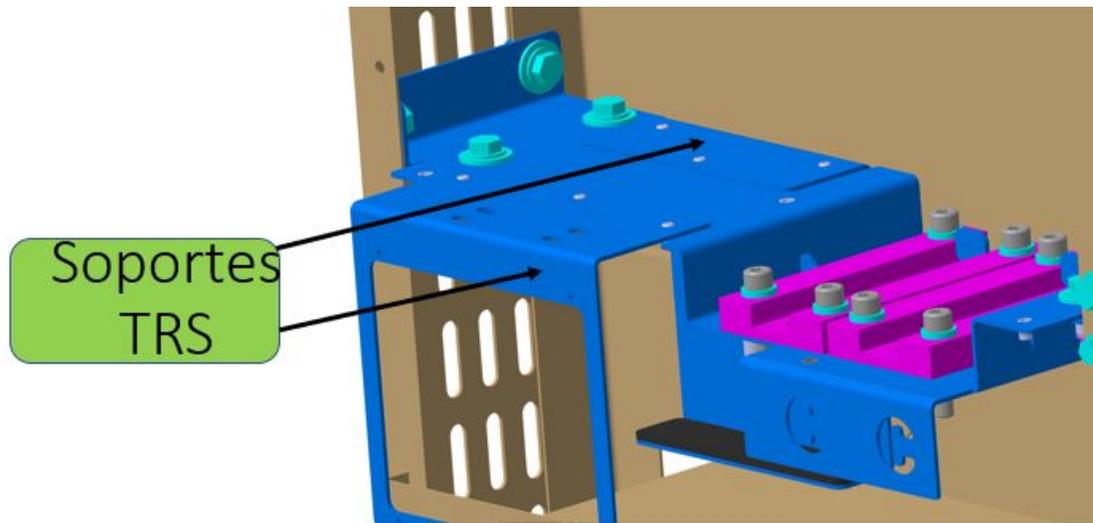


Figura A.2: Distribución de soportes para TRS.

A.1.3. SOPORTES RIOMs

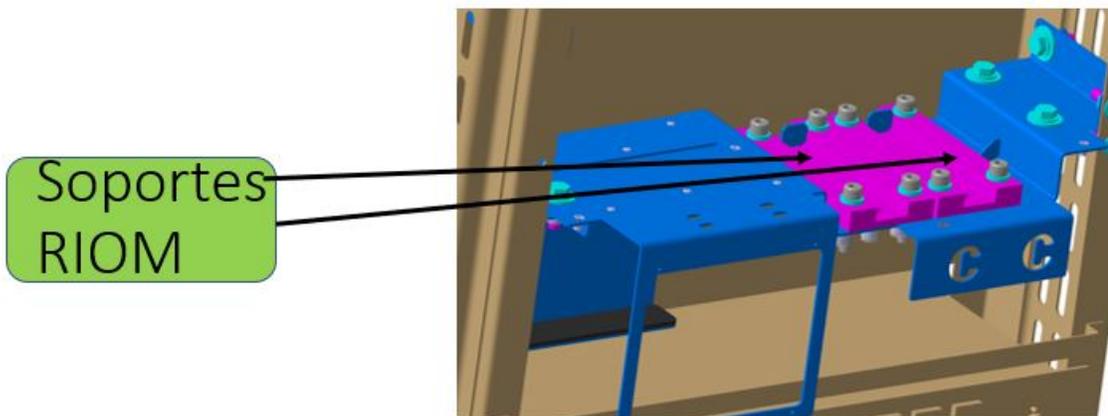


Figura A.3: Distribución de soportes para RIOMs.

A.1.4. FRONTAL A.E.D



Figura A.4: Disyuntores del A.E.D + frontal del armario.

Anexo B

Tablas de analisis de escenarios

B.1. 5 Escenarios a analizar respecto de las HH por unidad y trabajadores disponibles

En las siguientes subsecciones, se adjuntará las tablas que contienen información relacionada a los 5 casos en estudio. La información que contiene se calculó mediante el método logaritmico, cuya ecuación se presenta en la sección 4.2.2 de este libro. Las siguientes tablas contienen la siguiente información respecto de cada escenario:

- 71 unidades
- HH necesarias por cada unidad.
- Cantidad de días laborales. necesarios para modernizar la unidad con 3 trabajadores.
- Cantidad de días laborales necesarios para modernizar la unidad con 4 trabajadores.
- Cantidad de días laborales necesarios para modernizar la unidad con 5 trabajadores.

