



**REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y  
FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1  
HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON  
LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE  
CONCESIÓN NO. 163 DE 2019**

**ENTREGABLE 8  
RAMS**

Documento No. EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1

Elaborado por:



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - RAMS  
EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1 - RAMS

## CONTROL DE CAMBIOS

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de la Asesoría)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	09-05-2022	-	Versión inicial
B	05-07-2022	-	Actualizado según comentarios Interventoría y EMB
0	21-07-2022	-	Documento aprobado por Interventoría
1	12-08-2022	-	Actualizado según comentarios EMB

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de FDN)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones

### REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de la Asesoría)

Preparó:  A. Monti 12-08-2022	Revisó:  A. Alves 12-08-2022	Revisó:  F. Sanchez C. 12-08-2022	Aprobó:  M. Cermesoni 12-08-2022
Experto en gestión RAMS	VoBo. Coordinación SYS	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Director Técnico

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - RAMS  
EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1 - RAMS

**REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de FDN)**

Preparó:

Juan Camilo Pantoja Vela

12-08-2022

Gerente de Estructuración

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIóN	5
1.1. MARCO CONTRACTUAL	5
1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIóN DE LA PLMB-TRAMO 1	7
1.3. MARCO LEGAL	9
2. GENERALIDADES	10
2.1. NORMATIVIDAD TÉCNICA	10
3. ENFOQUE RAMS PARA EL PROYECTO DE EXTENSIóN DE LA PLMB-TRAMO 1	11
3.1. MÉTODO RAMS	11
3.2. DESGLOSE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	11
3.2. PRINCIPIOS DE ADAPTACIóN DE LOS REQUISITOS RAMS	12
4. APLICACIóN DE LOS PRINCIPIOS DE ADAPTACIóN DE LOS REQUISITOS RAMS	13
4.1. ANTECEDENTES	13
4.1.1. Objetivos RAM del Sistema Integral	13
4.1.2. Requerimientos de Seguridad	15
4.2. ANALISIS	15
4.2.1. Objetivos RAM del Sistema Integral	15
4.2.1. Requerimientos de Seguridad	17
5. CONCLUSIONES	18
5.1. RAM	18
5.2. SEGURIDAD	18
ANEXO 1: Características para la PLMB y la extensi3n desde un punto de vista RAMS	19
ANEXO 2 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesi3n No. 163 de 2019 asociado a la RAM.	20
ANEXO 3 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesi3n No. 163 de 2019 asociado a la Seguridad.	21
ANEXO 4 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesi3n No. 163 de 2019 asociado a los requerimientos de software.	22

## 1. INTRODUCCIÓN

El Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021, tiene por objeto “Realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019”. En este sentido, se debe desarrollar la estructuración de las definiciones técnicas complementarias o modificatorias de los apéndices técnicos de la PLMB-Tramo 1, definidos por Empresa Metro de Bogotá para la licitación internacional que dio lugar a la celebración del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, y que resulten necesarias para viabilizar la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte.

Es importante señalar que, dicha extensión hereda todas las especificaciones técnicas de la PLMB-Tramo 1 plasmadas en los apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, excepto en aquellos/as infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos en los que explícitamente se deben establecer criterios de diseño distintos a aquellos ya definidos en el marco de la PLMB-Tramo 1. Por lo tanto, todos las infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos que no son modificados por el presente estudio de factibilidad, quedan regulados y definidos por los apéndices técnicos establecidos en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

En el caso específico de la especificación técnica **ET-15 Gestión RAMS**, aplica el **Apéndice Técnico 9 – Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)** el cual se adjunta como anexo del presente documento.

Complementariamente, se señala que en los términos de referencia elaborados como parte de la estructuración integral de la PLMB que dieron como resultado la documentación y apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, se requerían un conjunto de análisis de alternativas con miras a tomar elecciones técnicas o tecnológicas para la PLMB. Por su parte, los términos de referencia del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, se apoyaron en los del Contrato de Concesión, con miras a guardar coherencia pero sin advertir que, en caso de volver a realizar dichos análisis y por tratarse de una extensión de línea, ya no se trataría de hacer una elección tecnológica sino de evaluar la modificación de una tecnología ya adoptada.

Lo anterior es particularmente relevante en el contexto de la estructuración técnica objeto del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, que prevé la construcción, suministro, operación y mantenimiento de la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte del Contrato de Concesión No. 163 de 2019. Igualmente, en caso de variar las definiciones técnicas y tecnológicas del contrato antes citado, se estarían introduciendo cambios sustanciales en la PLMB lo que podría tener impactos importantes en el desarrollo actual de este proyecto.

## 1.1. MARCO CONTRACTUAL

La EMPRESA METRO DE BOGOTÁ (**en adelante EMB**) y la FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (**en adelante FDN**), suscribieron el Contrato Interadministrativo 277 de 2021 (**en adelante el Contrato Interadministrativo**) que inició el 25 de noviembre de 2021, para realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (**en adelante EPLMB o el Proyecto**) en sus componentes técnicos y financiero.

En virtud de las obligaciones derivadas del Contrato Interadministrativo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y la Unión Temporal Extensión Metro Línea 1, conformada por las empresas SYSTRA S.A. Sucursal Colombiana e INGETEC INGENIERÍA Y DISEÑO S.A.S., (**en adelante la Asesoría**), suscribieron el Contrato 85/2021 cuyo objeto es Acompañar a la FDN en las actividades de estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas establecidas en el Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Así mismo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS COLOMBIA S.A.S., (**en adelante la interventoría**), suscribieron el Contrato 86/2021 cuyo objeto es la interventoría técnica, administrativa, legal y financiera a los estudios y diseños técnicos de factibilidad que hacen parte del Contrato de Consultoría cuyo objeto es “Asesorar a la FDN en la estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre la EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el “Contrato de Concesión No. 163 de 2019”)”. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Los estudios de factibilidad del proyecto fueron elaborados en vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial contenido en el Decreto 555 de 2021, el cual fue suspendido temporalmente por el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá el catorce (14) de junio de 2022, es decir, con posterioridad a la elaboración de estos diseños. Sin embargo, una vez analizado el Plan de Ordenamiento Territorial en vigencia que corresponde al contenido en el Decreto 190 de 2004, se corroboró que los estudios de factibilidad realizados no contravienen lo establecido en dicho Decreto ni los instrumentos de Planeación Urbana que puedan derivarse del mismo.

El presente documento corresponde al entregable No. 8 a cargo de FDN, el cual se integra a las obligaciones de la FDN derivadas del Contrato Interadministrativo 277 de 2021. Este informe es denominado “RAMS” y presenta una propuesta de la gestión RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety), considerando la configuración de la extensión PLMB-Tramo 1.

El presente informe consta de los siguientes capítulos:

Capítulo 1: INTRODUCCION (este capítulo).

Capítulo 2: GENERALIDADES.

Capítulo 3: ENFOQUE RAMS PARA EL PROYECTO DE EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1.

Capítulo 4: APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN DE LOS REQUISITOS RAMS.

Capítulo 5: CONCLUSIONES.

Nota: Todas las tablas, figuras y fotografías incorporadas en el presente documento que no tienen indicada la fuente de donde provienen fueron generadas por las empresas integrantes de la Asesoría.

## 1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1

El 26 de diciembre de 2014, el IDU y LA FDN suscribieron el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el cual tiene por objeto “Aunar esfuerzos para el desarrollo de las actividades relacionadas con la estructuración integral del proyecto “Primera Línea del Metro de Bogotá” en dos fases, a saber: Fase 1, denominada “Diseño de la transacción” y Fase 2, denominada “Estructuración integral”. Mediante documento de cesión de fecha 10 de marzo de 2017, el IDU cedió a la Empresa Metro de Bogotá S.A. (EMB) su posición contractual en el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014.

En la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el 03 de febrero de 2017, la FDN celebró el contrato 002 de 2017 con el Consorcio Metro Bog integrado por la sociedad colombiana INGENIEROS CONSULTORES CIVILES Y ELÉCTRICOS S.A. INGETEC S.A., y por la sociedad francesa SYSTRA, cuyo objeto fue la “Estructuración Técnica de Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá”. Este contrato fue desarrollado en su totalidad y los entregables derivados del mismo fueron aprobados por LA EMB, LA FDN y la correspondiente interventoría.

Consecuentemente, la FDN suscribió el contrato 003 de 2017 con el Consorcio Metro, conformado por la sociedad Sener Ingeniería y Sistemas Colombia SAS, y por la sociedad Integral SA con el objeto de realizar la “Interventoría técnica, administrativa, legal y financiera de los estudios y diseños a realizar dentro del contrato de consultoría para la estructuración técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá.”

Como resultado de la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, y del contrato 002 de 2017, LA EMB adelantó el proceso de selección y celebró el contrato de Concesión N.º 163 de 2019 para la ejecución del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB – T1) con Metro Línea 1 S.A.S.

El alineamiento estratégico del proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá fue definido con la expedición del Decreto 398 de 2009, “Por el cual se informa a la ciudadanía de Bogotá D.C., el resultado de la Consultoría “Diseño conceptual de la Red de Transporte Masivo Metro y dimensionamiento y estructuración técnica, legal y financiera de la línea metro, en el marco del SITP para la ciudad” y se ordenan unas actuaciones administrativas y urbanísticas”, con base en los resultados de la consultoría mencionada y siguiendo las directrices del Plan de Ordenamiento Territorial (Decreto 190 de 2004) y del Plan Maestro de Movilidad (Decreto 319 de 2006).

Dentro del proceso de maduración del proyecto de la PLMB, el alineamiento al que se refiere el anterior párrafo fue modificado en ciertos tramos con base en el desarrollo y los resultados de varios estudios y diseños adelantados entre los años 2013 y 2016. No obstante, siempre se mantuvo la concepción inicial de conectar el sector sur - occidental con el borde oriental y, este último, con el sector nororiental de la ciudad.

Las modificaciones efectuadas al Decreto 398 de 2009 han sido las siguientes:

1. Mediante Decreto Distrital 577 de 17 de diciembre de 2013 se modificó el artículo 1º del Decreto 398 de 2009, con el fin de precisar y adoptar el trazado general del Proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB, contenido y delimitado en el Mapa Anexo No. 1 - Primera Línea Metro-. En este decreto el trazado fue modificado en un tramo central entre la localidad de Kennedy y el centro de la ciudad.
2. Mediante el Decreto Distrital 425 de 2014 que adicionó el Decreto Distrital 577 de 2013, se efectuó el anuncio de la implementación del Ramal Técnico de Conexión al trazado del Proyecto de la PLMB.

3. Como resultado de estudios técnicos y económicos realizados entre los años 2016 y 2017, se expidió el Decreto Distrital 318 de 16 de junio de 2017 por medio del cual el trazado del Proyecto PLMB fue modificado en su parte central, sustituyendo el corredor de la Carrera 13, Carrera 11 y Carrera 9 por el corredor Avenida Caracas y Autopista Norte.
4. Mediante Decreto 634 de 2017 se integró al anuncio del Proyecto de la PLMB, el Ramal Técnico de Conexión y la localización del Patio Taller

De conformidad con lo establecido en el Documento CONPES 3882 de 2017, posteriormente ratificado en el Documento CONPES 3899 de 2017, y debido a la restricción presupuestal tanto de la Nación como de Distrito, la Primera Línea del Metro de Bogotá se estructuró para ser ejecutada en dos tramos así:

- Tramo 1 comprendido entre el "Patio-taller ubicado en la localidad de Bosa hasta la estación Calle 72 incluida la cola de maniobras que va hasta la calle 80 y Tramo 2 iniciando en Calle 80 hasta la calle 127 con Autopista Norte".

De conformidad con lo establecido en el documento CONPES 3900 de 2017, el Proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá ("PLMB-TRAMO 1") "(...) iniciará desde el patio-taller en la localidad de Bosa, hasta la calle 127" y declaró "(...) de importancia estratégica el proyecto Primera Línea del Metro para Bogotá tramo 1 (...)"

De acuerdo con su objeto social, está en cabeza de LA EMB adelantar la planeación, estructuración, construcción, operación, explotación y mantenimiento de las líneas férreas y de metro que hacen parte del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá.

De acuerdo con las definiciones de estudios de ingeniería de la Ley 1682 de 2013 sobre los proyectos de infraestructura de transporte, la EMB requiere estudiar las alternativas de trazado para llevar a cabo la extensión de la PLMB- TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, así como realizar la factibilidad técnica, legal y financiera de la misma.

LA EMB determinó la necesidad de llevar a cabo la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte tomando como referencia, en términos generales, las especificaciones técnicas del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre LA EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el "Contrato de Concesión No. 163 de 2019"). En este sentido, la EMB requiere analizar y determinar la viabilidad de una adición al mencionado contrato de concesión desde el punto de vista técnico, legal y financiero.

La tipología de la infraestructura de la extensión será similar a la desarrollada para la PLMB - TRAMO 1 hasta la calle 72; esto es una tipología 100% en viaducto con los mismos sistemas metroferroviarios, de modo que se logre una línea de metro que opere integralmente, incluido el nuevo tramo de la extensión.

Dada la necesidad de LA EMB de contar con el análisis, estudios y diseños técnicos y financieros para adelantar la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, LA EMB y LA FDN suscribieron el Contrato interadministrativo 277 de 2021 con el objeto de "Realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019."

Se resalta que el componente legal y de integración de los estudios no hace parte del contrato 277 de 2021 mencionado anteriormente; estos estarán a cargo de LA EMB.

Teniendo en cuenta los antecedentes descritos, y de acuerdo con la necesidad de realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte, de acuerdo con las definiciones técnicas establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019, la FDN contrató una asesoría técnico especializado que acompañe a la FDN en la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 (EPLMB) hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas complementarias del contrato 277 de 2021 firmado entre la EMB y la FDN, al cual ya se hizo referencia.

### 1.3. MARCO LEGAL

Este documento corresponde al entregable 2.1B denominado “Informe de alternativas de emplazamiento geométrico férreo” que hace parte de las obligaciones asumidas por la FDN en el marco del contrato 277 de 2021, así como por la U.T. Extensión Metro Línea 1 con FDN, en virtud de lo previsto en el Contrato 085/2021. Este documento genera una metodología de relacionamiento entre FDN y el Asesor, y a su vez con la EMB.

De conformidad con lo anterior, para la Asesoría es claro y actuará en consecuencia con las siguientes consideraciones:

- La EMB no tiene relación ni responsabilidad alguna frente a los subcontratistas de FDN, en este caso la Asesoría.
- La FDN recibirá, revisará e integrará los productos entregados por su asesor técnico<sup>1</sup>.

En consecuencia:

1. El canal formal de comunicación verbal y escrita entre EMB y la Asesoría será la FDN.
2. Todos los productos a cargo de la Asesoría serán dados a conocer a EMB a través de FDN, quien posteriormente recibirá de EMB las observaciones que correspondan, o las aprobaciones si son del caso, para transmitirlos a la Asesoría.
3. Lo anterior sin perjuicio de lo que EMB y la Asesoría puedan tratar de manera directa en reuniones y talleres de trabajo con presencia de representantes autorizados de FDN.

---

<sup>1</sup> De acuerdo con el contrato 277 de 2021, la Interventoría (SENER) hará seguimiento, control, análisis, revisión, evaluación y aprobación de los entregables técnicos del contrato.

## 2. GENERALIDADES

Bogotá es la capital y el principal centro urbano de la República de Colombia y del departamento de Cundinamarca. La ciudad cuenta aproximadamente con 8 millones de habitantes y más de 9 millones de personas si se considera el área metropolitana en su conjunto, lo que equivale a un quinto de la población total del país.

El proyecto de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB) consiste en un metro completamente automático cuyo principal objetivo será el de responder a la creciente demanda y de otorgar un servicio de calidad a los habitantes de la capital colombiana. Este documento se refiere a la extensión de la Primera Línea de Metro de Bogotá; esta extensión consiste en la construcción de tres estaciones adicionales.

Este documento describe el método RAMS aplicable al proyecto de extensión L1. Este método está centrado en la identificación y cuantificación de las diferencias debidas a la extensión de la PLMB-Tramo 1.

Una vez que se han identificado y cuantificado las diferencias que deberían ser consideradas en el marco de la extensión, se actualizará el documento *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 en función de los resultados obtenidos aplicando la metodología descrita en el §3.1 Método RAMS.

### 2.1. NORMATIVIDAD TÉCNICA

A continuación, se presentan las normas que serán tenidas en cuenta para el sistema RAMS:

[1]	EN 50126 Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la confiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la Seguridad
[2]	EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección del ferrocarril
[3]	EN 50129 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la Seguridad para la señalización.
[4]	EN ISO 9001 Sistemas de Gestión de Calidad - Requisitos
[5]	EN 50159 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión
[6]	EN 62267 Aplicaciones ferroviarias. Transporte urbano guiado automáticamente (AUGT). Requisitos de seguridad.

## 3. ENFOQUE RAMS PARA EL PROYECTO DE EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1

### 3.1. MÉTODO RAMS

El método RAMS que está aplicado en este documento para el proyecto de extensión de la PLMB-Tramo 1 se estructura según las siguientes etapas:

1. Levantamiento y análisis de la información existente:
  - o Definiciones y características principales del sistema de la PLMB y de sus subsistemas;
  - o Identificación de las características de la extensión desde un punto de vista de RAMS.
2. Cruce del punto anterior con las especificaciones técnicas RAMS del contrato de concesión PLMB (*Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019);
3. Identificación de las Normas y criterios de diseño considerados (ver sección 2.1 del presente documento);
4. Análisis de los puntos anteriores, cuyo objetivo es determinar los requisitos de la disciplina RAMS que deberán modificarse o ajustarse,
5. Definición de los principios de adaptación de los requisitos RAMS.
6. Aplicación de dichos principios al *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

Los resultados de este método se encuentran a continuación.

### 3.2. DESGLOSE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Según el documento *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, el acápite de requerimientos de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de la PLMB – Tramo 1 contiene los requerimientos y objetivos RAMS que deberán cumplir tanto el Sistema Integral, como los sistemas, Subsistemas, Equipos y Componentes que lo componen.

Para los efectos del análisis RAMS, los sistemas de la PLMB se han dividido en dos grupos principales:

1. **Sistema de Transporte:** Incluye todos los sistemas relacionados directamente con el transporte y la transferencia horizontal de los pasajeros;
2. **Sistema de Acceso de Pasajeros en Estación:** Lo forman aquellos sistemas relacionados directamente con el acceso de los pasajeros al Sistema Integral, desde el exterior hasta las puertas de andén o plataforma de las estaciones.

La Ilustración 1 muestra el detalle de los diferentes sistemas siguiendo la división entre Sistema de Transporte y Sistema de Acceso de Pasajeros en Estación.

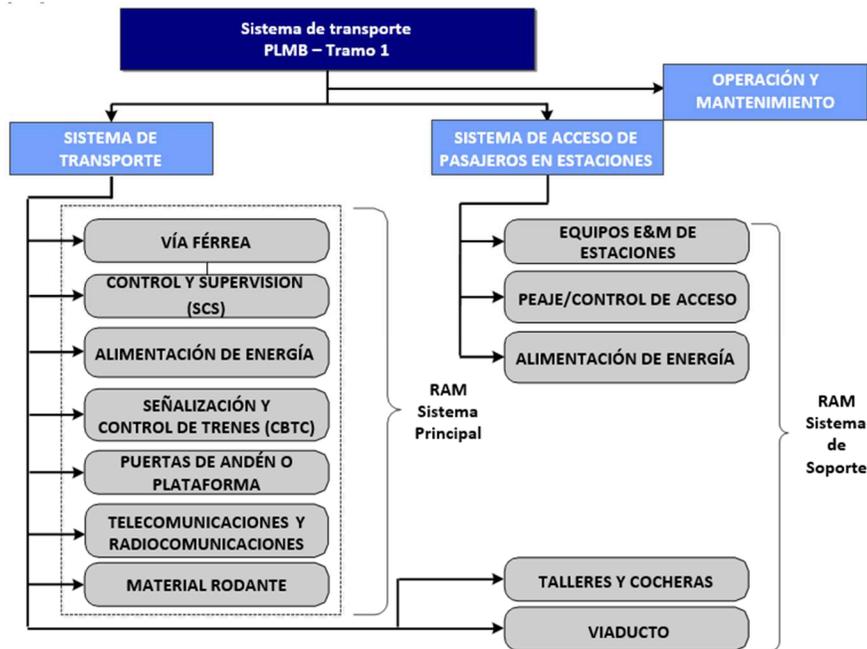


Ilustración 1 - Desglose de los Sistemas de la PLMB

### 3.2. PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN DE LOS REQUISITOS RAMS

Este documento identifica las características de la PLMB-Tramo 1 y de su extensión desde un punto de vista RAMS (ver Anexo 1 del presente documento).

Una vez identificadas las diferencias generadas por la extensión, todos los requisitos de RAM y de Seguridad definidos en *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 se revisarán.

Para identificar los requisitos RAMS que están impactados, se aplicarán a cada uno los principios siguientes.

- Para los objetivos RAM, se aplican los principios que figuran a continuación:
  1. Principio Estaciones: El número de estaciones adicionales para los objetivos RAM que dependen de este mismo criterio;
  2. Principio Kilómetros: El número de km más para los objetivos RAM que dependen de este mismo criterio;
  3. Principio Otro: Principio particular para los objetivos RAM que no dependen del número de estaciones ni del número de kilómetros.

Si para algunos subsistemas, los principios 1 y 2 no podrían ser aplicados, se hará un análisis dedicado por parte del principio 3 para el subsistema considerado.

- Para los requerimientos de seguridad, se harán los mismos análisis para identificar si con la extensión de la línea existen nuevos requerimientos o si algunos requerimientos se tienen que modificar.

## 4. APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE ADAPTACIÓN DE LOS REQUISITOS RAMS

### 4.1. ANTECEDENTES

La gran mayoría del contenido del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 es genérico (no depende de la configuración de la PLMB), por lo tanto, solamente se requiere analizar los capítulos específicos a la PLMB, es decir:

- Capítulo 8.3: Objetivos RAM del Sistema Integral;
- Capítulo 6: Requerimientos de Seguridad.

Para facilitar la lectura del presente documento en correlación con el presente análisis de lo estipulado *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 se presentan al final del documento los siguientes anexos:

- Anexo 2: Extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la RAM.
- Anexo 3: Extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la Seguridad.
- Anexo 4 : Extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a los requerimientos de software.

#### 4.1.1. Objetivos RAM del Sistema Integral

Para la especificación de los objetivos técnicos RAM del Sistema Integral cabe notar que:

- En el *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, se definen objetivos técnicos; comunes para una especificación técnica. Estos objetivos no contemplan la Disponibilidad de Servicio;
- Cabe recordar que no existe una relación simple, matemática y directa entre los objetivos técnicos y la disponibilidad de servicio;
- Pues, según la experiencia de la U.T. en varios proyectos internacionales similares, si el porcentaje del incremento de componentes debido a la extensión es mayor de 15%, entonces existe un impacto sobre los objetivos de servicio y se deben adaptar los objetivos técnicos; si es inferior a 15%, no existe impacto sobre los objetivos de servicio y no se deben adaptar dichos objetivos;
- El perímetro de análisis del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 se limita solamente al Sistema de Transporte. No se considera el sistema de acceso puesto que no tiene un impacto directo sobre la disponibilidad de servicio.

La Disponibilidad Técnica aplica al conjunto del sistema considerado y considera la cantidad de los componentes del subsistema considerado. Una vez determinado el impacto del incremento del número de los componentes debido a la extensión, se podrá determinar el impacto sobre la Disponibilidad Técnica.

El valor de Disponibilidad Técnica depende de la cantidad de componentes en el sistema considerado y la cantidad de componentes depende de:

- Número de kilómetros adicionales; aplicación del principio "Kilómetros"
- Número de estaciones adicionales: aplicación del principio "Estaciones"
- Otros: aplicación del principio "Otro".

Cabe notar que los valores de Disponibilidad (D), MTBF y MTTR fueron especificados en el *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 considerando la aplicación del Standard EN50126 [1]. Estos valores no son necesarios para este análisis a nivel sistema.

Como especificado al principio de este párrafo, el perímetro de análisis de este documento contempla solamente el Sistema de Transporte; este sistema es compuesto de los siguientes subsistemas:

- ✓ Subsistema de Vía Férrea;
- ✓ Subsistema de Control y Supervisión (SCS);
- ✓ Subsistema de Alimentación de Energía;
- ✓ Sistema de Señalización/Control de Trenes (CBTC);
- ✓ Subsistema Puertas de Andén o Plataforma;
- ✓ Subsistema de Telecomunicaciones y Radiocomunicaciones;
  - Sistema de Red multiservicios (RMS),
  - Sistema de Cronometría,
  - Sistema de Gestión de Usuario (SGU),
  - Sistema de Telefonía/Interfonía (TEL),
  - Sistema de Grabador de Voz,
  - Sistema de Red Banda Ancha (RBA),
  - Sistema de Información a los Pasajeros (SIP),
  - Sistema de Difusión de publicidad (DDP),
  - Sistema de Video vigilancia (CCTV),
  - Sistema de Anuncio a Pasajero (SAP),
  - Sistema de Control de Acceso (SCA),
  - Sistema de IHM de comunicaciones (IHM);
- ✓ Subsistema Material Rodante
- ✓ Viaducto
- ✓ Equipo de Talleres y Cocheras

Como lo muestra la Ilustración 1 - Desglose de los Sistemas de la PLMB, además del Sistema de Transporte, también está el Sistema de Acceso compuesto de:

- ✓ Subsistema de Alimentación de Energía de Estaciones;
- ✓ Subsistema de Peaje/Control de Acceso;
- ✓ Subsistema de Equipos E&M de Estaciones.

Para el Sistema de Acceso se considera que:

- Los subsistemas que componen el Sistema de Acceso no tienen un impacto directo sobre la operación de los trenes (es decir la disponibilidad de servicio).

- Los objetivos RAM están definidos para cada entidad (una estación, una barrera de control, un grupo de ascensores, etc.), pues no dependen de la cantidad total sobre la línea de componentes.

Para estas razones, no aplica una adaptación de estos objetivos RAM.

#### 4.1.2. Requerimientos de Seguridad

El proyecto de la extensión de la PLMB-Tramo 1 no considera nuevos Sistemas. Lo anterior significa que no aplican nuevos requerimientos de Seguridad.

## 4.2. ANALISIS

### 4.2.1. Objetivos RAM del Sistema Integral

Para analizar el impacto sobre los objetivos RAM del Sistema Integral, se presenta la siguiente tabla; en detalle las columnas y su significado:

Subsistema	Objetivo de Dt PLMB	Principio	Justificación	Aumento de componentes	Resultado
Subsistema considerado tal como en el <i>Apéndice Técnico 9 - RAMS</i>	El objetivo de Dt tal como definido en el <i>Apéndice Técnico 9 - RAMS</i>	Principio aplicado (Estaciones, Kilómetros, Otro)	Justificación del principio aplicado	Aumento de la cantidad de los componentes debido a la extensión (ver Anexo 1)	Resultado de la aplicación del principio: adaptación o no del objetivo RAM del sistema.

Tabla N° 1 – Significado de las columnas de la tabla “Análisis de los objetivos RAM del Sistema de Transporte”

Subsistema	Objetivo de Dt PLMB	Principio	Justificación	Aumento
Vía Férrea	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,991 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%
Control y Supervisión (SCS)	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,994 %	Otro	La cantidad de componentes del sistema central no es proporcional al número de estaciones ni al número de kilómetros.	N/A
Alimentación de Energía	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,997 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - RAMS  
EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1 - RAMS

Subsistema	Objetivo de Dt PLMB	Principio	Justificación	Aumento
Señalización y Control de Trenes (CBTC)	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,997 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%
Puertas de Andén o Plataforma	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,509 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%
	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,999 % para cada posición de puerta deslizando en cada estación (para todas las categorías de falla).	Otro	El objetivo esta por cada posición de puerta, pues no depende del número de kilómetros ni del número de estaciones, ni del número de puertas.	N/A
Telecomunicaciones	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,998 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%
Radiocomunicaciones	Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,994 %	Kilometro	La cantidad de componentes del sistema es proporcional al número de kilómetros.	14%
Material Rodante	Por Tren para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,612 %	Otro	El objetivo aplica para cada tren, pues no depende del número de kilómetros, ni del número de estaciones, ni del número de trenes.	N/A

Tabla N° 2 – Análisis de los objetivos RAM del Sistema de Transporte

La Tabla N° 2 – Análisis de los objetivos RAM del Sistema de Transporte, muestra que, considerando el proyecto de extensión de la PLMB y los impactos para cada subsistema, no aplican adaptación respecto a los objetivos RAM de la PLMB cuales se presentan en el Anexo 2 del presente documento según lo estipulado en el documento *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

#### 4.2.1. Requerimientos de Seguridad

Los requerimientos de Seguridad:

- tendrán que ser en línea con la política de Seguridad que ha sido definida en el §1.2 Política de Seguridad del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019;
- han ido identificados para el proyecto son listados en el “§6 Requerimientos de Seguridad” del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

Los requerimientos de seguridad ya definidos para la PLMB no dependen del número de estaciones ni del número de kilómetros, por lo que dichos requerimientos aplican a la extensión sin necesidad de adaptación.

