



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



SISTEMA
DE TRANSPORTE
COLECTIVO

No. Clave:

2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

FECHA: Enero 2020

HOJA: 1 de 68

TÍTULO:

**ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE
COMUNICACIÓN Y CONTROL**

ESTACIÓN / TRAMO:

LINEA 1 DE OBSERVATORIO A PANTITLÁN

RESPONSABLES:

ING. ING. OMAR MOYA RODRÍGUEZ

REVISÓ:

ING. J. RAMÓN VÁZQUEZ DEL MERCADO

ELABORÓ:

STC

FICHA DE SEGUIMIENTO DE LAS REVISIONES

No.	Descripción de la Modificación	Fecha
1	VALIDACIÓN DEL DOCUMENTO	23/ENERO/20

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	CONTEXTO DEL PROYECTO DE LA MODERNIZACIÓN DE LA LÍNEA 1.....	5
1.2	OBJETIVO.....	8
1.3	ALCANCE	9
2	ABREVIATURAS Y DEFINICIONES	10
2.1	ABREVIACIONES	10
2.2	DEFINICIONES	14
3	NORMAS	15
4	SISTEMAS INCLUIDOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO	19
5	REQUERIMIENTOS PARA ASEGURAMIENTO DE SEGURIDAD.....	19
5.1	REQUERIMIENTOS GENERALES DE SEGURIDAD.....	19
5.2	REQUERIMIENTOS ORGANIZACIONALES DE SEGURIDAD	21
5.2.1	<i>Gerente de Aseguramiento de Seguridad.....</i>	<i>21</i>
5.2.2	<i>Gerente de Aseguramiento de Calidad.....</i>	<i>21</i>
5.2.3	<i>Evaluador Independiente de Seguridad (ISA).....</i>	<i>21</i>
5.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD.....	22
5.3.1	<i>Ciclo de vida de Desarrollo y documentación.....</i>	<i>22</i>
5.3.2	<i>Plan de Seguridad de Sistema.....</i>	<i>22</i>
5.3.3	<i>Política de Seguridad.....</i>	<i>23</i>
5.3.4	<i>Criterios de Aceptación de Seguridad y Riesgo.....</i>	<i>23</i>
5.3.5	<i>Diseño.....</i>	<i>24</i>
5.3.5.1	<i>Análisis Preliminar de Riesgo.....</i>	<i>24</i>
5.3.5.2	<i>Registro de Peligros.....</i>	<i>24</i>
5.3.5.3	<i>Estudios de Seguridad de Diseño</i>	<i>25</i>
5.3.5.4	<i>Lista de Elementos Críticos de Seguridad</i>	<i>27</i>
5.3.5.5	<i>Dossier de Seguridad de Diseño</i>	<i>27</i>
5.3.6	<i>Fabricación e Instalación.....</i>	<i>28</i>
5.3.7	<i>Pruebas en Sitio y Pruebas de Sistema Integrado.....</i>	<i>29</i>
5.3.8	<i>Prueba de Seguridad.....</i>	<i>30</i>
5.3.9	<i>Gestión Continua de Seguridad.....</i>	<i>31</i>
5.3.10	<i>Dossiers de Seguridad (Migración y Final).....</i>	<i>31</i>
5.4	REQUERIMIENTOS DE GESTIÓN DE SEGURIDAD	32
5.4.1	<i>Plan de aseguramiento de calidad.....</i>	<i>32</i>
5.4.2	<i>Proceso de aseguramiento de calidad.....</i>	<i>32</i>
5.4.3	<i>Gestión de configuración del sistema.....</i>	<i>32</i>
5.4.4	<i>Gestión del proyecto</i>	<i>32</i>
5.4.5	<i>Punto de Retención entre Instalación y actividades T&C</i>	<i>33</i>
5.4.6	<i>Actividades T&C.....</i>	<i>33</i>
6	OBJETIVOS DE SEGURIDAD	34



TÍTULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 2 DE 68

6.1	DEFINICIÓN DE RIESGO Y CATEGORIZACIÓN.....	34
6.2	FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE PELIGROS	34
6.3	GRAVEDAD DE LOS PELIGROS.....	35
6.4	MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	35
6.5	ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE RIESGO.....	36
6.6	NEXOS ENTRE LOS OBJETIVOS DE SEGURIDAD Y SILS	37
6.7	IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES SIL 4, SIL 3, SIL 2 Y SIL 1	37
6.8	TÉCNICAS DE SEGURIDAD A UTILIZAR.....	37
6.9	OBJETIVOS DE SEGURIDAD SIL.....	39
6.10	SEGURIDAD DE LOS INTERFACES	39
7	ENTREGABLES DE SEGURIDAD	39
8	REQUERIMIENTOS PARA ASEGURAMIENTO DE FMD	40
8.1	REQUERIMIENTOS GENERALES DE FMD	40
8.2	REQUERIMIENTOS ORGANIZACIONALES DE FMD	41
8.3	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE FMD.....	41
8.3.1	<i>Ciclo de vida de Desarrollo y documentación.....</i>	<i>41</i>
8.3.2	<i>Plan FMD de Sistema.....</i>	<i>41</i>
8.3.3	<i>Diseño.....</i>	<i>42</i>
8.3.3.1	Recopilación de datos y suposiciones de la operación	43
8.3.3.2	Diagramas de bloque de fiabilidad	43
8.3.3.3	Asignación de FMD.....	43
8.3.3.4	Modo de Fallas, Análisis de Efectos y Criticidad.....	43
8.3.3.5	Predicción de Fiabilidad y Disponibilidad	43
8.3.3.6	Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad.....	44
8.3.3.7	Predicción de mantenimiento	45
8.3.3.8	Cálculo de la cantidad de Piezas de Repuesto	45
8.3.3.9	Informe FMD.....	46
8.3.4	<i>Fabricación e Instalación.....</i>	<i>46</i>
8.3.4.1	Seguimiento de cambios de diseño.....	46
8.3.4.2	Sistema de Comunicación de Fallos y Medidas Correctoras	46
8.3.4.3	Plan de demostración de FMD.....	47
8.3.4.4	Demostración de mantenimiento	47
8.3.5	<i>Pruebas en Sitio y pruebas de sistema integrado.....</i>	<i>47</i>
8.3.6	<i>Marcha en vacío y período de garantía</i>	<i>48</i>
8.4	REQUERIMIENTOS DE GESTIÓN DE FMD	48
9	OBJETIVOS FMD	48
9.1	CATEGORÍAS DE FALLA.....	48
9.2	OBJETIVOS FMD.....	50
9.2.1	<i>Disponibilidad Global Técnica</i>	<i>50</i>
9.2.2	<i>Disponibilidad del Servicio y Puntualidad.....</i>	<i>51</i>
9.2.2.1	Disponibilidad del Servicio.....	51
9.2.2.2	Puntualidad de los trenes.....	51
9.3	OBJETIVOS FMD DE LOS TRENES.....	52
9.3.1	<i>Disponibilidad.....</i>	<i>52</i>
9.3.2	<i>Fiabilidad.....</i>	<i>52</i>
9.3.2.1	Averías Categoría 1 y Nivel de MDBF Especificado.....	52



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 3 DE 68

9.3.2.2	Averías Categoría 2 y Nivel de MDBF Especificado.....	53
9.3.2.3	Averías Categoría 3 y Nivel de MDBF Especificado.....	54
9.3.2.4	Especificación de la Fiabilidad por Sistema	54
9.3.3	<i>Mantenibilidad</i>	57
9.4	OBJETIVOS FMD DE LOS SISTEMAS.....	57
9.4.1	<i>Señalización CBTC</i>	57
9.4.2	<i>Puertas de Andén</i>	58
9.4.3	<i>Vía</i>	59
9.4.4	<i>Energía y Lógica de Tracción</i>	60
9.4.5	<i>Equipamientos de Talleres y Garajes</i>	61
9.4.6	<i>Mando Centralizado</i>	61
9.4.7	<i>Redes de comunicaciones</i>	62
9.4.8	<i>Telefonía</i>	63
9.4.9	<i>Radio</i>	64
9.4.10	<i>CCTV</i>	65
9.4.11	<i>Información a Pasajeros</i>	65
9.4.12	<i>Sonorización</i>	66
9.4.13	<i>Aire Acondicionado y/o Ventilación forzada</i>	67
10	ENTREGABLES FMD	68



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 4 DE 68

1 INTRODUCCIÓN

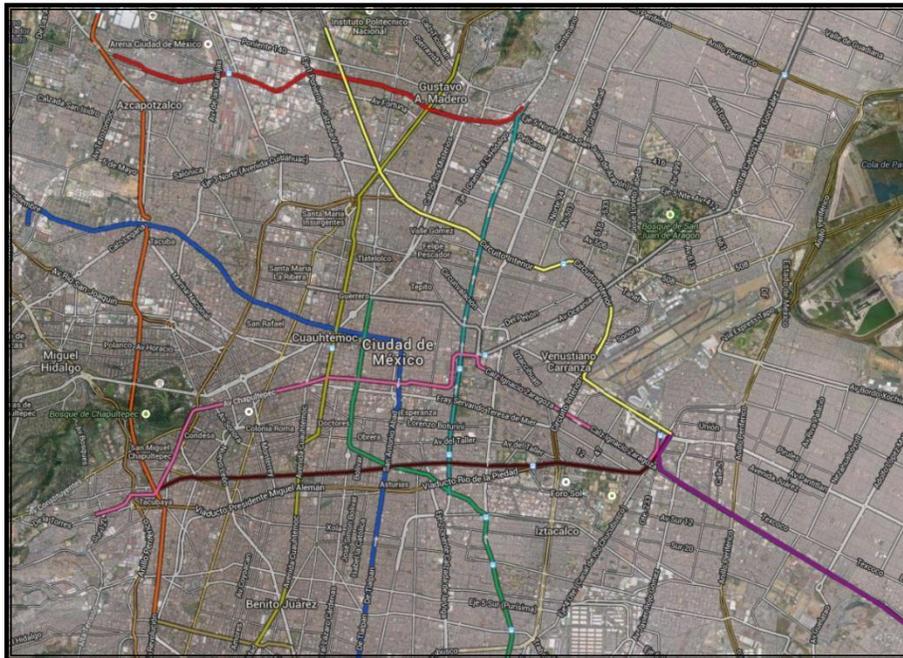
1.1 Contexto del Proyecto de la Modernización de la Línea 1.

