

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

**REGIOTRAM DE OCCIDENTE**

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

**TABLA DE CONTENIDO**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Tabla de Contenido                                | 2  |
| 1. Abreviaciones y Definiciones en este documento | 3  |
| 2. Introducción                                   | 5  |
| 3. Requisitos RAM                                 | 6  |
| 4. Requisitos de seguridad                        | 19 |

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS**Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2****1. ABREVIACIONES Y DEFINICIONES EN ESTE DOCUMENTO**Abreviaciones

|        |                                                                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ALARP  | As Low As Reasonably Practicable (Tan reducido como razonablemente viable)                                                        |
| RAMS   | Reliability, Availability, Maintainability y Safety (en inglés) o Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenabilidad y Seguridad.      |
| SIL    | Safety Integrity Level (en inglés) o nivel de integridad de seguridad                                                             |
| E/E/EP | sistemas eléctricos/electrónicos/electrónico programables                                                                         |
| ISA    | Independant Safety Assessor (en inglés) o Evaluador Independiente de Seguridad                                                    |
| MTTR   | Mean Time To Repair (en inglés) o tiempo promedio de restauración / reparación                                                    |
| MTBF   | Mean Time Between Failures (en inglés) o Tiempo medio entre fallos                                                                |
| MCBF   | Mean Cycles Between Failures                                                                                                      |
| MTBSAF | Mean Time Between Service Afecting Failures (en inglés) o Tiempo medio entre fallos que afectan al servicio (operación de trenes) |
| MCS    | Metodos Comunes de Seguridad (Reglamento Europeo No 402/2013)                                                                     |
| FMECA  | Failure Mode Effects and Critical Analysis (en inglés) o análisis de modo de falla y análisis crítico                             |
| FRACAS | Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (Sistema de informe de fallos, su análisis y acciones correctivas)       |
| LRU    | Line Replaceable Unit (Unidad de Línea Reemplazable)                                                                              |
| PAS    | Plan de Aseguramiento del Sistema                                                                                                 |

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

## Definiciones

En adición a las definiciones establecidas en el Contrato y únicamente para lo establecido en el presente Apéndice, los siguientes términos utilizados en este Apéndice se tendrán conforme a las siguientes definiciones:

| <b>DENOMINACIÓN</b> | <b>DEFINICIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Disponibilidad      | Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos.                         |
| Elemento            | Parte, componente, dispositivo, subsistema, equipo o sistema que pueda describirse y considerarse de forma individual.                                                                                                                                                                   |
| Fallo               | Cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida.                                                                                                                                                                                                                   |
| Fiabilidad          | Capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado.                                                                                                                                                    |
| Función requerida   | Función, combinación de funciones o una combinación total de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado.                                                                                                                                   |
| Mantenibilidad      | Capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantener en o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando los procedimientos y recursos preestablecidos. |
| Plan                | Especifica las condiciones previas, documentos, personas involucradas, equipo necesario, horario, secuencia y acciones requeridas para realizar la tarea.                                                                                                                                |
| Programa            | Parte del plan en el que se especifican horarios y actividades.                                                                                                                                                                                                                          |

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

| DENOMINACIÓN | DEFINICIÓN                                                                                                                                                 |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Validación   | Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que los requisitos particulares es para un uso específico pretendido han sido cumplidos. |
| Verificación | Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que los requisitos específicos han sido cumplidos.                                       |

**2. INTRODUCCIÓN**

- 2.1. El Concesionario deberá emprender e implementar el Sistema de Transporte de acuerdo con y de conformidad con el Apéndice técnico 1, que consta de tres (3) Partes separadas y el Apéndice Técnico 2: Requisitos de Operación y Mantenimiento, como sigue:
- 2.2. Este documento constituye el Apéndice Técnico 1 - Parte 3: Requisitos de RAMS.
- 2.3. El Concesionario desarrollará y manejará un proceso RAMS, los detalles del cual serán descritos en su Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS), en conformidad con el capítulo 12 del Apéndice Técnico 1 – Parte 1 Especificaciones Técnicas Generales y las especificaciones definidas en este documento.
- 2.4. El proceso RAMS a implementar por el Concesionario deberá ser conforme a las disposiciones de la norma CENELEC-[EN-50126](#), con respecto a las actividades RAMS a desempeñar en cada etapa del ciclo de vida del Proyecto.
- 2.5. El objetivo del proceso RAMS es demostrar cumplimiento con los requisitos RAMS definidos a continuación, con fin de garantizar altos niveles de seguridad y de disponibilidad del servicio durante la operación del sistema.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