No existen nuevos sistemas debidos a la extensión (solo extensión de sistemas ya existentes en la PLMB), por lo tanto, no es necesario definir nuevos requerimientos de seguridad de la PLMB cuales se presentan en el Anexo 3 del presente documento según lo estipulado en el documento *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. RAM

El objetivo final de RAM es el valor de la Disponibilidad Global del servicio para el pasajero.

No existe una relación simple, matemática y directa entre los objetivos técnicos y la disponibilidad de servicio.

En consideración de los análisis de este documento, se identifica que no se contempla un impacto sobre la disponibilidad de servicio ya que el porcentaje de aumentación para todos los sistemas que contribuyen directamente a la operación de los trenes es menor de 15% (ver Anexo 1).

En detalle, la Tabla N° 2 – Análisis de los objetivos RAM del Sistema de Transporte muestra que no es necesaria la adaptar los objetivos RAM de los subsistemas por lo que siguen aplicando aquellos definidos en el *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (Ver Anexo 2 del presente documento).

### 5.2. SEGURIDAD

En consideración de los análisis de este documento, los requerimientos de seguridad ya definidos por la PLMB aplican a la extensión de la PLMB-Tramo 1 sin necesidad de adaptación.

No existen nuevos sistemas debidos a la extensión (solo extensión de sistemas ya existentes en la PLMB), pues no es necesario definir nuevos requerimientos de seguridad por lo que siguen aplicando aquellos definidos en el *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (Ver Anexo 3 del presente documento).

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - RAMS  
EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1 - RAMS

## ANEXO 1: Características para la PLMB y la extensión desde un punto de vista RAMS

	L1	Aumentacion L1 Ext	Porcentaje de aumento	Comentarios
Longitud en km	23,8	3,4	14%	--
Número de estaciones	16	3	19%	--
Longitud del túnel (para dimensionamiento Ventilación y drenaje)	NA	NA	--	--
Longitud del viaducto (para drenaje con puntos bajos)	--	1	--	EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0007_RA.pdf
Número de coches/tren	7	0	0%	--
Número de puertas (doble hoja)/coche	4	0	0%	--
Flota en hora punta	--	--	--	--
Flota (operación + reserva de operación y mantenimiento)	40	8	20%	--
km/año/tren anual	3487000	100882	3%	--
Número de puertas de Andén	32	6	19%	--
Número de puertas de Andén motorizadas	896	168	19%	--
Tipo Puertas de Andén (para dimensionar el número de errores)	--	--	--	--
Tracción	3ème rail	3ème rail	--	--
Categorías de fallos	3 niveles Significativa > 5 min Importante <= 5 min Menor sans retard	3 niveles Significativa > 5 min Importante <= 5 min Menor sans retard	--	--

Tabla N° 3 – Características para la PLMB y la extensión desde un punto de vista RAMS

## **ANEXO 2 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la RAM.**

A continuación se presenta el extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la RAM y particularmente:

- ✓ **Requerimientos RAM para los subsistemas de la PLMB** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Criterios de aceptación RAM del sistema** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Entregables RAM** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Objetivos RAM de los subsistema de la PLMB** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.

### 3 REQUERIMIENTOS RAM PARA LOS SUBSISTEMAS DE LA PLMB

#### 3.1 Generalidades

[ID\_BOG\_RAM\_2];

El Concesionario deberá dar cumplimiento a los requerimientos RAM en el diseño, la construcción, la fabricación, la instalación, las pruebas y la puesta en marcha del Sistema Integral, los Subsistemas y cada Equipo o Componente de la PLMB como se señala en este capítulo.

Para demostrar el cumplimiento de los requerimientos RAM, el Concesionario deberá obtener del Interventor la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM como requisito para la suscripción del Acta de Terminación de la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_3];

Los requerimientos de aseguramiento de calidad que deberá establecer el Concesionario, para el Programa de Seguridad señalado en la sección II “Requerimientos de Seguridad de la PLMB”, se aplicarán al Programa RAM.

[END]

#### 3.2 Requerimientos Técnicos de RAM

##### 3.2.1 *Ciclo de vida de desarrollo y actividades RAM*

[ID\_BOG\_RAM\_4];

El Concesionario deberá implementar todas las fases que constituyen el ciclo-V de desarrollo del proyecto de la PLMB de conformidad con la norma EN 50126 en términos de:

1. Objetivos de la fase;
2. Metodologías utilizadas para llevar a cabo la fase;
3. Documentación de entrada;
4. Documentación de salida.

[END]

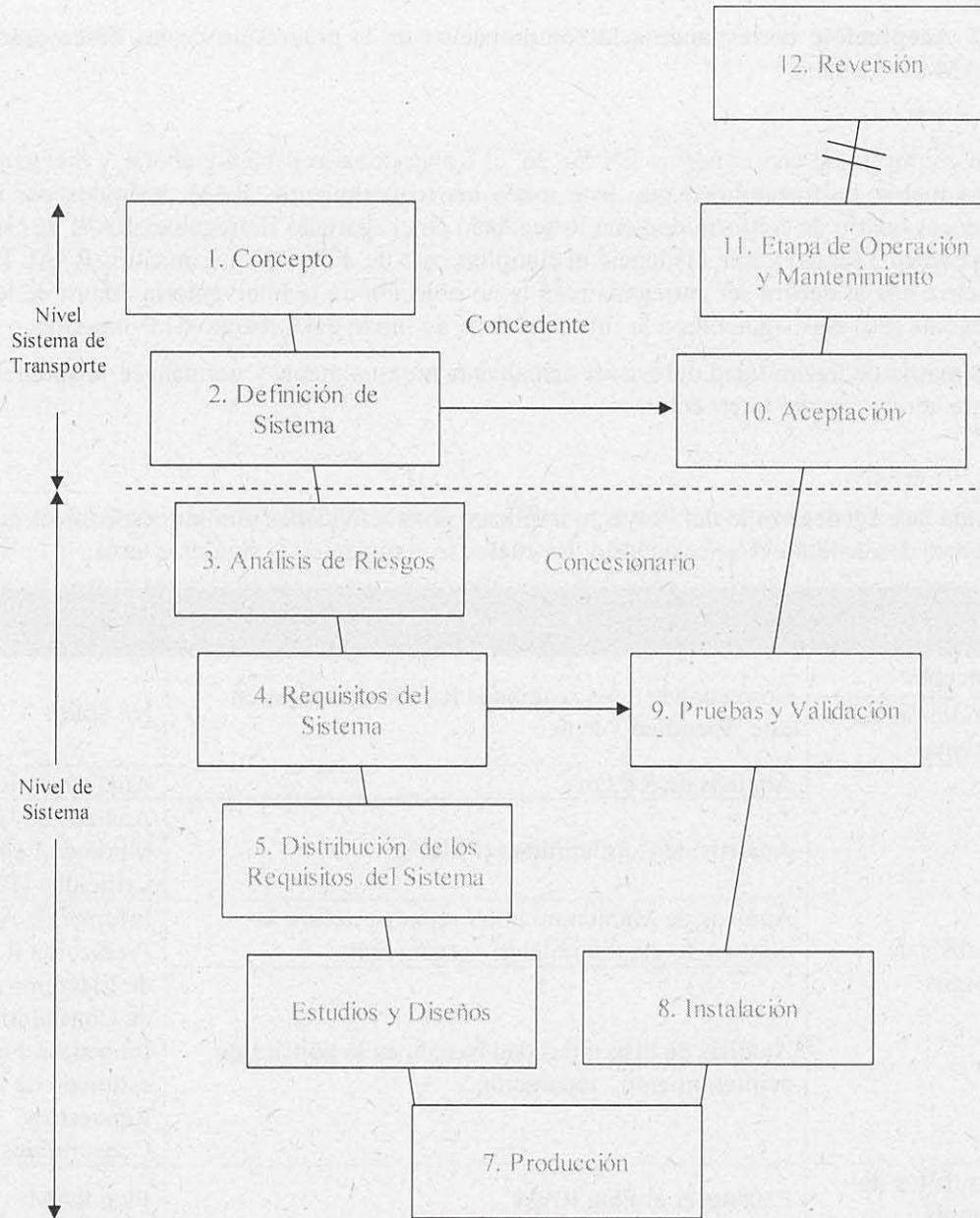


Ilustración 2. Ejemplo de Ciclo de Vida en Y del proyecto de acuerdo con la norma de referencia EN 50126

**7. Producción:** corresponde a la fabricación de los Sistemas Metro-Ferrovianos y del Material Rodante, y a la Construcción de las Obras de Construcción, de las Obras de Edificaciones, de las Obras de la Fase Previa, de las Obras de Adecuación y Reparación de Desvíos, de las Obras para Redes a cargo del Concesionario.

**8. Instalación:** corresponde a la instalación de los Sistemas Metro-Ferrovianos y del Material Rodante, y a la instalación de los equipos de las Obras de Construcción y de las Obras de Edificaciones.

**9. Pruebas y Validación:** corresponde a la realización de las pruebas individuales y de conjunto y pruebas de marcha blanca, obtención de las Certificaciones y a la puesta en marcha del Sistema Integral.

10. **Aceptación:** corresponde a la comprobación de la progresión de los desempeños RAM del Sistema.

[ID BOG RAM 5];

En conformidad con la norma EN 50126, el Concesionario deberá elaborar y mantener una matriz de trazabilidad que liste todos los requerimientos RAM definidos por el Concesionario de conformidad con lo señalado en el apartado Entregables RAM de este Apéndice Técnico y que evidencie el cumplimiento de dichos requerimientos RAM. La matriz inicial deberá ser entregada para la no objeción de la Interventoría dentro de los noventa (90) días siguientes a la firma del Acta de Inicio del Contrato de Concesión.

La matriz de trazabilidad deberá ser actualizada mensualmente y permanecer disponible para la revisión del Interventor.

[END]

[ID BOG RAM 6];

Cada fase del desarrollo del Proyecto implicará unas actividades mínimas específicas que deberá desarrollar el Concesionario, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Fase del Proyecto		Actividad RAM	Entregables (entre otros)
1	Concepto	Corresponde a los requisitos RAMS definidos en este Apéndice Técnico	No aplica
2	Definición del Sistema		
3	Análisis de Riesgos	Análisis de Riesgos	Análisis de Riesgos
		Análisis de Confiabilidad (FMEA)	Análisis de Efectos de Modo de Fallos y Criticidad (FMECA)
		Análisis de Mantenimiento / reparos; definir la política de mantenimiento / reparación	Informe de Análisis de Predicción RAM, Lista de Elementos Críticos de Confiabilidad e
		Análisis de disponibilidad basado en la política de mantenimiento / reparación	Informe del cálculo estimado de Piezas de Repuesto y Consumibles
4	Requisitos del Sistema	Establecer el Plan RAM	Plan RAM
5	Distribución de los requisitos del Sistema	Asignar los requisitos RAM a los subcontratistas, proveedores	Informe de Asignación de RAM
		Facilitar la especificación RAM a subcontratistas / proveedores	
6	Diseños de detalle	Revisiones RAM	Informe RAM
		Estimación del coste del ciclo de vida	
		Demostración RAM, evidencia de recopilación	
		FMEA de Diseño / fabricación	
7	Producción	Garantía de calidad / garantía de proceso relacionadas con RAM	Protocolos de Pruebas de Demostración RAM e Informe de Demostración RAM
8	Instalación	Garantía de calidad / garantía de proceso relacionadas con RAM	Informe de Demostración RAM
		Realizar una demostración RAM	

Fase del Proyecto		Actividad RAM	Entregables (entre otros)
9	Puesta en servicio / Aceptación	Pruebas de confiabilidad y mantenibilidad, si son aplicables.	Plan de Demostración RAM e Informe de Demostración RAM
		Poner en marcha la evaluación de datos RAM	
10	Aceptación del Sistema	Realización de pruebas RAM durante las primeras etapas de funcionamiento; selección de datos	Informe de Demostración RAM
		Evaluación de datos RAM	
11	Operación / Mantenimiento	Operación provisional y mantenimiento (política de Mantenimiento / reparación)	Estudio de obsolescencia e Informe Mensual de Rendimiento RAM
		Formación del personal de operación y mantenimiento	
		Evaluación de datos RAM	
		Evaluación del coste del ciclo de vida	
		Revisión de la ejecución	

Tabla 1. Tareas RAM y Entregables

[END]

### 3.2.2 Plan RAM del Sistema Integral

[ID\_BOG\_RAM\_7];

El Concesionario deberá elaborar y mantener un Plan RAM del Sistema Integral, es decir un Plan RAM del Sistema de transporte y del Sistema de Acceso de Pasajeros en Estación. El Plan RAM del Sistema Integral deberá ser un documento independiente.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_8];

El Concesionario deberá obtener la no-objeción de su Plan RAM del Sistema Integral por parte del Interventor.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_9];

Los temas cubiertos en el Plan RAM del Sistema Integral y las actividades asociadas RAM a realizar por parte del Concesionario deberán incluir por lo menos lo siguiente:

- Listado de las normas RAM que aplicará el Concesionario;
- Definición de los principios generales de gestión de RAM;
- Definición de la organización y recursos necesarios para la realización de los estudios RAM;
- Aseguramiento de la independencia del equipo RAM de los equipos de concepción;
- Designación de las responsabilidades RAM dentro del equipo;
- Definición/Asignación de los objetivos RAM a cada Subsistema, equipo o componente;
- Definición del Ciclo-V RAM en la que identifique la metodología que empleara para dar cumplimiento a cada una de etapas de ciclo V-RAM y las fechas en las que desarrollara las diferentes actividades;
- Descripción de la metodología y herramientas que utilizará para los estudios RAM;
- Definición de los perfiles de la misión de los Subsistemas tomados en cuenta para realizar el cálculo de RAM;
- Metodología para la evaluación del cumplimiento de los objetivos RAM por los Subsistemas/ Equipos/Componentes;
- Metodología para la verificación y validación de todos los análisis RAM realizados;

Handwritten marks: a large circle, the number '2', and a stylized '3'.

- Metodología para la validación del cumplimiento con los requerimientos RAM durante las etapas del ciclo V del Proyecto;
- Listado de documentación y entregables RAM que entregará de manera adicional a los requerimientos mínimos identificados en este Apéndice Técnico.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_10];

El mismo Plan RAM deberá definirse y aplicarse para cada Subsistema del Sistema Integral.

[END]

### **3.2.3 Estudios y Diseños de Detalle Principales**

[ID\_BOG\_RAM\_11];

El Plan RAM del Sistema Integral deberá describir en detalle los estudios RAM a realizar por parte del Concesionario en la Fase Previa.

[END]

Las actividades detalladas a continuación no son exhaustivas y se consideran como las mínimas que deberá realizar el Concesionario:

#### **3.2.3.1 Recolección de datos y suposiciones de la operación**

[ID\_BOG\_RAM\_12];

- Recolección de datos de equipos que ya se encuentren puestos en Operación Comercial en proyectos de tipo metro automático GoA4. El Objetivo es poder basar la predicción de Confiabilidad sobre datos reales, los cuales son más representativos que las cifras de Confiabilidad teóricas.
- Para complementar la predicción RAM se debe asumir suposiciones de Operación, que correspondan a las condiciones de Operación previstas para el Proyecto de la PLMB (frecuencia de verificación de equipos, tiempo de intervención promedio...).

[END]

#### **3.2.3.2 Diagramas de bloques de confiabilidad**

[ID\_BOG\_RAM\_13];

Para cada componente del Sistema Integral, el Concesionario deberá preparar un Diagrama de Bloques de Confiabilidad para modelar la arquitectura y destacar las redundancias. El Concesionario deberá demostrar que, con su arquitectura, alcanzará los objetivos de RAM.

[END]

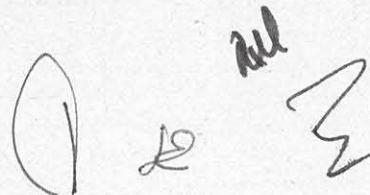
#### **3.2.3.3 Asignación de objetivos RAM**

[ID\_BOG\_RAM\_14];

La asignación de objetivos RAM deberá basarse en los diagramas de bloques de Confiabilidad. El Concesionario deberá asignar a cada equipo y/o componente un objetivo RAM para asegurar que se cumpla el objetivo global RAM del Sistema Integral.

El Concesionario deberá verificar la adecuación de la arquitectura en la fase de Estudios y Diseños de Detalle Principales, mediante la revisión de que cada componente reciba un objetivo de confiabilidad real.

[END]



#### 3.2.3.4 Análisis de Efectos de Modo de Fallos y Criticidad

[ID\_BOG\_RAM\_15];

El Concesionario deberá realiza un “Análisis de Efectos de Modo de Fallos y Criticidad” (FMECA) de forma paralela a la actividad de diagramas de bloques de Confiabilidad para poder analizar las consecuencias de falla de cada Componente y Equipo del Sistema Integral.

Este análisis deberá identificar los Equipos que son críticos para la Confiabilidad del Sistema Integral y evaluar la necesidad de redundancia. Para estos Equipos críticos el Concesionario deberá asignar el máximo nivel de Confiabilidad correspondiente.

[END]

#### 3.2.3.5 Predicción de Confiabilidad y Disponibilidad

[ID\_BOG\_RAM\_16];

El Concesionario deberá evaluar la Confiabilidad en términos del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), sin tomar en cuenta las redundancias.

El Concesionario deberá seleccionar componentes y materiales, y deberá utilizar estándares de control de calidad y procedimientos de prueba, que permitan asegurar las tasas más bajas de falla de hardware para elementos individuales del equipamiento del Sistema y así maximizar el MTBF requerido en este Apéndice Técnico, para cada uno de los Subsistemas y el Sistema Integral.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_17];

El MTBF se verificará mediante la fórmula:

$$MTBF = \frac{\sum \text{tiempos de buen funcionamiento}}{\sum \text{número de fallos}}$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_18];

Si un equipo no fuese suficientemente fiable para satisfacer los requerimientos globales de disponibilidad del Sistema Integral, el Concesionario deberá emplear niveles de redundancia de equipos que aseguren que la falla de un componente, procesador o elemento aislado no se traduzca en indisponibilidad del Sistema Integral, o que una función crítica para la operación no esté operativa.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_19];

El Concesionario deberá entregar durante los Estudios y Diseños de Detalle Principales un análisis de Disponibilidad, que demuestre cuantitativamente, que los requerimientos de Disponibilidad tal como se definen en esta sección serán alcanzados. El análisis deberá basarse en un diagrama de bloques de Disponibilidad, y deberá establecer el MTBF y el Tiempo Medio para Reparar (MTTR) para todos los componentes de los Subsistemas hasta las LRU (Unidad Sustituible en Línea). El reporte de este análisis deberá describir la base histórica, estadística y experimental para realizar el análisis. Todos los supuestos deberán estar alineados con los requerimientos de capacitación del personal de mantenimiento, disponibilidad de repuestos y mantenimiento preventivo de cada elemento.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_20];

La predicción de confiabilidad y disponibilidad deberá basarse en un enfoque ascendente siguiente:

- la confiabilidad de cada equipo deberá predecirse gracias a datos comprobados o tasas teóricas de falla de componentes;
- la confiabilidad de un sistema deberá predecirse mediante la introducción de las tasas de falla de equipo en el Diagrama de Bloque de Confiabilidad;
- la disponibilidad se derivará utilizando el MTTR y la confiabilidad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_21];

La disponibilidad D se verificará mediante la fórmula:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_22];

El MTTR se verificará mediante la fórmula:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tiempos de paro por reparación}}{\sum \text{número de fallos}}$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_23];

La medición del MTTR deberá incluir los tiempos desde que inicia la falla hasta el momento en el que el sistema este totalmente restablecido y en pleno funcionamiento.

El Informe de Análisis y de Predicción RAM deberá entregar predicciones de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad del sistema basadas en la recolección de datos de equipos que ya se encuentren puestos en servicio comercial en proyectos de tipo metro automático GoA4.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_24];

El Concesionario deberá elaborar un informe de análisis y de predicción RAM en la fecha señalada en el Plan RAM, entregado al Interventor para su no-objeción.

[END]

### 3.2.3.6 Lista de elementos críticos de Confiabilidad

[ID\_BOG\_RAM\_25];

EL Concesionario deberá elaborar una lista de elementos críticos de Confiabilidad, con base en los resultados de FMECA y los Diagramas de Bloques de Confiabilidad. Esta Lista deberá ser entregada al Interventor en la fecha señalada en el Plan RAM para su no-objeción.

[END]

### 3.2.3.7 Predicción de mantenimiento

[ID\_BOG\_RAM\_26];

El Sistema Integral y cada Subsistema deberán ser diseñados para minimizar el mantenimiento requerido (tanto preventivo como correctivo), maximizando el MTBF del Sistema Integral e incluyendo características que faciliten las actividades de mantenimiento que deban ser realizadas para minimizar el MTTR.

El Concesionario deberá realizar previsiones para el diagnóstico de los equipos y suministro de equipos/herramientas de pruebas, así como contar con manuales de capacitación del personal de mantenimiento, que busquen reducir los tiempos de reparación. Cada Subsistema deberá incluir capacidades de mantenimiento, autodiagnóstico o ayuda al diagnóstico, para detectar y reaccionar frente a fallas de equipos. La filosofía de mantenimiento del Concesionario deberá ser incorporada en el diseño de los equipos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM 27];

Lo anterior deberá incluir capacidades de diagnóstico remoto, así como también equipos de pruebas integrados (Built In Test Equipment – BITE), otras visualizaciones de fallas para la identificación y resolución de problemas y el diagnóstico a tiempo de componentes y funciones con falla. También los siguientes principios, como mínimo, deberán ser utilizados:

- Diseño Modular;
- Intercambiabilidad;
- Accesibilidad.

Por cada Unidad Sustituible en Línea (LRU), el Concesionario deberá estimar el peso, dimensión, la necesidad de herramientas de mantenimiento especiales y un tiempo promedio de reparación, teniendo en consideración la accesibilidad y la complejidad del equipo.

Todas las estimaciones y previsiones anteriores deberán ser incluidas en el Informe de Análisis y de Predicción RAM en la fecha señalada en el Plan RAM, entregado al Interventor para su no-objeción. Las previsiones y estimaciones anteriores, se realizan sin perjuicio de la obligación del Concesionario de dar cumplimiento a los Indicadores RAM y a las demás obligaciones de resultado contenidas en el Contrato de Concesión, sus Anexos y Apéndices Técnicos.

[END]

### 3.2.3.8 Informe del cálculo estimado de la cantidad de Piezas de Repuesto y Consumibles

[ID\_BOG\_RAM 28];

El Concesionario deberá elaborar un informe de cálculo estimado de piezas de repuesto y consumibles, que entregará únicamente para efectos de información al Interventor, en la fecha establecida en el Plan RAM, y que incluirá como mínimo:

- La lista de Piezas de Repuesto y Consumibles;
- Para cada Pieza de Repuesto y Consumibles, los parámetros utilizados para los cálculos de las cantidades.
- La cantidad mínima de piezas de repuesto y consumibles (parque rotativo) que permitirá asegurar las operaciones de mantenimiento y los objetivos de disponibilidad integral del sistema y los subsistemas, incluido el riesgo de escasez.
- La cantidad total de piezas de repuesto y consumible para la etapa de operación y mantenimiento.
- La cantidad de piezas de repuestos y consumibles para asegurar las operaciones de mantenimiento durante el periodo de tiempo de vida del proyecto posterior a la etapa de operación y mantenimiento del contrato de concesión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_29];

La cantidad de piezas de repuesto se deberá justificar para cada tipo de repuesto y consumibles.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_30];

Para el cálculo de cada Pieza de Repuesto y Consumible, el Concesionario deberá tener en cuenta:

- El número de componentes de cada tipo instalados;
- El MTBF, el MTTR y el tiempo de adquisición de cada componente, el tiempo de la etapa de operación y mantenimiento y el tiempo de vida útil restante del Sistema Integral;

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_31];

El Concesionario deberá incluir en el informe, una estimación conservadora del tiempo de adquisición, incluyendo los tiempos para transporte, nacionalización (si es necesario), logística y de despacho.

[END]

### 3.2.3.9 Estudio de obsolescencia

[ID\_BOG\_RAM\_32];

El Concesionario deberá desarrollar y entregar un estudio detallado y justificado de obsolescencia de los sistemas Metro-Ferrovianos, al final de la fase de Estudios y Diseño de Detalle Principales, en la fecha establecida en el Plan RAM para la no-objeción del Interventor, el cual deberá incluir como mínimo:

- La vida útil máxima de los equipos o sistemas electrónicos e informáticos (Software y Hardware).
- Una estimación de la disponibilidad en el mercado de los componentes vitales de los equipos y sistemas electrónico e informáticos (Software y Hardware).
- Un cronograma estimado de los equipos o sistemas electrónicos e informáticos (Software y Hardware) que serían objeto de repotenciación.
- Un cronograma estimado de los equipos o sistemas electrónicos e informáticos (Software y Hardware) que serían objeto de sustitución.
- Un análisis de las consecuencias que tendrían las repotenciaciones o sustituciones sobre los equipos o sistemas en interfaz.
- Los costos estimados de adquisición e implementación, discriminados para cada uno de los equipos o sistemas electrónicos e informáticos, que serían repotenciados o sustituidos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_33];

El Concesionario deberá actualizar el estudio de obsolescencia cada cinco (5) años, contados a partir del inicio de la Etapa de Operación y Mantenimiento. Las actualizaciones de los estudios deberán ser presentadas al Interventor y la EMB para su no objeción.

[END]

### 3.2.3.10 Informe RAM

[ID\_BOG\_RAM\_34];

El Concesionario deberá entregar un Informe RAM al final de la fase de Estudios y Diseño de Detalle Principales, en la fecha establecida en el Plan RAM para la no-objeción del Interventor, compilando las actividades que han sido realizadas durante esta fase.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_35];

El informe deberá ser un compendio de la metodología desarrollada para demostrar con evidencias documentales que las decisiones técnicas tomadas en el proceso (arquitectura, asignación de objetivos, equipos, redundancias, etc.) permitirán lograr los objetivos contractuales RAM.

[END]

### 3.2.4 *Fabricación e instalación*

#### 3.2.4.1 Seguimiento a los cambios de diseño

[ID\_BOG\_RAM\_36];

Las adecuaciones y/o modificaciones que deba hacer el Concesionario durante la ejecución del Proyecto a los Estudios y Diseños con el objeto de garantizar la obtención de los resultados exigidos en el Contrato de Concesión, con posterioridad a la no objeción de los Estudios y Diseños por parte del Interventor, deberán ser informadas el Interventor por parte del Concesionario, entregando los documentos técnicos que correspondan para el análisis y observaciones del Interventor.

Como parte de los documentos técnicos que entregue, el Concesionario deberá entregar uno en el que explique la manera como las adecuaciones y/o modificaciones a los Estudios y Diseños dan cumplimiento a los requerimientos y objetivos RAM.

[END]

#### 3.2.4.2 Sistema de Análisis de Fallas y Acciones Correctivas (FRACAS)

[ID\_BOG\_RAM\_37];

El Concesionario deberá implementar un sistema FRACAS, tal como se describe en el apartado "Utilización del modelo FRACAS" de este Apéndice Técnico.

[END]

#### 3.2.4.3 Plan de demostración de RAM

[ID\_BOG\_RAM\_38];

El Concesionario deberá entregar un plan de demostración de RAM en la fecha señalada en el Plan RAM.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_39];

El Concesionario deberá obtener la no-objeción de su plan de demostración de RAM por parte del Interventor.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_40];

El plan de demostración de RAM deberá utilizarse para probar y monitorear los objetivos RAM durante las pruebas de fábrica, pruebas en sitio, pruebas de integración y el periodo de Marcha Blanca.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_41];

El Concesionario deberá elaborar una serie de demostraciones RAM para cada Subsistema, como quede establecido en el plan de demostración de RAM.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_42];

El Concesionario deberá asegurar la coordinación de las actividades RAM incluyendo la movilización de equipos y recursos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_43];

El Concesionario deberá registrar y revisar la información producida durante las demostraciones RAM y suministrar una evaluación de la demostración en términos del logro de los objetivos RAM definidos, para cada subsistema y el sistema integral, en este Apéndice Técnico.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_44];

El resultado de las demostraciones RAM deberá presentarse en un informe de demostración RAM, en la fecha señalada en Plan RAM, para no objeción por parte del Interventor.