El metro de la Ciudad de México es un sistema de transporte público que sirve a extensas áreas del Distrito Federal y parte del Estado de México. Sirve a una población de 20 millones de habitantes.

Su operación y operación está a cargo del organismo público descentralizado denominado Sistema de Transporte Colectivo (STC).

El metro de la Ciudad de México cuenta con 12 líneas. El parque vehicular está formado por trenes de rodadura neumática en diez líneas, y trenes férreos en las líneas A y 12. La longitud total de la red es de 225,9 km, con 195 estaciones. El metro está construido de forma subterránea (115 estaciones), superficial (55 estaciones) y viaducto elevado (25 estaciones). 10 184 estaciones se encuentran en el Distrito Federal y 11 en el Estado de México.

La Línea 1 del Metro de la Ciudad de México es la línea más antigua de la red, entró en operación el 4 de septiembre de 1969. Tiene un total de 20 estaciones y un tramo de 18,828 km de los cuales 16,654 km se usa para servicio y el restante para maniobras, todas de forma subterránea, sólo Observatorio que es una estación en superficie.



La Línea 1 es la segunda más utilizada de la red, con una afluencia total de 243 millones usuarios en 2018. Esta línea se intersecta con la Líneas 5, 9 y A en la estación Pantitlán, la



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



HOJA: 5 DE 68

Línea B en San Lázaro, la Línea 4 en Candelaria, la Línea 2 en Pino Suárez, la Línea 8 en Salto del Agua, la Línea 3 en Balderas y la Líneas 7 y 9 en Tacubaya.



El objetivo final consiste en la modernización del Sistema Integral de Control de Trenes con Pilotaje Automático 135 KHz por el Sistema CBTC.

Cuatro etapas principales deben considerarse

1. Rehabilitar las vías de la Línea de fondo de OBS a fondo de PAN
2. Adquisición de 30 trenes y equipamiento con CBTC
3. Instalar CBTC de tipo GoA3 con algunas funciones del CBTC GoA4
4. Incorporar 10 Trenes NM16 con PA 135khz a CBTC y equipamiento asociado (CCTV, LTE, SMV, entre otros).

Además el Licitante ganador deberá considerar lo siguiente:

1. Durante el día, la Línea será operada en servicio comercial con PA 135 khz
2. Durante la noche, la línea se instalará y probará en CBTC
3. La línea operada en forma mixta durante las etapas de migración.



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 6 DE 68

Las características principales de la línea son las siguientes:

INTERESTACIÓN	LONGITUD DE INTERESTACIÓN (m)
Pantitlán - Zaragoza	1320
Zaragoza - Gómez Farías	762
Gómez Farías - Boulevard Puerto Aéreo	611
Boulevard Puerto Aéreo - Balbuena	595
Balbuena – Moctezuma	703
Moctezuma - San Lázaro	478
San Lázaro – Candelaria	866
Candelaria – Merced	698
Merced - Pino Suárez	745
Pino Suárez – Isabel la Católica	382
Isabel la Católica – Salto del Agua	445
Salto del Agua – Balderas	458
Balderas – Cuauhtémoc	409
Cuauhtémoc – Insurgentes	793
Insurgentes – Sevilla	645
Sevilla – Chapultepec	501
Chapultepec – Juanacatlán	973
Juanacatlán – Tacubaya	1,158
Tacubaya – Observatorio	1,262



TÍTULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 7 DE 68

Otras características	
Trenes	45
Ancho trenes	2,50 m
Longitud máxima del tren	150.9 metros
Intervalo	105 s
Intervalo mínimo práctico	90 s
pendiente máxima con la estación Observatorio actual	6,8%
pendiente máxima con la futura estación Observatorio	3%
Velocidad máxima de la línea	70 km/h
Tiempo de estacionamiento mínimo	15 s
Pendiente máxima en estación	0.3%
Andenes	Alineamiento recto

1.2 Objetivo.

Este documento constituye la especificación de los requerimientos FMDS para el proyecto de la modernización de la línea 1 de México.

El proyecto de la modernización de la línea 1 de México, desde ahora llamado, el Proyecto, se desarrollará aplicando los estándares más altos para Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Seguridad (FMDS) o RAMS, en inglés.

FMDS consta con dos partes:

- La actividad de Seguridad trata sobre el manejo de los riesgos. Básicamente, los riesgos se deben manejar (es decir identificar, evaluar y mitigar) y luego se deberán cerrar antes de la puesta en Servicio Comercial. La mayor parte de las actividades de Seguridad se

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FMDS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 8 DE 68

debe realizar antes de la Puesta en Servicio de tal forma que la seguridad sea garantizada desde el primer día.

- La actividad FMD trata sobre asegurar un alto nivel de disponibilidad del sistema, para lograr el mejor servicio a los pasajeros. Se deberá ofrecer un nivel de servicio definido a los pasajeros al momento de la puesta en Servicio Comercial e irá aumentando durante los años.

Este documento contempla los dos aspectos anteriormente mencionados e indica tanto los Objetivos de Seguridad como los Objetivos FMD, es decir los valores reales que se deben alcanzar. Además, un apéndice específico trata de los Requerimientos de Aseguramiento de Software FMDS.

El propósito de este documento es definir los principios centrales que debe implementar el Licitante ganador para poder gestionar los requerimientos de FMDS a través del Proyecto.

Estos principios son definidos por cualquier sistema. Si un requerimiento no se aplica a un sistema, el Licitante ganador correspondiente deberá mencionarlo y justificarlo por escrito.

Estos principios se aplicarán a cualquier Licitante ganador involucrado en el desarrollo de los sistemas relacionados con la seguridad y el FMD del Proyecto.

La meta de la gestión de seguridad es prevenir la ocurrencia de fallas aleatorias y fallas sistemáticas sobre la totalidad del ciclo de vida del sistema.

La finalidad de la gestión de FMD es asegurar que los requisitos FMD del sistema se implementen de tal forma que todo el Sistema de Transporte asegure un alto nivel de servicio a los pasajeros.

Por lo tanto, este documento abarca los temas de seguridad y FMD en término de calidad, metodológicos y técnicos, operacionales y de gestión de los sistemas/subsistemas.

1.3 Alcance

Este documento abarca desde la etapa de Diseño hasta la Construcción del Proyecto.

Los Requerimientos definidos dentro de este documento se deberán aplicar al sistema, incluyendo sus interfaces con todos los sistemas relacionados a la seguridad y FMD en particular.

De forma general, el Licitante ganador deberá demostrar e implementar su habilidad para cumplir en todas las etapas del proceso de gestión de seguridad y FMD desde los Requerimientos del sistema hasta las actividades de Validación del sistema. Los Requerimientos de Seguridad y FMD que se refieren a las actividades O&M también deberán ser identificados por el Licitante ganador.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 9 DE 68

Para poder hacer un panorama de esto, el apéndice de este documento propone un modelo para el ciclo de vida del sistema. El apéndice además entrega las responsabilidades de seguridad y de FMD correspondientes a las partes Interesadas del Proyecto, basado en las Normas.

Los Requerimientos del Costo de Ciclo de Vida no se abordan en este documento.

2 ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

2.1 Abreviaciones

Abreviaturas	
AA	Ruptor (Advertidor de Alarmas)
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (Tan Reducido Como Razonablemente Viable)
AMFEC	Análisis de modos de fallo, de efecto y criticidad
ATC	Automatic Train Control (Control Automático del Tren)
ATP	Automatic Train Protection (Proteccion Automática de Trenes)
ATS	Automatic Train Supervision (Sistema de Control y de Supervisión de Trafico)
CBTC	Communication Based Train Control (Control de Trenes Basado en Comunicaciones)
CCTV	Circuito Cerrado de Televisión
CFE	Comisión Federal de la Electricidad
CS	Contactador de Seccionamiento
CT	Contactador de Terminal
CTP o CP	Contactador de Tramo de Protección
CUFS	Corte de Urgencia Fuera de servicio
DAMT	Disyuntor Interruptor de Media Tensión al nivel SR
DCS	Data Communication System (Sistema de Comunicación de Datos)
DG	Disyuntor General
DMT	Disyuntor de Media Tensión al nivel SEAT
DP	Detención Progresiva de la Operación
DZ	Disyuntor de Zona
DNB	Detectores Neumático Bajo
DUR	Disyuntor Ultra-Rápido



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 10 DE 68

Abreviaturas	
E&M	Eléctrico y Mecánico
FU	Frenado de Urgencia
FMDS	Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Seguridad
FMECA	Failure Mode Effects Criticality Analysis (Modo de Fallas, Analisis de Efectos Criticos)
FRACAS	Failure Reporting Analysis and Corrective Action System (Sistema de Comunicacion de Fallos y Medidas Correctoras)
GED	Gestión electrónica de documentos
GOA	Grade Of Automation (Nivel de Automatización)
HL	Hazard Log (Registro de Peligro)
HPS	High Pression Sodium (Sodio de Alta Presión)
HTML	Hyper Text Markup Language (Lenguaje de Marcas de Hipertexto)
IAT	Interruptor de Aislamiento Telemandado
IBAF	Interruptor de Barra (puente) de Alumbrado y Fuerza
IBT	Interruptor de Barra (puente) de tracción
IHA	Interface Hazards Analysis (Análisis de Peligros de Interfaces)
IHM	Interfaz Hombre Máquina
IXL	Interlocking (Lógica de Enclavamiento Informatizada)
IL	Incidente en Línea o Interruptor de Llegada
ISA Proyecto	Independent Safety Assessor (Evaluador independiente de Seguridad) del Empleador
ISA	Independent Safety Assessor (Evaluador independiente de Seguridad) del Licitante
ISwA	Independent Software Assessor (Evaluador independiente de Software) del Licitante ganador
IT:	Intervenciones
IVS	Interruptor de Via Secundaria



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FMDS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA
 CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 11 DE 68

