




**EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS  
METRO S.A.  
DIVISIÓN PROYECTOS DE EXPANSIÓN**

## **REQUERIMIENTOS DEL MANTENIMIENTO PARA VÍAS EXTENSIÓN L2**

<b>0</b>	<b>16-02-2018</b>	<b>Uso</b>	<b>J. Jadan F. Muñoz</b>	<b>M. Rodriguez</b>	<b>F. Alvarez</b>
<b>REV N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>EMITIDO PARA</b>	<b>POR</b>	<b>REVISADO POR</b>	<b>APROBADO POR</b>
		<b>L2-150200-00-5VI-RQM-0002</b>			<b>Página 1 de 16</b>
					<b>Revisión 0</b>

---

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO.....</b>	<b>2</b>
<b>1. OBJETO Y CONDICIONES GENERALES.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MANTENIBILIDAD DE LOS ACTIVOS .....</b>	<b>5</b>
2.1. Criterios RAMS .....	5
2.2. Criterios de modularidad .....	5
2.3. Criterios de cambio de LRU .....	6
2.4. Criterios de accesibilidad .....	6
<b>3. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>4. DOCUMENTACIÓN .....</b>	<b>7</b>
4.1. Documentos técnicos.....	7
4.1.1. Documentación de diseño .....	8
4.1.2. Esquemas funcionales y otros esquemas .....	8
4.1.3. Documentos de Instalaciones .....	9
4.1.4. Documentos de utilización.....	9
4.1.5. Documentos "tal como está construido" (As-Built) .....	9
4.2. Documentos de Mantenimiento .....	10
4.2.1. Manual de Mantenimiento.....	10
4.2.2. Las instrucciones de mantenimiento.....	11
<b>5. SISTEMA DE CALIDAD.....</b>	<b>12</b>
5.1. Garantía de calidad de la prestación.....	12
<b>6. SUMINISTRO DE ÓRGANOS, REPUESTOS E INSUMOS.....</b>	<b>12</b>
6.1. Codificación de los activos y repuestos.....	13
6.2. Catálogo de las piezas de repuesto.....	14
6.3. Volumen del stock de repuestos.....	15

---

<b>7.</b>	<b>PERSONAL Y CAPACITACIÓN.....</b>	<b>15</b>
7.1.	Plan De Formación .....	15
7.2.	Tipo De Formación .....	16
7.3.	Manuales De Formación.....	16

---

**CONTROL DE CAMBIOS**

Rev.	Punto	Título	Modificación Realizada

## **1. OBJETO Y CONDICIONES GENERALES**

El objetivo de este documento es definir los requerimientos asociados a la mantenibilidad del sistema de Vías para la Extensión de Línea 2 del Metro de Santiago. Específicamente los requerimientos deben considerar los siguientes aspectos:

1. La mantenibilidad de los equipos de Vías.
2. La mantenibilidad de las vías principales y secundarias.

## **2. MANTENIBILIDAD DE LOS ACTIVOS**

### **2.1. Criterios RAMS**

Es tarea de cada proveedor que cada elemento constitutivo de su sistema cumpla el requerimiento RAMS propio de ese elemento. Por elemento, hay que entender la unidad de línea reemplazable o LRU.

Cada contratista debe:

- Justificar el valor teórico de fiabilidad atribuida al LRU durante la fase de diseño.
- Confirmar la validez del valor teórico durante la fase de fabricación.
- Verificar experimentalmente la validez de la cifra durante la fase de garantía contractual (1 año o 2 años dependiendo del tipo de equipo).
- La tasa de falla para cada LRU es muy importante porque forma parte del cálculo:
  - De la estimación de los recursos necesarios para el mantenimiento (preventivo y sobre todo correctivo).
  - De la constitución del número de piezas de repuestos.

Los criterios RAMS serán claramente expuestos para cada LRU y deberán contener:

- La fiabilidad estimada  $R(t)$ .
- La tasa estimada de falla  $(t)$ .
- El tiempo de reparación considerado MTTR.

