

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

TABLA DE CONTENIDO

2.2.14 ET14 - RAMS	2
2.2.14.1 NORMATIVIDAD APLICABLE	2
2.2.14.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	2
2.2.14.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ	8
2.2.14.3.1 Criterios de diseño	8
2.2.14.3.2 Programa RAM	8
2.2.14.3.3 Plan de seguridad	9
2.2.14.3.4 Plan RAMS del software	10
2.2.14.3.5 Análisis preliminar de riesgos (APR)	11
2.2.14.3.6 Requisitos RAM	11
2.2.14.3.7 Registro de amenazas - Hazard Log	12
2.2.14.3.8 Análisis de riesgos del sistema y de la interfaz (ARS-ARI)	12
2.2.14.3.9 AMFE Funcional	14
2.2.14.3.10 Informe RAM	15
2.2.14.3.11 Síntesis	16
2.2.14.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	17
2.2.14.4.1 Seguridad	17
2.2.14.4.1.1 Datos de seguridad	17
2.2.14.4.1.2 Análisis de los datos de seguridad	21
2.2.14.4.2 RAM	21
2.2.14.4.2.1 Datos de RAM	21
2.2.14.4.2 Análisis de los datos de RAM	22
2.2.14.5 CONCLUSIONES	23

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14 ET14 - RAMS

Disciplina:	RAMS
Entregable de referencia:	Entregable 14 / ET14– Gestión RAMS

2.2.14.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

La normativa aplicable al componente RAMS está descrita en los próximos capítulos.

2.2.14.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

Entregable de referencia:	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias / Informe de Sistemas y Operación
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	Se plantearon algunos principios de RAMS (ver a continuación) a través la descripción de algunos sistemas: Sistema de Señalización y Sistema de Telecomunicaciones.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

<p>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</p>	<p>Los principios RAMS fundamentales están planteados en el Estudio de Prefactibilidad en términos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Disponibilidad global del sistema de transporte ● Interfaces de seguridad ● Objetivos de Seguridad y de RAM al nivel del Sistema de Transporte ● Normas RAMS ● Calidad ● Objetivos de RAM al nivel de sistema ● Ciclo de vida en “V” <p>Estos principios son genéricos y no son contradictorios con un proyecto UTO. Sin embargo, no son exhaustivos y deberán ser detallados por todos los sistemas. En particular, se deberá definir los requisitos de seguridad y los objetivos RAM para cada sistema. Además, la política de gestión de RAMS por el proyecto no está definida.</p>	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<p>Disponibilidad global del sistema de transporte.</p> <p>§11.4, página 42: <i>“Los sistemas CBTC permiten reducir el número de equipos de señalización que son necesarios a lo largo de la vía. Dicha reducción permite en consecuencia reducir el número de incidentes debidos a la señalización, que representan una gran parte de las incidencias que afectan a la disponibilidad global del sistema de transporte.”</i></p>	<p>La Disponibilidad global del sistema de transporte tiene dos aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una Disponibilidad Global de Servicio al nivel del Sistema de Transporte. - Una Disponibilidad Global Técnica al nivel del Sistema Global. <p>Pues, se debe definir el Desglose del Sistema de Transporte.</p>	<p>Se definirá el desglose del sistema de transporte al nivel del RAMS en el marco de la consultoría.</p>