[END]

#### 3.2.4.4 Demostración de mantenimiento

[ID\_BOG\_RAM\_45];

Durante la etapa de diseño, el Concesionario deberá realizar las predicciones de mantenibilidad para determinar los MTTR de las Unidades Sustituibles en Línea (LRU).

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_46];

La demostración deberá confirmar los MTTR mediante la medición del tiempo real necesario para reemplazar la LRU.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_47];

Esta demostración deberá realizarse sobre un equipo similar que cumpla con las características del que se implementará en el proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_48];

El Concesionario deberá entregar los protocolos detallados de pruebas, para la no objeción del Interventor, un mes después de obtener la no objeción del Plan de Demostración de RAM.

[END]

#### 3.2.5 *Pruebas en sitio y pruebas de integración*

[ID\_BOG\_RAM\_49];

Durante las pruebas en sitio, el Concesionario deberá iniciar el seguimiento del rendimiento RAM de los subsistemas y del sistema integral, aportando al sistema FRACAS la información detallada que se requiera para identificar la causa raíz de las fallas y las acciones correctivas.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_50];

Durante este periodo, el Concesionario deberá asegurar la movilización de equipos y recursos necesarios para, el seguimiento del rendimiento RAM, para registrar las primeras tendencias del rendimiento RAM y permitir la detección en una etapa temprana de cualquier problema con RAM.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_51];

Este periodo de pruebas será parte de la depuración del Sistema Integral o de los Subsistemas, y no formará parte del periodo de demostración de rendimiento de RAM, el cual comenzará con la Marcha Blanca.

[END]

### **3.2.6 Marcha blanca y Etapa de Operación y Mantenimiento**

[ID\_BOG\_RAM\_52];

El Concesionario deberá continuar con la implementación de actividades de aseguramiento RAM del Sistema Integral, definidas en el Plan RAM, durante la Marcha Blanca y en la Etapa de Operación y Mantenimiento, que incluirán, pero sin limitarse a, los requisitos presentados a continuación.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_53];

Durante la Marcha Blanca y la Etapa de Operación y Mantenimiento, el Concesionario deberá realizar un seguimiento diario del rendimiento RAM y los resultados deberán registrarse en el sistema de gestión de mantenimiento (MMS) para el análisis histórico y sistemático de datos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_54];

Un Informe mensual de rendimiento RAM se deberá poner a disposición del Interventor para el seguimiento del cumplimiento de los objetivos RAM.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_55];

Sin perjuicio de lo dispuesto en el Contrato de Concesión con respecto a la aplicación de Multas y a la eventual afectación del Índice de Cumplimiento de los Indicadores de Operación y Mantenimiento, en el caso que un subsistema o el sistema integral no alcancen sus objetivos RAM, el Concesionario deberá realizar una investigación y modificar lo necesario para que cumpla con los objetivos. Además, deberá entregar un informe, para la no objeción del Interventor, como máximo un mes después del hallazgo, que detalle la solución a los problemas identificados y el cronograma de implementación de la solución.

[END]

## **3.3 Requerimientos de Gestión de RAM**

A continuación, se describen los requerimientos mínimos que deberá cumplir el Concesionario, respecto a la gestión del Proyecto, para proporcionar el respaldo apropiado al proceso RAM.

### **3.3.1 Plan de gestión de la calidad**

[ID\_BOG\_RAM\_56];

El Concesionario deberá elaborar un Plan de gestión de calidad indicando la metodología que seguirá para satisfacer las necesidades del Proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_57];

Para apoyar el proceso de Seguridad, el Plan de gestión de la calidad deberá describir cómo se abordan los requerimientos de las normas EN 50126, EN 50128 y EN 50129.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_58];

El Concesionario deberá entregar el Plan de gestión de la calidad, como máximo 45 Días después de firmada el acta de inicio del Contrato de Concesión, para la no objeción del Interventor.

[END]

### **3.3.2 Plan de Gestión de configuración del Sistema Integral**

[ID\_BOG\_RAM\_59];

El Concesionario deberá elaborar un plan de gestión de configuración del Sistema Integral, que cumpla con los lineamientos de la norma ISO 10007.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_60];

En conformidad con el plan de gestión de configuración del Sistema Integral el Concesionario deberá asegurar la gestión de configuración, en términos de control de configuración, informes de análisis y solución de problemas, control de cambios, control de medio y herramientas de gestión de configuración.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_61];

El Concesionario deberá entregar el plan de gestión de configuración del Sistema Integral y sus actualizaciones, para la no objeción del Interventor, en la fecha señalada en el Plan RAM.

[END]



## 4 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN RAM DEL SISTEMA

[ID\_BOG\_RAM\_62];

El cumplimiento de los requerimientos y objetivos RAM del Sistema Integral y los Subsistemas se deberá llevar a cabo en las etapas que se definen a continuación:

1. Etapa de planeación, en la que se elaborará el Plan RAM y se llevarán a cabo las actividades RAM de conformidad con lo señalado en el apartado “Plan RAM del Sistema Integral de este Apéndice Técnico, con excepción de las pruebas y demostraciones RAM y el informe respectivo. En esta etapa, el Concesionario deberá obtener la no objeción del Interventor a sus Estudios y Diseños, en cuanto al cumplimiento por parte de estos de los requerimientos y objetivos RAM y de los objetivos de Seguridad de conformidad con este Apéndice Técnico.
2. Etapa de demostración y cumplimiento de la Disponibilidad técnica: esta etapa se llevará a cabo así:
  - a. Durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, en la cual el Concesionario deberá llevar a cabo las pruebas y demostraciones RAM, entregar el informe de pruebas y demostraciones RAM y el Informe RAM al Interventor, y obtener la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM.
  - b. Durante la Etapa de Operación y Mantenimiento, en la que el Concesionario debe entregar los Informes RAM al Interventor, en los que evidencie el cumplimiento de la Disponibilidad técnica.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_63];

La Disponibilidad Técnica deberá considerar la Disponibilidad desde el punto de vista de los usuarios para medir el impacto sobre el servicio.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_64];

Solamente se contabilizarán las averías que tengan impacto sobre la Operación Comercial diaria en modo nominal, con base en las categorías de falla indicadas en este Apéndice Técnico. En este caso, la duración de perturbación considerada para la demostración de los objetivos corresponderá a la fracción de la duración de perturbación tomada durante la Operación Comercial.

[END]

### 4.1 Tareas de seguimiento a realizar por el Concesionario

[ID\_BOG\_RAM\_65];

Tras la asignación de Requerimientos RAM a cada uno de los subsistemas de la PLMB, el Concesionario deberá demostrar, mediante análisis de predicción el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Según los condicionantes surgidos durante el desarrollo de la fase de Diseños de Detalle, de conformidad con los requerimientos del presente Apéndice Técnico RAMS, el Concesionario deberá asegurar la demostración de los valores teóricos RAM durante pruebas específicas de RAM, las que serán descritas por el Concesionario en su Plan RAM y presenciadas al mínimo por el Interventor. Sobre estas pruebas, el Interventor o la EMB podrá requerir pruebas RAM adicionales si se estima necesario.

Tras la puesta en servicio de los subsistemas de la PLMB, el Concesionario deberá centrar la actividad principal RAM en la demostración del cumplimiento con los requerimientos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. Dicha demostración se realizará con

base en la recolección de datos de desempeño, registro en el Sistema de Gestión de Mantenimiento (MMS) y en la evaluación de estos.

Los resultados correspondientes serán entregados por el Concesionario al Interventor mediante informes de demostración RAM por cada prueba y un informe mensual de demostración de RAM, desde el inicio de la Marcha Blanca hasta la finalización del periodo de demostración de RAM, lo cual coincide con los dos (2) primeros años de la Etapa de Operación y Mantenimiento.

[END]

#### 4.2 Utilización del modelo FRACAS

El modelo FRACAS consiste en un proceso de reporte, clasificación y análisis de fallos, junto con un plan correctivo para restaurar el sistema a su estado normal. Su implantación en la PLMB tiene como objetivo gestionar todas las fallas de la línea principal mediante una herramienta única.

[ID\_BOG\_RAM\_66];

El Concesionario deberá utilizar el modelo FRACAS para recoger los datos de todos los incidentes que se produzcan durante la fabricación, construcción, instalación, puesta en funcionamiento, pruebas, Operación y Mantenimiento, de todos los Subsistemas y Componentes del Sistema Integral. El modelo FRACAS servirá, entre otras cosas, para:

- Gestionar no sólo las fallas y las acciones correctivas sino también para realizar el seguimiento de los parámetros RAM y de Seguridad de cada uno de los sistemas/Subsistemas.
- Monitorear el rendimiento de los Componentes y para identificar los patrones de falla con el fin de poder realizar acciones correctivas.
- Promover el crecimiento de la Confiabilidad del Equipo más allá del cumplimiento de los valores objetivos.
- Consolidar la información de falla de los Equipos para referencias de revisión de diseño.
- Verificar la capacidad y la eventual disminución de la capacidad de los Equipos durante las pruebas, Marcha Blanca e inicio de Operación para garantizar que la Confiabilidad del nivel del Equipo es sustentable.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_67];

El modelo FRACAS deberá contener, al menos, la siguiente información:

1. Fecha y hora de la falla.
2. Fecha y hora de inicio de la intervención del personal de mantenimiento.
3. Código de intervención.
4. Identificación del elemento fallado.
5. Identificación del Subsistema.
6. Descripción de la falla.
7. Clasificación de la falla (significativa, importante o menor).
8. Causa de la falla.
9. Responsable de la falla (Subcontratista, Operador, etc.).
10. Informe detallado de la intervención.

11. Tipo de actuación de mantenimiento.
12. Tiempo de reparación (horas x hombre empleadas y tiempo desde el inicio de la avería hasta el total restablecimiento del sistema.
13. Tiempo fuera de servicio del Equipo, Subsistema y sistema.
14. Identificación y perfil profesional del personal de mantenimiento implicado en la intervención.
15. Piezas de repuesto y consumibles utilizados.
16. Costos del personal, de los repuestos y de los consumibles.
17. Estado de la avería (estado abierto o cerrado).
  - a. Abierto: se atribuye este estado a partir del momento en que se genera una avería. Se incluyen las averías intermitentes y todas aquellas otras que no permitan que el sistema opere como en su estado inicial.
  - b. Cerrado: se atribuye este estado a una avería que deja de presentarse y que deja el sistema restablecido y en pleno funcionamiento.

[END]

[ID: BOG RAM 68];

La información de falla de cada Subsistema deberá ser registrada en el Sistema de Gestión de Mantenimiento (MMS) y transmitida a sus responsables respectivos para su análisis.

[END]

### 4.3 Verificación del ciclo de vida RAM

[ID: BOG RAM 69];

La verificación de las tareas RAM consiste en la confirmación y en la aportación de pruebas objetivas de que se han cumplido los objetivos de cada fase del Ciclo de Vida RAM.

Las tareas de verificación deberán llevarse a cabo durante la totalidad del ciclo de vida del proyecto, con el objetivo de controlar el cumplimiento de los objetivos de cada Fase del Proyecto.

La siguiente ilustración muestra el proceso estándar de verificación que el Concesionario deberá seguir en las distintas fases del ciclo de vida del Proyecto.

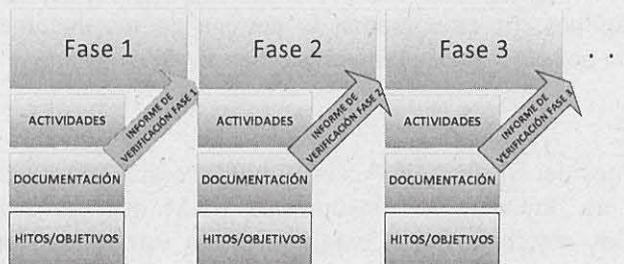


Ilustración 3. Ejemplo de Modelo de Verificación del Ciclo de Vida RAM

Al final de cada fase, el Concesionario deberá entregar con el Informe RAM, la compilación de las evidencias documentales de las actividades y documentación realizadas durante la fase, identificando los puntos pendientes y determinado el avance de las actividades de las distintas fases del Ciclo de Vida RAM.

[END]

Handwritten marks: a circle, the number '12', and a stylized signature or mark.

## 5 ENTREGABLES RAM

[ID\_BOG\_RAM\_70];

Para cada uno de los Subsistemas del Sistema de Transporte (Vías Férreas, Alimentación en Energía, Control y Supervisión (SCS), Señalización/Control de Trenes, Puertas de Andén o Plataforma, Telecomunicaciones, Radiocomunicaciones y Material Rodante), el Concesionario deberá entregar como mínimo los siguientes documentos, al Interventor, para su no objeción:

- Plan RAM del Sistema Integral;
- Plan RAM por Subsistema (Subsystem RAM Plan);
- Análisis de Riesgos;
- Matriz de Trazabilidad (Traceability Matrix);
- Diagramas de Bloques de Confiabilidad (Reliability Block Diagrams);
- Informe de Asignación de RAM (RAM Allocation Report);
- Análisis de Efectos de Modo de Fallos y Criticidad (FMECA) que deberá evaluar la consecuencia de la falla en cada función ejecutada por el Subsistema con alcance a la Seguridad y permitir que se realicen los análisis de seguridad pertinentes;
- Informe de Análisis de Predicción RAM (RAM Prediction and Analysis Report);
- Lista de Elementos Críticos de Confiabilidad (Reliability Critical Items List);
- Informe del cálculo estimado de Piezas de Repuesto y Consumibles (Spare Parts Report);
- Estudio de obsolescencia (Obsolescence Study).
- Informe RAM (RAM Report);
- Plan de Demostración RAM (RAM Demonstration Plan);
- Protocolos de Pruebas de Demostración RAM
- Informe de Demostración RAM (RAM Demonstration Report);
- Informe Mensual de Rendimiento RAM (RAM Performance Monthly Report);

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_71];

Durante la Fase de Estudios y Diseños de Detalle Principales, el Concesionario deberá entregar al Interventor, documentos a nivel del Subsistema (por separado) y a nivel de Componentes o Equipos. El cronograma de entrega de los documentos deberá ser definido y entregado por el Concesionario en su Plan RAM.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_72];

Para los componentes del Sistema de Acceso , el Concesionario deberá entregar, a la Interventoría para no objeción, los documentos RAM que permitan evidenciar el cumplimiento de los objetivos RAM exigidos y una trazabilidad en cada fase del Proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_73];

El Concesionario como mínimo deberá realizar y entregar los siguientes documentos RAM:

- Plan RAM por Subsistema;
- Informe de Asignación de RAM;
- Informe de Predicción de RAM;
- Informe de Análisis de Disponibilidad;

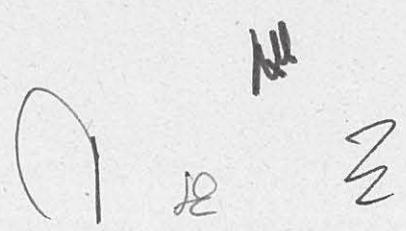
- Análisis de Mantenimiento;
- Informe de Piezas de Repuesto (Spare Parts Report);
- Plan de Demostración RAM.

[END]

{ID\_BOG\_RAM\_74};

Todos los entregables RAM entregados por el Concesionario deberán ser redactados en español y radicados al Interventor en formatos nativos (Word, Excel, etc.) para agilizar la transmisión de comentarios.

[END]

Handwritten marks and signatures at the bottom right of the page, including a large loop, the letters 'JO', 'AM', and a stylized 'Z'.

## 6 OBJETIVOS RAM DEL SISTEMA DE TRANSPORTE, DEL SISTEMA DE ACCESO Y DE LOS SUBSISTEMAS QUE LOS COMPONEN

### 6.1 Disponibilidad Global Técnica del Sistema de Transporte

[ID\_BOG\_RAM\_75];

El Concesionario deberá dar cumplimiento, en el término de dos años contados desde la suscripción del Acta de Terminación de la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, a la progresión de los objetivos de Disponibilidad global técnica del Sistema de Transporte que se requieren a continuación.

Periodo	Disponibilidad Global Técnica del Sistema Transporte ( $D_{gst}$ )
Al inicio de la Puesta en Servicio Comercial	$\geq 98,00\%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial	$\geq 98,50\%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial	$\geq 98,75\%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial	$\geq 99,00\%$

Tabla 2. Progresión de la Disponibilidad del Sistema de Transporte

Para efectos del cálculo de los objetivos RAM de este Apéndice Técnico, en los términos de la norma EN 50126, a continuación, se definen las categorías de fallas que el Concesionario deberá tener en cuenta para clasificar las fallas, en función del impacto que generan en la Operación del Sistema de Transporte.

Categoría	Falla	Descripción	Criterio Cuantitativo
III	Significativa	Falla que impide el movimiento del Tren o provoca un retraso en el servicio mayor que un periodo y / o genera un coste superior a un nivel especificado.	Retraso $> 5$ min
II	Mayor	Falla que deberá ser corregido para que el sistema logre su rendimiento especificado y que no provoca un retraso ni un coste que superen el umbral mínimo especificado para una falla significativa.	Retraso $\leq 5$ min.
I	Menor	Falla que no impide que el sistema logre su rendimiento especificado y no cumple los criterios para ser considerado falla significativa ni mayor.	Sin retraso

Tabla 3. Categorías de falla para el Sistema de Transporte

El Concesionario deberá calcular la Disponibilidad Global Técnica Del Sistema De Transporte de la siguiente forma:

$$D_{gtst} = \prod_{i=1}^n D_{tsti}$$

Dónde:

$D_{gtst}$ : Es la Disponibilidad Global Técnica del Sistema de Transporte, es el producto de las Disponibilidades Técnicas de los Subsistemas del Sistemas de Transporte, a saber:

- Subsistema de Vías Férreas;
- Subsistema de Control y Supervisión (SCS);
- Subsistema de Alimentación en Energía;
- Sistema de Señalización/Control de Trenes;
- Subsistema Puertas de Andén o Plataforma;
- Subsistema de Telecomunicaciones (Sistema de Red multiservicios (RMS), Sistema de Cronometría, Sistema de Gestión de Operadores (SGO), Sistema de Telefonía/Interfonía (TEL), Sistema de Grabador de Voz, Sistema de Red Banda Ancha (RBA), Sistema de Información a los Pasajeros (SIP), Sistema de Difusión de publicidad (DDP), Sistema de Video vigilancia (CCTV), Sistema de Anuncio a Pasajero (SAP), Sistema de Control de Acceso y Alarmas (SCA), Sistema de IHM de comunicaciones (IHM));
- Subsistema de Radiocomunicaciones (Radio TETRA);
- Subsistema Material Rodante;
- Subsistema de Peaje/Control de Acceso.

$D_{tsti}$ : Es la Disponibilidad Técnica del Subsistema de transporte i.

Los objetivos de disponibilidad, que debe cumplir el Concesionario, para cada uno de los subsistemas del Sistema de Transporte son los siguientes:

Subsistema	Disponibilidad Mínima (%)
Subsistema de Vías Férreas	99,991 %
Subsistema de Alimentación de Energía	99,997 %
Sistema de Control y Supervisión (SCS)	99,994%
Subsistema de Señalización/Control de Trenes	99,997 %
Subsistema Puertas de Andén o Plataforma	99,509 %
Subsistema de Telecomunicaciones	99,998 %
Subsistema de Radiocomunicaciones	99,994 %
Subsistema Material Rodante	99,612 %
Subsistema de Peaje/Control de Acceso	99,887 %

Tabla 4. Objetivos de Disponibilidad de cada subsistema

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_76];

La Disponibilidad técnica de cada subsistema depende del MTBF y el MTTR, los cuales serán calculados sobre los tiempos de funcionamiento de cada uno de ellos, mediante la siguiente fórmula:

$$D_t = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

*Handwritten marks:*  
A large circle with a vertical line through it.  
A stylized signature or mark resembling 'N' or 'Z'.  
A checkmark-like symbol.

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_77];

A continuación, se presentan los tiempos estimados de funcionamiento de los diferentes sistemas.

Sistemas	Tiempos de funcionamiento
Subsistema de Vías Férreas	19 h /día
Subsistema de Alimentación en Energía	19 h /día
Sistema de Control y Supervisión (SCS)	19 h /día
Subsistema de Señalización/Control de Trenes	19 h /día
Subsistema Puertas de Andén o Plataforma	19 h /día
Subsistema de Telecomunicaciones y Radiocomunicaciones	19 h /día
Subsistema Material Rodante	1 hora antes el inicio del servicio diario hasta ½ hora después del fin del servicio diario
Subsistema de Peaje/Control de Acceso	19 h /día

Tabla 5. Tiempos estimados de funcionamiento de los Subsistemas del Sistema de Transporte

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_78];

A continuación, se relacionan los requerimientos RAM que deberá cumplir el Concesionario para cada uno de los Subsistemas del Sistema de Transporte y del Sistema de Acceso de la PLMB. Los valores dados para la Disponibilidad deberán ser considerados como valores mínimos, los valores dados para la Mantenibilidad (MTTR) deberán ser considerados como valores máximos y por su parte, los valores dados para la Confiabilidad (MTBF) deberán ser considerados como valores mínimos.

[END]

## 6.2 Objetivos RAM del Sistema de Transporte

[ID\_BOG\_RAM\_79];

Los objetivos RAM que debe cumplir el Concesionario a partir de los 24 meses contados desde la suscripción del Acta de Terminación de la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, son los que se requieren a continuación para todos los suministros de cada Subsistema.

[END]

### 6.2.1 RAM del Subsistema de Vías Férreas

[ID\_BOG\_RAM\_80];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: $Dt \geq 99,991 \%$	Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 50\,000 \text{ h}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 90 \text{ min}$
Falla Significativa: $D_{sig} \geq 99,997 \%$	Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 25\,000 \text{ h}$	Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 90 \text{ min}$
Falla Mayor: $D_{may} \geq 99,994 \%$	Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 10\,000 \text{ h}$	Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 90 \text{ min}$
Falla Menor: $D_{men} \geq 99,985 \%$		

Tabla 6. Objetivos RAM del Subsistema Vías Férreas

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_81];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_82];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_t = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_83];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$D_t \geq 99,866 \%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,916 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,966 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,991 \%$

Tabla 7. Objetivos RAM del Subsistema Vías Férreas

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_84];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema de Vía Férrea, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Controlador de agujas de cambiavías;
- Motor de cambiavías;
- Cerrojo de aguja de cambiavías.

[END]

### 6.2.2 RAM del Subsistema de Control y Supervisión (SCS)

[ID\_BOG\_RAM\_85];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: $D_t \geq 99,994 \%$	Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 50\,000 \text{ h}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 30 \text{ min}$
Falla Significativa: $D_{sig} \geq 99,999 \%$	Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 10\,000 \text{ h}$	Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 30 \text{ min}$
Falla Mayor: $D_{may} \geq 99,995 \%$	Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 2\,000 \text{ h}$	Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 30 \text{ min}$
Falla Menor: $D_{men} \geq 99,975 \%$	<b>TCO:</b> $MTBF \geq 100\,000 \text{ h}$ (para todas las categorías de falla).	<b>TCO:</b> $MTTR \leq 30 \text{ min}$ (para todas las categorías de falla).

Tabla 8. Objetivos RAM del Subsistema SCS

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_86];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_87];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_t = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_88];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$D_t \geq 99,869 \%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,919 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,969 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,994 \%$

Tabla 9. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema SCS

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_89];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema SCS, el Concesionario deberá incluir como mínimo los servidores SCS.

[END]

### 6.2.3 RAM del Subsistema de Alimentación de Energía Eléctrica

[ID\_BOG\_RAM\_90];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: $D_t \geq 99,997 \%$	Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 50\,000 \text{ h}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 15 \text{ min}$
Falla Significativa: $D_{sig} \geq 99,999 \%$	Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 10\,000 \text{ h}$	Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 15 \text{ min}$
Falla Mayor: $D_{may} \geq 99,997 \%$	Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 2\,000 \text{ h}$	Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 15 \text{ min}$
Falla Menor: $D_{men} \geq 99,987 \%$		

Tabla 10. Objetivos RAM del Subsistema de Alimentación de Energía Eléctrica

[END]

[ID\_BOG\_RAM 91];

El Concesionario deberá cumplir estos objetivos de manera separada para los Subsistemas de Energía Alta Tensión, Energía Media Tensión, Energía Tracción y Energía Baja Tensión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM 92];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_{sig} = \text{MTBF}_{sig} / (\text{MTBF}_{sig} + \text{MTTR}_{sig})$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM 93];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_t = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM 94];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$D_t \geq 99,872 \%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,922 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,972 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$D_t \geq 99,997 \%$

Tabla 11. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema de Alimentación de Energía Eléctrica

[END]

[ID\_BOG\_RAM 95];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema de Alimentación de Energía Eléctrica, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Interruptores de alimentación en todos los niveles de tensión;
- Limitadores de Sobrevoltaje (VLD);
- Transformadores;
- Equipos de Suministro de Energía Ininterrumpida (UPS);
- Relés de protección;
- Equipos de Control (PLC, Relés).

[END]

#### 6.2.4 RAM del Subsistema de Señalización y Control de Trenes (CBTC)

[ID\_BOG\_RAM\_96];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: Dt ≥ 99,997 %	Falla Significativa: MTBFsig ≥ 50 000 h	Falla Significativa: MTTRsig ≤ 20 min
Falla Significativa: Dsig ≥ 99,999 %	Falla Mayor: MTBFmay ≥ 10 000 h	Falla Mayor: MTTRmay ≤ 14 min
Falla Mayor: Dmay ≥ 99,998 %	Falla Menor: MTBFmen ≥ 2 000 h	Falla Menor: MTTRmen ≤ 10 min
Falla Menor: Dmen ≥ 99,992 %		

Tabla 12. Objetivos RAM del Subsistema Señalización/Control de Trenes

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_97];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$D_{sig} = \text{MTBF}_{sig} / (\text{MTBF}_{sig} + \text{MTTR}_{sig})$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_98];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculara mediante la siguiente formula:

$$Dt = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_99];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99,872 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,922 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,972 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,997 %

Tabla 13. Objetivos RAM del Subsistema Señalización/Control de Trenes

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_100];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema de Señalización y Control de Trenes, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- CBTC Embarcado;
- Radio Embarcado;

- Radio Tierra.

[END]

### 6.2.5 RAM del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma (PDAP)

[ID\_BOG\_RAM\_101];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor de una plataforma: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Dt \geq 99,985 \%</math></li> </ul> Para las 16 estaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Dt \geq 99,509 \%</math></li> </ul> Para todas las puertas deslizantes de cada plataforma en cada estación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla Significativa: <math>D_{sig} \geq 99,992 \%</math></li> <li>• Falla Mayor: <math>D_{may} \geq 99,992 \%</math></li> <li>• Falla Menor: <math>D_{men} \geq 99,983 \%</math></li> </ul>	$MTBF \geq 4$ años por cada Puerta deslizante en cada estación (para todas las categorías de falla).  Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 6\,900$ h  Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 3\,500$ h  Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 1\,000$ h	$MTTR \leq 2$ h por cada Puerta Deslizante en cada estación (para todas las categorías de falla).  Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 32$ min  Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 16$ min  Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 10$ min

Tabla 14. Objetivos RAM del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_102];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_103];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculara de la siguiente forma:

$$Dt = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_104];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$Dt \geq 99,384\%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,434 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,484 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,509\%$

Tabla 15. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_105];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema Puerta de Andén o Plataforma, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Sensor de fin de carrera o de posición cerrada de las puertas deslizantes;
- Unidad de Control de una Puerta (UCD);
- Sistema de enclavamiento;
- Unidad de Control de las Puertas de las plataformas (UCP);
- Unidad de Supervisión Local (USL).

[END]

### 6.2.6 RAM del Subsistema de Telecomunicaciones

[ID\_BOG\_RAM\_106];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: $Dt \geq 99,998 \%$ Falla Significativa: $D_{sig} \geq 99,999 \%$ Falla Mayor: $D_{may} \geq 99,999 \%$ Falla Menor: $D_{men} \geq 99,999 \%$	Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 120\,000 \text{ h}$ Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 80\,000 \text{ h}$ Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 50\,000 \text{ h}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 60 \text{ min}$ Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 45 \text{ min}$ Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 30 \text{ min}$

Tabla 16. Objetivos RAM del Subsistema de Telecomunicaciones

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_107];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_108];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Dt = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_109];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$Dt \geq 99,873 \%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,923 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,973 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,998 \%$

Tabla 17. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema de Telecomunicaciones

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_110];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema de Telecomunicaciones, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- La RMS;
- Módulos de alimentación de los nodos de acceso de la RMS;
- La Red Banda Ancha;
- Los puntos de acceso inalámbrico;
- Los Routers móviles en los Trenes;
- Los conectores de cables en el viaducto (debido a las vibraciones).