B.1.1. Escenario muy pesimista

Tabla B.1: HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 1 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
1	624,0	26,0	19,5	15,6
2	608,0	25,3	19,0	15,2
3	560,0	23,3	17,5	14,0
4	512,0	21,3	16,0	12,8
5	486,2	20,3	15,2	12,2
6	474,1	19,8	14,8	11,9
7	464,0	19,3	14,5	11,6
8	455,5	19,0	14,2	11,4
9	448,1	18,7	14,0	11,2
10	441,6	18,4	13,8	11,0
11	435,8	18,2	13,6	10,9
12	430,6	17,9	13,5	10,8
13	425,8	17,7	13,3	10,6
14	421,4	17,6	13,2	10,5
15	417,4	17,4	13,0	10,4
16	413,7	17,2	12,9	10,3
17	410,2	17,1	12,8	10,3
18	407,0	17,0	12,7	10,2
19	403,9	16,8	12,6	10,1
20	401,1	16,7	12,5	10,0
21	398,4	16,6	12,4	10,0
22	395,8	16,5	12,4	9,9

Tabla B.2: HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 2 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
23	393,4	16,4	12,3	9,8
24	391,1	16,3	12,2	9,8
25	388,8	16,2	12,2	9,7
26	386,7	16,1	12,1	9,7
27	384,7	16,0	12,0	9,6
28	382,8	15,9	12,0	9,6
29	380,9	15,9	11,9	9,5
30	379,1	15,8	11,8	9,5
31	377,4	15,7	11,8	9,4
32	375,7	15,7	11,7	9,4
33	374,1	15,6	11,7	9,4
34	372,6	15,5	11,6	9,3
35	371,1	15,5	11,6	9,3
36	369,6	15,4	11,6	9,2
37	368,2	15,3	11,5	9,2
38	366,9	15,3	11,5	9,2
39	365,6	15,2	11,4	9,1
40	364,3	15,2	11,4	9,1
41	363,0	15,1	11,3	9,1
42	361,8	15,1	11,3	9,0
43	360,6	15,0	11,3	9,0
44	359,5	15,0	11,2	9,0
45	358,4	14,9	11,2	9,0
46	357,3	14,9	11,2	8,9
47	356,2	14,8	11,1	8,9
48	355,2	14,8	11,1	8,9
49	354,2	14,8	11,1	8,9
50	353,2	14,7	11,0	8,8
51	352,2	14,7	11,0	8,8

Tabla B.3: HH requeridas por unidad, escenario muy pesimista, 3 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de dias con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
52	351,2	14,6	11,0	8,8
53	350,3	14,6	10,9	8,8
54	349,4	14,6	10,9	8,7
55	348,5	14,5	10,9	8,7
56	347,6	14,5	10,9	8,7
57	346,8	14,4	10,8	8,7
58	346,0	14,4	10,8	8,6
59	345,1	14,4	10,8	8,6
60	344,3	14,3	10,8	8,6
61	343,5	14,3	10,7	8,6
62	342,8	14,3	10,7	8,6
63	342,0	14,3	10,7	8,6
64	341,3	14,2	10,7	8,5
65	340,5	14,2	10,6	8,5
66	339,8	14,2	10,6	8,5
67	339,1	14,1	10,6	8,5
68	338,4	14,1	10,6	8,5
69	337,7	14,1	10,6	8,4
70	337,0	14,0	10,5	8,4
71	336,4	14,0	10,5	8,4

B.1.2. Escenario pesimista

Tabla B.4: HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 1 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
1	624,0	26,0	19,5	15,6
2	600,0	25,0	18,8	15,0
3	504,0	21,0	15,8	12,6
4	464,0	19,3	14,5	11,6
5	437,0	18,2	13,7	10,9
6	421,0	17,5	13,2	10,5
7	407,9	17,0	12,7	10,2
8	396,8	16,5	12,4	9,9
9	387,4	16,1	12,1	9,7
10	379,1	15,8	11,8	9,5
11	371,7	15,5	11,6	9,3
12	365,2	15,2	11,4	9,1
13	359,2	15,0	11,2	9,0
14	353,8	14,7	11,1	8,8
15	348,8	14,5	10,9	8,7
16	344,2	14,3	10,8	8,6
17	340,0	14,2	10,6	8,5
18	336,0	14,0	10,5	8,4
19	332,3	13,8	10,4	8,3
20	328,8	13,7	10,3	8,2
21	325,6	13,6	10,2	8,1
22	322,5	13,4	10,1	8,1