### **2.2. Criterios de modularidad**

El Contratista deberá diseñar los equipos que proveerá tomando en cuenta los criterios de mantenibilidad. El principal de estos criterios es la modularidad, que permite una sustitución rápida del LRU faltante por mantenimiento correctivo de nivel 2.

El contratista deberá descomponer su sistema hasta el nivel elemental del LRU, el cual puede ser de todo tipo, dimensiones y/o peso.

Para cada nivel se indicarán las dimensiones físicas, el peso y las herramientas de montaje y de desmontaje así como las condiciones de utilización en operación, por ejemplo, las condiciones medioambientales.

El contratista deberá demostrar que su equipo responde a los criterios de modularidad, de intercambio estándar y de accesibilidad en condición de operación. Esta demostración deberá realizarla el Contratista durante la fase de pruebas de aceptación en fábrica cuando aplique.

### **2.3. Criterios de cambio de LRU**

Las operaciones de acoplamiento y de desacoplamiento deberán, en la medida de lo posible, seguir el siguiente orden cronológico:

- Desmontaje:
  - Supresión de la totalidad de los enlaces funcionales rígidos o flexibles,
  - Supresión de los enlaces mecánicos (fijación limpia del elemento).
- Montaje:
  - Restablecimiento mecánico de los enlaces,
  - Restablecimiento de los enlaces funcionales.

Esta exigencia es particularmente aplicable a los subconjuntos pesados o voluminosos.

### **2.4. Criterios de accesibilidad**

Se recomienda que el diseño tecnológico del LRU permita acceder y reemplazar rápidamente con las herramientas entregadas:

- Punzados por arreglos diversos,
- Punzados por medidas,
- Punzados por fijación,

## **3. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

Para la incorporación de los equipos que se solicitan en las presentes bases de licitación al sistema de gestión de mantenimiento que Metro S.A. utiliza para todos sus activos. El

contratista deberá entregar información, según sea aplicable, para poblar el software de mantenimiento en el formato que Metro S.A. solicite durante la ejecución del contrato.

La información a entregar por el contratista durante la ejecución del contrato debe seguir la secuencia que se enlista a continuación:

- Ubicación técnica (ubicación física en donde se encuentra ubicado el equipo)
  - Donde se debe especificar código de ubicación técnica, denominación de ubicación técnica, pk de inicio, pk final y ubicación técnica superior.
- Equipo (desglose de los equipos y sus sub-equipos)
  - Donde se debe especificar el código de equipo, la denominación de equipo, el número de serie, el modelo, el fabricante, el año de fabricación, equipo superior y ubicación técnica.
- Lista de materiales
  - Donde se debe especificar el equipo, el equipo superior, el material, el código de material de fabricante, el fabricante, la cantidad y la unidad de medida.
- Catálogos de síntomas, modos de falla y causas.
  - Donde se debe especificar los síntomas, modos de falla y causas asociados a cada uno de los equipos con el código que corresponda.

## **4. DOCUMENTACIÓN**

Se necesitan los siguientes tipos de documentos relacionados con el mantenimiento:

- Documentos técnicos utilizados que permiten conocer el funcionamiento de un material dado,
- Documentos de mantenimiento para cada material identificado.

### **4.1. Documentos técnicos**

La documentación técnica está conformada por los siguientes documentos aplicables a cada material:

- Los documentos de diseño
- Los esquemas funcionales y otros esquemas,
- Los documentos de instalaciones,
- Los documentos de utilización,

- Los documentos "tal como está construido" ("as Built").

#### **4.1.1. Documentación de diseño**

Se deberá proporcionar la carpeta con documentos de diseño del sistema, que contenga al menos:

- Especificaciones Técnicas de los equipos, suministros y materiales que conforman el sistema.
- Diseños Estructurales, Eléctricos y de Control cuando aplique.
- Planos Generales y de Detalle (Plantas, Estructurales, Eléctricos y control).
- Planos de curvas verticales y horizontales de la vía.
- Memoria de cálculo de clotoides.
- Planos y Documentos de montaje y obra civil.
- Planos de detalle de aparatos de vías, corte transversal de la vía recta, corte transversal de la vía curva.
- Protocolos de Pruebas en Fábrica y en Terreno.
- Listado de todos los repuestos (Fabricante y número de parte) a nivel de detalle y despiece de cada equipo con referencias que permitan codificar en el sistema ERP de Metro.
- Memoria de cálculo estructural y antisísmico.