Abreviaturas	
KFS	Palanca de Emergencia del tren (Conmutador de Freno de Seguridad)
KVM	Keyboard Video Mouse
LRU	Line Replaceable Unit (Unidad Remplazable de línea)
MDBF	Mean Distance Between Failure (Distancia Media Entre Fallos)
MKBF	Mean Kilometers Between Failure (Kilometros Medios Entre Fallos)
MTBF	Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallos)
MTBSF	Mean Time Between Service Failures (Tiempo Medio Entre Fallos afectando el Servicio)
MTTR	Mean Time To Repair (Tiempo Medio Para Reparación)
NA	Normalmente Abierto
NC	Normalmente Cerrado
NMS:	Network Management System (Sistema de Gestión de Red)
NTP	Network Time Protocol (Protocolo de Tiempo de Red)
O&M	Operacion y Mantenimiento
O&SHA	Operating & Support Hazard Analysis (Análisis de Peligros de la Operacion)
OCC	Operation Control Centre (Centro de Control de Operacional)
OPC	OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control
OT	Orden de trabajo
PA	Pilotaje Automático
PCC	Puesto Central de Control
PCE	Puesto de Control de la Energía
PDA	Puertas De Anden
PDC	Puesto Despacho de Carga
PHA	Preliminary Hazard Analysis (Análisis Preliminar de Riesgos)
PK	Punto Kilométrico
PML	Puesto de Mando de Línea



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 12 DE 68

Abreviaturas	
PMT	Puesto de Maniobras de Taller
RMS	Red Multiservicios
RTU	Remote Teletransmission Unit (Unidad de Teletransmisión Remota)
SAA	Seccionador de Aislamiento Automático
SAF	Subestación de Alumbrado y Fuerza
SAV	Sistemas Audio Visuales
SAM	Sistema Ayuda al mantenimiento
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Control Supervisorio y Adquisición de Datos)
SEAT	Subestación Eléctrica de Alta Tensión
SF	Subestación de Fuerza
SHA	System Hazards Analysis (Análisis de Peligros Sistema)
SIL	Safety Integrity Level (Nivel de Integridad de la Seguridad)
SIT	Seccionador de Aislamiento Telemandado
SNMP	Simple Network Management Protocol (Protocolo Simple de Manejo de Red)
SR	Subestación de Rectificación
SP	Servicio Provisional
SSO	Servicio de Seguridad Ordenado
STC	Sistema de Transporte Colectivo
SV	Seccionador de Vía
T&C	Testing & Commissioning (Prueba y Puesta en Servicio)
TCO	Tablero de Control Óptico
TFTP	Trivial File Transfer Protocol (Protocolo Trivial de Transferencia de Archivos)
TT	Testigo de tensión (presencia de Tensión)
UPS	Uninterruptible Power Supply
UTO	Unattendant Train Operation (Operación de tren sin Conductor)
VLD-F-O	Limitador de Voltaje tipo F y tipo O



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA
 CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 13 DE 68

2.2 Definiciones

Autoridad de Seguridad	A menudo, un organismo del gobierno nacional responsable de fijar o acordar para un sistema ferroviario, los requisitos de seguridad y de garantizar que cumpla dichos requisitos. [N 13]. STC designara la autoridad competente para desempeñar este rol.
Licitante ganador	Cualquier compañía(s) contratada por el Empleador para realizar el diseño y construcción del Sistema de Transporte. Responsable de suministrar las evidencias sobre las que la Autoridad de Seguridad relevante y/o un Asesor de Seguridad Independiente podrán entregar la autorización para operar el Sistema de Transporte. Responsable de todos los suministros de su(s) SubLicitante ganador(s)
Disponibilidad	La capacidad que tiene un producto de hallarse en situación de realizar una función requerida en condiciones determinadas en un momento dado o durante un intervalo de tiempo señalado, suponiendo que se faciliten los recursos externos requeridos. [N13]
Empleador	Sistema de Transporte Colectivo (STC)
Mantenedor	La entidad que será responsable por el mantenimiento del sistema.
Mantenibilidad	La probabilidad de que una acción dada de mantenimiento activo, correspondiente a un elemento en unas condiciones de utilización dadas, pueda ser llevada a cabo en un intervalo establecido de tiempo cuando el mantenimiento se realiza en condiciones establecidas y se utilizan procedimientos y recursos establecidos. [N 13]
Misión	Una Misión es un recorrido completo de un tren. Por ejemplo, desde su terminal de salida planificado hasta su terminal de llegada planificado.
Misión cancelada	Es una Misión que no se ha iniciado hasta la hora programada de salida de la siguiente Misión (falla en el despacho) o una Misión que finalizó antes de llegar a su terminal de llegada planificado (retiro del servicio)
Operador	La entidad que será responsable por la operación del Sistema de Transporte.
Peligro	Una situación física que encierra posibilidades de que se produzcan lesiones humanas. [N 13]

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
Proyecto	Proyecto de la modernización de la Línea 1 de México
Riesgo	La tasa probable de ocurrencia de un peligro que ocasione daño, y el grado de severidad de dicho daño. [N 13]
Seguridad	Ausencia de riesgo inaceptable de daño. [N 13]
Sistema de Transporte	El Sistema de Transporte Colectivo de la Línea 1 de México
SubLicitante ganador	Un proveedor de subsistema responsable por el diseño, fabricación, entrega, instalación, y puesta en servicio de un subsistema.
Tasa de falla	Número de fallas por período, distancia o ciclo.
Tren	Un conjunto de uno o dos vehículos acoplados y operando como una sola unidad conforme a un horario.
Validación	Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que los requisitos particular es para un uso específico pretendido han sido cumplidos. [N 13]
Verificación	Confirmación mediante examen y aportación de pruebas objetivas de que los requisitos específicos han sido cumplidos. [N 13]

3 NORMAS

Ref. N°	Referencia	Descripción	
N1	IEC 61810	Relevadores electromagnéticos elementarios	
N2	IEC 60073	Colores de los indicadores luminosos y botones	
N3	IEC 60144	Grados de protección de los envoltentes de los equipos de Baja Tensión y de	
N4	NFF 70030	Relevadores electromecánicos de seguridad	



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 15 DE 68

Ref. N°	Referencia	Descripción	
N5	NFF 55202	Reglas de interfaz de un Sistema Nuevo con las instalaciones de seguridad con relevadores	
N6	NFF55204	Esquemas de instalaciones eléctricas de señalización	
N7	IEC 60051	Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories	
N8	IEC 60127	Cartridge fuse-links for miniature fuses	
N9	IEC 60439	Low-voltage switchgear and controlgear assemblies	
N10	IEC 61034-1	Common test methods for cables under Fire Condition- Measurement of smoke	
N11	EN50091-1	Especificación para UPS – 1 : Necesidades generales y de seguridad	
N12	EN50091-2	Especificación para UPS – 2 : Necesidades de Compatibilidad	
N13	EN 50126 (IEC 62278)	Aplicaciones Ferroviarias - Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (FMDS)	
N14	EN 50128 (IEC 62279)	Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Software para sistemas de control y protección de ferrocarril	
N15	EN 50129 (IEC 62425)	Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización	
N16	EN 50159-1 (IEC 62280-1)	Railway applications - Communication, Signalling and processing systems - Part 1: Safety-related communication in closed transmission systems	



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 16 DE 68

Ref. N°	Referencia	Descripción	
N17	EN 50159-2 (IEC 62280-2)	Railway applications - Communication, Signalling and processing systems - Part 2: Safety related communication in open transmission	
N18	EN 50265-1 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for resistance to vertical flame propagation for a single insulated conductor or cable. Part 1: Apparatus	Cables: no propagador de fuego
N19	EN 50265-2-1 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for resistance to vertical flame propagation for a single insulated conductor or cable. Part 2-1: Procedures- 1kW pre-mixed flame	
N20	EN 50265-2-2 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for resistance to vertical flame propagation for a single insulated conductor or cable. Part 2-2 : Procedures- Diffusion Flame	
N21	EN 50266-1 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 1 : Apparatus	Cables : no propagador de fuego
N22	EN 50266-2-1 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-1 : Procedures- Category A F/R	
N23	EN 50266-2-2 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-2 : Procedures- Category A	

Ref. N°	Referencia	Descripción	
N24	EN 50266-2-3 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-2 : Procedures- Category B	
N25	EN 50266-2-4 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-2 : Procedures- Category C	
N26	EN 50266-2-5 (IEC 60332)	Common Test methods for cables under fire conditions. Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables. Part 2-2 : Procedures- Category D	
N27	EN 50267-2.1 (IEC 60754 -1)	Test on gases evolved during combustion of materials from cables Part 2.1: procedures – Determination of the amount of halogen acid gas	Cables : sin halógeno y con índice bajo de toxicidad del humo
N28	EN 50267-2.2 (IEC 60754 -2)	Test on gases evolved during combustión of materials from cables Part 2.2: procedures – determination of degree acidity of gases for materials by measuring Ph and conductivity	
N29	IEC 61034-1	Common test methods for cables under Fire Condition- Measurement of smoke density	
N30	EN 62267 (IEC 62267)	Railway applications – Automated urban guided transport (AUGT) – Safety Requirements	
N31	ISO 9001	Sistemas de gestión de la Calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño, el desarrollo, la producción, la instalación y el servicio	



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 18 DE 68

Ref. N°	Referencia	Descripción	
N32	ISO/IEC 90003:2004	Software engineering -- Guidelines for the application of ISO 9001:2000 to computer software	
N33	Cables « K23 », « K22 »	RATP standard Se acepta estándar equivalente	Estándar de la RATP para los cables de enlace de seguridad (bucle de ruptores): sin halógeno, no emisor de humo toxico, no propagador de fuego

Se aplicaran las normativas en sus versiones aplicables a la fecha de firma del contrato de los contratistas de los sistemas de Especialidad del proyecto de la modernización de la línea 1 de México.

4 SISTEMAS INCLUIDOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO

Los sistemas del Sistema de Transporte Colectivo en el alcance de este documento son:

- El Material Rodante,
- La Señalización CBTC
- Las Puertas de andén,
- Lógica de Tracción,
- Mando Centralizado,
- Telecomunicaciones,
- Talleres y Garajes.

5 REQUERIMIENTOS PARA ASEGURAMIENTO DE SEGURIDAD

5.1 Requerimientos Generales de Seguridad

La gestión de los riesgos de seguridad deberá incluir aquellos riesgos relacionados a la prevención de la muerte, lesiones y pérdida de material (es decir daño a la propiedad).