[END]

### 6.2.7 RAM del Subsistema Radiocomunicaciones

[ID\_BOG\_RAM\_111];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para las categorías de falla significativa y mayor: $Dt \geq 99,994 \%$	Falla Significativa: $MTBF_{sig} \geq 50\,000 \text{ h}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 60 \text{ min}$
Falla Significativa: $D_{sig} \geq 99,998 \%$	Falla Mayor: $MTBF_{may} \geq 20\,000 \text{ h}$	Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 45 \text{ min}$
Falla Mayor: $D_{may} \geq 99,996 \%$	Falla Menor: $MTBF_{men} \geq 5\,000 \text{ h}$	Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 15 \text{ min}$
Falla Menor: $D_{men} \geq 99,995 \%$		

Tabla 18. Objetivos RAM del Subsistema de Radiocomunicaciones

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_112];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_113];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dt = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_114];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	$Dt \geq 99,869 \%$
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,919 \%$
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,969 \%$
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	$Dt \geq 99,994 \%$

Tabla 19. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema de Radiocomunicaciones

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_115];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema radiocomunicaciones, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- La radio Tetra;
- Los Componentes principales de la estación base: modulador y demodulador;
- Los conectores de cable en el viaducto (debido a las vibraciones).

[END]

### 6.2.8 RAM del Material Rodante

[ID BOG RAM 116];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MKBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Por Tren para las categorías de falla significativa y mayor: $Dt \geq 99,612 \%$ Por Tren: <ul style="list-style-type: none"> <li>Falla Significativa:  <math>D_{sig} \geq 99,838 \%</math></li> <li>Falla Mayor:  <math>D_{may} \geq 99,7738 \%</math></li> <li>Falla Menor:  <math>D_{men} \geq 99,757 \%</math></li> </ul> $D \geq 99,99 \%$ para cada posición de puerta del Tren en cada Tren (para todas las categorías de falla).	Por Tren: Falla Significativa: $MKBF_{sig} \geq 210.000 \text{ km}$ Falla Mayor: $MKBF_{may} \geq 75.000 \text{ km}$ Falla Menor: $MKBF_{men} \geq 35.000 \text{ km}$	Falla Significativa: $MTTR_{sig} \leq 480 \text{ min}$ Falla Mayor: $MTTR_{may} \leq 240 \text{ min}$ Falla Menor: $MTTR_{men} \leq 120 \text{ min}$

Tabla 20. Objetivos RAM del Material Rodante

Como indicado en el numeral 2.2.2, el MTTR para el subsistema de Material Rodante es el tiempo medio de reparación de la falla a nivel del Tren.

[END]

[ID BOG RAM 117];

Para cada una de las categorías de falla, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$D_{sig} = MTBF_{sig} / (MTBF_{sig} + MTTR_{sig})$$

El Concesionario calculará MTBF<sub>sig</sub> dividiendo MKBF<sub>sig</sub> por la velocidad comercial.

[END]

[ID BOG RAM 118];

Para el global de las fallas de categoría significativa y mayor (que pueden implicar un retraso en el servicio comercial), la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dt = 1 - ((1 - D_{sig}) + (1 - D_{may}))$$

Para el cálculo de la Disponibilidad Técnica del subsistema de Material Rodante en la etapa de operación, el Concesionario deberá utilizar los valores promedios de MTTR y de MKBF de la flota completa.

[END]

[ID BOG RAM 119];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

*Handwritten marks:*  
 A large circle with a vertical line through it.  
 The number '2'.  
 A stylized signature or mark.

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99,487 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,537 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,587 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,612 %

Tabla 21. Progresión de los objetivos RAM del Material Rodante

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_120];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema Material Rodante, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Puertas;
- Cadena tracción - frenado;
- Frenado mecánico;
- Bogies;
- Convertidor estático;
- Sistema de aire comprimido;
- Sistema de telecomunicaciones embarcado;
- CCTV;
- Intercirculación;
- Ventilación;
- Sistema de iluminación interior y exterior.

#### 6.2.9 RAM del Subsistema de Peaje/Control de Acceso

[ID\_BOG\_RAM\_121];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Dt ≥ 99,887 % (por los sistemas centrales y para todas las fallas).	MCBF ≥ 257 000 ciclos (por una barrera de control de cualquier tipo puerta y para todas las fallas).	MTTR ≤ 40 min (para todas las fallas).

Tabla 22. Objetivos RAM del Subsistema de Peaje/Control de Acceso

[ID\_BOG\_RAM\_122];

Para todas las fallas, la Disponibilidad del subsistema de Peaje/Control de Acceso se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dt = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_123];

Para todas las fallas, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dt = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_124];

La progresión de los objetivos de RAM que deberá cumplir el Concesionario será la siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99,762%
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,812 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,862 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y posterior	Dt ≥ 99,887 %

Tabla 23. Progresión de los objetivos RAM del Subsistema de Peaje/Control de Acceso

[[END]

[[ID\_BOG\_RAM\_125];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes del Subsistema de Peaje/Control de Acceso, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Todos los tipos de Barrera de Control de Acceso;
- Validador.

[[END]

### 6.3 Disponibilidad Técnica de los Equipos de Acceso y Equipos de Patio Taller

[[ID\_BOG\_RAM\_126];

El Concesionario deberá dar cumplimiento, a partir de la suscripción del Acta de Terminación de la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, a los objetivos de Disponibilidad técnica para los grupos de ascensores, escaleras y equipos de Patio Taller que se requieren a continuación.

Subsistema	Disponibilidad Mínima (%)
Grupo de Ascensores que dan acceso a una plataforma en una estación	99,701 %
Grupo de Escaleras mecánicas que dan acceso a una plataforma en una estación	99,119 %
Equipos de Talleres y Cocheras	99,823 %

Tabla 24. Disponibilidades mínimas de los Equipos de Acceso y de los Equipos de Patio Taller

[[END]

[[ID\_BOG\_RAM\_127];

A continuación, se presentan los tiempos estimados de funcionamiento de los diferentes equipos.

Sistemas	Tiempos de funcionamiento
Equipos de Acceso	19 h /día
Equipos de Patio Taller	19 h /día

Tabla 25. Tiempos estimados de funcionamiento de los Equipos de Acceso y Patio Taller

[[END]

### 6.4 Objetivos RAM de los Equipos de Acceso y de los Equipos de Patio Taller

[[ID\_BOG\_RAM\_128];

Los objetivos RAM, a partir de la Puesta en Servicio Comercial, que debe cumplir el Concesionario, son los que se requieren a continuación para todos los equipos suministrados.

*Handwritten signatures and initials:*  
  
  
  


Para todas las fallas de cada una de las clasificaciones de los equipos de acceso, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dt = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

[END]

Handwritten marks in the bottom right corner of the page. It includes a large, stylized loop, a signature, and the letters 'MR' written in a bold, slanted font.

**6.4.1 RAM de los Grupos de Ascensores que dan acceso a una plataforma en una estación**

[ID\_BOG\_RAM\_129];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Dt $\geq$ 99,701 % por cada grupo de ascensores que den acceso a una plataforma en una estación (para todas las fallas).	MTBF $\geq$ 1 000 h de funcionamiento efectivo; por grupo de ascensores que den acceso a una plataforma en una estación (para todas las fallas).	MTTR $\leq$ 3 h por cada ascensor en una estación (para todas las fallas).

Tabla 26. Objetivos RAM de los Grupos de Ascensores

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_130];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes de un ascensor, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Motor;
- Puerta;
- Sistema de mando y control.

[END]

**6.4.2 RAM de los Grupos de Escaleras mecánicas que dan acceso a una plataforma en una estación**

[ID\_BOG\_RAM\_131];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Dt $\geq$ 99,119 % para la función "grupo de escalera mecánica por Edificio de Acceso y por cada nivel" (para todas fallas).	MTBF $\geq$ 900 h de funcionamiento efectivo, por cada escalera mecánica en una estación (para todas las fallas).	MTTR $\leq$ 8 h por cada escalera mecánica en una estación (para todas las fallas).

Tabla 27. Objetivos RAM de los Grupos de Escaleras Mecánicas

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_132];

Para la asignación del valor de Disponibilidad técnica a los Componentes de una Escalera Mecánica, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes Componentes:

- Cadena de tracción;
- Freno auxiliar;
- Peldaños;
- Sistema de mando y control.

[END]

### 6.4.3 RAM del conjunto de los Equipos de Patio Taller

[ID\_BOG\_RAM\_133];

Disponibilidad Técnica (Dt)	Confiabilidad (MTBF)	Mantenibilidad (MTTR)
Para todas las fallas: $D_{cept} \geq 99,823 \%$  Para cada equipo y grupo de equipos, para todas las fallas:  $Dept \geq 99,900 \%$	Para cada equipo y grupo de equipos, para todas las fallas: • $MTBF_{ept} \geq 1\ 200\ h$	Para cada equipo y grupo de equipos, para todas las fallas: • $MTTR_{ept} \leq 120\ min$

Tabla 28. Objetivos RAM del conjunto de los Equipos de Patio Taller

[END]

Para el cálculo de la Disponibilidad técnica de los Equipos del Patio Taller, el Concesionario deberá incluir como mínimo los siguientes equipos y grupos de equipos:

- La máquina lavadora de Trenes;
- El torno en foso;
- El grupo de columnas de elevación sincronizadas;
- El grupo de puente grúas;
- El locotractor eléctrico bivial;
- El sistema autónomo de alimentación de los trenes (Stinger Systema);
- La cabina de pintura y secado de los coches;
- La prensa de calado y extracción de ruedas;
- El grupo de prensas hidráulicas;
- El grupo de tornos;
- El grupo de taladradoras;
- El grupo de máquinas de lavado de piezas o componentes;
- El grupo de bancos de ensayos;

A este listado el Concesionario deberá agregar los demás equipos que instale en el Pario Taller para la atención de las operaciones de mantenimiento de la PLMB.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_134];

Para todas las fallas de cada uno de los equipos y grupos de equipos del Patio Taller, la Disponibilidad se calculará mediante la siguiente formula:

$$Dept = MTBF_{ept} / (MTBF_{ept} + MTTR_{ept})$$

El Concesionario deberá calcular la Disponibilidad del conjunto de equipos y grupos de equipos del Patio Taller mediante la siguiente fórmula:

$$D_{cept} = \prod_{i=1}^n Dept_i$$

Dónde:

$D_{cept}$ : Es la Disponibilidad del conjunto de equipos y grupos de equipos del Patio Taller, es el producto de las Disponibilidades Técnicas de los equipos y grupos de equipos

$Dept_i$ : Es la Disponibilidad Técnica de cada uno de los equipos y grupos de equipos i.

[END]

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIóN TécNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIóN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - RAMS  
EPLMB-EML-E8-RAM-0001\_R1 - RAMS

### **ANEXO 3 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la Seguridad.**

A continuación se presenta el extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a la Seguridad y particularmente:

- ✓ **Requerimientos para la gestión de los objetivos de seguridad de la PLMB** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Entregables de Seguridad** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Objetivos de Seguridad** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Requerimientos de Seguridad** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.

### 3 REQUERIMIENTOS PARA LA GESTIÓN DE LOS OBJETIVOS DE SEGURIDAD DE LA PLMB

#### 3.1 Requerimientos Generales de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_145];

El Concesionario deberá gestionar los Riesgos de Seguridad que deberán incluir los Riesgos relacionados a la prevención de la muerte, lesiones y pérdidas materiales, es decir daños a la propiedad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_146];

El Concesionario deberá identificar los Riesgos relacionados con el Sistema Integral y deberá eliminar o mitigar dichos Riesgos en al llevar a cabo los Estudios y Diseños, para lo cual deberá realizar una evaluación para asegurar que los Riesgos asociados a Peligros residuales sean clasificados en el siguiente orden de prioridad:

1. Minimizados en la etapa de diseño
2. Mitigados donde sea posible,
3. Se podrán gestionar posteriormente.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_147];

La base de la gestión de riesgos de Seguridad deberá seguir el principio " Tan Reducido Como Razonablemente Viable " (ALARP) según se describe en 50126.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_148];

El Concesionario deberá gestionar la Seguridad de todas las interfaces del Sistema Integral, tanto interna como externa, y los medios por los que se garantizará la adecuada justificación de Seguridad del Subsistema en las distintas etapas en el ciclo de vida del Sistema.

El Concesionario deberá gestionar que los requerimientos de Seguridad de los Subsistemas que se transfieren entre ellos, cumplan con lo siguiente:

1. Evidencia de la aceptación, por parte de cada Subsistema;
2. Trazabilidad de su realización;
3. Registro en el Registro de Riesgos (Hazard Log) del Sistema Integral y de cada Subsistema.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_149];

Para garantizar un enfoque exitoso de la gestión de Seguridad de todos los aspectos del Sistema, el Concesionario deberá identificar todos los Riesgos que puedan resultar durante la Etapa de Operación y Mantenimiento del Sistema y poner Riesgos se pondrán en conocimiento del Interventor a través de un documento independiente denominado SRAC: Safety Related Application Conditions - Condiciones de Aplicación Relacionadas con la Seguridad.

El Concesionario deberá entregar el documento SRAC como parte de los Estudios y Diseños de Detalle Principales en la fecha de entrega de los mismos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_150];

En el SRAC el Concesionario deberá considerar los factores humanos y deberá evidenciar que los Estudios y Diseños son consistentes con la minimización de retraso o error humano y la optimización de la eficiencia de los procedimientos operativos, con referencia apropiada al método de Operación propuesto del Sistema Integral. Las suposiciones relacionadas a procedimientos y dotación de personal deberán definirse claramente por parte del Concesionario.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_151];

El Concesionario deberá desarrollar y mantener un Registro de Riesgos (Hazard Log) para el Sistema Integral (Hazard Log Global) y uno para cada Subsistema para todos los Riesgos identificados y dicho registro formará parte de la documentación de prueba de seguridad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_152];

Para todos los Subsistemas que contengan software con funciones relacionadas con la Seguridad, el Concesionario deberá aplicar la Norma EN 50128 sobre todo su ciclo de vida.

Todo riesgo inherente al funcionamiento nominal del sistema no deberá requerir ninguna acción humana para su mitigación.

Cada nuevo software y/o software existente modificado para su aplicación en el proyecto de la PLMB, que tenga impactos en la seguridad, deberá contar con la certificación del Interventor.

Todo software que tenga funciones relacionadas a la Seguridad deberá ser certificado (SW genérico y SW específico) según la norma EN 50128.

[END]

### **3.2 Requerimientos Técnicos de Seguridad**

Los requerimientos técnicos que se describen a continuación corresponden a pautas generales. Estas pautas deberán desarrollarse por el Concesionario.

#### **3.2.1 Plan de Seguridad del Sistema Integral**

[ID\_BOG\_RAM\_153];

El Concesionario deberá elaborar un Plan de Seguridad que cumpla con la norma EN 50126 y se base en el Desarrollo del ciclo - V del Proyecto. Mediante el Plan de Seguridad, el Concesionario deberá garantizar que la Seguridad se gestione desde los Estudios y Diseños, incluyendo la construcción, fabricación, instalación, pruebas, Operación y Mantenimiento de todo el Proyecto.

Este Plan deberá garantizar consistencia con la gestión de Seguridad del Proyecto, para lo cual deberá integrar, como mínimo, los siguientes elementos:

1. Organización de la Seguridad y grado de independencia a nivel Concesionario y a nivel Subsistema.
2. Descripción de roles y responsabilidades.
3. Planificación y detalle de los entregables de cada Subsistema, incluyendo sus fechas de entrega y especificando su alcance a nivel del Sistema Integral.
4. Definición de la interacción de Seguridad entre los distintos Subsistemas del Sistema Integral.
5. Normas y documentos de Seguridad aplicados.
6. Principios de Gestión de Seguridad.
7. Política de Seguridad.
8. Descripción de Seguridad de cada Subsistema.
9. Organización de Seguridad.
10. Independencia del Equipo de Seguridad.
11. Responsabilidades de Seguridad.
12. Requerimientos para la competencia de personal clave.
13. Requerimientos de Seguridad.
14. Criterios de aceptación de Seguridad y Riesgos.
15. Ciclo-V de Seguridad.
16. Modelo del análisis de Seguridad.
17. Metodología de dossier de Seguridad para el Sistema Integral y para el software de conformidad con la con el apartado "Documentación del Software". Adicionalmente, para la construcción y demostración de Seguridad de cada software que se aplicará al Proyecto, el Concesionario deberá elaborar un Dossier de Seguridad por cada software, conforme a los Requisitos del Plan de Seguridad y del Plan RAM del Sistema.
18. Proceso de aprobación de Seguridad.
19. Programa de Seguridad incluyendo sus fechas de implementación, sus mecanismos de monitoreo y control.
20. Gestión continua de Seguridad.
21. El Concesionario deberá realizar las pruebas de integración de Seguridad de aquellos Subsistemas que estén en interfaz con otros, desarrollando para ello un plan de pruebas específico, de conformidad con lo señalado en el apartado "Pruebas en terreno y pruebas del Sistema Integral del Plan de Seguridad".

[END]

[ID BOG RAM 154];

Adicionalmente, el Plan de Seguridad del Sistema Integral deberá tener un capítulo específico con el Plan de Seguridad del software en el que:

1. Se describa el ciclo-V de Seguridad implementado y su nexo con el ciclo-V de Desarrollo, en los términos del apartado “Requerimientos RAMS de software” de este Apéndice Técnico.
2. Se describa la metodología y se enuncie el contenido mínimo que tendrá el informe de auditoría de aseguramiento del software, de acuerdo con lo señalado en la en el apartado “Auditorías de Aseguramiento del Software”.
3. Se incluya el Plan de pruebas y listado de los requisitos en materia de pruebas de no-regresión, software y simuladores de prueba, métrica y listado de la documentación de prueba, de conformidad con lo señalado en el apartado “Verificación”, incluido en el apartado “Revisión, Pruebas, Verificación y Validación”.
4. Se incluya el Plan de Validación del software de conformidad con lo señalado en el apartado “Validación”, incluido en el apartado “Revisión, Pruebas, Verificación y Validación”.

El Plan de Seguridad del Sistema Integral deberá ser presentado por el Concesionario al Interventor para su no objeción, dentro de los noventa (90) Días siguientes a la suscripción del Acta de Inicio. El Interventor analizará cada uno de los componentes del Plan de Seguridad. Con excepción de lo regulado expresamente en esta sección, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

### **3.2.2 Registro de Análisis de Riesgos (HAZARD LOG - HL)**

El Concesionario deberá establecer al inicio de los Estudios y Diseños de Detalle Principales, y actualizar a lo largo de las fases del Proyecto, un Registro de Análisis de los Riesgos (Hazard log) donde tendrán que recogerse todos los Riesgos definidos en el Análisis de Riesgos, más aquellos otros que hayan sido identificados a lo largo del ciclo de vida del Proyecto. Este documento servirá para realizar el seguimiento y control de los Riesgos identificados en cada uno de los diferentes Subsistemas e interfaces, así como de su resolución.

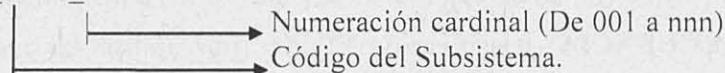
El Hazard Log deberá recoger el análisis realizado en una tabla que tendrá como mínimo los siguientes campos:

IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO SEGÚN ANÁLISIS DE RIESGOS								CLASIFICACIÓN INICIAL			ACCIONES / REQUERIMIENTOS PROPUESTOS			CLASIFICACIÓN FINAL			ACEPTACIÓN DEL RIESGO	
REF HL	REF ORIGEN	SUBSISTEMA	SUBGRUPO	RIESGO POTENCIAL	CAUSAS PRINCIPALES	EVENTO DESENCADENANTE	ESCENARIO	SEVERIDAD	FRECUENCIA	NIVEL DE RIESGO	CÓDIGO	ACCIÓN MITIGACIÓN	RESPONSABLE	EVIDENCIA DE CIERRE	SEVERIDAD	FRECUENCIA	NIVEL DE RIESGO	EXPORTACIONES
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)

Tabla 2. Formato de tabla para el Hazard Log (HL)

- (1) **REF HL:** Código identificativo de cada uno de los Riesgos aparecidos en el presente análisis. Su finalidad es poder tener una trazabilidad entre los Riesgos del propio documento (columna 1) y cualquier otro estudio. Este identificador se compone de los siguientes campos:

HL\_XXX\_YYY



- (2) **REF ORIGEN:** Código identificativo de cada uno de los Riesgos (en función del Subsistema al que pertenezcan) extraídos del Análisis de Riesgos. Este identificador se compone de los siguientes campos.
- (3) **SUBSISTEMA:** Grupo principal en el cual se ha desglosado la PLMB.
- (4) **SUBGRUPO:** Corresponde a cada una de las partes en que se han dividido los distintos Subsistemas de la línea.
- (5) **RIESGO POTENCIAL:** Denominación de la situación de Peligro generada por el suceso no deseado y que deberá ser evaluada.
- (6) **CAUSAS PRINCIPALES:** Descripción del motivo por el cual se desencadena la situación de Riesgo potencial.
- (7) **EVENTO DESENCADENANTE:** Factor inicializador del Riesgo
- (8) **ESCENARIO:** Descripción de las consecuencias que se desencadenan tras acontecerse el Riesgo potencial.

*Handwritten marks and signatures:*  
 A large handwritten '118' in the top right corner.  
 A large handwritten '9' in the bottom right corner.  
 A smaller handwritten '2' and another mark below it.

- (9) **SEVERIDAD:** Clasificación de las consecuencias del Peligro según se establece en la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad (de Catastrófico a Insignificante)
- (10) **FRECUENCIA:** Clasificación de la probabilidad de ocurrencia del Riesgo analizado, según se establece en la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad (de Increíble a Frecuente)
- (11) **NIVEL DE RIESGO:** Valoración del Riesgo según matriz de Riesgos de la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad, conforme a los valores de severidad y frecuencia asociados.
- (12) **CÓDIGO:** Código identificativo de requerimiento de mitigación. Cada requerimiento tiene un código distinto.
- (13) **ACCIONES DE MITIGACIÓN:** Cada uno de los requerimientos de mitigación está contenido en esta columna. La relación entre el código (12) y acción de mitigación es unívoca.
- (14) **RESPONSABLE:** Persona, rol u organización responsable de la presentación de las evidencias de cumplimiento de una medida de mitigación.
- (15) **EVIDENCIA DE CIERRE:** Documento o documentos que permiten demostrar el cumplimiento de una medida de mitigación.
- (16) **SEVERIDAD:** Clasificación FINAL (tras aplicar las medidas de mitigación propuestas) de las consecuencias del Peligro según se establece en la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad (de Catastrófico a Insignificante)
- (17) **FRECUENCIA:** Clasificación FINAL (tras aplicar las medidas de mitigación propuestas) de la probabilidad de ocurrencia del Riesgo analizado, según se establece en la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad (de Increíble a Frecuente)
- (18) **NIVEL DE RIESGO:** Valoración del Riesgo FINAL (tras aplicar las medidas de mitigación propuestas) según matriz de Riesgos de la norma EN 50126 y en el Plan de Seguridad, conforme a los valores de severidad y frecuencia asociados.
- (19) **EXPORTACIONES:** Ente sobre el cual recae la responsabilidad de aceptar el Riesgo residual.

En dicha tabla las columnas de la (1) a la (11) deberán tomarse del APR mientras que los aspectos considerados entre las columnas (12) a (18) serán de nueva creación. En ellas, el Concesionario deberá establecer la siguiente agrupación:

1. Columnas de la (12) a la (15) que se aplicarán a aquellos Riesgos que no hayan sido clasificados como tolerables o despreciables según se indica en el Plan de Seguridad. Para estos, deberán definirse las medidas de mitigación que permitan reducir tales Riesgos, el agente responsable, así como los documentos que evidencien el cumplimiento de las medidas propuestas.
2. Columnas de la (16) a la (19) en las que se indicarán la nueva severidad, frecuencia y, en definitiva, el nuevo nivel de Riesgo obtenido con las medidas anteriores. Si, por el contrario, el nivel final del Riesgo final no es tolerable o despreciable, se deberán aplicar nuevas acciones y sólo en el caso de que una reducción posterior sea impracticable, se extraerá el Riesgo residual que deberá ser asumido y gestionado por

los diferentes responsables técnicos mediante la aplicación de estudios de Seguridad adicionales y/o procedimientos operativos o de mantenimiento.

3. Los Riesgos identificados y relacionados en el APR para cada uno de los diferentes Subsistemas se deberán evaluar, mitigar y reevaluar a partir de los criterios de severidad y frecuencia definidos en el Plan de Seguridad.
4. El Hazard Log y sus resultados se deberán ir actualizando a medida que se vayan aplicando las medidas de mitigación propuestas y exista evidencia documental de las mismas por parte del Concesionario.
5. El Hazard Log y sus resultados deberá ser presentado por el Concesionario al Interventor para su no objeción, en la fecha señalada en el Plan de Seguridad. El Interventor analizará cada uno de los componentes del Hazard Log. Con excepción de lo regulado expresamente en esta sección, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

### **3.2.3 Criterios de Aceptación de Seguridad y Riesgos**

[ID\_BOG\_RAM\_155];

Los criterios de aceptación de Riesgos serán manejados vía la matriz de evaluación de Riesgos. Los Riesgos se deberán mitigar hasta un nivel Tolerable como definido en el apartado - Matriz de evaluación de riesgos de este apéndice Técnico.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_156];

Para demostrar que los Riesgos se han reducido ALARP, se deberán utilizar los siguientes criterios (en orden de prioridad):

1. Demostrar el cumplimiento de los estándares internacionales;
2. Utilizar productos que cumplan la normativa ferroviaria definida en el Apéndice Técnico 2 para diseño, fabricación, instalación y pruebas;
3. Realizar un Análisis de Costo/Beneficio.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_157];

El Análisis de Costo/Beneficio se deberá utilizar lo menos posible; se deberá dar prioridad al argumento técnico y reducción del Riesgo por el diseño.

[END]

### **3.2.4 Diseño**

#### **3.2.4.1 Análisis Preliminar de Riesgos**

[ID\_BOG\_RAM\_158];

El Concesionario deberá entregar un Análisis Preliminar de Riesgo en el que identifique y registre todos los Peligros razonablemente previsibles en la construcción y Operación y Mantenimiento de la PLMB y evaluar el Riesgo que cada Peligro representa. El Concesionario deberá mantener actualizado el Análisis de Riesgos a lo largo del desarrollo del Proyecto. El Análisis de Riesgos será un documento independiente.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_159];

Todos los Análisis de Riesgos de que trata este Apéndice Técnico deberán cumplir con lo señalado en el apartado requerimientos de Seguridad de este Apéndice técnico.

Los Análisis de Riesgos deberá ser presentado por el Concesionario al Interventor para su no objeción, junto con los Estudios y Diseños Principales. Para tal efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

### 3.2.4.2 Registro de Riesgos del Sistema Integral

[ID\_BOG\_RAM\_160];

La producción del Análisis Preliminar de Riesgos deberá ser registrada por el Concesionario en un registro de Riesgos del Sistema Integral. El registro de Riesgos del Sistema Integral deberá ser un documento independiente.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_161];

El registro de Riesgos del Sistema Integral deberá ser presentado por el Concesionario al Interventor para su no objeción, junto con los Estudios y Diseños Principales. Para tal efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_162];

El registro de Riesgos del Sistema Integral deberá estar en forma de base de datos que se pueda utilizar para rastrear el progreso en la implementación de acciones y suministrar una referencia fácil de acceder, por parte del Interventor, a todas las acciones tomadas respecto a cualquier Riesgo de cualquier tipo en cualquier ubicación para cualquier área de actividad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_163];

El Concesionario deberá mantener el registro de Riesgos del Sistema Integral e identificar y registrar las acciones propuestas para mitigar los Riesgos contra todas las partes involucradas.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_164];

El registro de Riesgos de cada Subsistema deberá alimentarse a través de los Registros de Riesgos de los Componentes y el resultado de los análisis de Seguridad del nivel Subsistemas.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_165];

El Concesionario deberá registrar en el Registro de Riesgos del Sistema Integral las respuestas a todas las acciones de mitigación identificadas por todas las partes involucradas e informar el progreso al Interventor de forma mensual.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_166];

El Concesionario deberá elaborar un procedimiento de revisión de Riesgos que abarcará todos los procesos aplicables a la creación, desarrollo y manutención durante la Operación

Comercial del registro de Riesgos del Sistema Integral incluyendo el proceso de identificación y agregando un nuevo Riesgo y nuevas medidas de mitigación si fuera necesario.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_167];

El procedimiento de revisión de Riesgos deberá ser presentado por el Concesionario al Interventor para su no objeción, junto con los Estudios y Diseños Principales. Para tal efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_168];

La evaluación de Riesgos final, aceptación de mitigación y cierre de los Riesgos deberán ser conformes a los criterios de Seguridad revisados y la aceptación de Riesgos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_169];

Cada Riesgo en el registro de Riesgos del Sistema Integral se cerrará en todos los aspectos y se entregará finalizado al Interventor previa expedición de la Certificación en Seguridad del Sistema Integral.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_170];

Al cerrar el registro de Riesgos del Sistema Integral, el Concesionario deberá entregar una copia electrónica completamente funcional de la base de datos junto con todas las contraseñas y las instrucciones sobre su utilización. La documentación necesaria por el desarrollo de la base de datos durante el Servicio Comercial deberá ser suministrada también.