Tabla B.5: HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 2 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
23	319,5	13,3	10,0	8,0
24	316,8	13,2	9,9	7,9
25	314,1	13,1	9,8	7,9
26	311,6	13,0	9,7	7,8
27	309,2	12,9	9,7	7,7
28	306,9	12,8	9,6	7,7
29	304,7	12,7	9,5	7,6
30	302,6	12,6	9,5	7,6
31	300,6	12,5	9,4	7,5
32	298,6	12,4	9,3	7,5
33	296,7	12,4	9,3	7,4
34	294,9	12,3	9,2	7,4
35	293,2	12,2	9,2	7,3
36	291,5	12,1	9,1	7,3
37	289,8	12,1	9,1	7,2
38	288,3	12,0	9,0	7,2
39	286,7	11,9	9,0	7,2
40	285,2	11,9	8,9	7,1
41	283,8	11,8	8,9	7,1
42	282,4	11,8	8,8	7,1
43	281,0	11,7	8,8	7,0
44	279,7	11,7	8,7	7,0
45	278,4	11,6	8,7	7,0
46	277,2	11,5	8,7	6,9
47	276,0	11,5	8,6	6,9
48	274,8	11,4	8,6	6,9
49	273,6	11,4	8,6	6,8
50	272,5	11,4	8,5	6,8
51	271,4	11,3	8,5	6,8

Tabla B.6: HH requeridas por unidad, escenario pesimista, 3 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
52	270,3	11,3	8,4	6,8
53	269,2	11,2	8,4	6,7
54	268,2	11,2	8,4	6,7
55	267,2	11,1	8,3	6,7
56	266,2	11,1	8,3	6,7
57	265,2	11,1	8,3	6,6
58	264,3	11,0	8,3	6,6
59	263,4	11,0	8,2	6,6
60	262,5	10,9	8,2	6,6
61	261,6	10,9	8,2	6,5
62	260,7	10,9	8,1	6,5
63	259,9	10,8	8,1	6,5
64	259,0	10,8	8,1	6,5
65	258,2	10,8	8,1	6,5
66	257,4	10,7	8,0	6,4
67	256,6	10,7	8,0	6,4
68	255,8	10,7	8,0	6,4
69	255,0	10,6	8,0	6,4
70	254,3	10,6	7,9	6,4
71	253,6	10,6	7,9	6,3

B.1.3. Escenario base

Tabla B.7: HH requeridas por unidad, escenario base, 1 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
1	240	10	7,5	6
2	240	10	7,5	6
3	240	10	7,5	6
4	240	10	7,5	6
5	240	10	7,5	6
6	240	10	7,5	6
7	240	10	7,5	6
8	240	10	7,5	6
9	240	10	7,5	6
10	240	10	7,5	6
11	240	10	7,5	6
12	240	10	7,5	6
13	240	10	7,5	6
14	240	10	7,5	6
15	240	10	7,5	6
16	240	10	7,5	6
17	240	10	7,5	6
18	240	10	7,5	6
19	240	10	7,5	6
20	240	10	7,5	6
21	240	10	7,5	6
22	240	10	7,5	6

Tabla B.8: HH requeridas por unidad, escenario base, 2 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
23	240	10	7,5	6
24	240	10	7,5	6
25	240	10	7,5	6
26	240	10	7,5	6
27	240	10	7,5	6
28	240	10	7,5	6
29	240	10	7,5	6
30	240	10	7,5	6
31	240	10	7,5	6
32	240	10	7,5	6
33	240	10	7,5	6
34	240	10	7,5	6
35	240	10	7,5	6
36	240	10	7,5	6
37	240	10	7,5	6
38	240	10	7,5	6
39	240	10	7,5	6
40	240	10	7,5	6
41	240	10	7,5	6
42	240	10	7,5	6
43	240	10	7,5	6
44	240	10	7,5	6
45	240	10	7,5	6
46	240	10	7,5	6
47	240	10	7,5	6
48	240	10	7,5	6
49	240	10	7,5	6
50	240	10	7,5	6
51	240	10	7,5	6