#### **4.1.2. Esquemas funcionales y otros esquemas**

Presentación esquemática de un sistema (o de un circuito) que permite conocer y reparar todos los elementos funcionales constitutivos y comprender el funcionamiento. Los esquemas funcionales son completados por todos los otros esquemas necesarios para la comprensión, funcionamiento y para el mantenimiento del material.

La documentación técnica de fabricación debe ser pensada y adaptada a las necesidades del mantenimiento. En particular:

- El corte adecuado en sistemas y subsistemas funcionales,
- La restructuración de los lote de planos de fabricación con vistas a un recorte funcional de ésta,
- La añadidura a este lote de planos específicos al mantenimiento,
- La descripción de las operaciones de mantenimiento según secuencias funcionales de desmontaje y montaje,
- La numeración de las piezas sobre un plano según el sentido del desmontaje por ejemplo,
- La valorización de las instrucciones de utilización relativa a la seguridad,



#### **4.1.3. Documentos de Instalaciones**

Deben contener la descripción detallada del modo de instalar un equipo. En particular, se deben abordar los siguientes aspectos:

- El método de montaje con texto explicativo y esquemas,
- Las herramientas (instrumentos), los equipos de medidas, las dimensiones utilizadas,
- El personal de instalación y su habilitación,
- El tiempo necesario para la instalación y para la comprobación,
- Las operaciones de comprobación post instalación,
- Las medidas de seguridad que se deben respetar,
- Las operaciones de revisión de los lugares después de la instalación.

#### **4.1.4. Documentos de utilización**

Documentos que detallan las operaciones necesarias para la correcta utilización del material, las operaciones de arreglos corrientes y, si se da el caso, las intervenciones elementales de mantenimiento del primer nivel y las limitaciones vinculadas al entorno del medio ambiente. Entre estos manuales están:

- Manuales de usuarios y operación
- Manuales para solución de fallas (Troubleshooting). Cuando aplique.

#### **4.1.5. Documentos “tal como está construido” (As-Built)**

Para cada sistema, el Contratista deberá devolver una carpeta técnica completa que comprenderá, al menos:

- La carpeta detallada de diseño aprobado por Metro.
- Los procedimientos y los informes de recepciones de aceptación en fábrica.
- La carpeta de instalación y la lista de los defectos de instalación. Estas últimas deben ser corregidas, a más tardar, en la puesta en funcionamiento.
- Los procedimientos de pruebas y los informes de pruebas, firmado por Metro.
- La lista de las observaciones que proviene de las pruebas. Estas observaciones deben ser levantadas por pruebas complementarias antes de la puesta en funcionamiento.
- Los planos de todas las disciplinas, corregidos y actualizados antes de la puesta en funcionamiento.
- El catálogo de las piezas de repuesto.
- La lista de pequeñas herramientas.

- Una carpeta RAMS con indicación de la tasa de avería de cada componente del RTU.

## 4.2. Documentos de Mantenimiento

La documentación de mantenimiento está constituida por los siguientes documentos aplicables a cada material:

- El manual de mantenimiento,
- Las instrucciones de mantenimiento.

### 4.2.1. Manual de Mantenimiento

Este documento se sitúa al nivel del material. Agrupa, para el conjunto de los equipos constitutivos de este material, los procedimientos de reparaciones preventivas y correctivas que se anuncian en el plan de mantenimiento. El principio se ilustra en el esquema a continuación.