El Licitante ganador realizará identificaciones proactivas de peligro relacionadas al sistema y cuando sea razonablemente viable, se debe eliminar o mitigar los peligros en las etapas de diseño.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 19 DE 68

Cuando no sea razonablemente viable eliminar o mitigar dichos peligros en la etapa de diseño, se deberá realizar una evaluación de riesgo para asegurar que los riesgos asociados a peligros residuales sean en orden de prioridad:

- Minimizado en la etapa de diseño
- Mitigado donde sea posible, y
- Se podrá gestionar posteriormente.

La base de la gestión de riesgos de seguridad seguirá el principio " Tan Reducido Como Razonablemente Viable " (ALARP) según se describe en EN 50126 [N 13].

El Licitante ganador pondrá atención a las gestiones de seguridad de todas las interfaces del sistema (tanto internas como externas), y los medios por los que se garantizará la adecuada justificación de seguridad del sistema en distintas etapas en su ciclo de vida.

Para garantizar un enfoque sin problemas a la gestión de seguridad de todos los aspectos del sistema, el Licitante ganador asistirá al Empleador para identificar todos los riesgos que resulten de la Operación y Mantenimiento del sistema y dichos riesgos se pondrán en conocimiento del Empleador a través de un documento independiente denominado Condiciones de Aplicación Relacionadas con la Seguridad (SRAC: Safety Related Application Conditions).

El Licitante ganador considerará factores humanos en sus estudios de seguridad y demostrará que el diseño es consistente con la minimización de retraso o error humano, en la medida que sea factible, y la optimización de la eficiencia de los procedimientos operativos. Esta demostración se lleva a cabo mediante el uso de reconocidas técnicas de ergonomía, error humano y análisis de tareas con referencia apropiada al método de operación propuesto del sistema. Las suposiciones relacionadas a procedimientos y dotación de personal deberán definirse claramente por parte del Licitante ganador.

El Licitante ganador desarrollará y mantendrá un Registro de Peligro para todos los peligros identificados y dicho registro formará parte de la documentación de Prueba de Seguridad.

El Licitante ganador respaldará al Empleador para garantizar las aprobaciones de seguridad necesarias de la Autoridad de Seguridad competente. Un enfoque depende de la aceptación mutua por parte de la Autoridad de Seguridad de los Dossiers de Seguridad desde otros proyectos, los cuales ya se han evaluado, revisado y aprobado por una agencia independiente u otro reconocido organismo competente. Cualquiera sea el enfoque adoptado, el Licitante ganador es responsable de suministrar el nivel adecuado de documentación.

Para todos los sistemas que contengan software, el Licitante ganador aplicará la Norma EN 50128 [N 14] sobre todo su ciclo de vida como se indica en el apéndice de este documento.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 20 DE 68

5.2 Requerimientos Organizacionales de Seguridad

5.2.1 Gerente de Aseguramiento de Seguridad

La organización del Licitante ganador deberá incluir un Gerente de Aseguramiento de Seguridad.

El Gerente de Aseguramiento de Seguridad deberá ser independiente de los equipos a cargo del Diseño, Construcción, Fabricación y T&C. La organización del Licitante ganador deberá conformarse a la norma EN 50129 [N 15].

Para realizar sus tareas, el Gerente de Aseguramiento de Seguridad estará apoyado por ingenieros de seguridad, quienes estarán directamente bajo su cargo.

5.2.2 Gerente de Aseguramiento de Calidad

La Seguridad, al ser indisociable de la Calidad, la organización del Licitante ganador deberá incluir un Gerente de Aseguramiento de Calidad.

El Gerente de Aseguramiento de Calidad garantiza la calidad del sistema. Particularmente es responsable de la elaboración del Plan de Calidad del proyecto y de su aplicación.

5.2.3 Evaluador Independiente de Seguridad (ISA)

El Licitante ganador debe hacer evaluar por un ISA (contratado por el mismo) el Sistema suministrado, en su versión y configuración utilizado en este Proyecto.

El ISA debe ser un organismo independiente acreditado COFRAC según la norma EN 17020 (Tipo A) para misiones de evaluación de la seguridad, de la concepción, de la realización o la explotación del sistema de transporte público.

La evaluación debe cubrir todos los sistemas y equipos del Sistema subministrado, en su configuración para cada puesta en servicio (durante la migración hasta la puesta en servicio final).

La evaluación cubrirá las fases de diseño, implementación, pruebas et puesta en servicio.

El ISA es responsable por:

- Garantizar que el Sistema evaluado cumple con las normas CENELEC EN50126 [N 13], EN50128 [N 14], EN50129 [N 15] (cuando son aplicables) ;
- Garantizar que el Sistema respecta los requerimientos y objetivos de seguridad del Proyecto ;
- Garantizar que las condiciones de seguridad requeridas para el Sistema son totalmente definidas.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 21 DE 68

El ISA debe entregar los elementos siguientes:

- Un plan de evaluación de la seguridad el que define la metodología de evaluación y las competencias de los evaluadores;
- Un informe de evaluación de la seguridad indicando el desglose del sistema evaluado, el referencial de evaluación (las normas, por ejemplo), los requerimientos de seguridad o eventos recelados del Sistema tomando en cuenta para la evaluación, la conclusión de la evaluación sobre el respeto de los objetivos de seguridad, el nivel global de seguridad del Sistema, los riesgos exportados y las reservas eventuales (o restricciones).

5.3 Requerimientos Técnicos de Seguridad

Los Requerimientos técnicos que se describen a continuación, corresponden a pautas generales.

Estas pautas deberán desarrollarse más adelante por el Licitante ganador cuando el contrato se otorgue.

5.3.1 Ciclo de vida de Desarrollo y documentación

Todas las fases que constituyen el ciclo-V de desarrollo implementadas por el Licitante ganador se detallarán en términos de:

- Objetivos de la fase,
- Metodologías utilizadas para llevar a cabo la fase,
- Documentación de entrada,
- Documentación de salida.

El Licitante ganador elaborará y mantendrá una Matriz de Trazabilidad que demuestre que todos los Requerimientos se lograron y que no se incluyó material no trazable.

5.3.2 Plan de Seguridad de Sistema

El Licitante ganador elaborará y mantendrá un Plan de Seguridad de Sistema. El Plan de Seguridad del Sistema será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Plan de Seguridad de Sistema por parte del Empleador.

Los asuntos tratados en el Plan de Seguridad de Sistema y los trabajos de seguridad del sistema asociados a realizar por parte del Licitante ganador deberán incluir, pero no limitarse a los siguientes:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 22 DE 68

- Normas y documentos de Seguridad mencionados,
- Principios de Gestión de Seguridad,
- Política de Seguridad,
- Descripción de los sistemas,
- Organización de seguridad,
- Independencia del Equipo de Seguridad,
- Responsabilidad de Seguridad,
- Requerimientos para la competencia de personal clave,
- Requerimientos de Seguridad,
- Criterios de Aceptación de Seguridad y Riesgo,
- Ciclo-V de Seguridad,
- Documentación de seguridad y entregables,
- Modelo del análisis de seguridad,
- Metodología de Dossier de Seguridad,
- Proceso de Aprobación de Seguridad,
- Monitoreo y control del programa de seguridad,
- Gestión Continua de Seguridad.

5.3.3 Política de Seguridad

El Licitante ganador deberá establecer su enfoque y compromiso con la seguridad en una declaración de política de seguridad respaldada por la dirección general.

5.3.4 Criterios de Aceptación de Seguridad y Riesgo

Los criterios de aceptación de riesgo son manejados por la Matriz de Evaluación de Riesgo (ver más adelante): los riesgos se deberán mitigar hasta un nivel aceptable.

Para demostrar que el riesgo se ha reducido ALARP, se deberán utilizar los siguientes criterios (en orden de prioridad):

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 23 DE 68

- Demostrar el cumplimiento de los estándares internacionales
- Utilizar productos aceptados por agencias ferroviarias reconocidas internacionalmente
- Realizar un Análisis de Costo/Beneficio

El Análisis de Costo/Beneficio se deberá utilizar lo menos posible; se dará prioridad al argumento técnico.

5.3.5 Diseño

5.3.5.1 Análisis Preliminar de Riesgo

El Licitante ganador elaborará y mantendrá un Análisis Preliminar de Riesgo. El Análisis Preliminar de Riesgo será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Análisis Preliminar de Riesgo por parte del Empleador.

El propósito de este Análisis Preliminar de Riesgo es identificar y registrar todos los peligros razonablemente previsibles en la operación del trabajo y evaluar el riesgo que cada peligro representa.

El Licitante ganador gestionará los procesos de identificación y la evaluación de riesgo inicial con aportes de todas las partes involucradas.

5.3.5.2 Registro de Peligros

La producción de los Análisis Preliminar de Riesgo será registrada por el Licitante ganador en un Registro de Peligros del Sistema. El Registro de Peligros del Sistema será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Registro de Peligros del Sistema por parte del Empleador.

El Registro de Peligros del Sistema 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 para el Empleador de todas las acciones tomadas respecto de cualquier peligro de cualquier tipo en cualquier ubicación para cualquier área de actividad.

El Licitante ganador deberá mantener el Registro de Peligros del Sistema e identificar y registrar las acciones propuestas para mitigar los peligros contra todas las partes involucradas.

El Registro de Peligros del Sistema se alimentará a través de los Registros de Peligros de los Subsistemas y el resultado de los análisis de seguridad del nivel Sistema.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

El Licitante ganador deberá acelerar y registrar en el Registro de Peligros del Sistema, las respuestas a todas las acciones de mitigación identificadas desde todas las partes involucradas e informar el progreso al Empleador de forma regular.

El Licitante ganador deberá elaborar un Procedimiento de Revisión de Peligros que abarcará todos los procesos aplicables a la creación, desarrollo y mantenimiento durante el Servicio Comercial del Registro de Peligros del Sistema incluyendo el proceso de identificación y agregando un nuevo peligro detectado y las medidas de mitigación correspondientes.

La evaluación de riesgo final, aceptación de mitigación y cierre de los peligros serán conforme con los criterios de seguridad aprobados y la aceptación de riesgo.

Cada peligro en el Registro de Peligros del Sistema se cerrará previo al inicio de la Marcha en Vacío y se entregará finalizado al Empleador en todos los aspectos antes de la Puesta en Servicio Comercial.

La entrega - recepción deberá incluir una copia electrónica completamente funcional de la base de datos junto con todas las contraseñas y las instrucciones sobre su utilización. La documentación necesaria para el desarrollo de la base de datos durante el Servicio Comercial también deberá ser suministrada.