Tabla B.9: HH requeridas por unidad, escenario base, 3 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
52	240	10	7,5	6
53	240	10	7,5	6
54	240	10	7,5	6
55	240	10	7,5	6
56	240	10	7,5	6
57	240	10	7,5	6
58	240	10	7,5	6
59	240	10	7,5	6
60	240	10	7,5	6
61	240	10	7,5	6
62	240	10	7,5	6
63	240	10	7,5	6
64	240	10	7,5	6
65	240	10	7,5	6
66	240	10	7,5	6
67	240	10	7,5	6
68	240	10	7,5	6
69	240	10	7,5	6
70	240	10	7,5	6
71	240	10	7,5	6

B.1.4. Escenario optimista

Tabla B.10: HH requeridas por unidad, escenario optimista, 1 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
1	608,0	25,3	19,0	15,2
2	480,0	20,0	15,0	12,0
3	424,0	17,7	13,3	10,6
4	384,0	16,0	12,0	9,6
5	356,6	14,9	11,1	8,9
6	335,7	14,0	10,5	8,4
7	319,0	13,3	10,0	8,0
8	305,2	12,7	9,5	7,6
9	293,5	12,2	9,2	7,3
10	283,4	11,8	8,9	7,1
11	274,6	11,4	8,6	6,9
12	266,8	11,1	8,3	6,7
13	259,8	10,8	8,1	6,5
14	253,5	10,6	7,9	6,3
15	247,8	10,3	7,7	6,2
16	242,5	10,1	7,6	6,1
17	237,7	9,9	7,4	5,9
18	233,3	9,7	7,3	5,8
19	229,1	9,5	7,2	5,7
20	225,3	9,4	7,0	5,6
21	221,6	9,2	6,9	5,5
22	218,3	9,1	6,8	5,5

Tabla B.11: HH requeridas por unidad, escenario optimista, 2 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
23	215,1	9,0	6,7	5,4
24	212,0	8,8	6,6	5,3
25	209,2	8,7	6,5	5,2
26	206,5	8,6	6,5	5,2
27	203,9	8,5	6,4	5,1
28	201,5	8,4	6,3	5,0
29	199,2	8,3	6,2	5,0
30	196,9	8,2	6,2	4,9
31	194,8	8,1	6,1	4,9
32	192,8	8,0	6,0	4,8
33	190,8	8,0	6,0	4,8
34	188,9	7,9	5,9	4,7
35	187,1	7,8	5,8	4,7
36	185,4	7,7	5,8	4,6
37	183,7	7,7	5,7	4,6
38	182,1	7,6	5,7	4,6
39	180,5	7,5	5,6	4,5
40	179,0	7,5	5,6	4,5
41	177,6	7,4	5,5	4,4
42	176,1	7,3	5,5	4,4
43	174,8	7,3	5,5	4,4
44	173,5	7,2	5,4	4,3
45	172,2	7,2	5,4	4,3
46	170,9	7,1	5,3	4,3
47	169,7	7,1	5,3	4,2
48	168,5	7,0	5,3	4,2
49	167,4	7,0	5,2	4,2
50	166,3	6,9	5,2	4,2
51	165,2	6,9	5,2	4,1

Tabla B.12: HH requeridas por unidad, escenario optimista, 3 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
52	164,1	6,8	5,1	4,1
53	163,1	6,8	5,1	4,1
54	162,1	6,8	5,1	4,1
55	161,1	6,7	5,0	4,0
56	160,1	6,7	5,0	4,0
57	159,2	6,6	5,0	4,0
58	158,3	6,6	4,9	4,0
59	157,4	6,6	4,9	3,9
60	156,5	6,5	4,9	3,9
61	155,7	6,5	4,9	3,9
62	154,8	6,5	4,8	3,9
63	154,0	6,4	4,8	3,8
64	153,2	6,4	4,8	3,8
65	152,4	6,4	4,8	3,8
66	151,6	6,3	4,7	3,8
67	150,9	6,3	4,7	3,8
68	150,1	6,3	4,7	3,8
69	149,4	6,2	4,7	3,7
70	148,7	6,2	4,6	3,7
71	148,0	6,2	4,6	3,7