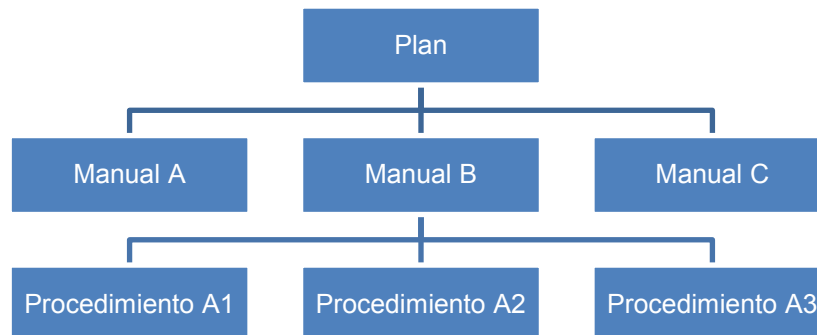


Ilustración 1 Manual de Mantenimiento

Este documento formará parte del Sistema de Documentación de Mantenimiento. La confección de este Manual será responsabilidad del Contratista, quien lo elaborará considerando la periodicidad y nivel de profundidad, de la totalidad de las actividades de mantenimiento requeridas para asegurar el funcionamiento del sistema y presentadas en su Oferta Técnica. Todas las actividades de mantenimiento, preventivo y correctivo, de los equipos deberán ser incluidas por el Contratista en el Manual y serán parte de las Prestaciones a efectuar por el Mantenedor.

En general, el Manual de Mantenimiento debe contener como mínimo:

- Codificación del modo operatorio checklist u ordinograma para permitir a partir de la constatación de un defecto dar un diagnóstico probable del defecto.
- Información general sobre las precauciones a tomar y las operaciones de mantenimiento sistemático de los equipos.
- La identificación general que debe llevar cada componente de cada equipo o elemento de la instalación (incluyendo las piezas mecánicas), con datos sobre:
  - La designación, su referencia y las cantidades utilizadas
  - El número de identificación del fabricante
  - La dirección completa de los fabricantes y/o Proveedores,
  - La documentación del fabricante para todos los componentes “especiales”.
  - El número de identificación del “proveedor” (eventualmente).

#### **4.2.2. Las instrucciones de mantenimiento**

Documento que describe las operaciones detalladas de mantenimiento preventivo y correctivo. Estos procedimientos precisan las operaciones de desmontaje y de montaje con ayuda de esquemas y de vistas detalladas, etc. y dan la periodicidad de intervenciones, las tasas de desgaste admisibles, las diferentes averías susceptibles de producirse, se identifican las actividades que son derivadas del uso y las que no, así como su diagnóstico. Los niveles de mantenimiento concernientes a los procedimientos son los niveles 2 a 4 a excepción de los niveles 1 (arreglo simple) y 5 (renovación). Los procedimientos que tratan niveles 2 y 3 se pueden reagrupar. En caso de que el material sea bastante simple, la reagrupación puede también incluir el nivel 4.

El modo operativo debe ser detallado y contener, al menos:

- La descripción detallada del modo operativo, con una asociación texto-ilustración tan cercana como sea posible,
- El seguimiento de las reglas de seguridad y de operación (aviso del OCC, corte de tensión,..)
- La identificación de la operación,
- El nivel concerniente al mantenimiento,
- El tiempo previsto,
- El número y la calificación de los operadores,
- La enumeración de las herramientas que se deben utilizar,
- Descripción de las pruebas de mantenimiento. .
- Proceso de identificación de los procesos defectuosos.
- Folletos de reparación.

- Nomenclatura de los componentes utilizados: referencia, proveedor, características técnicas.
- El procedimiento de mantenimiento preventivo debe exponer más la periodicidad para el mantenimiento preventivo o condicional,
- El procedimiento de mantenimiento correctivo debe exponer la metodología de la búsqueda de las causas de falla con referencia a un procedimiento específico, si es necesario.
- La ficha de desmontaje y de montaje. Las fichas de controles y pruebas. Estas fichas deberán destacar:
  - La sucesión lógica de las diferentes operaciones que se deben efectuar,
  - Los valores que se deben obtener,
  - Los aparatos que sirven para los controles y las pruebas,
  - Las disposiciones que se deben tomar si las realizaciones exigidas no se pueden obtener.