5.3.5.3 Estudios de Seguridad de Diseño

El propósito de los Estudios de Seguridad de Diseño es documentar el proceso de diseño para garantizar que se incorpora el principio general de minimizar el riesgo en el diseño como primera prioridad.

Los Estudios de Seguridad de Diseño deberán ser preparados por el Licitante ganador para elementos de Sistema y Subsistema que se consideren críticos para la seguridad y que requieran análisis de peligros a mayor nivel de detalle y con un mayor nivel de conocimiento para el Diseño Detallado de los componentes de hardware y software que pueden afectar la seguridad del diseño del Sistema y del Subsistema.

Los Estudios de Seguridad de Diseño deberán desarrollarse utilizando reconocidas técnicas cuantitativas y cualitativas, las cuales se deben realizar de acuerdo a requerimientos específicos:

- Al inicio de la etapa de diseño, el Licitante ganador deberá realizar un Análisis Preliminar de Riesgos. Este análisis se puede basar en su experiencia en sistemas similares, pero deberá tener en consideración las especificidades del Proyecto, especialmente las condiciones medio ambientales y operacionales.
- Al inicio de la etapa de diseño, el Licitante ganador deberá realizar un FMECA funcional: este análisis deberá evaluar la consecuencia de la falla en cada función ejecutada por cada sistema. El propósito de este análisis es identificar la criticidad de la función y asignar el SIL adecuado. Esta asignación se resumirá en el Informe de Asignación SIL.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 25 DE 68

Los criterios para asignación de SIL se describen a continuación.

El Licitante ganador deberá realizar Análisis detallados de Peligros:

- Análisis de Peligros de Sistema (SHA)
- Análisis de Peligros de Interface (IHA)
- Análisis de Peligros de la Operación (O&SHA)
- Análisis de Peligros por fases de migración (Migration Hazard Analysis)

La trazabilidad se realizará con los documentos de diseño para garantizar la exhaustividad de los análisis.

Los Análisis de Peligros considerarán a lo mínimo los siguientes modos:

- Las operaciones normales incluyendo mantenimiento,
- Modos de operación degradados,
- Situaciones de emergencia.

El propósito de todos los análisis de seguridad es identificar los Requerimientos de Seguridad que se implementarán a través de procedimientos de diseño u operación.

Cada peligro identificado durante estos análisis de seguridad deberán quedar anotados en el Registro de Peligros, el cierre de los peligros se realizará cuando la evidencia indique que los requerimientos se cumplen.

Durante IHA, el Licitante ganador identificará los requerimientos de seguridad que otros sistemas deben cumplir.

Se requieren estudios de seguridad adicionales para componentes críticos para la seguridad como mínimo:

- FMECA a nivel de componente
- Análisis de Árbol de fallas para demostrar la tasa de fallas da sentido al correspondiente SIL
- Evaluación Cuantitativa del Riesgo para demostrar que la frecuencia de los peligros se ha reducido a un nivel aceptable

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

5.3.5.4 Lista de Elementos Críticos de Seguridad

La Lista de Elementos Críticos de Seguridad identificará los equipos directamente (Elementos Críticos de Seguridad) e indirectamente (Elementos Relacionados a la Seguridad) involucrados en la seguridad del sistema. Esta lista se preparará en base a los resultados de FMECA y los Diagramas de Bloque de Fiabilidad.

EL Licitante ganador elaborará una Lista de Elementos Críticos de Seguridad. La Lista de Elementos Críticos de Seguridad será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Lista de Elementos Críticos de Seguridad por parte del Empleador.

5.3.5.5 Dossier de Seguridad de Diseño

Hacia el final de la etapa de Diseño Detallado, el Licitante ganador elaborará un Dossier de Seguridad de Diseño el cual deberá resumir los análisis de seguridad y presentar la evidencia:

- Que los criterios de riesgo global para el sistema se ha abordado de forma satisfactoria en la etapa de Diseño Detallado y que las propuestas de Diseño Detallado sean compatibles entre sí con dichos criterios.
- Que todos los sistemas críticos para la seguridad se hayan identificado en la etapa de Diseño Detallado y la distribución de los factores de riesgo entre los sistemas principales y subsistemas apoyen los criterios de seguridad global aprobados en el Plan de Seguridad del Sistema.
- Que los resultados de los Estudios de Seguridad de Diseño se hayan incorporado al diseño, y deberán llevarse hacia adelante en el Diseño Final, procesos de fabricación e instalación.
- Que en caso que la implementación de procedimientos operativos y/o de mantenimiento –u otras medidas de control de gestión- que se han identificado durante los Estudios de Seguridad de Diseño, los métodos auditables, a través de los cuales dichas medidas se implementaran, se hayan establecido.
- Que se haya implementado un proceso robusto para validar los aspectos críticos de seguridad en el diseño del software.
- Que exista el proceso para evaluar el potencial impacto en seguridad de los cambios de diseños.

La sección técnica de los Dossiers de Seguridad de Diseño deberá abordar pero no limitarse a los siguientes temas:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 27 DE 68

- Estado del diseño del sistema.
- Los estándares utilizados en el diseño los cuales están relacionados a la seguridad.
- Las suposiciones relacionadas a cómo el elemento o elementos del equipo se utilizarán y/o mantendrán.
- Conformidad de los subsistemas, elementos y componentes del equipo a los criterios de riesgo especificados dentro de la sección central de gestión de seguridad.
- Estado de todas las interfaces internas y externas de los sistemas o subsistemas.
- La especificación de cualquier prueba en Sitio -y parámetros de pruebas de sistema integrado- que se deban cumplir para demostrar que el elemento(s) funciona(n) seguramente como parte de un sistema y/o subsistema.

El formato del Dossier de Seguridad de Diseño deberá ser idéntico al del Dossier de Seguridad (ver a continuación).

Como un anexo del Dossier de Seguridad de Diseño, el Licitante ganador deberá presentar el Registro de Peligros del sistema actualizado, demostrando que todos los peligros se han mitigado en la etapa de diseño.

5.3.6 Fabricación e Instalación

La sección de Fabricación e Instalación del Plan de Seguridad de Sistema deberá abarcar 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:

- La identificación de la organización de gestión de seguridad a utilizar durante las etapas de fabricación e instalación.
- Las medidas para garantizar que los resultados de los Estudios de Seguridad de Diseño se efectuarán más adelante en los procesos de fabricación e instalación.
- Los procesos mediante los cuales la seguridad de los cambios ocurridos durante la fabricación y/o etapas de instalación se pueden evaluar.
- La especificación de todas las necesidades de capacitación que surgen de los requerimientos para los procedimientos de trabajo seguro.

Deberá establecerse FRACAS por parte del Licitante ganador 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.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 28 DE 68

FRACAS será implementado por parte del Licitante ganador para monitorear la seguridad y el rendimiento FMD del equipo, durante la fabricación, instalación, pruebas y puesta en servicio en la operación y además en el mantenimiento para suministrar retroalimentación al diseño de este equipo.

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.

Además, se utilizará FRACAS para:

- Promover el crecimiento de la fiabilidad del equipo más allá del cumplimiento de los valores objetivos.
- Consolidar la información de fallo de los equipos para referencias de revisión de diseño, y
- Verificar la capacidad y la eventual disminución de la capacidad de los equipos durante T&C, marcha en vacío y operación de puesta en servicio para garantizar que la fiabilidad del nivel del equipo es sustentable.

5.3.7 Pruebas en Sitio y Pruebas de Sistema Integrado

La sección de Pruebas en Sitio y Pruebas de Sistema Integrado del Plan de Seguridad de Sistema deberá demostrar como mínimo los siguientes requerimientos:

- Que la organización de gestión de seguridad que controla las Pruebas en Sitio y las Pruebas del Sistema Integrado está implementada.
- Que el alcance de las actividades que se deben realizar durante los periodos de las Pruebas en Sitio y las Pruebas del Sistema Integrado abarquen todas las funciones críticas de seguridad.
- Que se implementen los procedimientos necesarios para realizar las actividades de las Pruebas en Sitio y las Pruebas del Sistema Integrado de forma segura.
- Que se apliquen los procesos que se implementarán para validar los aspectos críticos de seguridad de la instalación y pruebas del software.
- Que se implementen los procesos necesarios para evaluar las repercusiones de seguridad de los resultados e inspecciones llevadas a cabo durante el periodo de Pruebas en Sitio y las actividades de Pruebas de Sistema Integrado.
- Que se implementen los procesos necesarios para controlar y validar las repercusiones de seguridad de las modificaciones llevadas a cabo durante el periodo de Pruebas en Sitio y las actividades de Pruebas de Sistema Integrado.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 29 DE 68

- Que el control efectivo deba implementarse respecto de las actividades de todos los subcontratistas del Licitante ganador.

Para el periodo de Marcha en vacío, el Plan de Seguridad de Sistema deberá describir actividades específicas a realizar, como la validación de procedimientos de seguridad.

El periodo de Marcha en vacío deberá incluir como mínimo las siguientes actividades:

- La demostración del rendimiento del sistema y adherencia a los horarios mediante la ejecución de una puesta en servicio simulada en el aumento progresivo de los niveles de servicio.
- La evaluación de la efectividad de los procedimientos de operación normal 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 de sistema y escenarios de operación degradada a través de la simulación de dichos escenarios durante la puesta en servicio 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 servicio simulada.

5.3.8 Prueba de Seguridad

La Prueba de Seguridad deberá demostrar que el sistema es apto para el propósito del inicio del Servicio Comercial.

La Prueba de Seguridad deberá realizar referencia trazable a la documentación del sistema que demostrará como mínimo que los siguientes requerimientos se han cumplido:

- Que el sistema se haya fabricado, instalado y probado e incluya las Pruebas de Sistema Integrado, de manera de asegurar que el sistema se pueda operar y mantener dentro de los parámetros de riesgo, según se aprobó en el Dossier de Seguridad de Diseño y que no existan 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 se hayan establecido.
- Que las normas y especificaciones sobre las cuales se basan la operación segura y el mantenimiento del sistema se hayan establecido.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 30 DE 68

- Que se hayan verificado las reglas y procedimientos necesarios para operar y mantener el sistema dentro de los parámetros de riesgo definidos según se aprobó en el Dossier de Seguridad de Diseño.