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Interfaces de seguridad §11.6, página 43: “El sistema de señalización pilotará en seguridad el sistema de puertas de andén.”	Todas las interfaces entre sistemas y también con Operación y Mantenimiento deben estar identificadas y analizadas desde un punto de vista de la seguridad.	El Plan de Gestión de las Interfaces deberá tomar en cuenta los elementos asociados con el Plan RAMS.
Objetivos de Seguridad y de RAM al nivel del Sistema de Transporte §11.8, página 43: “El Sistema de señalización y automatización tendrá que: • Asegurar, en todos los casos y situaciones, la seguridad de usuarios y operarios del sistema: A bordo de los trenes, en los andenes, en el túnel y zonas técnicas y de estacionamiento. En modo nominal y en modo degradado. Las funciones de seguridad del sistema tendrán un nivel de integridad SIL4. • Tener un sistema de muy alta disponibilidad: el diseño y la integración de los subsistemas críticos anteriores y del resto de subsistemas que componen el sistema de transporte global deben asegurar una disponibilidad del sistema de transporte global superior al 99,997 %. Para tal objetivo se diseñarán las arquitecturas redundantes necesarias.”	Seguridad: Las actividades de seguridad deberán definir los objetivos de seguridad del Sistema de Transporte. RAM: Se define un objetivo de disponibilidad del sistema de transporte global superior al 99,997 %. Se debe asignar lo a la Disponibilidad Global de Servicio o a la Disponibilidad Global Técnica.	En términos de seguridad, se deberá: - Definir los objetivos de seguridad al nivel del Sistema de Transporte. - Definir los Requisitos de Seguridad al nivel del Sistema Global. RAM: A la luz de la experiencia de Movius, se propone validar este cifra de 99,997 % para la Disponibilidad Global Técnica. La Disponibilidad Global Técnica (Dgt) se define al nivel del Sistema Ferroviario en su conjunto, agrupando todos los sistemas que son necesarios para la operación del proyecto. Se trata de una disponibilidad inherente que se define matemáticamente por el producto de las disponibilidades técnicas de los sistemas que son necesarios para la operación del proyecto. Se deberán definir requisitos de seguridad para sistemas (SIL).
Normas RAMS	Se aplicarán las últimas versiones de las normas CENELEC EN 50126, EN 50128 y EN 50129.	Se aplicarán más precisamente las siguientes normas:

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

<p>§11.10, página 44: “El sistema CBTC se desarrollará de acuerdo con las normas internacionales de calidad y seguridad ferroviaria CENELEC EN50126, EN50128 y EN50129.”</p>		<ul style="list-style-type: none"> - EN 50126-1:2017 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la Seguridad (RAMS). Parte 1: Procesos RAMS genéricos. - EN 50126-2:2017 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 2: Aproximación sistemática para la seguridad. - EN 50128:2011 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril. - EN 50129:2018 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la Seguridad para la señalización.
<p>Calidad</p> <p>§15.4, página 61: “Calidad: El Fabricante deberá tener un sistema de aseguramiento y gestión de la calidad certificado en los diversos campos de su actividad implicados en el proyecto, y proveer las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de la gestión de la calidad del proyecto.”</p>	<p>Se aplicarán las últimas versiones de las normas de calidad.</p>	<p>Se aplicarán más precisamente las siguientes normas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - EN ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad. Requisitos. - ISO/IEC/IEEE 90003:2018 Ingeniería del software. Guía de aplicación de la ISO 9001:2015 al software.
<p>Objetivos de RAM al nivel de sistema</p> <p>§16.3, página 67: “Sistema de Telecomunicaciones: Dicha capacidad será tanto en el núcleo como en la capa de distribución y será integrada por equipos capa 2 y capa 3 industriales con un MTBF elevado.”</p>	<p>Se deberá definir los valores RAM para cada sistema.</p>	<p>Se definirán para cada sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un valor de MTBF: Mean (operating) Time Between Failures, - Un valor de MTTR: Mean Time To Restore, - Un valor de Disponibilidad Técnica.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

<p>Ciclo de vida en “V” §19.2, página 83: “<i>Gestión de Interfaz e Integración: Este proceso de integración es un proceso continuo del inicio al fin del proyecto, siguiendo un ciclo de vida en “V”.</i>”</p>	<p>Se deberá definir el ciclo de vida en “V” del Sistema de Transporte.</p>	<p>Basándose sobre las normas RAMS CENELEC, se definirá:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El ciclo de vida en “V” del Sistema de Transporte. - Las tareas correspondientes a cada etapa del ciclo de vida. - Las entidades responsables de cada etapa.
<p>Aspectos críticos por atender:</p>	<p>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</p> <p>Definir la organización de Seguridad y de RAM del Proyecto (Plan RAMS del Proyecto por redactar por el cliente). Por eso, se propondrá en el ENT4 la organización RAMS y las responsabilidades correspondientes.</p>	<p>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</p> <p>Definir e implementar las actividades RAMS al nivel del Sistema de Transporte y al nivel de cada sistema.</p>
<p>Interfaces:</p>	<p>Definir un Plan de Gestión de las Interfaces en relación con el Plan RAMS.</p>	
<p>CAPEX y OPEX</p>	<p>N/A</p>	
<p>Otros aspectos relevantes:</p>	<p>Por definir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La organización para la aprobación de la seguridad. 	

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

- Los procesos para la aprobación de los Dossiers de Seguridad.