El reacondicionamiento de los LRU que se deben reparar. Este procedimiento debe abastecer todos los elementos necesarios para el reacondicionamiento de los artículos reparables con vistas a su almacenamiento o con vistas a su envío.

## **5. SISTEMA DE CALIDAD**

### **5.1. Garantía de calidad de la prestación**

Para garantizar a Metro que los servicios que prestará cumplan los estándares requeridos, el Mantenedor deberá poner en práctica un Sistema de Calidad, conforme con las exigencias de la norma ISO 9001:2015.

## **6. SUMINISTRO DE ÓRGANOS, REPUESTOS E INSUMOS**

El Contratista hará entrega a Metro de la exposición de la estrategia de suministro de repuestos, materiales y consumibles lo que quedará plasmado en un Plan. Este Plan deberá contener al menos:

- Identificación de repuestos (estratégicos, críticos y otros)
- Lista total de repuestos e insumos
- Lead Time para la logística de sus inventarios, principalmente para repuestos estratégicos y críticos, y disponibilidad;

- Sistema de codificación de repuestos;
- Sistema de segregación de repuestos nuevos y reparados;
- Fuente de suministro - Proveedor
- Listado de repuestos críticos y estratégicos

### 6.1. Codificación de los activos y repuestos

El Sistema de Gestión de Mantenimiento será responsable de asegurar la gestión de los órganos, repuestos, materiales y de las piezas de repuesto. Es importante para el proyecto disponer de una codificación de estos elementos y de las piezas de repuesto únicas, que sea comprensible por el Sistema de Gestión y que se implemente lo más rápidamente posible. A raíz de lo anterior, la codificación deberá estar basada en un desglose de un sistema hasta el nivel del LRU y en el LRU, hasta el nivel de la pieza de repuesto. El siguiente esquema ilustra la intención.

Los códigos propios de cada proveedor de equipos así como su catálogo de las piezas de repuesto serán integrados en el Sistema de Gestión de Metro desde la fase inicial del proyecto con el fin de ser incluido en el código definido artículo por artículo. La codificación comprenderá diferentes niveles de desglose hasta alcanzar el nivel elemental de la pieza de repuesto.

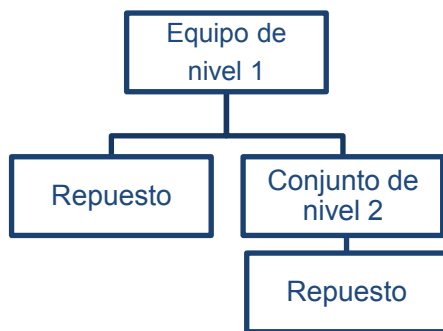


Ilustración 2. Desglose de sistema de repuestos

Los códigos propios de cada proveedor de equipos así como su catálogo de las piezas de repuesto serán integrados en el Sistema de Gestión de Metro desde la fase inicial del proyecto con el fin de ser incluido en el código definido artículo por artículo. La

codificación comprenderá diferentes niveles de desglose hasta alcanzar el nivel elemental de la pieza de repuesto.

**Nivel 1:** Un código geográfico para los activos. Ejemplo: estación, andén o vía, por ello la necesidad de definir detalladamente la noción de geografía:

- Zona fija: estaciones, talleres, edificios,
- Zona lineal: vía, catenaria,
- Repuestos reparables: LRU,
- Repuestos no reparables: fusible, parada, etc.

## **6.2. Catálogo de las piezas de repuesto**

El catálogo de piezas de repuestos corresponde a la nomenclatura que permite identificar y situar sin ambigüedad los diferentes constituyentes del material, mencionando de forma particular las piezas de desgaste. Este documento permite la gestión de las piezas de repuesto con el proveedor, el abastecimiento, el almacenaje, el establecimiento de los pedidos y la entrega de los conjuntos constitutivos susceptibles de ser remplazados.

El catálogo de las piezas de repuesto tendrá en cuenta todas las piezas identificadas que seguirán el principio anterior para el conjunto de los sistemas, y deberá ser entregado a Metro, a la vez que se informará a este último cada modificación del catálogo.