**3. REQUISITOS RAM**

**3.1. General**

- 3.1.1. El Concesionario realizará estudios y análisis RAM en acuerdo con lo especificado en el capítulo 12 del Apéndice Técnico 1 – Parte 1. Describirá todos los estudios y actividades RAM que plantea realizar en el Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS).
- 3.1.2. El Concesionario será responsable de proporcionar un diseño del sistema, procedimientos de mantenimiento y definir las existencias de repuestos recomendados para garantizar que se cumplan los requisitos RAM del Sistema.
- 3.1.3. El proceso y los procedimientos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) deben planificarse, integrarse y desarrollarse juntamente con el entorno operativo, y con las funciones de diseño, desarrollo y producción para permitir los logros más efectivos y económicos de los objetivos RAM de diseño de los sistemas y equipos.
- 3.1.4. El cumplimiento de los objetivos RAM se medirá por el Concesionario y se evaluará por el Interventor durante el primer año de operación después la puesta en servicio. Si el Sistema no prueba durante este periodo de evaluación RAM su capacidad para cumplir con los objetivos RAM, el Interventor extenderá el período de evaluación. En ese caso, el Concesionario deberá en el nuevo plazo determinar, adelantar las actividades necesarias hasta que el sistema alcance los requisitos de RAM especificados.
- 3.1.5. En los años de operación subsecuentes al periodo de evaluación, el Concesionario seguirá midiendo el rendimiento RAM de su Sistema, el cual deberá ser reportado de manera anual al Cliente.
- 3.1.6. El Concesionario deberá considerar en sus estudios de RAM las condiciones de operación según lo definido en el Plan de operación y el Plan de Mantenimiento del Proyecto.
- 3.1.7. Todos los análisis de RAMS y los procedimientos de monitoreo deben ser realizados por el Concesionario de acuerdo con el PAS aprobado.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

3.2. Alcance de los estudios RAM

3.2.1. El alcance de los estudios RAM a realizar por el Concesionario deberá abarcar, como mínimo, los sistemas/subsistemas mecánicos y eléctricos siguientes:

- Señalización ferroviaria y vial
- Material Rodante
- Energía:
  - Alta y media tensión
  - Catenaria
  - Tracción
  - Baja tensión
  - Alimentación ininterrumpida
- Telecomunicaciones:
  - SCADA
  - Radiocomunicaciones
  - Sistemas de seguridad (video vigilancia, control de acceso)
  - Telefonía/Interfonía
  - Red de comunicación
  - Puesto de mando centralizado (PMC)
  - Sistema de ayuda a la explotación (SAE)
  - Sistema de información a los pasajeros (SIP)
- Superestructura y aparatos de vía
- Drenaje
- Detección y Protección contra incendios
- Climatización y Ventilación
- Puertas de andén

3.2.2. El Concesionario indicará de manera precisa en su Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS) todos los sistemas y subsistemas por los cuales realizara estudios RAM, respetando el alcance definido en el 3.2.1.

3.3. Categorías de Fallo

3.3.1. Para los estudios y evaluación RAM, se distinguirán los Fallos según su criticidad, con respecto a su impacto sobre el servicio de tren o su impacto sobre el rendimiento del sistema considerado.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

3.3.2. El Concesionario deberá utilizar la siguiente clasificación de Fallos por categoría y niveles de RAM asociados:

| CLASE | CATEGORÍA DE FALLO   | DEFINICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                   |
|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                      | Para sistemas/subsistemas cuyas fallas afectan a la operación de los trenes                                                                                                                                                                                                                                                                  | Para sistemas/subsistemas cuyas fallas no afectan a la operación de los trenes                                                                                                                                    |
| 3     | <b>Significativo</b> | Un Fallo que implica una de las siguientes consecuencias: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Socorro del tren y/o evacuación de los pasajeros en interestaciones</li> <li>• Retiro del tren del servicio y evacuación de pasajeros en estaciones</li> <li>• Inmovilización y retraso del tren de más de quince (15) minutos</li> </ul> | NA                                                                                                                                                                                                                |
| 2     | <b>Importante</b>    | Un Fallo que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Provoca una inmovilización y retraso del tren mayor a cinco (5) minutos, pero menor o igual a quince (15) minutos.</li> </ul>                                                                                                                                                         | Un Fallo que implica una de las siguientes consecuencias: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe ser corregido para que el sistema en el cual ocurre la falla logre su rendimiento especificado</li> </ul> |
| 1     | <b>Menor</b>         | Un Fallo que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• no cumple los criterios para ser considerada fallo Significativo ni Mayor"</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | Un Fallo que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• No impide que el sistema en el cual ocurre la falla logre su rendimiento especificado.</li> </ul>                                                          |

3.3.3. El Concesionario definirá en sus estudios de RAM cuales son los sistemas/subsistemas en su alcance (hasta el nivel de LRU) que deben ser considerados como afectando a la operación de los trenes en caso de Fallo, de manera a aplicar los criterios adecuados para la clasificación de Fallos en los estudios RAM.



**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2****3.4. Objetivos RAM****3.4.1. Objetivos RAM generales**

3.4.1.1. Los objetivos RAM generales a cumplir para todo el alcance definido en la sección 3.2 son los siguientes por categorías de fallas:

| <b>CATEGORÍA DEL FALLO</b> | <b>DISPONIBILIDAD (D)</b> | <b>FIABILIDAD (MTBF)*</b> | <b>FIABILIDAD SERVICIO (MTBSAF)</b> | <b>MANTENIBILIDAD (MTTR)</b> |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Significativo              | ≥ 99,95%                  | ≥ 1200 h/Fallo            | ≥ 1200 h/Fallo                      | ≤ 30 min/Fallo               |
| Importante                 | ≥ 99,5%                   | ≥ 180h/Fallo              | ≥ 400 h/Fallo                       | ≤ 1 h/Fallo                  |
| Menor                      | ≥ 91%                     | ≥ 20 h/Fallo              | —                                   | ≤ 2 h/Fallo                  |

\*incluye las fallas que afectan al servicio

3.4.1.2. Para cada categoría de Fallo la disponibilidad (D) se calculará de la siguiente manera:

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

3.4.1.3. Para fallas que afectan a la operación de trenes, el MTTR se define como el tiempo para restaurar el servicio en condición nominal o degradada, desde la aparición de la falla.