Entregable de referencia:	Producto 7 – CAPEX, OPEX, Cronograma y Análisis Beneficio Costo del Proyecto Entregable 11 – CAPEX, OPEX y Cronograma del Proyecto
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	No se aborda el tema de RAMS en este entregable.
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	Las características RAMS de los sistemas tienen un impacto sobre los costos de dichos sistemas. Se elegirá objetivos RAMS de tal manera que los costos sean óptimos.

Entregable de referencia:	Entregable 12 – Análisis Beneficio Costo
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	No se aborda el tema de RAMS en este entregable.
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	Ningún impacto para las actividades RAMS.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Entregable de referencia:	Producto 4 –Estudios y Diseños de Prefactibilidad Entregable 8–Propuesta funcional y pre-dimensionamiento de infraestructura del Patio Taller
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	No se aborda el tema de RAMS en este entregable.
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	Ningún impacto para las actividades RAMS.

Síntesis:

Los principios RAMS fundamentales están planteados en el Estudio de Prefactibilidad en términos de:

- Disponibilidad global del sistema de transporte
- Interfaces de seguridad
- Objetivos de Seguridad y de RAM al nivel del Sistema de Transporte
- Normas RAMS
- Calidad
- Objetivos de RAM al nivel de sistema
- Ciclo de vida en “V”

Sin embargo, estos principios de RAMS están planteados de manera no estructurada, sin “enfoque sistema” (es decir sin una “Top-Down approach”) que se requerirá definir y detallar en el marco de la consultoría.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Para la parte RAMS de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB), se entregaron los documentos siguientes en el marco de las actividades RAMS:

1. Criterios de diseño
2. Programa RAM
3. Plan de seguridad
4. Plan RAMS del software
5. Análisis preliminar de riesgos
6. Requisitos RAM
7. Registro de amenazas - Hazard Log
8. Análisis de riesgos del sistema y de la interfaz (ARS-ARI).
9. AMFE Funcional
10. Informe RAM

Se analizaron estos informes para poder determinar los aspectos esenciales del componente que se pueden considerar y/o duplicar para la L2MB.

2.2.14.3.1 Criterios de diseño

Este documento está titulado *“Presentación de los impactos de los criterios de diseño sobre los entregables de Gestión RAMS”*.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. La definición de una Disponibilidad Inherente del Sistema Global similar.
2. La definición de principios RAMS similares donde:
 - Se propusieron objetivos RAM por Sistemas y donde se eliminaron asignación por equipos y subsistemas,
 - Se propusieron objetivos SIL por Sistemas y donde se eliminaron asignación por equipos y subsistemas.

2.2.14.3.2 Programa RAM

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Este documento definía *“la estrategia a seguir para el establecimiento de los requerimientos RAM, responsabilidades, actividades y métodos para asegurar el cumplimiento de los requerimientos contractuales con la PLMB y la normativa aplicable. Este documento se aplicará a la gestión, por los contratistas, de la RAM del Sistema global Metro y de los Subsistemas de la PLMB”*.

Los principios definidos para la PLMB que pueden ser aplicables a la L2MB son:

1. Las normas aplicables:
 - i. EN 50126 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad.
 - ii. EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril.
 - iii. EN 50129 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización.
2. Para la elaboración de los objetivos RAM se consideraron únicamente los fallos considerados significativos según se define en la norma EN 50126, es decir, los fallos de los sistemas que impida el movimiento del tren o provoque un retraso en el servicio mayor que un periodo determinado, el cual suele ser el doble de la frecuencia de paso.

2.2.14.3.3 Plan de seguridad

Este documento definía *“la estrategia a seguir para el establecimiento de los requerimientos de Seguridad, responsabilidades, actividades y métodos para asegurar el cumplimiento de los requerimientos contractuales con la PLMB y la normativa aplicable. El presente documento, por tanto, será la guía referente para todos los miembros del proyecto que intervengan de manera directa o indirecta en las tareas y documentación relacionada con la seguridad”*.