[END]

### 3.2.4.3 Estudios de Seguridad de Diseño

[ID\_BOG\_RAM\_171];

El propósito de los estudios de Seguridad de diseño será de documentar el proceso de elaboración de los Estudios y Diseños para asegurar que se incorpore en los mismos el principio general de minimización del Riesgo como prioridad.

Los estudios de Seguridad de diseño deberán ser preparados por el Concesionario como mínimo para los siguientes Componentes, Equipos o Subsistemas del Sistema Integral que se consideren críticos para la Seguridad y que requieran análisis de riesgos a mayor nivel de detalle y con un mayor nivel de conocimiento para los Estudios y Diseños de Detalle Principales de los componentes de hardware y software que pueden afectar la Seguridad del diseño.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_172];

Los estudios de Seguridad de diseño deberán entregarse como parte de los Estudios y Diseños de Detalle Principales, cumpliendo con los siguientes requerimientos específicos:

1. El Concesionario deberá basarse en el Análisis de Riesgos y en su experiencia en sistemas similares, pero deberá tener en consideración las especificidades del Proyecto, especialmente las condiciones medio ambientales y operacionales.
2. El Concesionario deberá complementar el análisis FMECA realizado en el marco de los estudios RAM para evaluar la consecuencia de una falla en cada función ejecutada por el Sistema. El propósito de este análisis será de identificar la criticidad de la función y asignar el grado SIL adecuado. Esta asignación deberá compilarse en el informe de asignación SIL. Los criterios para asignación de SIL se describen a continuación:
  - a. El Concesionario deberá realizar los siguientes análisis detallados de Riesgos:
    - i. Análisis de Riesgos de Sistema (SHA);
    - ii. Análisis de Riesgos de interface (IHA);
    - iii. Análisis de Riesgos de la Operación (O&SHA).
  - b. La trazabilidad deberá realizarse con los Estudios y Diseños para garantizar la exhaustividad de los análisis.
  - c. Los Análisis de Riesgos considerarán como mínimo los siguientes modos:
    - i. las operaciones normales incluyendo mantenimiento;
    - ii. los modos de operación degradados;
    - iii. las situaciones de emergencia.
  - d. El propósito de todos los análisis de Seguridad será identificar los requerimientos de Seguridad que se deberán implementar en los Estudios y Diseños y en la Operación.
  - e. Cada Riesgo identificado durante estos análisis de Seguridad deberá quedar anotado en el registro de Riesgos. El cierre de los Riesgos se realizará cuando la evidencia indique que los requerimientos de Seguridad se cumplen.
  - f. Durante el Análisis de Riesgos de Interfaz (IHA), el Concesionario deberá identificar los requerimientos de Seguridad que cada Subsistema tiene que cumplir.
  - g. El Concesionario deberá realizar, como mínimo, los siguientes estudios de Seguridad específicos:
    - i. FMECA a nivel de Componente;
    - ii. análisis de árbol de fallas para demostrar que la tasa de fallas cumple con el nivel SIL asignado al Componente;
    - iii. evaluación cuantitativa del Riesgo para demostrar que la frecuencia se ha reducido a un nivel tolerable tal como definido en la matriz de seguridad.

#### 3.2.4.4 Dossier de Seguridad de Diseño

[ID\_BOG\_RAM\_173];

Como parte de los Estudios y Diseños de Detalle Principales, el Concesionario deberá entregar un informe de Seguridad de diseño, en los términos de la sección 3.2.10.

[END]

### 3.2.5 *Fabricación e Instalación*

[ID\_BOG\_RAM\_174];

La sección de fabricación e instalación del Plan de Seguridad del Sistema Integral deberá contener las consideraciones de Seguridad para todas las actividades de fabricación e instalación, ambas en sitio y fuera de sitio y deberán incluir, pero no limitarse, a los siguientes elementos:

1. La identificación de la organización de gestión de Seguridad a utilizar durante la fabricación e instalación.
2. Las medidas para asegurar que los resultados de los estudios de Seguridad de diseño se ejecutarán más adelante en los procesos de fabricación e instalación.
3. Los procesos mediante los cuales la Seguridad de los cambios ocurridos durante la fabricación y/o etapas de instalación se podrán evaluar.
4. La especificación de todas las necesidades de capacitación que surgirán de los requerimientos para los procedimientos de trabajo seguro.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_175];

El Concesionario deberá establecer un modelo FRACAS para suministrar una historia documentada sobre los problemas y fallas que podrían ocurrir durante la fabricación, construcción, instalación y etapa de operación comercial. El Concesionario deberá indicar cómo y por qué se originó cada problema y presentar opciones de acción correctiva.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_176];

El modelo FRACAS será implementado por parte del Concesionario para monitorear la Seguridad y el rendimiento RAM del equipo, durante la fabricación, instalación, pruebas y puesta en servicio en la operación y además el mantenimiento, para suministrar retroalimentación al diseño de este equipo.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_177];

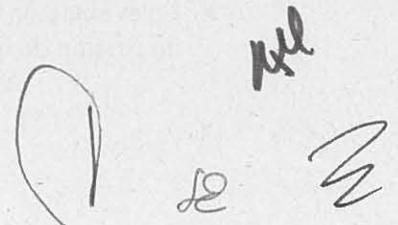
El modelo FRACAS se utilizará para monitorear el rendimiento de los componentes y para identificar los patrones de falla con el fin de poder realizar acciones correctivas.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_178];

Además, se utilizará el modelo FRACAS para: confiabilidad del equipo más allá del cumplimiento de los valores objetivos; equipos para referencias de revisión de diseño; equipos durante las pruebas, marcha blanca e inicio de operación para garantizar que la confiabilidad del nivel del equipo es sustentable.

[END]



### 3.2.6 Pruebas en Terreno y Pruebas de Sistema Integral del Plan de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_179];

La sección de pruebas en terreno y pruebas de Sistema Integral del Plan de Seguridad deberá demostrar, como mínimo, el cumplimiento de los siguientes requerimientos por parte del Concesionario:

- Que la organización de gestión de Seguridad que deberá controlar las pruebas en terreno y las pruebas del Sistema Integrado está implementada.
- Que el alcance de las actividades que se deberán realizar durante los periodos de las pruebas en terreno y las pruebas del Sistema Integrado abarcan todas las funciones críticas de Seguridad.
- Que los procedimientos necesarios para realizar las actividades de las pruebas en Terreno y las pruebas del Sistema Integrado se implementarán de forma segura.
- Que se aplicarán los procesos necesarios para la Validación de los aspectos críticos de Seguridad de la instalación y pruebas del software.
- Que se implementarán los procesos necesarios para evaluar las repercusiones de Seguridad de los resultados e inspecciones llevadas a cabo durante el periodo de pruebas en terreno y las actividades de pruebas de Sistema Integrado.
- Que se implementarán los procesos necesarios para controlar y validar las repercusiones de Seguridad de las modificaciones llevadas a cabo durante el periodo de pruebas en terreno y las actividades de pruebas de Sistema Integrado.
- Que el control efectivo de las actividades de todos los Subcontratistas se implementará.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_180];

El Concesionario deberá realizar las pruebas de integración de Seguridad de aquellos Subsistemas que estén en interfaz con otros, desarrollando para ello un plan de pruebas específico.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_181];

Para el periodo de Marcha Blanca, el Plan de Seguridad del Sistema deberá describir las actividades específicas a realizar, como la Validación de procedimientos de Seguridad. El periodo de Marcha Blanca deberá incluir como mínimo las siguientes actividades:

- La demostración del rendimiento del Sistema Integral y adherencia a los horarios mediante la ejecución de una puesta en Operación simulada con un aumento progresivo de los niveles de servicio.
- La evaluación de la efectividad de los procedimientos de Operación Comercial en modo nominal, incluyendo aquellos que tratan con interrupciones menores y falta de Disponibilidad del personal.
- La evaluación de la efectividad del sistema de informe de fallas, sistemas de respaldo, procedimientos operativos y respuestas de Mantenimiento, en el caso de varias fallas del sistema y escenarios de Operación degradada a través de la simulación de dichos escenarios durante la puesta en Operación simulada.
- La evaluación de la efectividad de los procedimientos de Operación y otras respuestas de gestión de incidentes en el caso de un incidente grave incluyendo, pero no limitado,

a incendio, a través de la simulación de dichos escenarios durante la puesta en Operación simulada.

[END]

### **3.2.7 Prueba de Seguridad**

[ID\_BOG\_RAM\_182];

La prueba de Seguridad deberá demostrar que el Sistema Integral es apto para el inicio de la Operación Comercial.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_183];

La prueba de Seguridad deberá realizarse con referencia trazable a la documentación del sistema que demostrará, como mínimo, que los siguientes requerimientos se han cumplido:

- Que el Sistema Integral y todos sus Subsistemas fueron probados y se pueden operar y mantener dentro de los parámetros de Riesgo indicados en el informe de Seguridad, y que no existen problemas de Seguridad pendientes.
- Que los criterios de rendimiento de Seguridad recomendados y los umbrales de Seguridad para la Operación segura y el Mantenimiento del Sistema Integral y sus Subsistemas están comprobados.
- Que las normas y especificaciones sobre las cuales se basan la Operación segura y el Mantenimiento del sistema fueron comprobados.
- Que fueron verificadas las reglas y procedimientos necesarios para llevar a cabo la Operación y el Mantenimiento del Sistema Integral dentro de los parámetros de Riesgo definidos en el informe de Seguridad de Diseño.

### **3.2.8 Gestión Continua de Seguridad**

[ID\_BOG\_RAM\_184];

En la sección de Gestión Continua de Seguridad del Plan de Seguridad del Sistema, el Concesionario deberá describir los procesos mediante los cuales la gestión de los asuntos de Seguridad pasa desde el control del Concesionario bajo el Plan de Seguridad del Sistema hacia el Operador bajo el Plan de Seguridad Operacional.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_185];

De forma especial, los Procedimientos de Gestión de Cambio deberán ser preparados por el Concesionario para la revisión y no-objeción del Interventor.

[END]

### **3.2.9 Auditorías de Seguridad**

[ID\_BOG\_RAM\_186];

El Concesionario deberá aplicar el plan de gestión de calidad Proyecto que fue objeto de no objeción y forma parte del Plan RAM, y realizar auditorías internas, que deberán evaluar si el proceso de gestión de la Seguridad definido en la norma EN 50126 se sigue en cada una de las etapas de los Estudios y Diseños; para tal efecto, como parte del Plan RAM el Concesionario deberá entregar el cronograma de auditorías, a las cuales podrán asistir el Interventor y la EMB.

[END]

### 3.2.10 Informes de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_187];

El Concesionario deberá elaborar los Informes de Seguridad indicados en esta sección, en los que deberá resumir los análisis de Seguridad realizados con base en la norma EN 50129; todos los Informes de Seguridad deben tener la siguiente estructura y contenido mínimos:

- Parte 1: Definición del Sistema;
- Parte 2: Informe de Gestión de Calidad;
- Parte 3: Informe de Gestión de Seguridad;
- Parte 4: Informe de Seguridad Técnica;
- Parte 5: Referencias a Informes de Seguridad;
- Parte 6: Conclusiones.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_188];

Para Subsistemas electrónicos de Seguridad existentes el Concesionario deberá cumplir con la norma EN 50129, incluyendo para cada sistema de Seguridad:

- Un Informe de Seguridad de Productos Genéricos, que incluya los elementos de Seguridad sin modificar;
- Un Informe de Seguridad de Aplicaciones Genéricas, que incluya las aplicaciones genéricas para diferentes sistemas;
- Un Informe de Seguridad de Aplicaciones Específicas, que incluya las aplicaciones especialmente desarrollados para el Proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_189];

Estos Informes de Seguridad deberán ser revisados por el Interventor (incluyendo la parte de software).

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_190];

Entre otros puntos, los Informes de Seguridad deberán incluir:

- Las conclusiones de las pruebas de integración;
- Las restricciones que se deberán respetar para operar en seguridad;
- Los comentarios del Interventor.

[END]

### 3.3 Requerimientos de Gestión de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_191];

El Concesionario deberá cumplir los requerimientos mínimos que se describen a continuación, para gestionar el proceso de Seguridad del Proyecto:

- Plan de gestión de calidad. El Concesionario deberá aplicar el plan de gestión de calidad que fue objeto de no objeción de conformidad con lo señalado en el apartado "Plan de Auditorías de Seguridad" de este Apéndice Técnico.
- Plan de gestión de configuración del Sistema Integral. El Concesionario deberá aplicar el plan de gestión de configuración del Sistema Integral que fue objeto de no

objeción de conformidad con lo señalado en el apartado “Plan de Gestión de Configuración del Sistema Integral” de este Apéndice Técnico.

[END]

### 3.3.1 *Transición entre las actividades de Instalación y las actividades de pruebas*

[ID\_BOG\_RAM\_192];

Antes de llevar a cabo las pruebas dinámicas será necesario:

- Que cualquier no conformidad sea identificada y analizada desde un punto de vista de Seguridad.
- Que de conformidad con el Informe de Seguridad de diseño y el registro de Análisis de Riesgos del Sistema, los Riesgos hayan sido mitigados en los Estudios y Diseños.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_193];

En el caso de que una no conformidad de Seguridad sea cubierta por un procedimiento durante el periodo de prueba, este procedimiento deberá ser revisado por el Interventor.

[END]



## 4 ENTREGABLES DE SEGURIDAD

[ID\_BOG\_RAM\_194];

Como mínimo, el Concesionario deberá entregar los siguientes documentos:

- Plan de Seguridad de Sistema Integral (System Safety Plan);
- Análisis Preliminar de Riesgos (Preliminary Risks Analysis);
- Análisis de Riesgos (Hazard Analysis);
- Matriz de Trazabilidad (Traceability Matrix);
- FMECA;
- Análisis de Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis);
- Evaluación Cuantitativa del Riesgo (Quantitative Risk Analysis);
- Informe de Asignación SIL (SIL Allocation Report);
- Registro de Riesgos del Sistema (Hazard Log) para cada Subsistema y el Sistema Integral;
- Informes de Seguridad de Diseño (Design Safety Case) para cada Subsistema y el Sistema Integral;
- Informes de Seguridad (Safety Case) para cada Subsistema y el Sistema Integral;
- SRAC (Safety Related Application Conditions);
- Plan de Gestión de Riesgo de Desastre;
- Plan de Emergencia.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_195];

Durante la fase de Estudios y Diseños de Detalle Principales, el Concesionario deberá entregar al Interventor, documentos a nivel del Subsistema (por separado) y a nivel de componentes o equipos. El cronograma de entrega de los documentos deberá ser definido y entregado por el Concesionario en su Plan de Seguridad de cada Subsistema, al inicio de la fase de Estudios y Diseños de Detalle Principales.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_196];

El Concesionario deberá entregar algunos de estos documentos a nivel del Sistema Integral (por separado) y a nivel de Subsistemas. Esto se deberá definir en el Plan de Seguridad de Sistema Integral.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_197];

Los Informes de Seguridad deberán incluir:

- Las conclusiones de las pruebas de integración;
- Las restricciones que se deberán respetar para operar en seguridad;
- Los comentarios del Interventor.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_198];

Adicionalmente, el Concesionario deberá establecer un **Plan de Gestión de Riesgo de Desastre** que cumpla con lo establecido en el Apéndice Técnico Ambiental y dé respuesta a cualquier imprevisto de orden endógeno o exógeno que se pueda presentar durante la operación de la PLMB.

El Plan de Gestión de Riesgo de Desastre deberá aplicar la normatividad vigente en cuanto a gestión de riesgos, como es el Decreto 321 de 1999 y el Decreto 2157 de 2017, por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012, la cual adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones, y demás normas que las adicionen, deróguen, sustituyan o modifiquen.

El Plan de Gestión de Riesgo de Desastres deberá contener la valoración de todos los riesgos identificados a partir de las actividades que se realicen en la etapa de Operación y Mantenimiento y deberá cumplir con lo establecido en la normatividad vigente.

El Plan de Gestión de Riesgo de Desastres deberá incluir las normas y los mecanismos que garanticen la seguridad de los pasajeros y del personal (evacuación en caso de incendio, gestión del riesgo de inundación, etc.). En este sentido, el Concesionario deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Apéndice Técnico Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo.

Juntamente con los demás Entregables de Seguridad listados en el Apéndice Técnico RAMS, el Concesionario deberá presentar el Plan de Gestión de Riesgo de Desastre al Interventor para su no objeción antes de la puesta en servicio de la PLMB.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_199];

Acorde con lo establecido en el Apéndice Técnico Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo, el Concesionario dentro de su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo – SG-SST dando cumplimiento al Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 312 de 2019 y demás normas que las adicionen, deroguen, sustituyan o modifiquen, deberá contar con el Plan de Emergencias para la prevención, preparación y respuesta ante emergencias, Plan de contingencia, Brigadas, simulacros, etc. Este Plan de Emergencias deberá contar con todos los requisitos establecidos en la normatividad vigente atendiendo cualquier evento de amenaza y riesgo que se pueda presentar en la etapa de Operación y Mantenimiento, con el fin de garantizar la seguridad de los pasajeros y del personal. El Concesionario deberá dar cumplimiento a lo establecido en el Apéndice Técnico Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo.

El Concesionario deberá entregar este Plan de Emergencia al Interventor para obtener su no objeción antes de la puesta en servicio de la PLMB.

El Concesionario deberá entregar al Interventor y a la EMB un informe cada vez que ocurra una situación de emergencia y que describa las acciones realizadas, como máximo un mes después de ocurrido el evento.

[END]

#### **4.1 Estructura del Informe de Seguridad (Safety Case)**

En el Informe de Seguridad, el Concesionario deberá seguir la estructura establecida en la norma EN 50129, la cual se describe a continuación:

##### **Parte 1: Definición del sistema, Subsistema o Equipo**

En este capítulo el Concesionario deberá definir el sistema, los Subsistemas o Equipos objeto de la documentación presentada en el Informe de Seguridad, la cual deberá incluir la versión y el estado de modificación de todos los requerimientos, diseño y documentación de aplicación.

##### **Parte 2: Informe de Gestión de Calidad**

En este capítulo, el Concesionario deberá describir cómo la gestión de calidad a lo largo del ciclo de vida de la aplicación cumplirá con el plan de gestión de calidad del Proyecto. Este capítulo se deberá componer de los siguientes apartados:

- 2.1. Estructura organizativa
- 2.2. Planificación de la calidad y procedimientos;
- 2.3 Especificación de los requisitos;
- 2.4. Control de diseño;
- 2.5. Verificación y revisión del diseño;
- 2.6 Ingeniería de aplicación;
- 2.7 Encargo y fabricación;
- 2.8 Identificación y trazabilidad del producto;
- 2.9 Manejo y almacenamiento;
- 2.10 Inspección y ensayo;
- 2.11 Disconformidad y acciones correctoras;
- 2.12 Embalaje y envío;
- 2.13 Instalación y puesta en servicio;
- 2.14 Operación y mantenimiento;
- 2.15 Supervisión de la calidad y realimentación;
- 2.16 Documentación y registros;
- 2.17 Gestión de la configuración/control de cambios;
- 2.18 Competencia y formación del personal;
- 2.19 Auditoría y seguimiento de la calidad;
- 2.20 Retirada del servicio y depósito.

##### **Parte 3: Informe de Gestión de Seguridad.**

En este capítulo, el Concesionario deberá presentar las evidencias que demuestran el cumplimiento de las actividades definidas en el Plan de Seguridad, así como de los procesos de gestión de la Seguridad establecidos. Este capítulo se deberá componer de los siguientes apartados:

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Ciclo de vida de Seguridad.
- 3.3 Organización de la Seguridad.
- 3.4 Plan de Seguridad.
- 3.5 Registro de Riesgos.

- 3.6 Especificación de los requisitos de Seguridad.
- 3.7 Diseño del sistema / Subsistema / Equipo.
- 3.8 Revisión de la Seguridad.
- 3.9 Verificación y Validación de la Seguridad.
- 3.10 Justificación de la Seguridad.
- 3.11 Entrega del sistema / Subsistema / Equipo.
- 3.12 Funcionamiento y Mantenimiento.
- 3.13 Retirada del servicio y eliminación.

**Parte 4: Informe de Seguridad Técnica.**

En este capítulo, el Concesionario deberá explicar los principios técnicos que garantizarán la Seguridad de los Subsistemas, incluyendo o referenciando las evidencias que lo demuestren (principios de diseño, cálculos, pruebas y resultados, análisis de Seguridad, etc.). Este capítulo debe incluir:

- Introducción;
- Principios técnicos que garantizarán el correcto funcionamiento;
- Efectos de las averías;
- Funcionamiento bajo influencias externas;
- Condiciones del funcionamiento de los Subsistemas relacionadas con la Seguridad;
- Ensayos para la calificación de la Seguridad.

**Parte 5: Caso de Seguridad**

En este capítulo, el Concesionario deberá establecer las referencias a aquellos Informes de Seguridad (Safety Case) genéricos en los que se apoyará el de aplicación específica. El contenido mínimo de este capítulo deberá ser el siguiente:

- Contiene las referencias al Informe de Seguridad de cualquier otro Subsistema y Equipo del cual depende el Informe de Seguridad;
- Debe demostrar que las condiciones de aplicación de Seguridad que se han especificado en cada apartado del Informe de Seguridad del sistema, Subsistema o Equipo, han sido:
  - cubiertas en el Informe de Seguridad principal;
  - reconducidas a las condiciones de aplicación relacionadas con el Informe de Seguridad principal.

**Parte 6: Conclusiones.**

En este capítulo, el Concesionario deberá resumir las evidencias presentadas en los apartados anteriores del Informe de Seguridad, y evidenciar que el sistema, Subsistemas, o Equipos en cuestión serán adecuadamente seguros bajo el cumplimiento de las condiciones de aplicación especificadas (condiciones de aplicación relacionadas con la Seguridad).

[END]

**4.2 Informe de Seguridad General**

El Informe de Seguridad general deberá ser entregado por el Concesionario como parte de los Estudios y Diseños de Detalle Principales; este informe deberá resumir los análisis de seguridad llevados a cabo por el Concesionario para el Sistema Integral y sus Subsistemas, excluyendo los asuntos que son materia del Informe de Seguridad de diseño y del Informe de

Seguridad de Subsistemas Electrónicos.

#### 4.3 Informe de Seguridad de Diseño.

El Informe de Seguridad de diseño deberá ser entregado por el Concesionario como parte los Estudios y Diseños de Detalle Principales; además de la estructura y contenido mínimo que deben tener todos los Informes de Seguridad, este informe deberá resumir los análisis de Seguridad hechos a los Estudios y Diseños y presentar evidencia de lo siguiente:

- Que los objetivos de Seguridad global para el Subsistema se han analizado de forma satisfactoria en los Estudios y Diseños y que las propuestas de concepción son compatibles entre sí con dichos objetivos.
- Que todos los Componentes críticos para la Seguridad se han identificado en los Estudios y Diseños y que la distribución de los factores de Riesgo entre Subsistemas han apoyado los criterios de Seguridad global revisados en el Plan de Seguridad de Sistema Integral.
- Que los resultados de los estudios de Seguridad de diseño se han incorporado a los Estudios y Diseños.
- Que, en caso de que la implementación de procedimientos operativos y/o de Mantenimiento -u otras medidas de control de gestión- se hayan identificado durante los estudios de Seguridad de diseño, los métodos auditables a través de los cuales dichas medidas se han implementado fueron establecidos.
- Que se ha implementado un proceso robusto para validar los aspectos críticos de Seguridad en el diseño del software, en conformidad con los requerimientos RAMS de Software detallados en este Apéndice Técnico.
- Que existe el proceso para evaluar el potencial impacto en Seguridad de las adecuaciones o modificaciones a los Estudios y Diseños (análisis de no regresión).

[END]

[[ID\_BOG\_RAM\_200];

La sección técnica del Informe de Seguridad de diseño deberá abordar, pero no limitarse a los siguientes temas:

- Los estándares utilizados en los Estudios y Diseños, los cuales deberán estar relacionados con la Seguridad.
- Las suposiciones relacionadas a cómo el elemento o elementos del Equipo se utilizarán y/o mantendrán.
- Conformidad del Sistema, Subsistemas, Equipos y Componentes a los objetivos de Seguridad especificados.
- Estado de todas las interfaces internas y externas de los sistemas.
- La especificación de cualquier prueba en terreno y parámetros de pruebas del Sistema Integrado que se deban cumplir para demostrar que cada Componente funcione con las condiciones de Seguridad requeridas, como parte del Sistema Integrado.

#### 4.4 Informe de Seguridad de Subsistemas Electrónicos.

Como requisito para obtener la Certificación en Seguridad del Sistema Integral, para Subsistemas electrónicos de Seguridad existentes el Concesionario deberá entregar, durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, en la fecha señalada en el Plan de

Ejecución, un Informe de Seguridad de Subsistemas electrónicos. Además de la estructura y contenido mínimo que deben tener todos los Informes de Seguridad, el Informe de Seguridad de Subsistemas electrónicos debe incluir para cada sistema electrónico de Seguridad lo siguiente:

- productos genéricos, que incluya los elementos de Seguridad sin modificar.
- aplicaciones genéricas, que incluya las aplicaciones genéricas para diferentes sistemas.

Un Informe de Seguridad de aplicaciones específicas, que incluya las aplicaciones especialmente desarrollados para el Proyecto.

Para los Equipos electrónicos programables de los Equipos de Seguridad, el Concesionario deberá utilizar técnicas de Seguridad de los tipos definidos en el apartado “Técnicas de Seguridad a Utilizar” de este Apéndice Técnico. El Informe de Seguridad deberá incluir lo siguiente con respecto a esos Equipos:

- la identificación y descripción de las técnicas de Seguridad utilizados;
- definición de la hipótesis sobre la cual se basa la Seguridad;
- la definición completa y precisa de la técnica de Seguridad utilizada;
- los criterios de Seguridad y los requerimientos que se deberán acatar;
  - a. los métodos de Verificación y Validación que se deberán desplegar para garantizar la Seguridad;
  - b. el Plan de Programa específico que se deberá desplegar para controlar la Seguridad;
  - c. la identificación de las técnicas o mecanismos que aún no se han probado como seguras por un organismo de Certificación.

#### 4.5 Informe de Seguridad de Software.

Como requisito para obtener la Certificación en Seguridad del Sistema Integral y para la utilización de “software de Seguridad” al que se refiere el apartado “Técnicas de Seguridad a Utilizar” de este Apéndice Técnico, es decir ejecutando las funciones SIL 4 o SIL 3, el Concesionario deberá entregar, durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha, en la fecha señalada en el Plan de Ejecución, un Informe de Seguridad de software en el que evidencie que el software cumple con los requisitos de Seguridad conforme a la norma EN 50128. El Concesionario deberá utilizar métodos formales para demostrar que el software está libre de errores.

Como parte del Informe de Seguridad de software, el Concesionario deberá:

- Entregar un informe de los aspectos de Seguridad del software, en cada fase del desarrollo del mismo, en el que asigne y justifique el estado de desarrollo de cada producto software.
- Entregar un informe denominado desglose de la estructura del software, en los términos del apartado “Desglose del Software” de este Apéndice Técnico”.
- Entregar un Plan de Seguridad del software indicando en los términos del apartado “Desglose del Software” de este Apéndice Técnico”, conforme a SwSILs y SwDSs, cuáles técnicas y medidas de Seguridad del software se implementarán para cumplir con los objetivos de Seguridad del Proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_201];

El Concesionario deberá poner un nivel 'Muy Alto' por el desarrollo del software Nuevo SwSIL4 y un nivel 'Bajo' será suficiente por el desarrollo de un software SwSIL0, sin importar su SwDS. El SwSIL1 deberá ser procesado como SwSIL2 y el SwSIL3 deberá ser procesado como SwSIL4.

#### 4.6 Formato de los entregables de Seguridad

[ID BOG RAM 202];

Todos los entregables de Seguridad entregados por el Concesionario deberán ser redactados en español y radicados al Interventor en formatos nativos (Word, Excel, etc.).

[END]

Handwritten signatures and initials in black ink, including a large stylized 'P', the number '22', and a signature that appears to be 'KLL'.