En el cálculo del MTTR, se deberá tomar en cuenta el tiempo de detección de la falla, el tiempo de intervención del Concesionario necesario para acudir a la falla y, en su caso, el tiempo necesario para restaurar el servicio de operación de tren una vez la falla atendida.

3.4.1.4. Durante el primer año en la Etapa de Operación y Mantenimiento, se calcularán y evaluarán los objetivos RAM generales (de aplicación al Sistema ferroviario en conjunto) de la manera siguiente:

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 3.4.1.4.1. Para los objetivos de Fallos Significativos, se calcularán y evaluarán los índices RAM en una ventana móvil de seis (6) meses. Se realizará así una primera evaluación en un periodo de seis (6) meses después la puesta en servicio. Posteriormente, se realizarán evaluaciones subsecuentes de la ventana móvil cada dos (2) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (cuatro (4) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).
- 3.4.1.4.2. Para los objetivos de fallos Importantes y Menores, se calcularán y evaluarán los índices RAM en periodos de dos (2) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (seis (6) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).

**3.4.2. Objetivos RAM específicos**

- 3.4.2.1. El Concesionario deberá en base a los objetivos RAM generales realizar una asignación de objetivos RAM a todos los sistemas y subsistemas en su alcance según definido en la Sección 3.2, demostrando que dicha asignación permita alcanzar los objetivos RAM generales definidos en la Sección 3.4.1.1. El resultado de esa asignación se incluirá en un Informe de asignación de la RAM a entregar al Cliente al inicio de la fase de ingeniería de detalle.
- 3.4.2.2. Los objetivos de la RAM se expresarán en indicadores RAM comunes, tales como: Tiempo medio entre fallos (MTBF), Tiempo medio entre acciones de mantenimiento (MTBMA), Tiempo medio entre fallos que afectan al servicio (MTBSAF), Tiempo medio de restauración / reparación (MTTR), etc. En su estudio de RAM, el Concesionario justificará y explicará los indicadores RAM utilizados para cada sistema/subsistema.
- 3.4.2.3. En complemento de lo anterior, se definen objetivos RAM específicos para los sistemas indicados a continuación.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

**3.4.2.4. Sistema de tracción**

3.4.2.4.1. El sistema de tracción incluye los subsistemas principales siguientes:

- Cables MT y BT
- Equipos MT (Disyuntores, transformadores de corriente/voltaje, aisladores,..)
- Transformadores de tracción.
- Rectificadores
- Equipos de distribución de corriente en la línea
- Equipos de protección
- Equipos de control

3.4.2.4.2. El sistema de tracción en su globalidad deberá cumplir con los objetivos RAM siguientes:

| <b>Criterio</b> | <b>Objetivo</b>         |
|-----------------|-------------------------|
| Disponibilidad  | $\geq 99,99\%$          |
| Mantenibilidad  | $MTTR \leq 2 \text{ h}$ |

3.4.2.4.3. Los objetivos RAM del sistema de tracción definidos en el punto anterior aplican para el conjunto de todos los tipos de fallo.

3.4.2.4.4. En la fase de operación, se calcularán y evaluarán esos objetivos en una ventana móvil de seis (6) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (cuatro (4) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2****3.4.2.5. Subsistemas señalización**

- 3.4.2.5.1. Se definen los objetivos RAM siguientes para los subsistemas de señalización siguientes:

| <b>Conjunto Funcional</b>                    | <b>Disponibilidad</b> |
|----------------------------------------------|-----------------------|
| Enclavamiento                                | $\geq 99,98\%$        |
| Protección del Tren/Control de franqueo      | $\geq 99,95\%$        |
| Control de cruce de vía (con y sin barreras) | $\geq 99,95\%$        |

- 3.4.2.5.2. Los objetivos de disponibilidad definidos en el punto anterior aplican para el conjunto de todos los tipos de fallo.

- 3.4.2.5.3. En la fase de operación, se calcularán y evaluarán esos objetivos en una ventana móvil de seis (6) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (cuatro (4) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).

**3.4.2.6. Subsistema Recaudo**

- 3.4.2.6.1. Se definen los objetivos RAM siguientes para el subsistema de Recaudo:

| <b>Conjunto Funcional</b>                   | <b>MTBF/MCBF</b>         |
|---------------------------------------------|--------------------------|
| Equipos automáticos de recarga              | MTBF:<br>50000 horas     |
| Equipos de consulta de saldo                | MTBF:<br>50000 horas     |
| Equipos de inspección de los medios de pago | MTBF:<br>50000 horas     |
| Puertas                                     | MCBF: 10000000<br>ciclos |

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

3.4.2.6.2. Los objetivos definidos en el punto anterior aplican para el conjunto de todos los tipos de fallo.

3.4.2.6.3. En la fase de operación, se calcularán y evaluarán esos objetivos en una ventana móvil de seis (6) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (cuatro (4) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).