5.3.9 Gestión Continua de Seguridad

La sección de Gestión Continua de Seguridad del Plan de Seguridad de Sistema deberá describir los procesos mediante los cuales la gestión de los asuntos de seguridad pasa desde el control del Licitante ganador bajo el Plan de Seguridad de Sistema hacia el Operador bajo el Plan de Seguridad Operacional.

De forma especial, los Procedimientos de Gestión de Cambio deberán ser preparados por el Licitante ganador para la revisión y aceptación del Empleador.

5.3.10 Dossiers de Seguridad (Migración y Final)

La demostración de la seguridad del sistema por el Licitante ganador se asumirá a través del concepto de Dossiers de Seguridad.

La estructura de cada uno de estos Dossiers de Seguridad será conforme a lo siguiente, basado sobre la norma EN 50129 [N 15]:

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

Para sistemas electrónicos de seguridad existentes el Licitante ganador a cargo de estos sistemas podrá seguir el patrón mencionado en la norma EN 50129 [N 15], incluyendo para cada sistema de seguridad:

- Un Dossier de Seguridad de Productos Genéricos, que abarque los elementos de seguridad sin modificar,
- Un Dossier de Seguridad de Aplicaciones Genéricas, que abarque aquellos elementos genéricos para diferentes sistemas,
- Un Dossier de Seguridad de Aplicaciones Específicas, que abarque aquellos elementos

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 31 DE 68

especialmente desarrollados para el Proyecto.

Estos Dossiers de Seguridad, para cada fase de la migración y para la puesta en servicio parcial y final del sistema, deben ser entregados con el informe de evaluación correspondiente del ISA del Licitante ganador.

Estos Dossiers de Seguridad deben ser revisados por el Empleador y posiblemente evaluados por el ISA Proyecto (incluyendo la parte de software) antes de su aceptación por parte de la Autoridad de Seguridad.

5.4 Requerimientos de Gestión de Seguridad

Los siguientes párrafos describen los requerimientos mínimos respecto de la gestión del proyecto para poder suministrar un respaldo apropiado al proceso de seguridad.

5.4.1 Plan de aseguramiento de calidad

El Licitante ganador involucrado en el Proyecto deberá ser, como mínimo una empresa certificada ISO 9001 [N 31].

Basado en esta certificación, el Licitante ganador deberá elaborar un Plan de Aseguramiento de Calidad indicando los acuerdos adquiridos para satisfacer las necesidades del Proyecto.

Para apoyar el proceso de seguridad, el Plan de Aseguramiento de Calidad deberá describir cómo se abordan los requerimientos de las Normas EN 50126 [N 13], EN 50128 [N 14] y EN 50129 [N 15].

5.4.2 Proceso de aseguramiento de calidad

El objetivo del aseguramiento de calidad del sistema es garantizar que el desarrollo del sistema se realice de forma tal que se consiga la calidad deseada. Esto es realizado mediante la creación de un proceso el cual entrega un esquema claro para las actividades de seguridad.

5.4.3 Gestión de configuración del sistema

La actividad de gestión de configuración del sistema deberá ser realizada por el Licitante ganador y cumplir con los principios descritos en Plan de Gestión de Configuración del Sistema.

El Plan de Gestión de Configuración del Sistema 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.

5.4.4 Gestión del proyecto

Es responsabilidad del Licitante ganador asegurar que el sistema se desarrolle, pruebe y se entregue a tiempo.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 32 DE 68

Para realizarlo, el Licitante ganador creará y mantendrá un Calendario de Trabajo Detallado para poder identificar y controlar cada tarea a realizar.

Desde este calendario será posible identificar rutas críticas, retrasos y recursos incluyendo las tareas relacionadas a los procesos de seguridad.

Como parte de un mecanismo de informe general para el Empleador, se deberá incluir la información de progreso relacionada a los sistemas. El Licitante ganador además de presentar un Calendario de Trabajo

Detallado actualizado, deberá indicar que fases no han comenzado, están en progreso o completadas.

El Informe de Progreso además entregará información respecto a las actividades de seguridad, para garantizar que su progreso es coherente con el progreso de las actividades de diseño.

5.4.5 Punto de Retención entre Instalación y actividades T&C

Para la seguridad de las actividades T&C, el Fin de instalación deberá confirmarse y aprobarse por el Empleador previo al inicio de las pruebas.

Un checklist de instalación elaborada y mantenida por el Licitante ganador deberá corroborarse por parte del Empleador después de la finalización satisfactoria de cada parte componente de un sistema.

Sobre la finalización satisfactoria de todos los checklist de instalación (incluyendo elementos relacionados a la seguridad) para un grupo de sistemas, la autoridad pertinente perteneciente al Empleador presentará un Certificado de Fin de Instalación, el cual es un prerrequisito para iniciar el T&C del sistema, subsistemas o componente.

El Dossier de Seguridad de Diseño y el Registro de Peligros del sistema que muestran evidencia sobre que los peligros se mitigaron durante la etapa de diseño son necesarios para iniciar la actividad de T&C.

Cualquier no conformidad se identificará y analizará desde un punto de vista de seguridad antes de conceder la autorización para llevar a cabo las pruebas dinámicas.

En el caso que una no conformidad de seguridad sea cubierta por un procedimiento durante el periodo de prueba, este procedimiento será revisado y aprobado por el Empleador.

5.4.6 Actividades T&C

Los procedimientos de seguridad para T&C deberán especificarse en los procedimientos de pruebas competentes de cada plan T&C.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 33 DE 68

Durante el periodo de T&C, las modificaciones en el diseño o instalación podrán ser necesarias cuando ocurran no conformidades a las validaciones de seguridad. Si es necesario realizar modificaciones en el diseño, deberán seguir los procedimientos tanto del Plan de Desarrollo del Sistema como del Plan de Gestión de Configuración del Sistema.

6 OBJETIVOS DE SEGURIDAD

6.1 Definición de Riesgo y Categorización

Debido a que la seguridad trata sobre el manejo del riesgo, primero se debe definir el riesgo.

Riesgo se define como una combinación entre la frecuencia de ocurrencia de un peligro y su gravedad.

Los peligros se deben categorizar conforme a su frecuencia de ocurrencia y a su gravedad según el enfoque EN 50126 [N 13].

6.2 Frecuencia de Ocurrencia de Peligros

Las siguientes categorías se utilizan para clasificar la frecuencia de la ocurrencia de los peligros.

Categoría	Probabilidad de ocurrencia (por hora)	Descripción
Frecuente	$P \geq 10^{-5}$	Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimentará continuamente.
Probable	$10^{-6} \leq P < 10^{-5}$	Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.
Ocasional	$10^{-7} \leq P < 10^{-6}$	Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.
Remoto	$10^{-8} \leq P < 10^{-7}$	Es probable que se dé alguna vez en el ciclo de vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra.
Improbable	$10^{-9} \leq P < 10^{-8}$	Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.
Increíble	$P < 10^{-9}$	Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda no ocurrir.

6.3 Gravedad de los Peligros

Los siguientes niveles se utilizan para clasificar la gravedad de las consecuencias de los peligros. Las consecuencias tomadas en consideración son consecuencias para las personas, sistemas y medio ambiente.

Nivel de Gravedad	Consecuencia para las Personas o el Medio Ambiente	Consecuencia para el Servicio
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	Pérdida de un sistema principal
Mínimo	Heridas menores y/o peligro señalada al medio ambiente	Daño grave a sistema o sistemas
Insignificante	Posible herida menor	Daño menor al sistema

6.4 Matriz de Evaluación de Riesgos

Como se muestra en la matriz a continuación, la frecuencia de ocurrencia y gravedad de las consecuencias se combinan en conjunto para poder procesar los riesgos.

Esta matriz presenta las posibles combinaciones de frecuencia de ocurrencia y gravedad de las consecuencias de los peligros. Además presenta las distintas zonas de aceptabilidad del riesgo.

		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

Dónde:

Riesgo	Categoría	Acciones que se han de tomar
R1	Insignificante	Aceptable con/sin el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria
R2	Tolerable	Aceptable con un control adecuado y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 35 DE 68

Riesgo	Categoría	Acciones que se han de tomar
R3	No Deseable	Sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria o de la Autoridad de Seguridad, según proceda
R4	Intolerable	Inaceptable. Debe eliminarse

Cada riesgo se deberá evaluar para determinar a qué zona pertenece.

6.5 Estrategia de Mitigación de Riesgo

De acuerdo al nivel de su aceptabilidad, los riesgos se deberán gestionar en distintas formas:

- Riesgos R4 y R1: ya que no hay medidas de prevención/mitigación que abarquen estos riesgos, la asignación de riesgos de estas dos categorías debe ser documentada en profundidad.
- Riesgos R2 y R3: estos riesgos se deben discutir por escrito y presentados al Empleador y/o a la Autoridad de Seguridad para aprobación de ambos riesgos y sus correspondientes medidas de prevención/mitigación.

Se deberá abordar los siguientes:

- 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.

Se deben realizar análisis de seguridad con los siguientes requerimientos mínimos:

- El objetivo de seguridad se logra cuando el nivel de riesgo ha alcanzado el área "Aceptable" con justificaciones satisfactorias.
- Cada función de seguridad se deberá identificar y evaluar para sus peligros relacionados.
- Cada componente de seguridad se deberá identificar y evaluar para sus peligros relacionados.
- Cada interfaz de seguridad se deberá identificar y evaluar para sus peligros relacionados.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 36 DE 68

6.6 Nexos entre los Objetivos de Seguridad y SILs

Se deberá utilizar los siguientes:

- Las funciones cuya falla pueda conducir a un riesgo R4 de consecuencias Catastróficas deberán ser apoyadas por componentes SIL4.
- Las funciones cuya falla pueda conducir a un riesgo R4 de consecuencias Crítico y Mínimo deberán ser apoyadas por componentes al menos SIL3.
- Las funciones cuya falla pueda conducir a un riesgo R3 o R2 deberán ser apoyadas por componentes al menos SIL2.
- Las funciones cuya falla pueda conducir a un riesgo R1 deberán ser apoyadas por componentes al menos SIL1.

6.7 Implementación de Componentes SIL 4, SIL 3, SIL 2 y SIL 1

Los equipos deberán poseer un SIL por lo menos igual a las funciones que implementa.