Los principios definidos para la PLMB que pueden ser aplicables a la L2MB son:

1. Las normas aplicables:
 - i. EN 50126 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad.
 - ii. EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril.
 - iii. EN 50129 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización.
 - iv. EN 50159-1 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Part 1: Safety-related communication in closed transmission systems
 - v. EN 50159-2 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Part 2: Safety related communication in open transmission systems
 - vi. EN 62267 Railway applications Automated urban guided transport (AUGT) Safety Requirements
2. Auditorías externas:
 - i. Un Asesor Independiente de Seguridad (ISA), será el responsable de realizar esta auditoría externa, la cual permitirá poner de manifiesto la existencia de la documentación necesaria en fase de Diseño. En base a este primer análisis deberá emitir una autorización para la realización de las pruebas dinámicas y marcha en blanco del sistema.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

- ii. Posteriormente, el ISA deberá realizar una auditoría del sistema teniendo en cuenta los resultados de la primera fase, junto con las pruebas y la marcha en blanco. Los resultados de la auditoría se reflejarán en un Informe de Auditoría, destacando los posibles puntos débiles y las recomendaciones de mejora, emitiendo así el certificado de seguridad para la puesta en servicio.
3. Requisitos mínimos por entregar por parte de los contratistas:
- i. Plan de Aseguramiento de Subsistema (Subsystem Assurance Plan)
 - ii. Plan de Seguridad de Subsistema (Subsystem Safety Plan)
 - iii. Análisis Preliminar de Riesgos (Preliminary Risks Analysis)
 - iv. Análisis de Peligros (Hazard Analysis)
 - v. Matriz de Trazabilidad (Traceability Matrix)
 - vi. FMECA
 - vii. Análisis de Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis)
 - viii. Evaluación Cuantitativa del Riesgo (Quantitative Risk Analysis)
 - ix. Informe de Asignación SIL (SIL Allocation Report)
 - x. Registro de Peligros del Sistema (Hazard Log)
 - xi. Dossier de Seguridad de Diseño (Design Safety Case)
 - xii. Dossiers de Seguridad (Safety Case)
 - xiii. SRAC (Safety Related Application Conditions)

2.2.14.3.4 Plan RAMS del software

Este documento definía la *política, la organización y la metodología de desarrollo de los productos RAMS SW en el ámbito de la PLMB, para cumplir con los requerimientos RAMS del sistema*".

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Las normas aplicables:
 - i. EN 50126 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad.
 - ii. EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril.
 - iii. EN 50129 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización.

2. La lista de los entregables de software elaborados por el suministrador del SW para cada uno de sus productos. La lista consiste en 30 entregables para un software SIL4.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14.3.5 Análisis preliminar de riesgos (APR)

Este documento identifica “los posibles riesgos que pueden darse durante el ciclo de vida de la PLMB y evaluar su criticidad a partir de la frecuencia de su ocurrencia y la gravedad de sus consecuencias”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Sistemas alcance de este APR:
 - i. Vía
 - ii. Sistema Alimentación Energía
 - iii. Señalización y Comunicaciones (relacionadas con la señalización o gestión de tren)
 - iv. Sistema de comunicaciones
 - v. Puertas de Andén
 - vi. PCC - PCL.
 - vii. Material Rodante.
 - viii. Talleres y Cocheras
 - ix. Viaducto
 - x. Estaciones
2. Este APR establece la base del análisis que posteriormente será utilizada en el Hazard Log del proyecto.

2.2.14.3.6 Requisitos RAM

Este documento “tenía un doble objeto: por un lado, analizar los aspectos solicitados e indicados en el preámbulo y por otro lado, asignar los requisitos RAM que deberán cumplir los subsistemas, equipos y componentes de la PLMB”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Dgt (Disponibilidad Global Técnica) es la disponibilidad inherente del Sistema Ferroviario. Es el producto de las Disponibilidades Técnicas de los Subsistemas i que son necesarios a la operación de los trenes, a saber:
 - i. Material Rodante,
 - ii. CBTC,
 - iii. Redes de comunicaciones,

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

- iv. Puertas de Andén,
 - v. Vía,
 - vi. Energía,
 - vii. Energía tracción (Tercer Riel),
 - viii. PCC - PCL,
 - ix. Sonorización (embarcado y plataforma),
 - x. CCTV (embarcado y plataforma).
2. Requisitos mínimos por entregar por parte de los contratistas:
- i. Plan RAM de Subsistema (Subsystem RAM Plan)
 - ii. Diagramas de Bloque de Fiabilidad (Reliability Block Diagrams)
 - iii. Informe de Asignación de RAM (RAM Allocation Report)
 - iv. FMECA
 - v. Informe de Análisis e de Predicción RAM (RAM Prediction and Analysis Report)
 - vi. Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad (Reliability Critical Items List)
 - vii. Informe de Piezas de Repuesto (Spare Parts Report)
 - viii. Informe RAM (RAM Report)
 - ix. Plan de Demostración RAM (RAM Demonstration Plan)
 - x. Informe de Demostración RAM (RAM Demonstration Report)
 - xi. Informe Mensual de Rendimiento RAM (RAM Performance Monthly Report)