## 5 OBJETIVOS DE SEGURIDAD

### 5.1 Definiciones de Riesgos y Categorización

[ID\_BOG\_RAM\_203];

Los Peligros se deberán categorizar conforme a su frecuencia de ocurrencia y a su Gravedad según el enfoque de la norma EN 50126.

[END]

#### 5.1.1 Frecuencia de ocurrencia de Riesgos

[ID\_BOG\_RAM\_204];

Las siguientes categorías se utilizarán para clasificar la frecuencia de la ocurrencia de los Peligros:

Categoría		Definición	Probabilidad de ocurrencia (por hora de servicio)
A	Frecuente	Es posible que ocurra frecuentemente. La amenaza se producirá continuamente	$10^{-3} > F$
B	Probable	Ocurrirá varias veces. Se puede esperar que la amenaza ocurra a menudo.	$10^{-4} < F \leq 10^{-3}$
C	Ocasional	Es posible que ocurra varias veces. Se puede esperar que la amenaza ocurra varias veces.	$10^{-5} < F \leq 10^{-4}$
D	Remoto	Es probable que ocurra alguna vez durante el ciclo de vida del sistema. Se puede suponer razonablemente que la amenaza se va a producir.	$10^{-7} < F \leq 10^{-5}$
E	Improbable	Poco probable pero posible. Se puede asumir que la amenaza puede ocurrir excepcionalmente	$10^{-9} < F \leq 10^{-7}$
F	Increíble	Extremadamente poco probable. Se puede asumir que la amenaza no ocurrirá.	$F \leq 10^{-9}$

Tabla 3. Criterios de Frecuencia

[END]

#### 5.1.2 Gravedad de los Riesgos

[ID\_BOG\_RAM\_205];

Los siguientes niveles se utilizarán para clasificar la Gravedad de las consecuencias de los Riesgos. Las consecuencias tomadas en consideración deberán ser consecuencias para las personas, sistemas y medio ambiente.

Categoría		Consecuencias para las Personas y el Entorno	Consecuencias para el Sistema	Daños Materiales
IV	Catastrófico	Víctimas mortales y / o múltiples heridas graves y/o daños importantes al medio ambiente.	Pérdida de servicio del sistema	> \$ 3 600 millones
III	Crítico	Una sola víctima mortal y/o herida grave y/o daños señalados al medio ambiente.	Pérdida de un sistema principal	> \$ 360 millones < \$ 3 600 millones
II	Marginal	Heridas menores y/o pequeña polución local, sin daño permanente	Daño importante a uno o varios sistemas	>\$ 36 millones < \$ 360 millones
I	Insignificante	Posible herida menor o vertidos de poca importancia (posibilidad de limpieza total)	Daño menor al sistema	< \$ 36 millones

Tabla 4. Nivel de Gravedad de las Consecuencias

[END]

### 5.1.3 Matriz de Evaluación de Riesgos

[ID\_BOG\_RAM\_206];

Como se muestra en la matriz a continuación, la frecuencia de ocurrencia y Gravedad de las consecuencias se deberán combinar en conjunto para poder procesar los Riesgos.

Esta matriz presenta las posibles combinaciones de frecuencia de ocurrencia y Gravedad de las consecuencias de los Riesgos. Además, presenta las distintas zonas de aceptabilidad del Riesgo.

		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
		<i>Insignificante</i>	<i>Marginal</i>	<i>Crítico</i>	<i>Catastrófico</i>
<i>A</i>	<i>Frecuente</i>	<b>Indeseable</b>	<b>Intolerable</b>	<b>Intolerable</b>	<b>Intolerable</b>
<i>B</i>	<i>Probable</i>	Tolerable	<b>Indeseable</b>	<b>Intolerable</b>	<b>Intolerable</b>
<i>C</i>	<i>Ocasional</i>	Tolerable	<b>Indeseable</b>	<b>Indeseable</b>	<b>Intolerable</b>
<i>D</i>	<i>Remoto</i>	Despreciable	Tolerable	<b>Indeseable</b>	<b>Indeseable</b>
<i>E</i>	<i>Improbable</i>	Despreciable	Despreciable	Tolerable	Tolerable
<i>F</i>	<i>Increíble</i>	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable

Tabla 5. Matriz de Riesgos

[END]

Handwritten marks: "111" at the top right, and a large scribble consisting of a circle and lines at the bottom right.

[ID\_BOG\_RAM\_207];

Donde:

Riesgo	Categoría	Acciones que se han de tomar
R1	Insignificante	Aceptable con/sin el acuerdo del Interventor
R2	Tolerable	Aceptable con un control adecuado y con el acuerdo del Interventor
R3	No Deseable	Sólo deberá aceptarse cuando la reducción del Riesgo sea impracticable y con el acuerdo del Interventor.
R4	Intolerable	Inaceptable. Debe eliminarse.

Tabla 6. Acciones a tomar

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_208];

El Concesionario deberá evaluar cada Riesgo para determinar a qué zona pertenece.

[END]

## 5.2 Estrategia de Mitigación de Riesgos

[ID\_BOG\_RAM\_209];

El Concesionario deberá realizar un análisis de Seguridad con los siguientes requerimientos mínimos:

- El objetivo de Seguridad se logra cuando el nivel del Riesgo ha alcanzado el área "Aceptable", en la matriz de Riesgos, con justificaciones satisfactorias;
- Cada función de Seguridad deberá ser identificada y evaluada respecto a sus Riesgos asociados;
- Cada Componente de Seguridad deberá ser identificado y evaluado respecto a sus Riesgos asociados;
- Cada interfaz de Seguridad deberá ser identificada y evaluada respecto a sus Riesgos asociados.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_210];

En su estudio, el Concesionario deberá incluir como mínimo lo siguiente:

- Riesgo residual, factibilidad y costo de las medidas de mitigación. Se propondrán medidas alternativas.
- Se proporcionarán los datos utilizados en la evaluación, justificación, discusión en referencia a su origen y copia de las declaraciones a considerar.

[END]

### 5.3 Relaciones entre los objetivos de Seguridad y niveles SILs

[ID\_BOG\_RAM\_211];

Para las funciones cuya falla pueda conducir a un Riesgo R4, R3, R2 o R1, el Concesionario deberá asignar como niveles SIL los siguientes:

		<i>Gravedad</i>			
		<i>Insignificante</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Crítico</i>	<i>Catastrófico</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuente</i>	R3 (SIL 2)	R4 (SIL 3)	R4 (SIL 3)	R4 (SIL 4)
	<i>Probable</i>	R2 (SIL 2)	R3 (SIL 2)	R4 (SIL 3)	R4 (SIL 4)
	<i>Ocasional</i>	R2 (SIL 2)	R3 (SIL 2)	R3 (SIL 2)	R4 (SIL 4)
	<i>Remoto</i>	R1 (SIL 1)	R2 (SIL 2)	R3 (SIL 2)	R3 (SIL 2)
	<i>Improbable</i>	R1 (SIL 1)	R1 (SIL 1)	R2 (SIL 2)	R2 (SIL 2)
	<i>Increíble</i>	R1 (SIL 1)	R1 (SIL 1)	R1 (SIL 1)	R1 (SIL 1)

Tabla 7. Relaciones entre los objetivos de Seguridad y niveles SILs

[END]

### 5.4 Implementación de Componentes SIL 4, SIL 3, SIL 2 y SIL 1

[ID\_BOG\_RAM\_212];

La arquitectura combinada del HW/SW deberá poseer un SIL por lo menos igual a las funciones que implementan, aunque su SIL individual sea menor..

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_213];

Como mínimo, los Componentes SIL 4, SIL 3, SIL 2 y SIL 1 deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Cumplimientos con las normas:** El Concesionario deberá cumplir al mínimo con las Normas EN 50126, EN 50129, EN 50128, EN 50159-1 y EN 50159-2, EN 62267.
- **Aseguramiento de la Calidad:** El Concesionario deberá aplicar el plan de gestión de calidad tal como se define en el Apéndice técnico 3 – apartado “Gestión de la calidad”.
- **Aseguramiento de la Seguridad:** El Concesionario deberá hacer seguimiento y control del Plan de Seguridad que se aplica a los Componentes e informar los resultados en el Informe RAM.

[END]

### 5.5 Técnicas de Seguridad a utilizar

[ID\_BOG\_RAM\_214];

Para los Equipos electrónicos programables de los Equipos de Seguridad, el Concesionario deberá utilizar cualquiera de las siguientes técnicas de Seguridad para la implementación de Componentes SIL 4 y SIL 3:

- **Técnica “Seguridad Intrínseca”:** un Componente de un sistema está construido sobre la técnica "Seguridad intrínseca" cuando una falla de este Componente no pueda derivar a un estado más permisivo de ese sistema. Por ejemplo, una falla de un relé de Seguridad intrínseca no puede derivar en una señal verde cuando la señal

deberá ser rojo. Para esta técnica no existe estimado matemático del nivel de Seguridad de un Componente. El Componente se considera SIL 4 una vez que cada hipótesis se verifica. Se asume que el Componente SIL 4 nunca falla dentro de los límites de su especificación.

- **Técnica de “Checked Safety”**: un Componente de un sistema está construido sobre la técnica "*checked safety*" cuando ciertas fallas de este Componente pueden ser detectadas por otro dispositivo independiente. Este dispositivo independiente lee un estado de Seguridad del Componente. Cuando el estado de Seguridad se torna inseguro debido a ciertas fallas del Componente, el dispositivo independiente inhibe las salidas del Componente. Este dispositivo independiente se puede construir sobre la técnica "Seguridad intrínseca".
- **Técnica “Probabilística de Seguridad”**: un Componente de un sistema está construido sobre la técnica "Probabilística de Seguridad" cuando se puede demostrar que las fallas no pueden ocurrir más seguido que cierto límite. Se deberá considerar este límite como suficiente. Esta técnica se deberá utilizar solo en casos de que no sea posible la aplicación de las otras técnicas recomendadas en la norma.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_215];

Para la utilización de “software de Seguridad”, es decir ejecutando las funciones SIL 4 o SIL 3, el Concesionario deberá presentar el Informe de Seguridad de Software al que se refiere el apartado “Informe de Seguridad de Software” de este Apéndice Técnico. y obtener la Certificación en Seguridad del Sistema Integral.

[END]

## 5.6 Objetivos de Seguridad SIL

[ID\_BOG\_RAM\_216];

Para la implementación de las funciones de SILx a través de los medios “seguridad probabilística”, el índice de frecuencia de fallas peligrosas por hora operativa, que deberá cumplir el Concesionario es el siguiente:

Nivel de Integridad de Seguridad	Tasa de frecuencia de fallas peligrosas por hora operativa
4	$\geq 10^{-9}$ a $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ a $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ a $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ a $< 10^{-5}$

Tabla 8. Objetivos de Seguridad SIL

[END]

## 5.7 Seguridad de las Interfaces

[ID. BOG. RAM. 217];

El Concesionario deberá identificar las interfaces relacionadas con la Seguridad del Sistema. El Concesionario deberá gestionar las interfaces relacionadas con la Seguridad para:

- Controlar la integración de los requerimientos de Seguridad exportados por otros Subsistemas en interfaces con su Subsistema dentro de su documentación de Seguridad;
- Exportar los requerimientos de Seguridad a otros Subsistemas en interface cuando sea necesario y verificar (proveer evidencias) que se acepten y tomen en cuenta;

Al respecto, el Concesionario deberá definir en el Plan de Seguridad los niveles de Seguridad (SIL) derivados de los requisitos exportados de los Subsistemas en interfaces y deberá asegurar el mismo nivel de SIL en las interfaces de los distintos Subsistemas que ejecutan funciones de Seguridad.

[END]

## 5.8 Intervención del Evaluador Independiente de Seguridad (EIS)

En su organización, el Interventor contratará con un Evaluador Independiente de Seguridad – EIS (o Independent Safety Assessor - ISA).

El Evaluador Independiente de Seguridad (EIS) estará a cargo de la evaluación independiente de Seguridad de los Subsistemas y Sistema Integral de la PLMB.

Estará también a cargo de la evaluación de los Subcontratistas que contrate el Concesionario, que serán involucrados en la Seguridad del Sistema Integral en su versión y configuración utilizado en este Proyecto.

El Evaluador Independiente de Seguridad (EIS) será un organismo independiente acreditado por organismo afiliado a la IAF (Internacional Accreditation Forum) según la norma EN ISO/IEC 17020 para misiones de evaluación de la Seguridad, de la concepción, de la realización o la operación de sistemas de transporte público.

El Evaluador Independiente de Seguridad realizará evaluaciones, auditorias y/u otras actividades durante el ciclo de vida del proyecto, de acuerdo a lo establecido en los estándares CENELEC EN 50126, EN 50128 y ENB 50129.

El EIS evaluará el Plan de Seguridad del Sistema Integral que haya considerado el Concesionario y sus subcontratistas, la gestión y el seguimiento del este Plan, así como la mitigación de los requerimientos de Seguridad de Interface entre cada uno de los subsistemas que conforman el Sistema Integral de la PLMB.

El Evaluador Independiente de Seguridad (EIS) tendrá la autoridad para realizar de manera totalmente independiente las tareas de Evaluación de Seguridad que tratan con la evaluación de los objetivos especificados de Seguridad del Proyecto.

La evaluación cubrirá las fases de estudios de detalle, implementación, pruebas de integración de subsistemas, marcha blanca y puesta en servicio.

La evaluación final se realizará en dos etapas: al inicio de la marcha blanca y para la puesta en servicio comercial, considerando como mínimo los siguientes subsistemas que puedan impactar la Seguridad del Sistema:

- Estructuras de viaducto y de estaciones (entre otros puntos la validación de la solidez de las estructuras incluso en caso de sismo, las disposiciones de evacuación de los pasajeros, sistemas contra incendios en las estaciones, entre otros);
- Vías Férreas (validación de las condiciones de rodamiento);
- Alimentación de Energía Eléctrica (para la seguridad eléctrica);
- Señalización/Control de Trenes (CBTC);
- Puertas de Andén o Plataforma (PDAP);
- Material Rodante;
- La organización operativa y los procedimientos de la operación.

La evaluación y la certificación del Evaluador Independiente de Seguridad (EIS) respecto a la seguridad de la línea principal serán específicamente requeridas para que el Concesionario pueda iniciar la Marcha Blanca y la Etapa de Operación y Mantenimiento.

[ID\_BOG\_RAM\_218];

El Concesionario deberá dar todo el acceso requerido a la información y locales para lo siguiente:

- El EIS realice auditorías de Seguridad en los locales del Concesionario, de sus subcontratistas, o en las infraestructuras de la PLMB cuando lo considere necesario;
- De ser considerado necesario, el EIS podrá realizar cualquier revisión técnica o sesiones de HAZOP sobre las acciones programadas por el Concesionario en su Programa de Seguridad;
- El Concesionario deberá prestar al EIS los recursos adecuados para realizar las tareas de Evaluación de Seguridad;
- El Concesionario deberá gestionar cualquier pregunta o requerimiento de información realizada por el EIS.
- El Concesionario deberá gestionar cualquier pregunta o requerimiento de información realizada por la Interventoría o la EMB.

La Interventoría y la EMB podrán participar en las inspecciones o en las operaciones de control programas por el EIA.

[END]

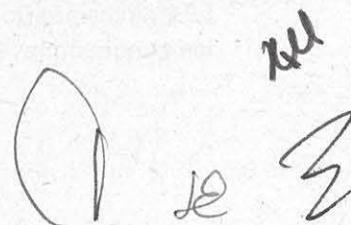
El EIS realizará auditorías para la Evaluación de Seguridad en los locales del Concesionario o en las infraestructuras de la PLMB cuando lo considere necesario (en cualquier etapa del Proyecto).

El EIS podrá realizar revisiones técnicas enfocadas en temas técnicos particulares, especialmente cuando alguna documentación, por cualquier motivo, no se proporcione al Interventor o la EMB.

[ID\_BOG\_RAM\_219];

El Concesionario, a su cargo, deberá rectificar sus estudios o realizaciones de acuerdo con las conclusiones y observaciones transmitidas por el EIS, en un tiempo adecuado para ser

revisados por el Interventor y la EMB.  
[END]

Handwritten initials and marks in the bottom right corner, including a large stylized 'P', the letters 'SE', and a signature-like mark.

## 6 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

Como requisito para otorgar la Certificación en Seguridad del Sistema Integral, el Interventor deberá verificar que el Concesionario cumpla con todos los requisitos contenidos en los Apéndices Técnicos que se relacionen con la Seguridad del Sistema Integral, con aquellos contenidos en este Apéndice Técnico, que cuente, a satisfacción del Interventor, con los requerimientos listados a continuación y que los Análisis de Riesgos del Concesionario hayan considerado todos los requerimientos de Seguridad anteriores.

### 6.1 Listado mínimo de requerimientos comunes de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_220]

Requerimientos comunes de Seguridad	
CMN_1	El diseño de las obras (Viaducto, estaciones, ...) deberá tener en cuenta el Gálibo Libre de Obstáculo (GLO) definido para el Material Rodante.
CMN_2	Las partes de las instalaciones fijas se deberán encontrar fuera del gálibo dinámico del Tren. Las partes mecánicas que, podrían producir el incumplimiento de este criterio, deberán tener la dimensión apropiada, es decir que, al diseñar las instalaciones fijas, se deberá tomar en cuenta que, si se dañan, no deberán encontrarse dentro del gálibo dinámico del Tren.
CMN_3	Cualquier circuito que contenga un fluido a presión deberá ser dimensionado para prevenir cualquier explosión accidental, conforme con las regulaciones y normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
CMN_4	Las instalaciones fijas a lo largo de la vía deberán fabricarse de materiales no combustibles o que cumplan con las definidas en el Apéndice de Normatividad Aplicable relativas a la emisión de vapores o gases tóxicos y la propagación de fuego.
CMN_5	Los Estudios y Diseños deberán prevenir el contacto de los pasajeros con materiales o Componentes que podrían causar quemaduras o electrocución.
CMN_7	El Equipo que emite radiación electromagnética deberá cumplir con las normas de protección definidas en el Apéndice Técnico 2.
CMN_8	Deberá contar con mecanismos y procedimientos que impidan al acceso a las vías por parte de los pasajeros.
CMN_9	Los diseños contenidos en los Estudios y Diseños deberán impedir la caída de una persona entre las puertas de andén o plataforma y el Tren.
CMN_10	El diseño de los medios contra incendios contenido en los Estudios y Diseños se deberá conformar con definidas en el Apéndice Técnico 2.
CMN_11	El suministro de energía de los sistemas/Equipos de Seguridad, deberá estar diseñado en Seguridad intrínseca (la iluminación de emergencia, el sistema de comunicación, el sistema de evacuación de humo, ...).
CMN_12	Todos los cables eléctricos deberán estar aislados eléctricamente.
CMN_13	Todas las partes accesibles del Equipo eléctrico localizado en el área pública deberán estar aisladas eléctricamente.

[END]

## 6.2 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema de Vías Férreas

[ID\_BOG\_RAM\_221];

Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Vías Férreas	
VIA_1	El diseño de la vía contenido en los Estudios y Diseños deberá asegurar la adherencia mínima para el cumplimiento de emergencia incluyendo casos de lluvia, humedad y/o inundaciones. La desaceleración tomada en cuenta para la vía será la del CBTC.
VIA_2	El movimiento de los cambiavías deberá ser imposible si un Tren está ubicado sobre la zona o pudiera llegar a la zona antes del final del movimiento. El control de la posición de los cambiavías deberá ser una Operación segura.
VIA_3	El dimensionamiento de las partes mecánicas de la vía y accesorios relacionados deberá cumplir con los criterios de dimensionamiento de partes mecánicas de Seguridad.
VIA_4	Los topes de fin de vía deberán ser dimensionados tomando en cuenta la velocidad máxima (en modo de conducción manual o automático), la carga máxima, la desaceleración máxima y las condiciones del entorno.
VIA_5	Se deberá proporcionar puesta a tierra de las partes metálicas de la vía en conformidad con las normas definidas en el Apéndice Técnico 2, cualquiera sea la corriente de fuga.

[END]

## 6.3 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema de Alimentación de Energía Eléctrica

[ID\_BOG\_RAM\_222];

Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Alimentación de Energía	
SEL_1	Se deberá proporcionar puesta a tierra de las partes metálicas en conformidad con las Normas definidas en el Apéndice técnico 2, cualquiera sea la corriente de fuga.
SEL_2	Deberá contar con procedimientos que impidan cualquier Riesgo de contacto accidental del personal con los Componentes energizados en el área de Mantenimiento, en el almacenamiento o en el Patio-Taller.
SEL_3	El sistema eléctrico deberá enviar su estado al sistema ATS - CBTC.
SEL_4	Dispositivos de corte de emergencia de corriente deberán ser localizado en el CCO.
SEL_5	El Equipo eléctrico deberá ser protegido contra sobre corriente y sobrevoltaje, así como a través de la conexión a tierra.
SEL_6	El cuarto de baterías deberá estar equipado con los medios técnicos adecuados para evitar la toxicidad del aire y/o explosión.
SEL_7	El Plan de Mantenimiento de las UPS deberá tener en cuenta el Riesgo de explosión.

**Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Alimentación de Energía**

<b>SEL_8</b>	En la estación, la diferencia de potencial entre el Tren y la plataforma deberá ser controlada.
<b>SEL_9</b>	El sistema de alimentación de corriente de tracción del Patio-Taller será aislado del sistema de alimentación de corriente de tracción de la línea principal.

[END]

**6.4 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Sistema de Control y Supervisión (SCS)**

[[ID\_BOG\_RAM\_223];

**Requerimientos de Seguridad del Sistema de Control y Supervisión (SCS)**

<b>SCS_1</b>	Medios de comunicaciones deberán estar disponibles a operadores del CCO.
--------------	--------------------------------------------------------------------------

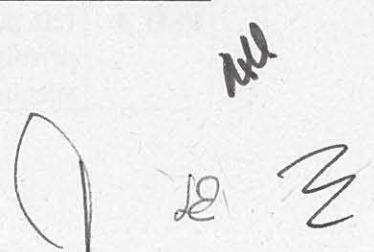
[END]

**6.5 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema de Señalización/Control de Trenes (CBTC)**

[[ID\_BOG\_RAM\_224];

**Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Señalización/Control de Trenes**

<b>SEN_1</b>	El modo de conducción automático deberá ser autorizado sólo si el CBTC está totalmente funcional a bordo del Tren.
<b>SEN_2</b>	El sistema CBTC deberá impedir el movimiento de los Trenes detrás de un Tren en proceso de Servicio Parcial (SP).
<b>SEN_3</b>	El CBTC deberá impedir la entrada de un Tren en modo de conducción automático en una sección donde no se autoriza ese modo de conducción.
<b>SEN_4</b>	Una distancia de Seguridad deberá ser diseñada entre cualquier punto de parada y el punto a proteger. Esta distancia tendrá en cuenta el frenado degradado y los escenarios de tracción inoportuna (ej. deslizamiento y patinaje).
<b>SEN_5</b>	La velocidad del Tren deberá ser permanentemente supervisada y controlada.
<b>SEN_6</b>	La velocidad del Tren deberá tener en cuenta la configuración geométrica de la vía (limitación permanente de velocidad, curvas, pendientes, etc.).
<b>SEN_7</b>	La velocidad del Tren deberá ser adaptada en función de la presencia de un punto a proteger (ej. Tren, restricción de movimiento).
<b>SEN_8</b>	La velocidad del Tren deberá tener en cuenta la restricción correspondiente al modo de conducción.
<b>SEN_9</b>	La compatibilidad de ruta deberá ser garantizada en todo momento. Cualquier mando de ruta convergente de forma simultánea será prevenido.
<b>SEN_10</b>	La compatibilidad de ruta deberá ser garantizada en todo momento. Cualquier mando de ruta contrario de forma simultánea será prevenido.



<b>Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Señalización/Control de Trenes</b>	
SEN_11	El movimiento de un cambiavía deberá ser imposible si un Tren está ubicado sobre la zona o se acerca a ella. El control de la posición de aguja deberá ser una operación segura.
SEN_12	El cierre y el movimiento de las puertas de Tren deberán ser controlados con el nivel de seguridad requerido; si se detecta la apertura inoportuna en la línea principal se deberá iniciar el frenado de Urgencia.
SEN_13	El diseño del control de Tren UTO deberá garantizar la seguridad requerida para la localización del Tren.
SEN_14	Se deberá impedir la salida del Tren si se detectan puertas de Tren o plataformas abiertas.
SEN_15	El movimiento del Tren sólo deberá ser autorizado si todas las puertas del Tren y de la plataforma están correctamente cerradas y enclavadas.
SEN_16	El Equipo de control a bordo del Tren deberá asegurar que la dirección del Tren es correctamente implementada y controlada.
SEN_17	La Señalización y el Sistema de control de Tren deberán impedir a un Tren entrar una sección eléctrica donde se ha cortado la energía.
SEN_18	El CBTC deberá probar el funcionamiento correcto del freno de urgencia para autorizar el envío del Tren al servicio.
SEN_19	El CBTC deberá detectar la pérdida de integridad del Tren y proteger la zona de circulación en ambas vías donde se perdió la integridad.
SEN_20	El CBTC deberá detectar y seguir todos los tipos de Trenes que circulan en las vías.
SEN_21	En el área de evacuación se deberá impedir los movimientos de Trenes por Seguridad.

[END]

#### 6.6 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma

[ID\_BOG\_RAM\_225];

<b>Requerimientos de Seguridad del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma</b>	
PSD_1	Se deberá impedir la apertura de las puertas de la plataforma sin la autorización del CBTC.
PSD_2	El sistema de puertas de andén o plataforma enviará de forma segura al CBTC el estado de las puertas de andén o plataforma.
PSD_3	El número de puertas PDM Puertas Deslizantes Motorizadas será el mismo que el número de puertas del Tren.
PSD_4	Las puertas de andén o plataforma deberán poseer salidas de emergencia para permitir a los pasajeros evacuar el Tren en caso de que el Tren no se pare adecuadamente, parada adelante o atrás de su punto de parada normal.

### Requerimientos de Seguridad del Subsistema Puertas de Andén o Plataforma

PSD_5	Las puertas de andén o plataforma deberán abrirse manualmente por el lado de la vía.
PSD_6	La longitud de las puertas de andén o plataforma deberá cubrir la longitud completa de la plataforma.
PSD_7	El atasco de cualquier objeto en las puertas de andén o plataforma durante el cierre deberá ser detectado y deberá provocar la parada del movimiento de cierre. Sólo se realizará el enclavamiento si ningún obstáculo impide el cierre de las puertas.
PSD_8	La energía cinética de las puertas de andén cuando se cierran deberá ser limitada a un valor que no represente Riesgo de lesión a un pasajero.
PSD_9	Los Componentes que comprenden puertas y guías de puertas deberán resistir a cualquier fuerza que sea resultado del entorno o de la acción de pasajeros, en conformidad con regulaciones y normas definidas para el subsistema PDAP.
PSD_10	El cierre de puertas deberá ser controlado de forma segura y las partes involucradas en el cierre deberán evitar intentos de apertura en conformidad con las normas y regulaciones definidas para el subsistema PDAP.
PSD_11	Partes vidriadas deberán resistir a los peores casos de impacto normalizado en conformidad con las normas y regulaciones definidas para el subsistema PDAP.

[END]

### 6.7 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema de Telecomunicaciones

[ID\_BOG\_RAM\_226];

### Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Telecomunicaciones

COM_1	Medios de comunicaciones con el CCO deberán estar disponibles en todo punto a lo largo de la PLMB.
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------

[END]

### 6.8 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Material Rodante

[ID\_BOG\_RAM\_227];

### Requerimientos de Seguridad del Material Rodante

MRO_1	El dimensionamiento de los sistemas de fijación exterior del Tren deberá garantizar que ninguna parte pueda soltarse. Incluyendo la mayor aceleración/deceleración y casos de "jerk". Los sistemas de fijación deberán ser ajustados adecuadamente.
MRO_2	Todo equipo deberá ser construido de forma suficientemente robusta y adecuada para no sufrir el deterioro, desgaste, o daño debido a la vibración o choques que se encuentren en el servicio.