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

- Cumplimientos con las normas: Se deberá cumplir a lo mínimo con las Normas EN 50126 [N 13], EN 50129 [N 15], EN 50128 [N 14], EN 50159-1 [N 16] y EN 50159-2 [N 17], EN 62267 [N 30].
- Aseguramiento de calidad: La calidad de los componentes se deberá verificar conforme con el Plan de Aseguramiento de Calidad sobre las fases de construcción y operación.
- Aseguramiento de seguridad: La seguridad de los componentes se deberá demostrar conforme con el Plan de Seguridad de Sistema sobre las fases de construcción y operación.

6.8 Técnicas de Seguridad a Utilizar

Reconocidas técnicas utilizadas en la aplicación ferroviaria para la implementación de componentes SIL 4 o 3 son las siguientes:

- 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 debe 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

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

componente SIL 4 nunca falla dentro de los límites de su especificación.

- Técnica de “Seguridad Comprobada”: un componente de un sistema está construido sobre la técnica "Seguridad Comprobada" 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 “Seguridad Probabilística”: un componente de un sistema está construido sobre la técnica " Seguridad Probabilística” cuando se puede demostrar que las fallas no pueden ocurrir más seguido que cierto límite. Se debe considerar este límite como suficiente. Esta técnica se debe utilizar solo en casos particulares.

Los equipos electrónicos programables de los equipos de seguridad utilizan técnicas de seguridad de los tipos definidos anteriormente. El análisis y demostración de seguridad deberá incluir:

- 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 deben acatar, para garantizar la seguridad.
- El plan de programa específico que se debe desplegar para garantizar la seguridad.
- La identificación de las técnicas o mecanismos que aún no se han probado como seguros por un organismo competente.

Utilización de “Software de Seguridad”, es decir ejecutando las funciones SIL 4 o SIL 3 se deberá desarrollar y demostrar seguridad conforme a EN 50128 [N 14]. La utilización de métodos formales para demostrar que el software está libre de error es sumamente recomendada.

La utilización de “Técnicas de Seguridad Probadas”. Sólo se permitirá el uso de técnicas de seguridad probadas para el Proyecto. Las técnicas de seguridad a utilizar deben ser presentadas por el Licitante ganador. Técnicas de seguridad probadas son aquellas que:

- Ya se han aprobado como seguras por una entidad competente e independiente.
- Se han utilizado exitosamente en la puesta en Servicio Comercial durante al menos dos

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 38 DE 68

años desde el término de la garantía del proyecto, a la fecha de la licitación del Proyecto.

- Permitir adaptarse fácilmente a las necesidades de un nuevo proyecto.

Las técnicas que no cumplan con estos requerimientos o para los cuales la documentación que establece conformidad con los presentes requerimientos no está disponible o es insuficiente, serán rechazadas.

6.9 Objetivos de Seguridad SIL

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, se entrega en la tabla a continuación:

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

6.10 Seguridad de los Interfaces

El Licitante ganador debe identificar las interfaces relacionados con la seguridad del sistema que suministra. El Licitante ganador debe gestionar las interfaces relacionadas con la seguridad con los subcontratistas del Licitante ganador involucrados en la interface:

- Asegurar la integración de los requerimientos de seguridad exportados por otros sistemas en interfaces con su sistema dentro de su documentación de seguridad,
- Exportar los requerimientos de seguridad a otros sistemas en interface cuando se necesita y verificar que se toman en cuenta.

7 ENTREGABLES DE SEGURIDAD

Como mínimo, se deberán entregar los siguientes documentos por parte del Licitante ganador:

- Plan de Seguridad de Sistema (System Safety Plan)
- Plan de Evaluación del Sistema del ISA (ISA System Evaluation Plan)
- Análisis Preliminar de Riesgos (Preliminary Risks Analysis)

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

- Análisis de Peligros (Hazard Analysis)
- Análisis de Peligros por fases de Migración (Migration 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)
- Lista de Elementos Críticos de Seguridad (Safety Critical Item List)
- Registro de Peligros del Sistema (Hazard Log)
- Dossier de Seguridad de Diseño (Design Safety Case)
- Dossiers de Seguridad por fases de Migración (Migration Safety Case)
- Dossiers de Seguridad final (Final Safety Case)
- SRAC (Safety Related Application Conditions)
- Informes de Evaluación del ISA (ISA Evaluation Reports)

Se debe entregar algunos de estos documentos a nivel del Sistema (por separado) y a niveles de Subsistemas. Esto se definirá en el Plan de Seguridad de Sistema.

8 REQUERIMIENTOS PARA ASEGURAMIENTO DE FMD

8.1 Requerimientos Generales de FMD

El Licitante ganador demostrará que su diseño cumple con todos los requisitos especificados de FMD para el sistema y para cada subsistema que compone el sistema.

El Licitante ganador debe detallar la forma cómo su sistema cumple con los requerimientos de esta sección, con énfasis en la degradación de la operación del sistema frente a las distintas fallas que puedan ocurrir.

Para demostrarlo, es necesario que el Licitante ganador tenga en consideración el efecto de potenciales fallas de los componentes del sistema, periodos de mantenimiento correctivo y preventivo y redundancias de construcción en el diseño.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 40 DE 68

El Licitante ganador seguirá el enfoque de la Norma EN 50126 [N 13] en todo el ciclo de vida del sistema.

El Licitante ganador deberá demostrar en sus Estudios FMD y Estudios de Validación de FMD a nivel de sistemas/subsistemas o componentes que los Objetivos FMD se alcanzarán.

El Plan FMD de Sistema y Análisis FMD se deberán desarrollar de acuerdo a un modelo de ciclo de vida conforme con EN 50126 [N 13].

Sobre la Seguridad, los requerimientos FMD dependen del Aseguramiento de Calidad del Licitante ganador.

En consecuencia los requerimientos de Aseguramiento de Calidad establecidos para Seguridad se aplican para FMD.

8.2 Requerimientos Organizacionales de FMD

La organización del Licitante ganador deberá incluir un Gerente de Aseguramiento de FMD.

El Gerente de Aseguramiento de FMD deberá ser independiente de los equipos a cargo del Diseño, Construcción, Fabricación y T&C e informar directamente al Gerente de Proyecto.

Para realizar sus tareas, el Gerente de Aseguramiento de FMD será apoyado por ingenieros FMD quienes estarán bajo su cargo directo.

8.3 Requerimientos Técnicos de FMD

Los requisitos técnicos que se describen a continuación, corresponden a pautas generales. Estas pautas deberán desarrollarse más adelante por el Licitante ganador cuando el contrato se otorgue.

8.3.1 Ciclo de vida de Desarrollo y documentación

Consulte los Requerimientos de Aseguramiento de Seguridad indicados precedentemente.

8.3.2 Plan FMD de Sistema

El Licitante ganador elaborará y mantendrá un Plan FMD de Sistema. El Plan FMD de Sistema será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Plan FMD de Sistema por parte del Empleador.

Los temas cubiertos en el Plan del Sistema FMD y los trabajos asociados de sistemas FMD a realizar por parte del Licitante ganador deberán incluir, pero no limitarse a los siguientes:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 41 DE 68

- Normas FMD y documentos mencionados,
- Principios de gestión DE FMD,
- Descripción de los sistemas,
- La organización y recursos necesarios para la realización del análisis FMD,
- Independencia del Equipo FMD,
- Responsabilidad FMD,
- Requisitos para la competencia del personal clave,
- Requisitos de FMD
- Los objetivos FMD de los sistemas/subsistemas,
- Ciclo-V FMD,
- La descripción de la metodología y las herramientas a utilizar para los análisis FMD,
- El perfil de la misión del sistema tomado en cuenta para realizar el cálculo de FMD,
- Evaluar que los Objetivos FMD se cumplan,
- Realizar evaluaciones FMD para cualquier diseño potencial alternativo,
- Verificación y validación de todos los análisis FMD realizados,
- Validación de los requerimientos FMD durante la fabricación, instalación, puesta en servicio y mantenimiento.
- Documentación y entregables FMD.

8.3.3 Diseño

El Plan FMD de Sistema describirá en detalle los análisis FMD a realizar por parte del Licitante ganador, pero las actividades que se muestran a continuación no son exhaustivas y se consideran como mínimas.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 42 DE 68

8.3.3.1 Recopilación de datos y suposiciones de la operación

La actividad de recolección de datos se debe realizar para equipos que ya se encuentren puestos en Servicio Comercial. El objetivo es poder basar la predicción de fiabilidad sobre el campo de datos los cuales son más representativos que las cifras de fiabilidad teóricas.

La determinación de suposiciones de operación corresponde al perfeccionamiento del perfil de la misión. Suministra datos adicionales a considerar en la predicción de FMD (frecuencia de verificación del equipo, tiempo de acceso promedio).

8.3.3.2 Diagramas de bloque de fiabilidad

Para cada sistema, un Diagrama de Bloque de Fiabilidad se preparará para modelar la arquitectura y destacar las redundancias. El Licitante ganador deberá demostrar que con su arquitectura de sistema alcanza los objetivos de FMD.

8.3.3.3 Asignación de FMD

La asignación de FMD se basa en los Diagramas de Bloque de Fiabilidad. Se asigna cada subsistema, equipo y/o componente un objetivo FMD para asegurar el objetivo global FMD para el sistema se cumpla.

La adecuación de la arquitectura se verificará en esta etapa mediante la revisión de que cada componente reciba un objetivo de fiabilidad real.

El Licitante ganador deberá producir un Informe de Asignación de FMD. El Informe de Asignación de FMD será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Informe de Asignación de FMD por parte del Empleador.

8.3.3.4 Modo de Fallas, Análisis de Efectos y Criticidad

Se realizara el “Modo de Fallas, Análisis de Efectos y Criticidad” (FMECA) de forma paralela con la actividad de Diagramas de Bloque de Fiabilidad para poder analizar las consecuencias de una falla de cada equipo del sistema.

Este análisis trata de identificar los equipos que son críticos para la fiabilidad del sistema y evaluar la necesidad de redundancia. Para estos equipos críticos el Licitante ganador deberá asignar el máximo nivel de fiabilidad.