**3.4.2.7. Material Rodante**

3.4.2.7.1. El Concesionario deberá cumplir con un índice de disponibilidad que no será inferior al **98 %** de disponibilidad para el lote de trenes, considerando como base los tiempos de operación establecidos y los tiempos de inmovilización por Mantenimiento preventivo y correctivo.

3.4.2.7.2. El índice de disponibilidad de los trenes (ID) se calculará de acuerdo con la expresión que se establece a continuación, para periodos de servicio de sesenta (60) días.

$$ID = 100 \left( 1 - \left[ \left( \sum_{n=1}^N \frac{T_{inm_n}}{T_{max_n}} \right) \div N \right] \right) \%$$

- N= número de trenes en total
- $T_{inm_n}$  = Tiempo de inmovilización por tren, imputable al Concesionario para las diversas actividades de mantenimiento (preventivo y correctivo). Contabilizado a partir de que el operador entregue el reporte de avería y el tren esté en posición de taller para ser intervenido.
- $T_{max}$  = Tiempo máximo de operación/disponibilidad por tren planeado.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

3.4.2.7.3. En la Etapa de Operación y Mantenimiento, se calculará y evaluará este objetivo de disponibilidad en periodos de dos (2) meses. El Concesionario deberá cumplir con los objetivos en cada evaluación (seis (6) en total durante el año). En caso de incumplimiento de los objetivos, se extenderá el periodo de evaluación (ver sección 3.6.9).

**3.5. Predicción RAM en los Estudios y Diseños Principales**

- 3.5.1. Después de haber asignados los objetivos RAM generales a sus sistemas y subsistemas según definido en 3.4.2.1, el Concesionario realizará análisis de predicción RAM a nivel de cada sistema/subsistema para demostrar al final de la Fase Previa detallado que los objetivos RAM asignados, así como los objetivos RAM específicos definidos en 3.4.2 pueden ser cumplidos de manera predictiva.
- 3.5.2. Los análisis RAM incluirán análisis de modos de falla (FMECA) y otros como FTA, diagramas causa-efecto, etc...para cada uno de dichos sistemas y todos los equipos del sistema, a fin de identificar las consecuencias críticas durante la fase operativa de los sistemas mecánicos y eléctricos. Los elementos críticos de confiabilidad deben identificarse como parte de los análisis de RAM.
- 3.5.3. El Concesionario deberá proporcionar documentación que muestre las fuentes de los datos utilizados en el análisis de predicción RAM. (Datos verificables de fallas de campo para equipos o cálculos idénticos o similares, datos en Tiempo promedio de restauración / reparación (MTTR) en servicio o datos estimados de MTTR teniendo en cuenta el entorno operativo o utilizando referencias de otros datos publicados y verificados.)
- 3.5.4. El Concesionario elaborará y entregará al Cliente informes de análisis de predicción RAM para sus sistemas/subsistemas con el resultado de sus análisis de predicción RAM.
- 3.5.5. El informe de análisis de predicción de RAMS deberá:
  - 3.5.5.1. Demostrar el logro de los requisitos de RAMS y los indicadores de RAMS;