**Requerimientos de Seguridad del Material Rodante**

MRO_3	El gálibo cinemático definido para el Tren deberá tomar en cuenta la configuración de todas las posiciones posibles, incluyendo carga extrema, pendiente y peralte de vía y condiciones de aceleración y frenado.
MRO_4	El rendimiento mínimo del freno de urgencia deberá estar garantizado de forma segura, es decir, este rendimiento deberá tener en consideración: la carga excepcional (EL 8), la lluvia o humedad, la pendiente. La tracción deberá ser inhibida y mantenida hasta la parada completa del Tren mientras se desarrolla una situación de frenado de urgencia.
MRO_5	Valores máximos de aceleración intempestiva deberán ser garantizados. Estos valores deberán tener en consideración los más desfavorables casos de sobre voltaje en la línea.
MRO_6	El operador a bordo del Tren deberá tener acceso a un dispositivo de freno de urgencia en todos los modos de conducción atendida.
MRO_7	El dimensionamiento de sistemas de fijación para partes dentro de los Trenes deberá garantizar que no se pueda separar y caer. Incluyendo la mayor aceleración/deceleración y casos de "jerk". Los sistemas de fijación deberán ser ajustados adecuadamente.
MRO_8	El diseño de los compartimientos del Tren deberá excluir la presencia de cualquier objeto protuberante o afilado en áreas accesibles a pasajeros o personal.
MRO_9	Los equipos accesibles a pasajeros deberán ser diseñados o protegidos para reducir al mínimo cualquier consecuencia de vandalismo conforme a las regulaciones y normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
MRO_10	Los materiales del suelo de los Trenes deberán prevenir cualquier Riesgo de deslizamiento de los pasajeros.
MRO_11	La aceleración, la desaceleración o el "jerk" en un Tren deberán permanecer dentro de los límites que impiden la caída de pasajeros, incluyendo todos los modos de conducción.
MRO_12	En caso de falla del suministro de energía eléctrica deberá permanecer en el Tren el nivel de iluminación mínimo requerido en el Apéndice Técnico 7.
MRO_13	El cierre de puertas deberá ser controlado de forma segura y las partes involucradas en el cierre deberán evitar intentos de apertura en conformidad con las normas y requerimientos definidos en el Apéndice Técnico 7.
MRO_14	Partes vidriadas deberán resistir a los peores casos de impacto normalizado en conformidad con las normas y regulaciones definidas en el Apéndice Técnico 7.
MRO_15	Sobre todas las puertas del Tren, la autorización de apertura de las puertas deberá ser controlada de forma segura, gobernada por la parada de Tren.
MRO_16	El atasco de cualquier objeto en las puertas del Tren durante el cierre deberá ser detectado y deberá provocar la parada del movimiento de cierre. Sólo se realizará el enclavamiento si ningún obstáculo impide el cierre de las puertas.



### Requerimientos de Seguridad del Material Rodante

MRO_17	La energía cinética de las puertas cuando se cierran deberá ser limitada a un valor que no represente Riesgo de lesión a un pasajero.
MRO_18	La detección del lado de la apertura de las puertas y el control relacionado deberá ser realizado de forma segura.
MRO_19	Los compartimentos del Tren deberán ser construidos de materiales no combustibles y deberán cumplir con las normas de propagación de fuego, y de emisión de vapores o gases tóxicos requeridas en el Apéndice Técnico 7.
MRO_20	Los diseños contenidos en los Estudios y Diseños deberán prevenir el contacto de los pasajeros con materiales o Componentes que podrían causar quemaduras o electrocución.
MRO_21	El Equipo eléctrico deberá ser protegido con dispositivos contra sobre corriente y sobrevoltaje.
MRO_22	La ventilación del Tren deberá ser dimensionada para asegurar la renovación del aire del Tren en una configuración de carga excepcional, en las condiciones requeridas en el Apéndice Técnico 7.
MRO_23	Un dispositivo deberá ser instalado para prevenir la succión de humos desde fuera del Tren por el sistema de ventilación del Tren.
MRO_24	Las puertas del Tren deberán estar equipadas con un sistema de apertura manual de emergencia para autorizar la salida del Tren por los pasajeros en caso de emergencia.
MRO_25	Los Trenes deberán estar equipados con un sistema audio y un sistema video para permitir su supervisión remota.
MRO_26	Los Componentes que comprenden puertas y guías de puertas deberán resistir a cualquier fuerza que sea resultado del entorno o de la acción de pasajeros, en conformidad los requerimientos y normas definidas en el Apéndice Técnico 7.
MRO_27	El equipo de energía eléctrica deberá estar bajo supervisión térmica y el sistema de freno mecánico deberá ser diseñado para tener capacidad térmica suficiente.
MRO_28	Los Trenes deberán estar equipados con un freno de inmovilización capaz de sostener el Tren inmóvil en la máxima pendiente de la línea principal durante un período de tiempo indefinido.
MRO_29	El interfono deberá estar disponible para los pasajeros y deberá ser ubicado a una altura para permitir el uso por las personas minusválidas y personas de talla pequeña.
MRO_30	Los extintores deberán estar accesibles a los pasajeros dentro del Tren para permitir tareas de extinción inicial de incendios.
MRO_31	El diseño de Trenes deberá permitir el control manual de apertura por un operador de las puertas.
MRO_32	La suspensión de bogie, deberá ser diseñada para que los Coches operen satisfactoriamente sobre la vía con el máximo peralte de vía especificado.
MRO_33	El perfil de rueda deberá ser compatible con el perfil de riel.

<b>Requerimientos de Seguridad del Material Rodante</b>	
<b>MRO_34</b>	La estructura de los Coches y sus dispositivos de absorción de energía deberán ser diseñados para reducir al mínimo la aceleración transmitida a los pasajeros absorbiendo la energía de colisión mientras se impide que un Tren suba sobre otro y/o se pliegan el uno al otro. Un sistema de absorción de energía apropiado y probado será incorporado a los enganches del enganche automático.
<b>MRO_35</b>	El diseño del pasillo de Inter circulación contenido en los Estudios y Diseños deberá poseer características para prevenir la separación. La estructura se cerrará de forma segura en las partes laterales, superior e inferior. El diseño del pasillo será ajustado con un revestimiento liso. El diseño del suelo del pasillo deberá impedir que el movimiento relativo entre los Coches provoque deslizamiento o levantamiento de placas de suelo que puedan causar lesiones. El suelo cumplirá con los mismos requerimientos del suelo del Tren.
<b>MRO_36</b>	Todos los alambres y cables aislados deberán ser al menos LSOH (Low Smoke Zero Halogen), y adicionalmente se proporcionará las resistencias al fuego y calor requeridos en el Apéndice Técnico 7.
<b>MRO_37</b>	Todos los materiales empleados y la construcción del Material Rodante deberán cumplir los requerimientos del estándar de fuego de la Asociación Nacional para la Prevención de Incendios: estándar EN 45545.
<b>MRO_38</b>	Los siguientes materiales no deberán ser usados en la construcción de los Trenes: (i) Asbesto (ii) Plomo (iii) Espuma de poliuretano (iv) Urea formaldehído (v) Poliestireno (vi) Goma Viton.
<b>MRO_39</b>	El Tren deberá estar diseñado para proteger los pasajeros dentro de los Coches contra el fuego que provenga de fuera.
<b>MRO_40</b>	La integridad del Tren deberá ser garantizada y monitoreada y el freno de urgencia deberá ser aplicado si se pierde dicha integridad.
<b>MRO_41</b>	Los Trenes deberán ser diseñados conforme con el estado del arte internacional y las normas definidas en el Apéndice Técnico 2 para evitar el inicio y la propagación de fuego. Un dispositivo de detección de incendios deberá ser instalado y las alarmas deberán ser enviadas al CCO.

[END]

## 6.9 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad de las Obras Civiles

[ID\_BOG\_RAM\_228];

<b>Requerimientos de Seguridad de las Obras Civiles</b>	
<b>OC_1</b>	Las estructuras del viaducto y de las estaciones deberán cumplir con los requerimientos de las normas sísmicas definidas en el Apéndice Técnico 2.
<b>OC_2</b>	El borde de la plataforma deberá ser diseñado (la forma y el material) para resistir a un impacto de la caja del Tren cuando éste ingrese en la estación.
<b>OC_3</b>	El diseño de la plataforma y del espacio Tren/plataforma deberá reducir los obstáculos, huecos, diferencia de niveles que podrían provocar la caída o cualquiera herida de un pasajero inválido o con movilidad reducida.

<b>Requerimientos de Seguridad de las Obras Civiles</b>	
<b>OC_4</b>	El diseño de la estación deberá eliminar cualquier objeto afilado o sobresaliente en zonas accesibles a los pasajeros y al personal.
<b>OC_5</b>	Las estaciones y las estructuras de evacuación (pasillos...) deberán ser hechas con materiales no combustibles y deberán cumplir con normas de emisión de vapores o gases tóxicos y de propagación de fuego definidas en el Apéndice Técnico 2.
<b>OC_6</b>	El diseño de infraestructura contenido en los Estudios y Diseños deberá permitir la evacuación de los Trenes en el viaducto sin Riesgo de caída de para los pasajeros.
<b>OC_7</b>	Un panel de advertencia deberá indicar con precisión cualquier área peligrosa.
<b>OC_8</b>	El diseño de los caminos de evacuación contenido en los Estudios y Diseños deberá eliminar cualquier objeto sobresaliente o afilado.
<b>OC_9</b>	La evacuación de los pasajeros de un Tren hacia un lugar seguro deberá ser posible en cualquier área de la línea principal.
<b>OC_10</b>	Las infraestructuras de obras civiles deberán ser diseñadas teniendo en cuenta las condiciones climáticas o naturales de la ciudad de Bogotá D.C. como fuertes lluvias, terremoto, etc.
<b>OC_11</b>	Se deberán implementar mecanismos para prevenir que objetos lanzados desde el exterior caigan sobre la plataforma.
<b>OC_12</b>	La resistencia y reacción al fuego de la infraestructura, así como medios contra incendios deberán cumplir con las normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
<b>OC_13</b>	El diseño y la fabricación de las estaciones deberán cumplir con las normas definidas en el Apéndice Técnico 2 y relacionadas a los edificios que reciben el público (instalaciones de emergencia, cumplimiento con las salidas de emergencia, comportamiento del material al fuego, sistemas de señalización, nivel de iluminación, accesibilidad universal, etc.).
<b>OC_14</b>	Las salidas de la estación deberán ser diseñadas en el cumplimiento de la norma NFPA130, con el estado del arte internacional y normas definidas en el Apéndice Técnico 2 para ofrecer la capacidad suficiente como para evacuar las personas.

[END]

#### 6.10 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad del Subsistema de Peaje/Control de Acceso

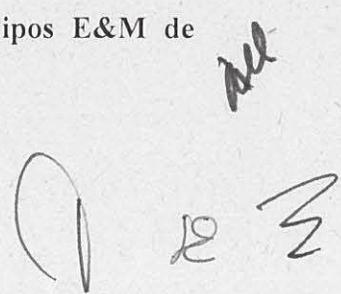
[ID\_BOG\_RAM\_229];

<b>Requerimientos de Seguridad del Subsistema de Peaje/Control de Acceso</b>	
<b>PEA_1</b>	El sistema de peaje automático deberá permitir el cumplimiento de la evacuación según las normas NFPA 130.

[END]

#### 6.11 Listado Mínimo de Requerimientos de Seguridad de los Equipos E&M de Estación

[ID\_BOG\_RAM\_230];

*all*  


### Requerimientos de Seguridad de los Equipos E&M de Estación

<b>EeM_1</b>	Un nivel de iluminación conforme al mínimo definido por el RETILAP deberá existir a lo largo del camino de evacuación y en la estación, incluyendo en caso de falla del suministro de energía eléctrica. Este sistema deberá ser autoalimentado por un tiempo suficiente para evacuar y confirmar que no queden personas.
<b>EeM_2</b>	Los sistemas de remoción de humo de las estaciones deberán ser dimensionados para asegurar la renovación de aire. Se deberá detectar cualquier falla en el sistema de ventilación.
<b>EeM_3</b>	Se deberá implementar disposiciones para prevenir la propagación de agua sobre los sistemas, a través de la instalación de sistemas de drenaje. La falla de estos sistemas y/o un nivel de agua anormal deberán ser detectados.
<b>EeM_4</b>	La iluminación de las plataformas de estación deberá tomar en cuenta el nivel de iluminación especificado y disponer de carteles de salida apropiados para impedir que el empuje en la estación conduzca a caída de pasajeros en la plataforma.
<b>EeM_5</b>	El diseño de equipos de estación cumplirá con las definidas en el Apéndice Técnico 2 y relacionadas a los edificios que reciben público respecto a la protección de las personas contra Peligros eléctricos.
<b>EeM_6</b>	El equipo regido por las normas relacionadas a los edificios definidas en el Apéndice Técnico 2 que reciben público deberá ser controlado por un organismo de control técnico certificado.
<b>EeM_7</b>	El equipo de estación (ascensores, escaleras mecánicas, etc.) deberá ser diseñado en los Estudios y Diseños conforme con las regulaciones y las normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
<b>EeM_8</b>	El retiro del humo de las estaciones deberá ser diseñado en los Estudios y Diseños conforme a las normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
<b>EeM_9</b>	Las plataformas de las estaciones deberán ser equipadas con instalaciones de vídeo y de audio que permitan la supervisión remota.
<b>EeM_10</b>	Los equipos de comunicaciones deberán ser localizados en una altura que permita el uso por personas PMR.
<b>EeM_11</b>	Un dispositivo de detección de incendios en estación deberá ser instalado y las alarmas deberán ser enviadas al CCO.
<b>EeM_12</b>	El diseño del equipo de las estaciones cumplirá con las normas definidas en el Apéndice Técnico 2 y relacionadas a los edificios que reciben público respecto a la protección de la gente contra incendios (inicio y propagación).

[END]

## 6.12 Listado Mínimo de Requerimientos de Seguridad de los Equipos de Talleres y Cocheras

[ID\_BOG\_RAM\_231];

Requerimientos de Seguridad de los Equipos de Talleres y Cocheras	
TLL_1	Los gatos hidráulicos de elevación del Tren deberán seguir las normas definidas en el Apéndice Técnico 2.
TLL_2	Los tanques de hidrocarburo no deberán ser instalados cerca del sistema de transporte. Las tuberías de hidrocarburo que pasan cerca del sistema de transporte deberán tener medios de aislamiento.

[END]

## 6.13 Listado mínimo de requerimientos de Seguridad de Operación y Mantenimiento

[ID\_BOG\_RAM\_232];

Requerimientos de Seguridad de Operación y Mantenimiento	
OeM_1	Se deberán implementar procedimientos para verificar la ausencia de objetos desconocidos en la vía antes de la apertura diaria de la línea principal.
OeM_2	Se deberá implementar procedimientos para verificar el desgaste de las partes mecánicas mediante el Mantenimiento preventivo.
OeM_3	Se deberá implementar procedimientos para garantizar el cumplimiento de los procedimientos de Mantenimiento, es decir verificar que se desarrollan adecuadamente los procedimientos por los mantenedores.
OeM_4	Tras el término de una operación de mantenimiento sobre una vía, se deberá implementar disposiciones para verificar que no se haya dejado ningún Equipo o instrumento en el lugar, antes de que se autorice la circulación de Tren.
OeM_5	Después de cualquier intervención sobre el sistema de frenado del Tren, se deberá realizar una prueba dinámica del freno antes de que vuelva al servicio.
OeM_6	Durante una evacuación de Tren, actividades de mantenimiento o presencia de personal en la vía, cualquiera sea el modo de conducción (manual, UTO, etc.) se deberá impedir la circulación de Trenes o presencia de herramientas en la vía.
OeM_7	Deberá contar con un procedimiento que, ante la maniobra de un aparato de vía, permita al personal asegurarse de la ausencia de Trenes sobre el mismo aparato o la zona de acercamiento del cambiavía.
OeM_8	En el modo de control manual, se deberá impedir el cambio de la dirección de operación de un Tren que circula sobre una aguja hasta que haya cruzado la aguja el último eje del vehículo.
OeM_9	Cualquier circuito que contenga un fluido a presión deberá mantenerse de forma que se prevenga cualquier rotura accidental.
OeM_10	Se deberá establecer un procedimiento de supervisión para las instalaciones abiertas al público para reducir al mínimo cualquier Riesgo de mala intención o actos delictuales. Se pueden usar medios como CCTV, audio y personal de Seguridad física.

### Requerimientos de Seguridad de Operación y Mantenimiento

OeM_11	Después de la evacuación, se deberá verificar el estado de la vía antes de devolver los Trenes al servicio.
OeM_12	Se deberá programar el mantenimiento preventivo para garantizar el nivel mínimo de iluminación.
OeM_13	Durante una evacuación el operador deberá: <ul style="list-style-type: none"><li>• configurar dispositivos de Seguridad apropiados,</li><li>• garantizar un buen desarrollo de la evacuación,</li><li>• planificar cualquier medio necesario de ayuda para las personas PMR.</li></ul> Esto deberá estar especificado en el plan de emergencia.
OeM_14	Se deberá inhibir los mandos de un cambiavía durante una evacuación en su zona o durante una intervención sobre el mismo.
OeM_15	Durante las operaciones de mantenimiento en la vía, se deberá establecer procedimientos para asegurar que ningún Tren pueda circular en la zona involucrada.
OeM_16	Se deberán definir las reglas de viaje para impedir el transporte de objetos demasiado voluminosos y/o peligrosos por los pasajeros.
OeM_17	La Disponibilidad de medios de audio y CCTV deberá ser garantizada por un procedimiento de Mantenimiento.
OeM_18	Los materiales que pueden causar Peligros de explosión deberán ser almacenados y protegidos en ubicaciones de acceso restringidas.
OeM_19	Se deberá establecer procedimientos para impedir cualquier atrapamiento de personal durante el levantamiento de un Tren sobre gatos hidráulicos.
OeM_20	Se deberá establecer procedimientos para prevenir la caída de personal de un Tren levantado sobre gatos hidráulicos.
OeM_21	Los procedimientos de mantenimiento deberán tomar en cuenta los Peligros y Riesgos relacionados a quemaduras e incluir los pasos preventivos apropiados que deberán tomarse.
OeM_22	En el Taller, la manipulación de herramientas que producen energía deberá ser realizará sólo a la distancia apropiada de unidades de combustible.
OeM_23	Los procedimientos de mantenimiento deberán tener en cuenta los Peligros relacionados con el contacto eléctrico e incluir los pasos preventivos apropiados que deberán tomarse.
OeM_24	Antes de retirar un Tren de la operación se deberá asegurar la ausencia de pasajeros.
OeM_25	Un procedimiento deberá prohibir la circulación de Trenes en zonas afectadas por una evacuación.
OeM_26	Se deberá comprobar y limitar de forma conforme a la legislación y normas definidas en el Apéndice Técnico 2., el uso de productos que pueden implicar la presencia de gases tóxicos o, humo, fuego, explosión o asfixia.

### Requerimientos de Seguridad de Operación y Mantenimiento

OeM_27	Se deberán implementar procedimientos para prohibir la configuración de Trenes más largo que lo permitido.
OeM_28	Se deberán prevenir daños a estructuras y/o Equipos por el seguimiento de una reglamentación de trabajo en sitio por las empresas contratistas o terceros que desarrollen actividades en las instalaciones del sistema.
OeM_29	En modo de conducción manual, el operador CCO deberá impedir a un Tren entrar a una sección eléctrica donde se ha cortado la energía.
OeM_30	En caso de inundación del viaducto, la operación en la zona involucrada deberá ser suspendida y se deberá mantener los Trenes en zonas fuera de inundaciones (preferentemente en la estación).
OeM_31	Durante el procedimiento de acoplamiento en caso de remolque (especialmente cuando dos Trenes están sobre la misma sección de bloque), el operador CCO deberá supervisar cualquier accionamiento del dispositivo de liberación de puertas en uno de los 2 Trenes.
OeM_32	El Concesionario deberá implementar un procedimiento que garantice que cualquier personal que trabaja sobre el Sistema Integral, involucrado en la conducción, control, Operación y Mantenimiento, etc., se encuentre debidamente acreditado y capacitado.
OeM_33	En caso de acontecimientos excepcionales como incendio cerca del sistema, se deberá establecer procedimientos especiales usando instalaciones específicas para prohibir la penetración del Tren en la zona involucrada.
OeM_34	El Concesionario deberá tener un procedimiento para que las obras de ingeniería civil (metal o estructuras de hormigón) sean verificadas rutinariamente (grietas de fatiga, corrientes de fuga, protección contra corrientes de fuga).
OeM_35	Durante la realización de Mantenimiento sobre una vía, se deberá establecer procedimientos para prevenir cualquier Riesgo de atrapamiento y/o electrocución de un técnico que trabaje sobre la vía opuesta.
OeM_36	La evacuación (del Tren, de la estación, del viaducto...) deberá ser realizada bajo reglas seguras y procedimientos (Plan de Evacuación).
OeM_37	Se deberá implementar dispositivos de control de la diferencia de potencial eléctrico entre el Tren y la plataforma, que eviten que se alcance un nivel peligroso para los pasajeros.

[END]

## **ANEXO 4 : Extracto del Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a los requerimientos de software.**

A continuación se presenta el extracto del *Apéndice Técnico 9 - Especificaciones Técnicas de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS)* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 asociado a los requerimientos de software y particularmente:

- ✓ **Requerimientos de SW definidos en la norma EN 50128** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.
- ✓ **Requerimientos de HW definidos en la norma EN 50129** que siguen aplicando a la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.

## 7 REQUERIMIENTOS RAMS DE SOFTWARE

### 7.1 Introducción

#### 7.1.1 Propósito de Esta Sección.

El propósito de esta sección es definir los requerimientos que deberá implementar el Concesionario para poder gestionar los requisitos RAMS del software a través del Proyecto.

Las metas de las actividades RAMS del software consistirán en conseguir un software que sea:

- adecuado para su objetivo;
- seguro.

#### 7.1.2 Alcance de Esta Sección.

Los principios definidos dentro de este Apéndice Técnico se aplicarán a todos los suministros, desarrollos y Operación y Mantenimiento del software.

De forma general, el Concesionario deberá implementar todas las etapas del proceso de gestión del software, desde la Definición del sistema hasta la fase de prueba de integración del sistema. También se deberán cumplir los requisitos de mantenimiento de la operación definidos por EN 50128.

#### 7.1.3 Relación con EN 50128

Este Apéndice Técnico referencia a la Norma EN 50128, la cual define los requerimientos de gestión del software.

Cabe señalar que este Apéndice Técnico establece algunos requerimientos, los cuales EN 50128 deja a discreción del Proyecto. En este aspecto, estos Requerimientos de RAMS tendrán prioridad sobre EN 50128.

El Concesionario podrá proponer otras normas del software RAMS, si existe una clara trazabilidad con este Apéndice Técnico, certificada por el organismo de normalización europeo.

### 7.2 Requisitos generales del software.

#### 7.2.1 Ciclo de Vida del Software

[ID\_BOG\_RAM\_233];

Para poder controlar tanto la calidad como la Seguridad del software, el Concesionario deberá implementar el concepto de ciclo-V doble, el cual comprende:

- Ciclo-V de desarrollo,
- Ciclo-V de Seguridad.

Ambos se describen a continuación.

[END]

### 7.2.1.1 Ciclo-V de Desarrollo

[ID\_BOG\_RAM\_234];

Para controlar la calidad del software, el Concesionario deberá desarrollar y validar el software conforme a un ciclo-V de Desarrollo estrictamente definido en la norma EN 50128.  
[END]

[ID\_BOG\_RAM\_235];

Todas las fases que constituyen el ciclo-V de desarrollo implementadas por el Concesionario deberán detallarse en términos de:

- Objetivos de las fases,
- Metodologías utilizadas para llevar a cabo las fases,
- Documentación de entrada,
- Documentación de salida.

[END]

### 7.2.1.2 Ciclo-V de Seguridad

[ID\_BOG\_RAM\_236];

Para controlar la Seguridad del software, el Concesionario deberá diseñar y validar el software conforme a un Ciclo-V de Seguridad estrictamente definido en la norma EN 50128.  
[END]

[ID\_BOG\_RAM\_237];

En paralelo con el Ciclo-V de Desarrollo seguido por cualquier software, el software relacionado a la Seguridad deberá también seguir un Ciclo-V de Seguridad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_238];

De esta forma, para cada paso del Ciclo-V de Desarrollo se deberá realizar un paso de Seguridad. El Concesionario deberá seguir este Ciclo-V doble.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_239];

El Concesionario deberá asegurar una independencia estricta entre su equipo de desarrollo y su equipo de Seguridad.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_240];

El Concesionario deberá elaborar y entregar el Plan de Seguridad del software de conformidad con lo señalado en el apartado "Plan de Seguridad del Sistema Integral" de este Apéndice Técnico.

[END]

## 7.2.2 *Sistemas que Contiene el Software*

[ID\_BOG\_RAM\_241];

Los requisitos definidos en este Apéndice Técnico deberán aplicar a todos los softwares utilizados en el Proyecto.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_242];

Para efectos del Contrato de Concesión, se entiende que los softwares de aplicación (incluyendo todos los datos y protocolos), los softwares de herramientas, ya sea a medida o software COTS (Software Comercial de Catálogo), son necesarios para la Operación del Proyecto. Por consiguiente, el Concesionario estará obligado a que se otorguen a favor de la EMB las licencias, autorizaciones y/o mecanismos equivalentes conforme a la sección 23.11 del Contrato de Concesión.

[END]

### 7.2.3 *Desglose del software*

[ID\_BOG\_RAM\_243];

Como parte del Informe de Seguridad de Software al que se refiere el apartado “Informe de Seguridad de Software” de este Apéndice Técnico, el Concesionario deberá entregar un informe denominado desglose de la estructura del software, en los términos de esta sección, que deberá indicar el estado de desarrollo del software y SIL del software como se define en los siguientes capítulos.

El desglose funcional del software deberá indicar:

- El desglose del software en varios módulos funcionales, es decir, módulos del software del CBTC, módulos del software de Telecomunicaciones, módulos del software del SCS, etc.
- Las interfaces entre el software y su entorno.
- Las interfaces entre los softwares de los Subsistemas.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_244];

El Concesionario deberá establecer un Nivel de Integridad de Seguridad (SIL), tanto en el nivel funcional alto como en el nivel funcional bajo del software.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_245];

Adicionalmente, el Concesionario deberá presentar el desglose técnico en las especificaciones de nivel alto y de nivel inferior del software. El desglose técnico se realizará de acuerdo al siguiente patrón:

- Producto software, el nivel de desglose del software más alto.
- Módulos del software, el nivel de desglose del software medio.
- Componentes del software, el nivel de desglose del software más bajo.

[END]

### 7.2.3.1 Estado de Desarrollo del Software

[ID\_BOG\_RAM\_246];

En función del nivel requerido para el desarrollo del software (software nuevo, software existente y certificado o software modificado) en el marco del Proyecto, el Concesionario deberá cumplir los requerimientos de la norma EN 50128.

Un software modificado es un software existente y certificado modificado en más de un 30 %.

[END]  
[ID\_BOG\_RAM\_247];

El Concesionario asignará y justificará el estado de desarrollo de cada producto Software y, como parte del Informe de Seguridad de software al que se refiere el apartado “Informe de Seguridad de Software” de este Apéndice Técnico.

[END]

### 7.2.3.2 Niveles de Integridad de Seguridad del Software

[ID\_BOG\_RAM\_248];

Con base en los Niveles de Integridad de la Seguridad del Software (SwSIL) definidos en la norma EN 50128, el Concesionario deberá determinar los SwSILs de cada software y cada módulo de software, con base en los requerimientos de Seguridad definidos en este Apéndice Técnico, asociados a la utilización del software en el sistema y el nivel de integridad del sistema.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_249];

El Concesionario deberá implementar técnicas de diseño y medida, dependiendo de SwSIL de la función a realizar por cada sistema o Equipo individual. Estas técnicas de diseño y medida se seleccionarán con base en los criterios definidos en Anexo A de la norma EN 50128.

[END]

### 7.2.4 Documentación del Software

[ID\_BOG\_RAM\_250];

Sin perjuicio de la entrega del Plan de Seguridad del software y del Informe de Seguridad de Software, dentro de los plazos señalados anteriormente, el Concesionario deberá entregar un cronograma de Presentación de Documentación del software dentro de los 45 Días siguientes a la Fecha de Inicio, el cual contendrá una lista de toda la documentación relacionada al software que deberá ser elaborada y entregada por el Concesionario, con sus fechas de entrega.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_251];

Toda la documentación se controlará como lo define el plan de gestión de configuración del Sistema Integral que fue objeto de no objeción de conformidad con lo señalado en el apartado “Gestión de Configuración del Software” de este Apéndice Técnico. Cualquier divergencia entre la documentación definida en la norma EN 50128 y la documentación entregada por el Concesionario deberá ser identificada y registrada claramente por el Concesionario, entregando las justificaciones de las diferencias.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_252];

La documentación de software elaborada por el Concesionario será de dos tipos distintos:

- La documentación de Desarrollo, escrita por los equipos de desarrollo del software del Concesionario. Normalmente, esta documentación incluirá Especificaciones del Software, el Plan de Validación del Software, las Especificaciones de Prueba del Software y los Informes de Prueba del Software.
- La documentación de Seguridad, escrita por los equipos de Seguridad del Concesionario. Normalmente, esta documentación incluirá varios Planes de Seguridad, pero también contendrá cualquier estudio detallado de Seguridad del software, apoyando estos Planes de Seguridad.