B.1.5. Escenario muy optimista

Tabla B.13: HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 1 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de días con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
1	720,0	30,0	22,5	18,0
2	550,0	22,9	17,2	13,8
3	504,0	21,0	15,8	12,6
4	396,0	16,5	12,4	9,9
5	360,0	15,0	11,3	9,0
6	332,8	13,9	10,4	8,3
7	311,5	13,0	9,7	7,8
8	294,1	12,3	9,2	7,4
9	279,5	11,6	8,7	7,0
10	267,1	11,1	8,3	6,7
11	256,4	10,7	8,0	6,4
12	247,0	10,3	7,7	6,2
13	238,6	9,9	7,5	6,0
14	231,1	9,6	7,2	5,8
15	224,3	9,3	7,0	5,6
16	218,2	9,1	6,8	5,5
17	212,6	8,9	6,6	5,3
18	207,4	8,6	6,5	5,2
19	202,6	8,4	6,3	5,1
20	198,2	8,3	6,2	5,0
21	194,1	8,1	6,1	4,9
22	190,2	7,9	5,9	4,8

Tabla B.14: HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 2 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de dias con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
23	186,6	7,8	5,8	4,7
24	183,2	7,6	5,7	4,6
25	180,0	7,5	5,6	4,5
26	177,0	7,4	5,5	4,4
27	174,2	7,3	5,4	4,4
28	171,5	7,1	5,4	4,3
29	168,9	7,0	5,3	4,2
30	166,4	6,9	5,2	4,2
31	164,1	6,8	5,1	4,1
32	161,9	6,7	5,1	4,0
33	159,7	6,7	5,0	4,0
34	157,7	6,6	4,9	3,9
35	155,8	6,5	4,9	3,9
36	153,9	6,4	4,8	3,8
37	152,1	6,3	4,8	3,8
38	150,3	6,3	4,7	3,8
39	148,7	6,2	4,6	3,7
40	147,0	6,1	4,6	3,7
41	145,5	6,1	4,5	3,6
42	144,0	6,0	4,5	3,6
43	142,5	5,9	4,5	3,6
44	141,1	5,9	4,4	3,5
45	139,8	5,8	4,4	3,5
46	138,5	5,8	4,3	3,5
47	137,2	5,7	4,3	3,4
48	135,9	5,7	4,2	3,4
49	134,7	5,6	4,2	3,4
50	133,6	5,6	4,2	3,3
51	132,4	5,5	4,1	3,3