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 3.5.5.2. Identificar todas las fallas posibles en los sistemas mecánicos y eléctricos y predecir la frecuencia anual de los incidentes y retrasos de servicios durante las fases de operación;
- 3.5.5.3. Desarrollar procedimientos y rutinas de análisis para confirmar que el sistema propuesto logra los objetivos de RAMS; y
- 3.5.5.4. Calcular los valores de RAMS relacionados con los sistemas mecánicos y eléctricos, teniendo en cuenta:
  - 3.5.5.4.1. Las predicciones de RAMS realizadas para todos los sistemas que comprenden las Obras;
  - 3.5.5.4.2. Los estudios RAMS realizados a nivel de Sistemas Mecánicos y Eléctricos;
  - 3.5.5.4.3. El Plan de Operación;
  - 3.5.5.4.4. Los Planes de Mantenimiento; y
  - 3.5.5.4.5. Cualquier otro factor que pueda tener un impacto en el valor de RAMS.
- 3.5.6. LRU (Unidad de Línea Reemplazable) y cálculo de refacción
  - 3.5.6.1. El Concesionario identificará los elementos que en caso de fallo podrán restaurar la operación del sistema mediante sustitución o reparación (LRU).
  - 3.5.6.2. Para cada LRU se estimará el plazo promedio de reparación, teniendo en consideración la accesibilidad y la complejidad del equipo, así como la necesidad o no de herramientas especiales,
  - 3.5.6.3. Se elaborará un Informe de Piezas de Repuesto que incluirá una lista de los LRU, los parámetros utilizados para los cálculos de cada LRU y la cantidad de piezas de repuesto para cada LRU.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 3.5.6.4. La cantidad de piezas de repuesto se calculará para garantizar que el riesgo de escasez para cada LRU sea tal que permita conseguir los objetivos RAM. Por otra parte, el Concesionario deberá tomar en cuenta este riesgo de escasez en sus cálculos predictivos de RAM.
  - 3.5.7. En el caso que se consideren necesarias algunas modificaciones en el diseño durante las fases ulteriores de fabricación e instalación, se deberá evaluar el impacto en el rendimiento de la RAM y demostrar que el cumplimiento de los objetivos de RAM no se pondrá en riesgo debido a estas modificaciones del diseño.
  - 3.5.8. La adquisición de los equipos de Sistemas mecánicos y eléctricos puede comenzar solamente después de la aprobación del informe de análisis de predicción de RAM correspondiente.
- 3.6. Demostración RAM en la Fase de Marcha Blanca y Puesta en Marcha y Etapa de Operación y Mantenimiento.
  - 3.6.1. Sistema FRACAS
    - 3.6.1.1. El Concesionario deberá establecer un sistema FRACAS para suministrar una historia documentada sobre los problemas y fallas que ocurren durante la fabricación, construcción, instalación y etapa de operación comercial. Deberá indicar cómo y por qué se originó cada problema y presentar opciones de acción correctiva.
    - 3.6.1.2. El FRACAS será implementado para monitorizar el rendimiento RAM de los equipos, durante la fabricación, instalación, pruebas, así como durante la operación comercial.
    - 3.6.1.3. El FRACAS deberá permitir el cálculo y obtención de indicadores RAM a nivel sistema global y a nivel sistemas/subsistemas para su comparación con los objetivos RAM definidos en la sección 0.
    - 3.6.1.4. Además, se utilizará el FRACAS para:
      - 3.6.1.4.1. Promover el crecimiento de la fiabilidad del equipo más allá del cumplimiento de los valores objetivos,



**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 3.6.1.4.2. Monitorear el rendimiento de los componentes e identificar los patrones de falla con el fin de poder realizar acciones correctivas.
  - 3.6.1.4.3. Consolidar la información de fallo de los equipos para referencias de revisión de diseño.
  - 3.6.1.4.4. Verificar la capacidad y la eventual disminución de la capacidad de los equipos durante pruebas, marcha blanca y operación de puesta en servicio para garantizar que la fiabilidad del nivel del equipo es sustentable.
- 3.6.2. El Concesionario elaborará un Plan de Demostración RAM para indicar como plantea monitorizar y presentar el rendimiento RAM de sus equipos con respecto a los objetivos RAM durante las pruebas, el periodo de marcha blanca y la operación comercial en el periodo de garantía.
- 3.6.3. En su Plan de Demostración RAM, el Concesionario describirá una serie de demostraciones RAM que deberá realizar durante las fases de pruebas y la marcha blanca para mostrar estadísticamente la tendencia de los rendimientos RAM en comparación con los objetivos RAM.
- 3.6.4. El resultado de las demostraciones RAM se presentará en Informes de Demostración de la RAM a ser entregados y aprobados por el Cliente antes la puesta en servicio comercial.
- 3.6.5. La demostración de los objetivos de mantenibilidad antes la puesta en servicio se realizará sobre una base de muestras cuyas modalidades se detallarán en el Plan de Demostración de la RAM.
- 3.6.6. Durante la Etapa de Operación y Mantenimiento, el Concesionario monitorizará y colectara diario los datos de rendimiento RAM y los resultados se utilizarán para permitir los medios sistemáticos de análisis de los datos y el registro del rendimiento RAM a nivel sistema y a nivel de los subsistemas.
- 3.6.7. El Concesionario emitirá un Informe Mensual de Rendimiento RAM para el Cliente durante el periodo de evaluación RAM para suministrar la evidencia del logro de los objetivos RAM, los cuales deberán ser respectivamente evaluados según las metodologías indicadas en la sección 0.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 3.6.8. El Informe Mensual de Rendimiento RAM deberá ser entregado al Cliente a más tardar siete (7) días después el fin del Mes.
  - 3.6.9. De no cumplirse los objetivos RAM al final del periodo de evaluación RAM, el Interventor podrá extender el periodo de evaluación RAM por periodos de evaluación de dos (2) meses adicionales, plazo en el cual el Concesionario deberá cumplir con los objetivos, de acuerdo con las condiciones e metodología indicadas en la sección 0.
  - 3.6.10. Al terminarse el periodo de evaluación RAM, el Concesionario emitirá durante la Etapa de Operación y Mantenimiento subsecuentes un Informe Anual de Rendimiento RAM
- 3.7. Entregables RAM
- 3.7.1. El Concesionario detallará en su Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS) la lista de entregables RAM que entregará durante cada Fase y Etapa del Proyecto, indicando cuáles se entregarán a nivel sistema global y cuáles se entregarán a nivel sistemas/subsistemas
  - 3.7.2. La lista deberá incluir como mínimo los documentos siguientes:
    - Plan RAM (a nivel sistemas/subsistemas)
    - Informe de Asignación de la RAM.
    - FMECA
    - Informe de Análisis y de Predicción de la RAM.
    - Listado de Elementos Críticos de Fiabilidad.
    - Informe de Piezas de Repuesto.
    - Plan de Demostración de la RAM e Informe Demostración RAM
    - Informe Mensual de Rendimiento de la RAM.
    - Informe Anual de Rendimiento de la RAM.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