[END]

Adicionalmente, para la construcción y demostración de Seguridad de cada software que se aplicará al Proyecto, el Concesionario deberá elaborar un *dossier* de Seguridad por cada software, conforme a los requisitos del Plan de Seguridad y del Plan RAM del Sistema Integral.

### **7.2.5 Acceso a la Información y a las Instalaciones**

[ID\_BOG\_RAM\_253];

El Concesionario deberá permitir acceso a la información, a sus instalaciones y a las de sus Subcontratistas, para que la Interventoría o la EMB, lleven a cabo las labores de revisión que consideren necesarias para el ejercicio de sus funciones. Para tal efecto, quien vaya a realizar la visita deberá informarlo al Concesionario con por lo menos 10 Días de anticipación.

[END]

## **7.3 Requisitos Técnicos**

### **7.3.1 Revisión, Pruebas, Verificación y Validación**

#### **7.3.1.1 Revisiones**

[ID\_BOG\_RAM\_254];

Junto con el Plan de Seguridad del software señalado en el apartado “Informes de Seguridad”, el Concesionario deberá entregar un programa de revisión para llevar a cabo las revisiones formales al final de cada fase del ciclo V.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_255];

Si el desarrollo del software se divide en varios módulos, desarrollados por distintos Subcontratistas, entonces el Concesionario deberá incluir en el programa de revisión revisiones individuales para cada módulo, además de las revisiones de nivel de software.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_256];

Los registros de las revisiones formarán parte del *dossier* de Seguridad de cada software.

[END]

### 7.3.1.2 Auditorías de Aseguramiento del Software

[ID\_BOG\_RAM\_257];

Junto con el Plan de Seguridad del software señalado en el apartado “Informes de Seguridad”, el Concesionario deberá entregar un programa de revisión para llevar a cabo las revisiones formales al final de cada fase del ciclo V.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_258];

El Concesionario deberá asegurar que el diseño y desarrollo del software está en conformidad con la norma ISO 9001 y la norma EN 50128 y deberá elaborar y entregar al Interventor un informe de auditoría de aseguramiento del software como mínimo dos veces al año (una vez cada seis meses) en las fechas previstas en el Plan de Ejecución.

Si el Concesionario va a diseñar o desarrollar parte del software por medio de Subcontratistas, en el programa de revisión deberá incluir el cronograma para llevar a cabo auditorías de aseguramiento del software a los Subcontratistas, y el resultado de dichas auditorías deberá ser informado en el informe de auditoría de aseguramiento del software.

Si como resultado de las auditorías de aseguramiento del software el Concesionario identifica la necesidad de implementar alguna acción correctiva, deberá presentar en el informe de auditoría de aseguramiento del software los planes de acción para gestionar el cierre de las acciones correctivas planteadas y para asegurar que se implementen totalmente los cambios solicitados.

Los informes de auditoría de aseguramiento del software deberán ser presentados por el Concesionario al Interventor, según corresponda, para su no objeción. Para este efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_259];

Si como resultado del procedimiento de no objeción de los informes de auditoría de aseguramiento del software surge la necesidad de implementar alguna acción correctiva, el Concesionario deberá presentar un informe de auditoría de aseguramiento del software complementario en el establezca los planes de acción para gestionar el cierre de las acciones correctivas planteadas y para asegurar que se implementen totalmente los cambios requeridos.

Los informes de auditoría de aseguramiento del software complementarios deberán ser presentados por el Concesionario al Interventor, según corresponda, para su no objeción. Para este efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_260];

Como requisito para la obtención de la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y de la Certificación en Seguridad del Sistema Integral, el Concesionario deberá realizar pruebas y obtener resultados satisfactorios acorde con los requerimientos y métodos de prueba recomendados en la norma EN 50128, durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_261];

Para tal efecto, el Concesionario deberá definir su Plan de pruebas y los requisitos en materia de pruebas de no-regresión, software y simuladores de prueba, métrica y documentación de prueba. El Concesionario deberá entregar el Plan de pruebas juntamente con el Plan de Seguridad de software.

[END]

### 7.3.1.3 Verificación

[ID\_BOG\_RAM\_262];

El Concesionario deberá elaborar y entregar junto con los Estudios y Diseños Principales un Plan de Verificación del software durante el desarrollo del software, para no objeción. Para tal efecto, se dará aplicación al procedimiento y plazos establecidos en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

El Plan de Verificación del software durante el desarrollo del software deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Deberá cumplir con las condiciones establecidas en este Apéndice Técnico y en la norma EN 50128.
- De ser necesario para asegurar la gestión de las actividades de Verificación, el Concesionario deberá actualizar el Plan de Verificación. En caso de actualización, la misma deberá ser sometida a no objeción del Interventor de conformidad con el procedimiento descrito en esta sección.
- El Plan de Verificación, el Concesionario deberá definir el cronograma y contenido de los ejercicios de Verificación que llevará a cabo.

Al final de cada ejercicio de Verificación, el Concesionario deberá elaborar y entregar, para no objeción del Interventor de conformidad con el procedimiento descrito en esta sección, un informe de Verificación del Software, en el que describa las actividades de Verificación realizadas y sus resultados. El informe de Verificación deberá incluir una matriz de trazabilidad que demuestre que todos los requisitos se lograron y no se incluyó material no trazable.

[END]

### 7.3.1.4 Validación

[ID\_BOG\_RAM\_263];

El Concesionario deberá elaborar un Plan de Validación del software para demostrar que el software cumple con los requisitos de Seguridad, funcionalidad, rendimiento e interfaz, mediante la utilización de las técnicas de Verificación, prueba y análisis al nivel de integridad del software específicas recomendadas en la norma EN 50128. El Plan de Validación del software deberá ser entregado con el Plan de Seguridad del software y deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Deberá cumplir con las condiciones establecidas en este Apéndice Técnico y en la norma EN 50128.
- Deberá definir cada paso y cada producto intermedio del ciclo de desarrollo del software, para poder detectar y corregir la funcionalidad y/o conceptos de diseño que puedan generar en el software o en el sistema, un estado de inseguridad.

- De ser necesario para asegurar la gestión de las actividades de Validación, el Concesionario deberá actualizar el Plan de Validación. En caso de actualización, la misma deberá ser sometida a no objeción del Interventor de conformidad con el procedimiento descrito para el Plan de Seguridad del software.
- Deberá definir las pruebas y resultados que deberán ser obtenidos, acorde con los requerimientos y métodos de prueba recomendados en la norma EN 50128.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_264];

Como requisito para la obtención de la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y de la Certificación en Seguridad del Sistema Integral, el Concesionario deberá obtener resultados satisfactorios de Validación. Para evaluar los mismos, el Concesionario deberá elaborar y presentar un informe de Validación del software en el que demuestre la obtención de resultados satisfactorios de Validación. Este informe deberá ser entregado por el Concesionario para la revisión del Interventor durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha. El Interventor evaluará si los resultados del informe son satisfactorios y, de no considerarlo satisfactorio, indicará al Concesionario los resultados de Validación que debe obtener para que sean expedidas la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y la Certificación en Seguridad del Sistema Integral. Una vez haya obtenido estos resultados, el Concesionario deberá presentar un nuevo informe de Validación del software, para cuya revisión se aplicará el procedimiento descrito en esta sección.

[END]

### **7.3.2 *Requerimientos Específicos del Software***

Como requisito para la obtención de la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y de la Certificación en Seguridad del Sistema Integral, el Concesionario deberá cumplir con los requisitos señalados a continuación con respecto al software, a más tardar, durante la Fase de Pruebas, Certificaciones y Puesta en Marcha.

Para la evaluación de los requisitos, el Concesionario deberá elaborar y presentar para revisión del Interventor, informes de Validación del software en los que demuestre el cumplimiento de los requisitos señalados. El Interventor evaluará si los resultados del respectivo informe son satisfactorios y, de no considerarlos satisfactorios, indicará al Concesionario los resultados de Validación que debe obtener para que sean expedidas la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y la Certificación en Seguridad del Sistema Integral. Una vez haya obtenido estos resultados, el Concesionario deberá presentar un nuevo informe de Validación, para cuya revisión se aplicará el mismo procedimiento anterior.

#### **7.3.2.1 Sistemas configurados mediante datos de aplicación**

[ID\_BOG\_RAM\_265];

Para software crítico, el Concesionario deberá presentar toda la documentación de datos al Interventor para su revisión, conforme con la norma EN 50128.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_266];

La documentación de datos deberá abarcar todos los aspectos de los datos, tales como, pero no limitados a, el proceso de generación de datos, la configuración de datos, la Validación de datos, la Validación de Seguridad de datos.

[END]

#### 7.3.2.2 Lenguajes del Software

[ID\_BOG\_RAM\_267];

En cumplimiento de la norma EN 50128, el Concesionario deberá escribir el software utilizando lenguajes de programación de alto nivel que sean fuertemente orientados a objetos, a eventos o a funciones.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_268];

Cuando se utilice la programación orientada a objetos, como parte de un análisis orientado a objeto y técnica de especificación para el software, el Concesionario deberá utilizar estándares de programación abiertos.

[END]

#### 7.3.2.3 Compilador/Certificación del Generador de Código

[ID\_BOG\_RAM\_269];

Acorde con la norma EN 50128, el Concesionario deberá utilizar un generador/compilador de código reconocido.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_270];

El Concesionario no deberá utilizar las extensiones del lenguaje de programación específicas a un compilador en particular que no estén dentro de una norma internacional para ese lenguaje.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_271];

Para cada compilador o generador de código utilizado, el Concesionario deberá suministrar ya sea:

- Un certificado independiente de conformidad o evaluación frente una reconocida norma industrial emitido por un organismo internacional de Certificación;
- Evidencia de amplio uso (más de 10 utilizaciones en curso) en la versión a utilizar; si no es la versión actual, entonces el concesionario deberá justificar la elección de la versión.

[END]

#### 7.3.2.4 Bases de Datos

[ID\_BOG\_RAM\_272];

Cuando se utiliza un sistema de base de datos propietario, el Concesionario deberá suministrar una interfaz de 'Structured Query Language' que cumpla de norma ISO 9075.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_273];

Durante las fases de diseño de sistema y software, el Concesionario deberá definir las estructuras de bases de datos utilizando representaciones normalizadas.

[END]

#### 7.3.2.5 Normas de Codificación

[ID\_BOG\_RAM\_274];

Acorde con la norma EN 50128, el Concesionario deberá escribir el software conforme a una norma de codificación.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_275];

Las normas de codificación definirán las reglas de estructura del software para utilizarse con todos los códigos fuentes. Estas reglas se abordarán, pero no se limitarán a las siguientes:

- Diseño;
- Comentario;
- Bloques de encabezado del módulo, incluyendo descripción, entradas/salidas y cambio del historial, incluyendo la numeración de la versión;
- Longitud y complejidad del módulo;
- Convención de nombre y tipo;
- Utilización de datos común/global;
- Bucle y condición de la construcción;
- Definición y prohibición de malas prácticas específicas para cada lenguaje;
- Evitar saltos incondicionales;
- Excluir el uso de estructuras recursivas;
- Excluir el uso de punteros; y
- Excluir el uso de interrupciones de software.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_276];

El software deberá estar escrito de forma modular y todos los Componentes deberán tener baja complejidad estructural.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_277];

Se incluirán comentarios globales dentro del código y deberá haber claras referencias a la documentación relevante del diseño preparado para cada set de software.

[END]

#### 7.3.2.6 Modificaciones del Software

A lo largo del ciclo de vida del sistema, puede ser necesario introducir modificaciones por parte del Concesionario para solucionar fallas, hacer mejoras en el producto, o dar cumplimiento a alguna Especificación Técnica.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_278];

En consecuencia, el Concesionario deberá diseñar el software para permitir que se introduzcan modificaciones sin:

- problemas de incompatibilidad con otros sistemas de software y hardware existentes;
- interrupción de la Disponibilidad del sistema causado por el proceso de instalación; y
- un alto número de cambios realizados por otro sistema de software o datos.

[END]

#### 7.3.2.7 Metodologías de Desarrollo

[ID\_BOG\_RAM\_279];

El Concesionario deberá utilizar un reconocido y probado análisis estructurado y metodología del diseño para definiciones de los requisitos del sistema.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_280];

Como una alternativa a las técnicas de diseño estructuradas, el Concesionario podrá utilizar un método reconocido que sea orientado a objetos. El diseño entonces se implementará en un lenguaje de programación con estructuras de datos inherentes para clases, objetos, operaciones y herencias.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_281];

Para el diseño detallado del software de *programmable logic controllers* (PLC) el Concesionario deberá utilizar métodos estructurados, tales como bloque funcional y definiciones de “*Ladder Logic*”.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_282];

El diseño de los PLC deberá asegurar el uso de protocolos de comunicación estándar.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_283];

Sólo se utilizarán diseños y programación de PLC que tengan un historial de Confiabilidad acreditado por al mínimo 10 clientes.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_284];

El Concesionario deberá utilizar métodos formales y pruebas, determinadas como técnicas para los niveles de integridad de Seguridad del software específicos.

[END]

#### 7.3.2.8 Suministro del Software

[ID\_BOG\_RAM\_285];

Todos los softwares entregados por el Concesionario deberán acompañarse por certificación de “*Release*”, la cual deberá identificar claramente la versión del software, y si aplica, la identificación de las modificaciones desde la revisión anterior. En caso de modificaciones, el Concesionario deberá entregar la documentación de las pruebas en conjunto con la referencia de los resultados de estas pruebas y la certificación correspondiente.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_286];

Después de la realización satisfactoria de las Pruebas de Aceptación de sistemas, el Concesionario no deberá instalar, modificar ni actualizar ningún software sin la autorización escrita del Interventor. En este caso, el Concesionario será responsable por asegurar que todas las certificaciones, la documentación relacionada y los registros estén actualizados para reflejar cambios, modificaciones y actualizaciones del software y que el software se vuelva a probar al nivel originalmente especificado.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_287];

Todos los softwares entregados se deberán acompañar de evidencias que demuestren que los medios están libres de virus.

[END]

#### 7.3.2.9 Recuperación del Software

[ID\_BOG\_RAM\_288];

El reinicio rápido y automático del software de cada sistema deberá ser una función integrada con procedimientos de respaldo de Seguridad, para que en el caso de una falla que provoque corrupción de datos o software, cada sistema se pueda recuperar en línea y estar en un estado de funcionamiento completo dentro de los requisitos MTTR.

[END]

#### 7.3.2.10 Diseño del Software de Aplicación (IHM)

[ID\_BOG\_RAM\_289];

Para el software de aplicación el Concesionario deberá utilizar una metodología de diseño modular y estructurado, usando diagramas de flujo de datos y control además de diagramas de estructuras. El proceso deberá cumplir los requisitos de EN 50128.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_290];

El software y los protocolos de cada sistema deberán disponer de una interfaz de usuario genérica. Se deberá suministrar un manual de usuario, manual de Mantenimiento, manual de capacitación y herramientas de programación para permitir que el personal operativo del Concesionario pueda modificar o expandir las funciones operacionales del sistema.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_291];

Se deberá situar datos geográficos en una estructura orientada a objetos permitiendo el procesamiento de datos específicos del sitio o ubicación, independiente de las funciones operativas, por parte de cualquier usuario autorizado. Datos vinculados geográficamente, como nombres de estación e información del pasajero específicamente, no deberán estar integrados en el software crítico.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_292];

El software deberá permitir la continuidad del control y funciones de seguimiento mientras se lleva a cabo la reconfiguración, mantenimiento y entrada de datos en el fondo. El software no deberá dañarse por errores de usuarios, comunicaciones o transductores de entrada. Las

pruebas del software deberán demostrar las cargas del procesador y tiempos de respuesta bajo escenarios normales y de recuperación.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_293];

El acceso al software del sistema con motivo de mantenimiento deberá estar protegido por contraseña.

[END]

#### 7.3.2.11 Definición de las Interfaces

[ID\_BOG\_RAM\_294];

Para cada interfaz a un sistema externo, deberá existir sólo un documento de especificación de interfaz.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_295];

El Concesionario deberá definir el responsable por la definición de cada interfaz en particular.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_296];

La referencia a todas las especificaciones de interfaz utilizadas se deberá elaborar en base a la documentación de diseño de la cual se realizará la Verificación.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_297];

El Concesionario deberá definir la tabla de contenidos precisa de la especificación de requisitos de interfaz.

[END]

#### 7.3.2.12 Software Irrelevante

[ID\_BOG\_RAM\_298];

El software que no contribuya al cumplimiento de los requisitos especificados no se deberá incluir en la construcción formal o informal de ningún producto o software.

[END]

### 7.3.3 *Expansión y dimensionamiento*

[ID\_BOG\_RAM\_299];

Requisitos técnicos del software especificados en esta sección, deberán ser revisados por el Interventor de conformidad con lo señalado en el Capítulo VIII Etapa Preoperativa – Estudios y Diseños del Contrato de Concesión.

Adicionalmente y sin perjuicio de lo anterior, deberán ser satisfechos en las Pruebas de Aceptación correspondientes.

[END]

### 7.3.3.1 Requisitos de Expansión del Software

[ID\_BOG\_RAM\_300];

El diseño del software deberá permitir la futura expansión de entradas/salidas, expansiones de la base de datos y reservas para la expansión del hardware, así como considerando posible transferencia a otro entorno hardware/software.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_301];

El diseño del software deberá permitir añadir para otros diálogos de entrada/salida, Equipos periféricos y Equipos de control. Esto se deberá diseñar a través de mecanismos que aseguren que el código fuente y la estructura de datos internos no necesiten modificación.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_302];

Las bases de datos del software se deberán diseñar para facilitar la expansión. Se deberá suministrar, donde se implementen nuevas estructuras de bases de datos con tamaños definidos, al menos un 25% de la capacidad disponible de cada tipo de entrada y atributo.

[END]

### 7.3.3.2 Reserva Disponible del Hardware

[ID\_BOG\_RAM\_303];

Los requisitos de reserva disponible se aplicarán a la memoria, almacenamiento del disco, links/puertos de comunicación, capacidad de entrada/salida. El Concesionario deber cumplir con las cifras mínimas para espacio disponible que se listan a continuación.

Recurso	Capacidad disponible
Memoria	50%
Almacenamiento del Disco	50%
Links/Puertos de Comunicación	50%
Capacidad de Entrada/Salida	50%

Tabla 9. Requisitos de reserva disponible de Hardware

[END]

### 7.3.3.3 Carga Máxima Aceptable de Recursos del Hardware

[ID\_BOG\_RAM\_304];

Para sistemas de memoria virtual, el Concesionario deberá demostrar que la carga del procesador y el procesamiento del sistema contractual se pueden lograr con la capacidad propuesta de memoria disponible.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_305];

El Concesionario deberá demostrar en la Prueba de Aceptación de fábrica que el rendimiento contractual se puede cumplir con la carga del procesador principal no excediendo las cifras que se muestran a continuación. La carga máxima para el procesador principal se define como un promedio de la medición de la carga en un periodo de tiempo de un minuto.

[END]

*MLL*  
*le* *E*

[ID\_BOG\_RAM\_306];

Para Redes LAN (Local Area Network) o Redes WAN (Wide Area Network), la carga no deberá exceder las cifras entregadas a continuación.

Recurso	Carga no Excede	
	Media	Máximo
Procesador Principal	50%	80%
LAN y WAN	10%	40%

Tabla 10. Requisitos de carga de recurso

[END]

### 7.3.4 *Requisitos de Gestión*

#### 7.3.4.1 Gestión de la Calidad y la Seguridad del Software

[ID\_BOG\_RAM\_307];

El objetivo de la gestión de calidad del Software es garantizar que el desarrollo del software se realice de forma tal que se consiga la calidad deseada, tal como lo requiere la norma EN 501238.

Subcontratistas y proveedores de software del Concesionario deberán estar certificados ISO 9001 y/o deberán implementar la parte relevante de la norma ISO 9001 conforme a la norma EN 50128.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_308];

El Concesionario deberá elaborar y entregar un plan de gestión de calidad del software indicando los arreglos específicos realizados para cumplir con las necesidades del Proyecto cubriendo todos los sistemas del software, sin importar su SwDS, y un plan de desarrollo del software para cada producto software que posea un SwDS modificado o nuevo.

[END]

#### 7.3.4.2 Gestión de Configuración del Software

[ID\_BOG\_RAM\_309];

El Concesionario deberá elaborar un Plan de gestión de configuración del software para cubrir los cambios que ocurran durante las fases de desarrollo y para seguir la configuración del software, acorde con la norma EN 50128.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_310];

La actividad de gestión de configuración del software deberá ser realizada por el Concesionario y cumplir con los principios descritos en Plan de Gestión de Configuración del Sistema Integral.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_311];

El Plan de gestión de configuración del Software deberá tratar la gestión de configuración en términos de control de configuración, informe de problemas, control de cambio, control de medio y herramientas de gestión de configuración.

[END]

### 7.3.4.3 Gestión del Proyecto

[ID\_BOG\_RAM\_312];

Es responsabilidad del Concesionario asegurar que el software se desarrolle, pruebe y entregue a tiempo. Para realizarlo, el Concesionario deberá crear y mantener un cronograma de trabajo detallado del software. Este cronograma deberá identificar rutas críticas, retrasos y recursos.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_313];

Los informes RAM de desarrollo del software deberán incluir:

- La información de avance relacionada con el desarrollo del software. El Concesionario deberá indicar el avance con respecto al cronograma de trabajo detallado del software e indicar qué fases no han comenzado, están en progreso y cuáles completadas.
- actividades de gestión RAMS del software realizadas considerando por lo menos las siguientes fases de desarrollo del software:
  - Fase de diseño del software: incluye definición de sistema, planificación del software, especificación de requisitos del software, arquitectura y diseño del software, diseño y codificación de módulos del software.
  - Fase de validación del software: incluye prueba de módulos del software, integración y prueba del software, integración y prueba del software/hardware, Validación del software, Prueba de Aceptación de fábrica, Prueba de Aceptación en sitio.
  - La fase de Operación y Mantenimiento: incluye Mantenimiento del software.

[END]

## 7.4 Entregables

[ID\_BOG\_RAM\_314];

El Concesionario y sus Subcontratistas deberán elaborar, mantener y almacenar la documentación previamente descrita de las actividades RAMS del software para todas sus fases.

[END]

[ID\_BOG\_RAM\_315];

Además de los documentos señalados en otras secciones de este Apéndice Técnico, el Concesionario deberá entregar los siguientes documentos relacionados con el software:

Elemento	Descripción de Documentación	Calendario Principal de Entregables		
		Diseño del software	Validación del Software	Operación y Mantenimiento
1	Plan de gestión de calidad del software	E	A	
2	Plan de Desarrollo del Software	E	A	
3	Programa de Revisión	E	A	
4	Desglose de la Estructura del Software	E	A	
5	Plan de Seguridad del Software	E	A	
6	Cronograma de Presentación de Documentación del Software	E	A	
7	Plan de Gestión de Configuración del Software	E		
8	Especificaciones del Software	E	A	
9	Documentación de Datos	E	A	
10	Plan de Verificación del Software	E	A	A
11	Matriz de trazabilidad	E		
12	Informe de Verificación del Software	E	A	
13	Plan de Validación del Software	E	A	
14	Plan de Mantenimiento del Software	E	A	
15	Informe de Validación del Software		E, A	
16	Especificaciones de Prueba del Software	E	A	
17	Informes de Prueba del Software		E	
18	Licencias, Código de Fuente del Software y Documentación de Apoyo	E	A	A
19	Manual de Usuario/Manual de Capacitación/Manual de Mantenimiento		E	A
20	Registros de Cambio del Software			E, A
21	Dossiers de Seguridad (consulte requerimientos de Seguridad del sistema)	E	E, A	
22	Informe de auditoría de aseguramiento del software	E	E	E
23	Informes de avance del software RAMS	E	E	E

Tabla 11. Lista mínima de documentos relacionados al Software entregados por el Concesionario

E – Elaborar A – Actualizar

[END]

*Handwritten marks:*  
 A large handwritten '9' or '1' with a loop.  
 A handwritten 'E' or '2' with a loop.  
 A handwritten '3' or '5' with a loop.  
 A handwritten '4' or '6' with a loop.

## 7.5 Ciclo-V y Fases del Software

[ID\_BOG\_RAM\_316];

El siguiente ciclo-V de Desarrollo del software es definido por la norma EN 50128:

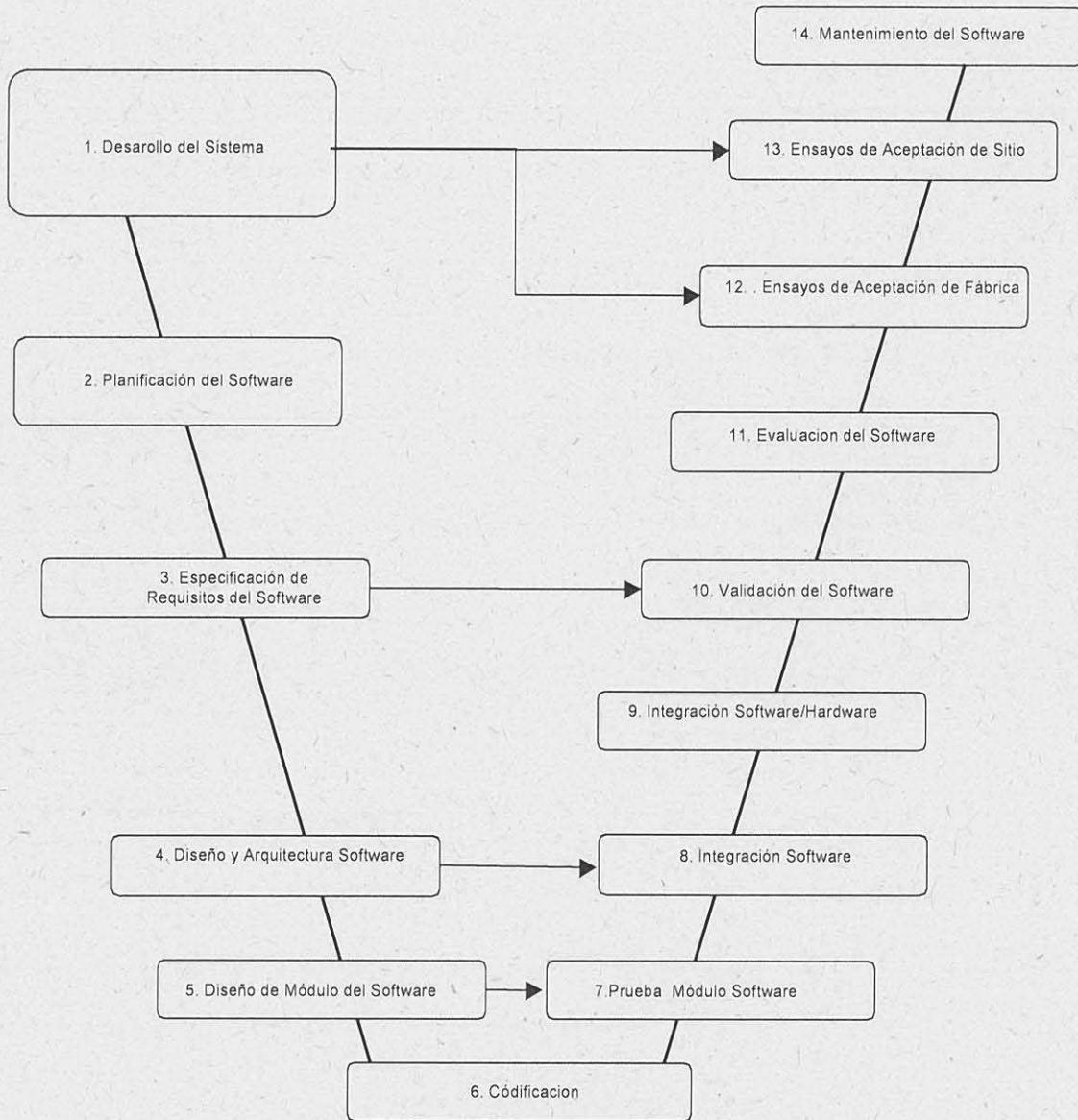


Ilustración 3. Ciclo-V de Desarrollo del Software detallado

Todas las fases del Ciclo-V de desarrollo del software deberán ser llevadas a cabo por el Concesionario, con excepción de la fase de Validación del software que deberá ser realizada por el Interventor para la expedición de la Certificación de Cumplimiento de los Requisitos RAM y de la Certificación en Seguridad del Sistema Integral.

[END]

*Handwritten marks:*  
A large circle with a vertical line through it.  
A signature or initials.  
A stylized 'Z' or '3' symbol.