El catálogo debe contener el siguiente repertorio mínimo para cada pieza:

- El código fabricante,
- El número del activo que corresponde a un agrupamiento de piezas individuales,
- Su emplazamiento,
- El nombre de la pieza con una descripción breve de su función,
- El vendedor,
- El fabricante,
- Su costo de compra,
- Su costo de sustitución,
- El nivel de alerta,
- El plazo de sustitución

Eventualmente, informaciones (código, proveedor, costo, etc.) de una pieza equivalente.

### **6.3. Volumen del stock de repuestos**

El cálculo del volumen de piezas de repuesto en existencia estará basado principalmente en la fiabilidad estimada de esa pieza. Esta estimación proviene de la asignación a cada elemento constitutivo del equipo.

El proceso de falla del componente electrónico es un proceso estocástico. Las fallas no siguen una ley continua. Ahora bien, la ley de Poisson es una ley de probabilidad discreta que describe el comportamiento del número de acontecimientos que se produce en un lapso del tiempo fijado, si estos acontecimientos se producen con una frecuencia media conocida e independientemente del tiempo transcurrido desde el acontecimiento precedente. Se aplica bien al caso y será elegido para el cálculo de las cantidades de piezas de repuesto.

El proceso de falla de los componentes de desgastes es un proceso continuo en el tiempo. La ley De Weibull es particularmente interesante en este caso porque permite adaptarse a la tasa de falla  $\lambda(t)$  real del equipo jugando sobre el parámetro de forma  $\beta$ . En efecto:

- $\lambda(t)$  es creciente si  $\beta > 1$ ,
- $\lambda(t)$  es decreciente si  $\beta < 1$ ,
- $\lambda(t)$  es constante si  $\beta = 1$ ,
- $\lambda(t)$  es linealmente creciente si  $\beta = 2$ .

Esta ley será elegida como este tipo de componente. El constructor justificará el valor del parámetro  $\beta$  empleado.

En todos los casos, el valor mínimo de reserva para una pieza dada se fija en 2, salvo justificación para piezas muy grandes o costosas.

## **7. PERSONAL Y CAPACITACIÓN**

### **7.1. Plan De Formación**

El contratista del sistema de Vías deberá devolver un plan de formación. Este plan deberá ser devuelto en el expediente técnico de respuesta a la licitación y finalizado lo más tarde al fin de los estudios detallados.

El plan deberá contener:

- Una descomposición del sistema hasta el nivel del LRU a mantener.
- Para cada uno de los equipos tan identificado:
  - La lista de los documentos de formación, tipos y soportes;
  - Los materiales y las herramientas(instrumentos) utilizadas;
  - La duración de la formación;
  - El lugar de la formación (Chile o en el extranjero).

## **7.2. Tipo De Formación**

El proveedor formará a los instructores:

- Al conocimiento general del sistema que tienen que mantener
- A las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo de nivel correspondiente a su dominio de intervención, en la inmensa mayoría de los casos, de nivel 1 y 2;
- A la utilización de los procedimientos de mantenimiento;
- Al adecuado análisis de fallas
- A la utilización de las herramientas específicas de mantenimiento.

Si después de la terminación de cursos de capacitación relevantes, modificaciones sustanciales son hechas a la configuración de subsistemas suministrada, el contratista proporcionará el entrenamiento ampliada, o adicional para la parte modificada del subsistema como considerado necesario por el Metro.

Los instructores tendrán un conocimiento completo y cuidadoso del sujeto cubierto por el curso y una familiaridad con los manuales, guías, instrumentos, el equipo de prueba y otros artículos usados en la presentación del curso, la reparación del equipo sujeto del curso.

Los equipos existentes, por ejemplo: equipos especiales, equipo de talleres etc., podrán ser usados durante la formación.

## **7.3. Manuales De Formación**

Los manuales de formación serán enviados, a más tardar, 3 meses antes del inicio de la formación. Estos documentos quedarán la propiedad de Metro.

Durante cada duración del contrato incluido el período de garantía, el contratista está obligado a actualizar la documentación de mantenimiento.