**4. REQUISITOS DE SEGURIDAD**

**4.1. General**

- 4.1.1. El Concesionario desarrollará durante el ciclo de vida del Proyecto un proceso de gestión de la seguridad del sistema, el cual se describirá en detalle en el Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS), teniendo en cuenta los requisitos de seguridad definidos en este capítulo, y en conformidad con las normas CENELEC EN 50126/50128/50129.
- 4.1.2. El proceso de gestión de la seguridad incluirá todos los riesgos relacionados con la prevención de la muerte y lesiones a usuarios, operarios y terceros, así como daños al medioambiente durante la Etapa de Operación y Mantenimiento.
- 4.1.3. El Concesionario realizará identificaciones y documentaciones proactivas de peligros relacionados al sistema los cuales, cuando sea razonablemente viable, se deberán eliminar en la Fase previa. Cuando en la Fase Previa no sea razonablemente viable eliminar dichos peligros, se deberá realizar una evaluación de riesgo para asegurar que los riesgos asociados a peligros residuales sean, por orden de prioridad:
  - 4.1.3.1. Minimizados en la Fase Previa
  - 4.1.3.2. Mitigados donde sea posible con medidas de mitigación técnicas
  - 4.1.3.3. Se puedan gestionar posteriormente durante la Etapa de Operación y Mantenimiento a través procedimientos operacionales
- 4.1.4. El Concesionario deberá responsabilizarse de la gestión de seguridad de todas las interfaces del sistema (tanto internas como externas), así como de los medios por los que se aportará una justificación adecuada de seguridad del sistema en las distintas etapas del ciclo de vida del sistema.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 4.1.5. Se deberá tener en cuenta los factores humanos en los estudios de seguridad y demostrar que el diseño es consistente con la minimización del error humano (en la medida que sea factible) y con la optimización de la eficiencia de los procedimientos operativos. Esta demostración se llevará a cabo mediante el uso de técnicas reconocidas de ergonomía, de error humano y de análisis de tareas con referencia apropiada al método de operación propuesto del sistema. Las suposiciones relacionadas a procedimientos y dotación de personal serán claramente definidas por el Concesionario.
- 4.1.6. El Concesionario desarrollará y mantendrá un registro de riesgos para todos los peligros identificados, incluyendo los requisitos de seguridad asociados a cada peligro para asegurar que el riesgo relacionado al peligro sea controlado a un nivel aceptable. Dicho registro formará parte de la documentación de prueba de seguridad.
- 4.1.7. El Concesionario garantizará al Cliente las aprobaciones de seguridad del sistema, mediante la aceptación de los dossiers de seguridad de sus sistemas/subsistemas, así como, en su caso, a través de la entrega de certificados o documentos equivalentes, emitidos por un ISA u otro organismo competente de certificación reconocido, para validar la seguridad de productos o aplicaciones genéricos.
- 4.1.8. El Concesionario deberá contratar un ISA para evaluar de manera independiente el proceso de gestión de seguridad y sus resultados a lo largo del proyecto hasta la puesta en servicio. El entregable final del ISA será un Informe de Evaluación Final de la línea, atestando la idoneidad del sistema de transporte para cumplir con sus requisitos de seguridad en conformidad con las normas EN 50126/50128/50129.
- 4.2. Criterios de aceptación de seguridad
  - 4.2.1. Matriz de riesgos
    - 4.2.1.1. Para clasificar y evaluar los riesgos con respecto a su aceptabilidad, el Concesionario utilizará una matriz de riesgos como tal definido en la tabla a continuación:

## Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

## Parte 3: Requisitos de RAMS

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

|            |            | Gravedad       |        |         |              |
|------------|------------|----------------|--------|---------|--------------|
|            |            | Insignificante | Mínimo | Crítico | Catastrófico |
| Frecuencia | Frecuente  | R3             | R4     | R4      | R4           |
|            | Probable   | R2             | R3     | R4      | R4           |
|            | Ocasional  | R2             | R3     | R3      | R4           |
|            | Remoto     | R1             | R2     | R3      | R3           |
|            | Improbable | R1             | R1     | R2      | R2           |
|            | Increíble  | R1             | R1     | R1      | R1           |

4.2.1.2. Los niveles de aceptabilidad de los riesgos indicados en la matriz de riesgos se definen según indicado en la tabla a continuación:

|           |                     |                                                                                                                                                                |
|-----------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R4</b> | <b>Intolerable</b>  | Debe eliminarse.                                                                                                                                               |
| <b>R3</b> | <b>Indeseable</b>   | Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable, y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria. Esta es la aplicación del principio ALARP. |
| <b>R2</b> | <b>Tolerable</b>    | Aceptable con control adecuado y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria                                                                                    |
| <b>R1</b> | <b>Despreciable</b> | Aceptable sin acuerdo alguno.                                                                                                                                  |