2.2.14.3.7 Registro de amenazas - Hazard Log

Este documento establecía “*las medidas de mitigación adecuadas a los riesgos identificados en la PLMB y que se han descrito en el Análisis preliminar de riesgos al objeto de asegurar que la clasificación final del riesgo esté dentro de los niveles de severidad aceptables*”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. El alcance del Hazard Log puede ser similar a lo del APR.
2. Dado que los riesgos analizados son los que aparecen en el APR, futuras revisiones del mismo podrán requerir nuevas actualizaciones del presente documento a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

2.2.14.3.8 Análisis de riesgos del sistema y de la interfaz (ARS-ARI)

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Este documento “*tenía como objetivo identificar los modos de fallos de las funciones principales del sistema, determinar las causas de dichos modos de fallo y establecer los niveles de integridad de la seguridad necesarios en dichas funciones*”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Que los Responsables Técnicos de cada uno de los subsistemas, durante el ciclo de vida del proyecto, tengan la tarea de definir y justificar los subsistemas, equipos y elementos para cumplir con el nivel SIL requerido de las funciones descritas en el presente documento en base al riesgo relacionado a dichas funciones.
2. Para los subsistemas, equipos y elementos encargados de desempeñar las funciones con un nivel SIL requerido, que los Responsables Técnicos demuestren el cumplimiento de dicho requerimiento, mediante las evidencias pertinentes. Se podrán definir los requisitos de seguridad en relación con los riesgos identificados (incluyendo requisitos de niveles SIL a asignar a las funciones de seguridad).
3. Definición de las funciones principales del sistema y de los SIL correspondientes basándose un análisis de similitud con la PLMB:
 - a. Vía
 - i. Soportar el peso del tren: N/A.
 - ii. Distribuir los esfuerzos dinámicos del tren: N/A.
 - iii. Mantener el guiado del tren dentro del trazado: N/A.
 - b. Energía
 - i. Alimentar los distintos subsistemas y equipos de la PLMB: SIL0.
 - c. Señalización y Comunicaciones
 - i. Gestión y supervisión de elementos de campo: SIL4.
 - ii. Generación de itinerarios de la línea: SIL4.
 - iii. Localización y seguimiento de los trenes de la línea en operación normal: SIL4.
 - iv. Localización y seguimiento de los trenes de la línea en modo degradado: SIL4.
 - v. Establecer límites de velocidad de la línea: SIL4.
 - vi. Gestión de apertura/cierre de puertas: SIL4.
 - vii. Supervisión del Material Rodante y de los elementos de la línea: SIL0.
 - d. Puertas de Andén
 - i. Apertura estándar de puertas: SIL4.
 - ii. Cierre estándar de puertas: SIL4.
 - iii. Apertura o cierre con detección de obstáculo: SIL1.
 - iv. Funcionamiento degradado a través del LCB: SIL1.
 - v. Funcionamiento degradado a través del PAM: SIL1.
 - vi. Gestión de alarmas: SIL0.
 - vii. Evacuación de emergencia: SIL2.
 - e. PCC - PCL

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

- i. Inicializar y cerrar las sesiones de los usuarios del sistema: SIL0.
- ii. Actualización de los aspectos de la señalización en la pantalla del operador: SIL0.
- iii. Enviar órdenes de control desde una pantalla de operador a través de la red de comunicaciones: SIL0.
- iv. Generar las alarmas pertinentes en las pantallas de los Operadores: SIL0.
- v. Permitir el acceso al registro de alarmas e históricos: SIL0.
- vi. Visualizar la configuración optimizada de la red de distribución de energía: SIL0.
- vii. Actualizar el estado del tráfico a los sistemas de información al viajero: SIL0.
- viii. Visualización en pantalla CCTV operador de cámara seleccionada por operador a través de su pantalla del terminal integrado de operación multisistema: SIL0.
- ix. Monitorización / configuración de los equipos del sistema: SIL0.
- x. Reconstruir el evento ocurrido en el sistema en un tiempo dado: SIL0.
- xi. Simulación de la operación de un telemando por parte de un operador bajo la supervisión del administrador de la herramienta: SIL0
- f. Material Rodante
 - i. Señalización exterior: SIL0.
 - ii. Rodadura: N/A.
 - iii. Tracción/frenado: SIL4.
 - iv. Comunicaciones: SIL0.
 - v. TCMS: SIL0.
 - vi. Puertas: SIL4.
 - vii. Seguridad: SIL4.
 - viii. Climatización: SIL0.
 - ix. Sistema de Ayuda a la Explotación / Sistema Informático Embarcado (SAE/SIE): SIL0.
 - x. Estructura: N/A.
 - xi. Confort / Interiorismo: N/A.
 - xii. Seguridad de las personas: SIL0.
- g. Viaducto
 - i. Soportar los esfuerzos del sistema: N/A.
 - ii. Permitir el paso de los trenes respetando el gálibo: N/A.
 - iii. Proporcionar las condiciones de seguridad necesarias en acciones de mantenimiento, situaciones de conducción degradada o en situaciones de emergencia: N/A.