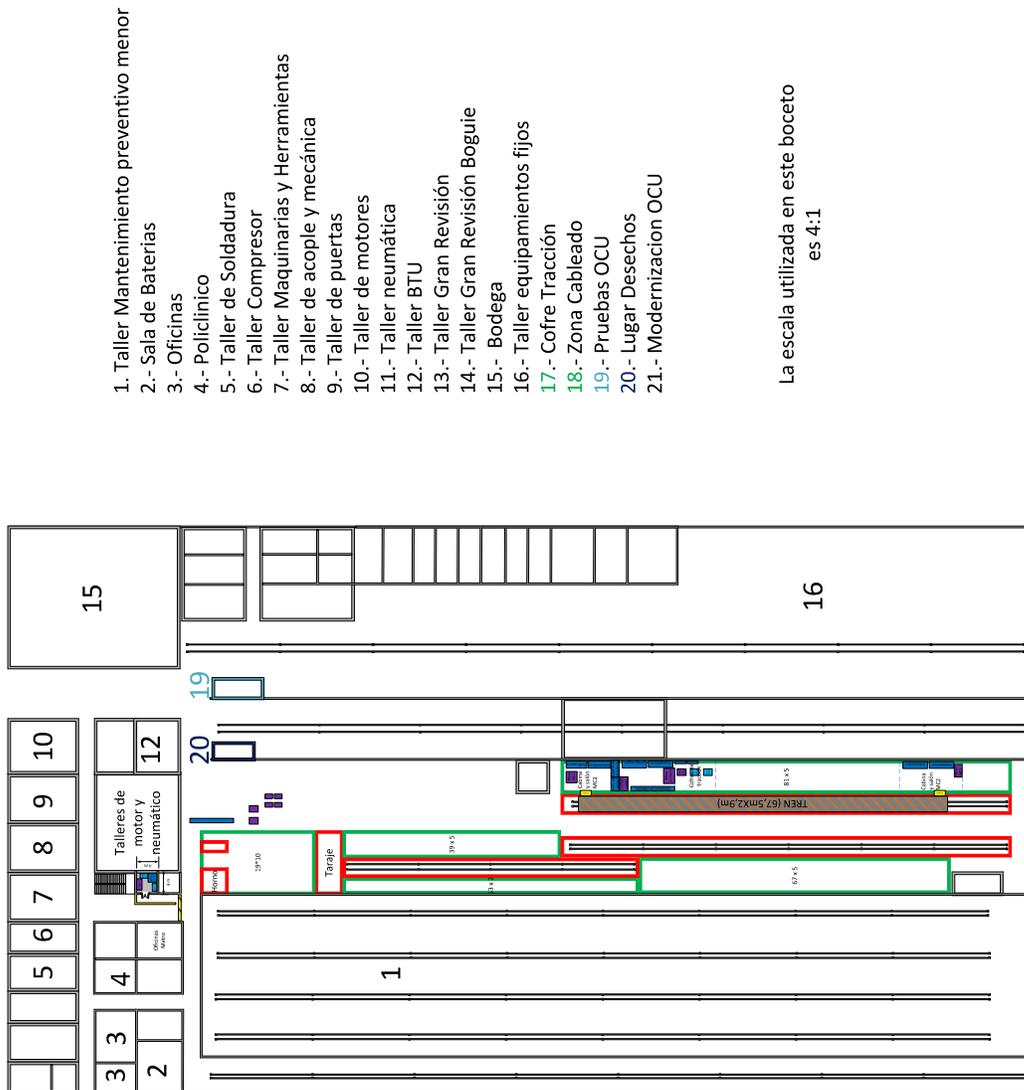
Tabla B.15: HH requeridas por unidad, escenario muy optimista, 3 de 3.

N° Unidad	HH necesarias	Cantidad de dias con x trabajadores		
		3 trabajadores	4 trabajadores	5 trabajadores
52	131,3	5,5	4,1	3,3
53	130,3	5,4	4,1	3,3
54	129,2	5,4	4,0	3,2
55	128,2	5,3	4,0	3,2
56	127,2	5,3	4,0	3,2
57	126,2	5,3	3,9	3,2
58	125,3	5,2	3,9	3,1
59	124,4	5,2	3,9	3,1
60	123,5	5,1	3,9	3,1
61	122,6	5,1	3,8	3,1
62	121,8	5,1	3,8	3,0
63	120,9	5,0	3,8	3,0
64	120,1	5,0	3,8	3,0
65	119,3	5,0	3,7	3,0
66	118,5	4,9	3,7	3,0
67	117,8	4,9	3,7	2,9
68	117,0	4,9	3,7	2,9
69	116,3	4,8	3,6	2,9
70	115,6	4,8	3,6	2,9
71	114,9	4,8	3,6	2,9

Anexo C

Layout taller en Santiago de Chile

En la siguiente imagen, se muestra el layout preliminar completo asociado a la empresa, el cual contiene los implementos necesarios para realizar la modernización del TCMS junto a algunos de los equipos necesarios para llevar a cabo la modernización de cofres de tracción.



- 1.- Taller Mantenimiento preventivo menor
- 2.- Sala de Baterías
- 3.- Oficinas
- 4.- Policlínico
- 5.- Taller de Soldadura
- 6.- Taller Compresor
- 7.- Taller Maquinarias y Herramientas
- 8.- Taller de acople y mecánica
- 9.- Taller de puertas
- 10.- Taller de motores
- 11.- Taller neumática
- 12.- Taller BTU
- 13.- Taller Gran Revisión
- 14.- Taller Gran Revisión Bogue
- 15.- Bodega
- 16.- Taller equipamientos fijos
- 17.- Cofre Tracción
- 18.- Zona Cableado
- 19.- Pruebas OCU
- 20.- Lugar Desechos
- 21.- Modernización OCU

La escala utilizada en este boceto es 4:1

Figura C.1: Layout preliminar completo del taller.