4.2.1.3. Las categorías de frecuencia de ocurrencia de riesgo utilizadas en la matriz de riesgos se definen según los criterios cualitativos y cuantitativos indicados en la tabla a continuación:

| CATEGORÍA  | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (POR HORA) | DESCRIPCIÓN                                                                                                             |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frecuente  | $P > 10^{-2}$                         | Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimentará continuamente.                                       |
| Probable   | $10^{-4} < P < 10^{-2}$               | Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.                                             |
| Ocasional  | $10^{-6} < P < 10^{-4}$               | Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.                                 |
| Remoto     | $10^{-7} < P < 10^{-6}$               | Es probable que se dé alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra. |
| Improbable | $10^{-9} < P < 10^{-7}$               | Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.                     |

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS**Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

| CATEGORÍA | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (POR HORA) | DESCRIPCIÓN                                                                          |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Increíble | $P < 10^{-9}$                         | Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro no ocurrirá. |

- 4.2.1.4. Las categorías de gravedad de riesgo utilizadas en la matriz de riesgos se definen según los criterios cualitativos indicados en la tabla a continuación:

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS****Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

## 4.2.1.5.

| <b>NIVEL DE GRAVEDAD</b> | <b>CONSECUENCIA PARA LAS PERSONAS O EL MEDIO AMBIENTE</b>                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Catastrófico             | Víctimas mortales y/o múltiples heridas graves y/o daños importantes al medio ambiente. |
| Crítico                  | Una sola víctima mortal y/o herida grave y/o daños señalados al medio ambiente          |
| Mínimo                   | Heridas menores y/o peligro señalada al medio ambiente                                  |
| Insignificante           | Posible herida menor                                                                    |

## 4.2.2. Principios de aceptación de seguridad

- 4.2.2.1. En complemento de la matriz de riesgos, se utilizará los principios de aceptación de seguridad definidos en los Métodos Comunes de Seguridad (MCS, según Reglamento ferroviario No 402/2013 de la Comisión Europea) para evaluar los riesgos.
- 4.2.2.2. Los MCS establecen tres (3) mecanismos posibles para aceptar un riesgo:
- 4.2.2.2.1. Justificación a través de normativa y códigos de buenas prácticas, reconocidos y validados por el Cliente
  - 4.2.2.2.2. Justificación a través un nivel de Seguridad equivalente a sistema de referencia con funciones y características similares y validado por el Cliente.
  - 4.2.2.2.3. Justificación a través una estimación explícita de nivel de riesgo, por la cual se utilizará la matriz de riesgos definida en 4.2.1 para evaluar la aceptabilidad del riesgo.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 4.2.2.3. Se deberá aplicar uno de los principios de aceptación de seguridad antes mencionados a cada peligro (o conjunto de peligros) identificado en los análisis de riesgos del Concesionario.

**4.3. Objetivos de seguridad**

**4.3.1. Objetivos de seguridad generales**

- 4.3.1.1. El Concesionario deberá demostrar que todos los peligros de seguridad que pueden ocurrir en la operación están controlados a un nivel de riesgo aceptable según el criterio ALARP (*tan reducido como razonablemente viable*), utilizando los principios de aceptación de seguridad definidos en 4.2.2 para estimar y evaluar los niveles de riesgos.
- 4.3.1.2. En caso de utilizar, para un peligro o un conjunto de peligros, los principios de seguridad 4.2.2.2.1 o 4.2.2.2.2, se considerará el riesgo asociado aceptable y ALARP, a condición de proveer la justificación y evidencias adecuadas en relación a la utilización de esos principios. En la matriz de riesgos, se clasificarán los riesgos evaluados con dichos principios a un nivel R1 o R2 sin que sea necesario estimar el nivel de frecuencia del riesgo de manera explícita.
- 4.3.1.3. En caso de un riesgo estimado a un nivel R3 (*no deseable*), se procederá a un análisis costo-beneficios para demostrar que el riesgo sea ALARP.

**4.3.2. Objetivos de seguridad SIL**

- 4.3.2.1. El Concesionario deberá realizar una asignación SIL a las funciones de seguridad del sistema implementadas por sistemas E/E/EP, utilizando una metodología basada sobre la matriz de riesgos y tomando en cuenta los factores de reducción de riesgos que pueden aplicar para reducir el riesgo derivado de una falla de una función de seguridad.
- 4.3.2.2. En complemento y, no obstante lo indicado anteriormente, el Concesionario deberá por lo mínimo proveer y demostrar los niveles de SIL indicados a continuación:



**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS****Parte 3: Requisitos de RAMS**Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

| Conjunto Funcional                           | Nivel SIL |
|----------------------------------------------|-----------|
| Enclavamiento y señales en línea             | SIL 4     |
| Enclavamiento y señales en Taller y Cocheras | SIL 2     |
| Motores de aguja en línea                    | SIL 4     |
| Motores de aguja en Taller y Cocheras        | SIL 2     |
| Protección del Tren/Control de Franqueo      | SIL 2     |
| Detección de Tren                            | SIL 2     |
| Control de cruce de vía con barreras         | SIL 2     |

4.3.2.3. La implementación y la demostración de los niveles SIL se deberá realizar en conformidad con las disposiciones de la norma EN 50129.