2.2.14.3.9 AMFE Funcional

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Este documento “*tenía como objeto el Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos (AMFE) de las funciones operativas que están previstas implementar en la PLMB*”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Que el AMFE analice las funciones desde el punto de vista de la Operación, ya que sólo tiene en cuenta los niveles de afectación a la disponibilidad asociados a los distintos modos de fallo de cada una de ellas. Se podrá realizar el análisis de las funciones desde el punto de vista de la seguridad en el documento Análisis de Riesgos del Sistema - Análisis de Riesgos de Interfaz (ARS-ARI).
2. La definición de tres Categorías de afectación a la Disponibilidad:
 - a. Significativo: Retraso > 5 min
 - b. Importante: Retraso < 5 min
 - c. Menor: Sin retraso
3. Que se atribuya a cada subfunción del Sistema una de las tres Categorías de afectación a la Disponibilidad.
4. Considerar que los Contratistas de cada uno de los subsistemas, conjuntos y/o equipamientos, deberán pasar del plano funcional al orgánico en su propio lote de suministro, debiendo detallarse el análisis de cada función hasta el elemento o unidad que debe ser reemplazado (LRU).

2.2.14.3.10 Informe RAM

Este documento “*demonstraba que los estudios RAM realizados durante las fases de Concepción y Diseño dentro del ciclo de vida del proyecto de la PLMB permitían asegurar los valores RAM acordes con los objetivos establecidos*”.

Los principios definidos para la PLMB aplicables para la L2MB pueden ser:

1. Una Disponibilidad máxima del Sistema Principal de Transporte en el mismo orden de magnitud del 99,33% considerando:
 - I. Vía: 99,99%
 - II. Energía: 99,98%
 - III. Tracción (tercer riel): 99,98%
 - IV. Señalización: 99,57 %
 - V. Material Rodante: 99,95%
 - VI. Puertas de Andén: 99,98%
 - VII. PCC: 99,98%
 - VIII. Sonorización: 99,98%
 - IX. CCTV: 99,99%
2. La solicitud que cada Contratista elabore un Programa RAM tomando como base el Programa RAM elaborado para el proyecto global.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14.3.11 Síntesis

Para la PLMB, se aplicó un proceso RAMS exhaustivo y coherente tanto al nivel del Sistema de Transporte como al nivel de cada sistema.

Este proceso, conformemente a las normas RAMS, siguió el proceso de desarrollo de los sistemas y consistió en:

- Redacción de los planes de Seguridad y de RAM,
- Aplicación de dichos planes es decir desarrollo de los estudios de Seguridad y de RAM,
- Definición de los requisitos RAMS detallados por las licitaciones.

Para la L2MB, se podrá implementar un proceso similar, utilizando los outputs de la PLMB siempre y cuando sean aplicables para L2MB.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

El presente capítulo tiene como objetivo reunir y analizar los datos RAMS de proyectos “similares” al Proyecto de Línea 2 del Metro de Bogotá. Los datos provienen de la experiencia de MOVIUS y más precisamente de SYSTRA en varios proyectos en el mundo. Estos análisis abarcan los aspectos fundamentales del componente RAMS (Seguridad y RAM). Las líneas y/o proyectos estudiados son:

Línea	País	Estado
Santiago de Chile, Líneas 6y3	Chile	L6: En operación desde 2017 L3: En operación desde 2019
Copenhague Cityringen	Dinamarca	En operación desde 2002
Dubái Red Line	EUA	En operación desde 2009
Shanghái Línea 10	China	En operación desde 2010
Busan-Kimhae	Corea	En operación desde 2011
Singapur NEL	Singapur	En operación desde 2003
Paris Línea 14	Francia	En operación desde 1998
Barcelona Línea 9	España	En operación desde 2009

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Uijeongbu U Line	Corea del Sur	Fase de puesta en servicio
Hong Kong South Island Line (East)	Hong Kong	En operación desde 2016

2.2.14.4.1 Seguridad

2.2.14.4.1.1 Datos de seguridad

Los datos disponibles relacionados a la seguridad del sistema de transporte están sintetizados en la siguiente tabla.

Dos criterios fueron comparados:

- La determinación de los niveles SIL u objetivos de Seguridad
- La presencia de un Asesor Independiente de la Seguridad (ISA: Independent Safety Assessor)

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

	Santiago de Chile Líneas 6y3	Copenhague Cityringen	Dubái Red Line	Shanghái Línea 10	Busan -Kimhae	Singapur NEL	Paris Línea 14	Barcelona Línea 9	Uijeongbu U Line	Hong Kong South Island Line (East)
Determinación de SIL	El Contratista deberá realizar un FMECA funcional: este análisis deberá evaluar la consecuencia de la falla en cada función ejecutada por cada sistema. El propósito de este análisis es identificar la criticidad de la función y asignar el SIL adecuado.	El contratista deberá especificar los niveles SIL para todas las funciones de seguridad relevantes basadas en la identificación del subsistema de seguridad, función, equipo y/o componente y análisis adecuado conforme con los métodos y requisitos establecidos en la norma EN 50129.	El Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) para los subsistemas relacionados a la seguridad se deberá confirmar en el Análisis De Peligros antes de finalizar el diseño. Se asignará los niveles SIL a los equipos relevantes conformemente con la norma EN 50126.	El contratista, subcontratista deberán asignar un nivel SIL a todo el sistema, subsistema y componentes (hardware y software) en su alcance de suministro. Se asignará un nivel SIL a los equipos adecuados conformemente con la norma EN 50126.	El Contratista deberá suministrar una arquitectura funcional la cual se realizará a partir de módulos funcionales. Se deberá identificar claramente todas las interfaces. El Contratista deberá asignar un nivel SIL a nivel funcional y a nivel de módulo.	No está disponible la información*	No está disponible la información*	<p>"El objetivo de seguridad deberá ser superior a 10^{-10} fallos contra la seguridad per-hora."</p> <p>Se define los objetivos cuantitativos siguientes para el sistema ATC, Señalización y PCC:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las comunicaciones internas entre los equipamientos de vía serán de seguridad (SIL 4). Las comunicaciones entre los equipamientos de vía y los equipamientos ATC serán de seguridad (SIL 4). El nivel de integridad de seguridad exigido por los equipamientos de la señalización será de 4 (SIL 4). El nivel de integridad de seguridad exigido al sistema de transmisión será de 4 (SIL 4). El nivel de integridad de seguridad exigido por los equipamientos ATP será de 4 (SIL 4). 	El Contratista deberá asignar a todos los Sistemas / Subsistemas / Componentes un Nivel de Integridad de Seguridad (SIL).	El Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) para el software y el hardware de cada subsistema será determinado en niveles SIL presentado: <ul style="list-style-type: none"> ATO SIL 2, ATP SIL 4, ATSS SIL 2, CBI SIL 4, Equipo de detección de trenes SIL 4.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

	Santiago de Chile Líneas 6y3	Copenhague Cityringen	Dubái Red Line	Shanghái Línea 10	Busan -Kimhae	Singapur NEL	Paris Línea 14	Barcelona Línea 9	Uijeongbu U Line	Hong Kong South Island Line (East)
Presencia de un ISA	Si Sistemas y Trenes	Si Sistemas y Trenes	Si Sistemas y Trenes	Si CBTC y Trenes	Si Sistemas y Trenes	No, solo Auditoria de Seguridad Independient e (sin evaluación) Sistemas y Trenes	Evaluación Interna al RATP Sistemas y Trenes	No	No	Si Sistemas y Trenes

* No está disponible la información: Movius no tiene acceso a la información y/o no existe la información.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

2.2.14.4.1.2 Análisis de los datos de seguridad

De los datos de las líneas de metro analizadas para las cuales los documentos de seguridad son disponibles, se puede precisar:

- Determinación de los niveles SIL: no se especificaron en las especificaciones de los Clientes los niveles SIL, pero se especifique que el Contratista tuviera que definir los niveles SIL aplicando las normas EN 5012x.
- Presencia de un Asesor Independiente: en todas las líneas de metro analizadas, excepto en dos casos particulares, se encontró una Evaluación Independiente de la Seguridad.