4.3.2.4. En caso de utilización de software para implementar una función de seguridad con un nivel SIL, se deberá seguir las disposiciones de la norma EN 50128.

#### 4.4. Requisitos de protección contra incendios

4.4.1. El Concesionario deberá proveer medidas de protección contra incendios en conformidad con la norma NFPA 130.

4.4.2. En particular, el Concesionario deberá:

4.4.2.1. Realizar estudios de evacuación de las estaciones en base la demanda de la línea, así como la capacidad de los trenes para demostrar cumplimiento con los criterios de tiempo de evacuación de la norma NFPA 130. La metodología utilizada para los cálculos de evacuación deberá ser presentada al Cliente para su validación.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

Fecha 14/08/2019 **ADENDA 2**

- 4.4.2.2. Proveer en las inter-estaciones rutas de evacuación y accesos a servicio de emergencia según los requisitos de NFPA 130.
    - 4.4.2.3. Proveer medidas de protección contra incendios activas y pasivas en las estaciones en acuerdo con la norma NFPA 130. Se deberá cumplir con las normas a las cuales se refiere la norma NFPA 130 o alternativamente con otras normas nacionales o internacionales equivalentes de protección contra incendios validadas por el Cliente.
    - 4.4.2.4. Establecer protocolos de evacuación y procedimientos de emergencia para atender a las situaciones de emergencia y accidentes que podrían ocurrir durante la operación del sistema.
  - 4.4.3. El Concesionario redactará y entregará en la Fase Previa un Informe de protección contra incendios, en el cual se presentarán las medidas de protección contra incendio del Sistema y su conformidad con la norma NFPA 130.
- 4.5. Demostración de seguridad
  - 4.5.1. Casos de seguridad de diseño.
    - 4.5.1.1. Al final de Fase Previa, el Concesionario entregará casos de seguridad de diseño de sus sistemas para demostrar que el diseño del sistema cumple con los requisitos y objetivos de seguridad.
    - 4.5.1.2. Se utilizará la estructura definida en la norma EN 50129 para el caso de seguridad del sistema de señalización. Para los demás sistemas, el Concesionaria podrá proponer otra estructura, la cual se definirá en el Plan de Aseguramiento del Sistema para no objeción del Interventor.
  - 4.5.2. Registro de potenciales afectaciones a la operación

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

- 4.5.2.1. El Concesionario entregará un registro de situaciones identificadas como potenciales afectaciones a la operación en la Fase Previa, en el cual se registrarán todos los peligros identificados a nivel Sistema global y sistemas, su nivel de riesgo, así como las medidas de mitigación y/o requisitos de seguridad relacionados a los peligros. Incluirá evidencias de cumplimiento de los requisitos en el diseño.
- 4.5.2.2. El Registro de situaciones identificadas como potenciales afectaciones a la operación deberá identificar las entidades responsables de implementar y demostrar los requisitos de seguridad. En particular el Registro de situaciones identificadas como potenciales afectaciones a la operación identificará claramente los requisitos asignados al Operador y Mantenedor del Sistema.
- 4.5.2.3. El Registro de situaciones identificadas como potenciales afectaciones a la operación se actualizará con el avance del Proyecto y se entregará una versión final antes la puesta en servicio con evidencias de verificación y validación del cierre de los requisitos de seguridad.
- 4.5.2.4. El Concesionario mantendrá y actualizará el Registro de situaciones identificadas como potenciales afectaciones a la operación durante la fase de operación comercial.
- 4.5.3. Casos finales de seguridad
  - 4.5.3.1. El Concesionario entregará casos de seguridad finales de sus sistemas para demostrar que están cumplidos los requisitos y objetivos de seguridad al final de la fase de verificación y validación de los sistemas.
  - 4.5.3.2. Antes del inicio de la Etapa de Operación y Mantenimiento, el Concesionario deberá entregar un caso de seguridad de operación de la línea, el cual además de apoyarse sobre los casos de seguridad finales para demostrar la seguridad técnica del Sistema. Deberá mostrar en particular que los requisitos de seguridad asignados al Concesionario están cumplidos a través evidencias de procedimientos de operación y mantenimiento adecuados.

**Apéndice Técnico 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Parte 3: Requisitos de RAMS**

**Fecha 14/08/2019 ADENDA 2**

4.6. Entregables de seguridad

4.6.1. El Concesionario detallara en su Plan de Aseguramiento del Sistema (PAS) la lista de entregables de seguridad que entregará durante cada fase del Proyecto, indicando cuales se entregaran a nivel Sistema global y cuales se entregaran a nivel sistemas/subsistemas

4.6.2. La lista deberá incluir como mínimo los documentos siguientes:

- Plan de Seguridad (a nivel sistemas/subsistemas)
- Análisis Preliminar de Riesgos.
- Informe de asignación SIL
- Análisis de riesgos sistemas incluyendo análisis de riesgos a las interfaces
- Informe de Protección contra Incendios.
- Listado de Elementos Críticos de Seguridad
- Casos de seguridad de diseño
- Registro de Riesgos
- Casos de seguridad técnica finales
- Caso de seguridad de operación de la línea
- Informes de evaluación del ISA