En síntesis, y a la luz de nuestra experiencia:

- No aparece siempre necesario especificar los niveles SIL siempre que se especifique que los Contratistas tengan que definir los niveles SIL aplicando las normas EN 5012x.
- Se debe implementar por parte del Cliente una Evaluación Independiente de la Seguridad al nivel del Sistema Ferroviario.

2.2.14.4.2 RAM

2.2.14.4.2.1 Datos de RAM

Los datos disponibles relacionados a la RAM del sistema de transporte están sintetizados en la siguiente tabla.

Un solo criterio está comparado:

- El objetivo de disponibilidad del Sistema: Disponibilidad del Servicio o Disponibilidad Técnica.

	Santiago de Chile Líneas 6y3	Copenhague Cityringen	Dubái Red Line	Shanghái Línea 10	Busan -Kimhae	Singapur NEL	Paris Línea 14	Barcelona Línea 9	Uijeongbu U Line	Hong Kong South
--	---------------------------------	--------------------------	-------------------	----------------------	------------------	-----------------	-------------------	----------------------	---------------------	-----------------------

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

										Island Line (East)
Disponibilidad del Servicio/Técnica	Disponibilidad Global Técnica sistema > 99,87 % Disponibilidad del Servicio del Sistema de Transporte será superior a 98,00 % del inicio de la Puesta en Servicio Comercial hasta el fin del primer año y superior a 99,00 % después.	Disponibilidad del Servicio \geq 99,86 %	Disponibilidad del Servicio \geq 99 %	D \geq 99,50 % No está disponible la información para determinar de qué tipo de disponibilidad se trata (de Servicio o Técnica).	Disponibilidad del Servicio \geq 98 %	D \geq 98,00 % No está disponible la información para determinar de qué tipo de disponibilidad se trata (de Servicio o Técnica).	No está calculado	Disponibilidad del Servicio \geq 99,98 %	Disponibilidad del Servicio \geq 99 % el primer año, Disponibilidad del Servicio \geq 98 % al final de los ensayos	No está definido en el proyecto

2.2.14.4.2 Análisis de los datos de RAM

De estos datos se puede decir que de la mayoría de las líneas de metro analizadas se especificó un objetivo cuantitativo de Disponibilidad sea del Servicio, Técnica o ambos.

En síntesis, de nuestra experiencia, en las especificaciones para los Contratistas, se deberá indicar:

- Una Disponibilidad del Servicio al nivel del Sistema de Transporte como información y,
- Una Disponibilidad Técnica al nivel del Sistema Ferroviario como requerimiento.

2.2.14.5 CONCLUSIONES

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 _VF

Se deben definir los principios RAMS del Proyecto de manera estructurada utilizando un enfoque Sistema. Consecuentemente, se deberá definir/confirmar en las próximas fases de la consultoría:

1. La organización para la aprobación de la seguridad, incluyendo el tema del ISA (La organización para la aprobación de la seguridad, incluyendo el tema del EIS/ISA (figura jurídica para contratación), y se recomienda que, en lo posible, definir cómo se realizaría la contratación del EIS/ISA y las recomendaciones correspondientes sobre qué entidad lo contrata).
2. Los procesos para la aprobación de los Dossiers de Seguridad
3. La organización de Seguridad y de RAM del Proyecto
4. El Desglose del Sistema de Transporte
5. Un valor de Disponibilidad Global Técnica
6. Los objetivos de seguridad al nivel del Sistema de Transporte
7. Las normas de RAMS y de calidad
8. El ciclo de vida en “V” del Sistema de Transporte
9. El Plan RAMS del Proyecto
10. El Plan de Gestión de las Interfaces, en relación con el Plan RAMS del Proyecto
11. Los Requisitos de Seguridad al nivel del Sistema Global
12. Los valores de RAM para cada sistema

NB: no se presenta en el documento correspondiente un análisis detallado de los documentos técnicos elaborados para contratar la concesión de la PLMB (apéndices técnicos, preguntas y respuestas) pero se afirma que se tomarán en cuenta estos documentos para la definición y redacción de las especificaciones técnicas relacionadas con la ET correspondiente