8.3.3.5 Predicción de Fiabilidad y Disponibilidad

La fiabilidad “técnica” (sin tomar en cuenta la redundancia) debe ser evaluada en términos de MTBF.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 43 DE 68

Se deben seleccionar componentes y materiales, y se deben utilizar estándares apropiados de control de calidad y procedimientos de prueba, de modo de asegurar las tasas más bajas de falla de hardware para elementos individuales del equipamiento del sistema (i.e. maximizar el MTBF del sistema). Los componentes deben tener márgenes conservadores entre las condiciones de operación reales y las especificaciones del fabricante.

Si un equipamiento no es suficientemente fiable para satisfacer los requerimientos globales de disponibilidad del sistema, se deben emplear niveles apropiados de redundancia de equipos de modo que la falla de un componente, procesador o elemento aislado no se traduzca en que el sistema no esté disponible, o que una función crítica para la operación no esté operativa. Esta fiabilidad “operacional” debe ser evaluada en términos de MTBSF.

El Licitante ganador debe entregar un análisis de disponibilidad que demuestre cuantitativamente que los requerimientos de disponibilidad tal como se definen en este documento serán alcanzados. El análisis se debe basar en un Diagrama de Bloques de Disponibilidad, y debe establecer el MTBSF, el MTBF y el MTTR para todos los componentes del sistema hasta los LRU. El reporte de este análisis debe describir la base histórica, estadística y experimental para realizar el análisis. Todos los supuestos deben estar alineados con las prácticas del Empleador y los requerimientos de entrenamiento del personal de mantenimiento, disponibilidad de partes, y mantenimiento preventivo para cada elemento.

La predicción de fiabilidad (“técnica” y “operacional”) y disponibilidad se basan en un enfoque ascendente:

- La fiabilidad de cada equipo se predice gracias a datos en Sitio o tasas teóricas de falla de componentes
- La fiabilidad de un sistema se predice mediante la introducción de las tasas de falla de equipo en el Diagramas de Bloque de Fiabilidad
- La disponibilidad se deriva, utilizando el MTTR y la fiabilidad

El Informe de Análisis y de Predicción FMD entregará predicciones de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema basado en la recopilación de datos.

El Licitante ganador deberá elaborar un Informe de Análisis y de Predicción FMD. El Informe de Análisis y de Predicción FMD será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Informe de Análisis y de Predicción FMD por parte del Empleador.

8.3.3.6 Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad

La Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad identificará los equipos cuyas fallas afectan directamente a la puesta en Servicio Comercial. Esta lista se preparará en base a los resultados de FMECA y los Diagramas de Bloque de Fiabilidad.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 44 DE 68

EL Licitante ganador elaborará una Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad. La Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad por parte del Empleador.

8.3.3.7 Predicción de mantenimiento

El sistema debe ser diseñado para minimizar el mantenimiento requerido (tanto preventivo como correctivo), maximizando el MTBSF del sistema, el MTBF de los equipos e incluyendo características que faciliten las labores de mantenimiento que deban ser realizadas. Se deben favorecer los tiempos de reparación a través de provisiones para el diagnóstico del equipamiento y suministro por parte del Licitante ganador de equipamiento de pruebas, como también a través de la calidad de los manuales y la capacitación referente al mantenimiento. El sistema debe, por lo tanto, incluir capacidades de mantenimiento y diagnóstico para detectar y reaccionar frente a fallas de los equipos. La filosofía de mantenimiento del Empleador será incorporada en el diseño de los equipos.

Lo anterior debe incluir capacidades de diagnóstico remoto, 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 en fallo. También los siguientes principios, a lo mínimo, deberán ser utilizados:

- Diseño Modular
- Intercambiabilidad (“Hot Swap” en lo posible)
- Accesibilidad

Por cada Unidad Sustituible en Línea (LRU), se estima un plazo promedio de reparación, teniendo en consideración la accesibilidad y la complejidad del equipo.

Se suministrará por cada LRU, el peso, dimensión y la necesidad de herramientas de mantenimiento especiales.

8.3.3.8 Cálculo de la cantidad de Piezas de Repuesto

El Licitante ganador elaborará un Informe de Piezas de Repuesto que incluirá:

- La lista de LRU
- Para cada LRU los parámetros utilizados para los cálculos (ver a continuación)
- Por cada LRU la cantidad de piezas de repuesto

La cantidad de piezas de repuesto se justificará para cada tipo de LRU.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

Para cada LRU, se deberá tener en cuenta esta cantidad:

- El número de LRU instalados de este tipo.
- La tasa de falla
- El tiempo necesario para la adquisición o reparación de las LRU

El tiempo de adquisición se estimará de manera conservadora, incluyendo margen para logística y tiempos de despacho.

La cantidad de piezas de repuesto se calculará para garantizar que para cada LRU el riesgo de escasez sea calculado de tal forma que se logre el objetivo de Disponibilidad del Servicio. Por otra parte, el Licitante ganador deberá tomar en cuenta este riesgo de escasez en sus cálculos predictivos de Disponibilidad del Servicio.

8.3.3.9 Informe FMD

El Licitante ganador deberá entregar un Informe FMD al final de la fase de Diseño, resumiendo las actividades que han sido realizadas. El Informe FMD será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Informe FMD por parte del Empleador.

El informe deberá entregar evidencia que las decisiones técnicas (arquitectura, equipo) que se tomaron podrán lograr los objetivos contractuales FMD.

En el caso de no cumplimiento por el sistema de los objetivos FMD, no se aprobará el diseño por parte del Empleador y no se autorizará la fabricación hasta que se proponga una mejora en el diseño para lograr los objetivos FMD.

8.3.4 Fabricación e Instalación

8.3.4.1 Seguimiento de cambios de diseño

En el caso que se consideren necesarias algunas modificaciones en el diseño durante la fabricación o instalación, el impacto en el rendimiento de FMD será evaluado por el Licitante ganador. Se demostrará que el cumplimiento de los objetivos de FMD no se pondrá en riesgo debido a la modificación del diseño.

8.3.4.2 Sistema de Comunicación de Fallos y Medidas Correctoras

Se establecerá un Sistema de Comunicación de Fallos y Medidas Correctoras (FRACAS) por parte del Licitante ganador como se describe en los Requisitos de Aseguramiento de Seguridad.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

8.3.4.3 Plan de demostración de FMD

El Licitante ganador deberá establecer un Plan de Demostración de FMD noventa (90) días antes el inicio de la fabricación. El Plan de Demostración de FMD será un documento independiente.

El Licitante ganador deberá obtener la aceptación de su Plan de Demostración de FMD por parte del Empleador.

El Plan de Demostración de FMD se utilizará para probar y monitorear los objetivos FMD durante la prueba de fábrica, prueba en Sitio, prueba de sistema integrado y el periodo de Marcha en vacío.

El Licitante ganador deberá además revisar los Planes de Demostración de FMD del SubLicitante ganador, para asegurar que estos son compatibles con las pruebas de nivel del sistema y que todos los temas sobre el sistema han sido abordados.

El Licitante ganador deberá elaborar una serie de demostraciones FMD para el sistema, como se describe en el Plan de Demostración de FMD.

El Licitante ganador deberá entregar la coordinación para las actividades incluyendo movilización de equipos y recursos.

El Licitante ganador deberá registrar y revisar la información producida durante las demostraciones FMD y suministrar una evaluación de la demostración en términos de logro de los requisitos FMD.

El resultado de las demostraciones FMD se presentará en un Informe de Demostración FMD.

8.3.4.4 Demostración de mantenimiento

Durante la etapa de diseño, se han realizado las predicciones de mantenibilidad por parte del Licitante ganador para determinar los MTTR de las Unidades Sustituibles en Línea (LRU).

La demostración apunta a confirmar los MTTR mediante la medición del tiempo real necesario para remplazar la LRU.

Esta demostración se realiza sobre la base de muestras; se describirán modalidades detalladas en el Plan de Demostración FMD.

8.3.5 Pruebas en Sitio y pruebas de sistema integrado

Durante las pruebas en Sitio, el seguimiento del rendimiento FMD comenzará con el suministro a FRACAS de, pero no limitado a, registros de falla, horas operativas y kilometraje del tren.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 47 DE 68

Este periodo brindará la oportunidad de asegurar la movilización de equipos y recursos necesarios para el seguimiento del rendimiento FMD y para registrar las primeras tendencias del rendimiento FMD, y permitir la detección en una etapa temprana de cualquier problema con FMD.

Este periodo es parte de la depuración del sistema, y no forma parte del periodo de demostración de rendimiento de FMD.

8.3.6 Marcha en vacío y período de garantía

El Licitante ganador deberá continuar con la implementación de actividades de aseguramiento FMD del sistema durante la Marcha en vacío y después del Servicio Comercial incluyendo, pero no limitados a, los siguientes requisitos.

Durante el Periodo de garantía, se deberá realizar un seguimiento diario del rendimiento FMD y los resultados se utilizarán para permitir medios sistemáticos de análisis de datos y registro del rendimiento FMD.

Un Informe Mensual de Rendimiento FMD se emitirá para el Empleador durante el periodo de garantía para suministrar la evidencia del logro de los objetivos FMD.

En el caso que un sistema no cumpla sus objetivos FMD, el Licitante ganador procederá a una investigación y rectificación o actualización de los fallos.

8.4 Requerimientos de Gestión de FMD

Consulte los requerimientos de Aseguramiento de Seguridad.

9 OBJETIVOS FMD

Los Objetivos FMD aquí suministrados son para asegurar que el sistema posee un alto nivel de disponibilidad.

9.1 Categorías de Falla

Las fallas de los equipos llevan a trastornos en la línea más o menos importantes en términos de operación y de circulación de los trenes.

Más abajo se introduce una clasificación de fallas. La terminología se basa en la norma EN 50126 [N13].

Los impactos de las fallas se clasifican dentro de tres categorías de forma decreciente siendo la Clase 3 la más grave:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

CLASE(*)	Categoría del fallo	Definición	
		Para sistemas cuyas fallas afectan a la operación de trenes	Para sistemas cuyas fallas no afectan a la operación de trenes
3	Significativo	Un fallo que: <ul style="list-style-type: none"> - Impide el movimiento y/o la operación del tren con un retraso superior o igual a 5 minutos. - Todo fallo que induce una recuperación en conducta manual del tren 	N/A
2	Mayor	Un fallo que: <ul style="list-style-type: none"> - Impide el movimiento y/o la operación del tren con un retraso menor a 5 minutos y que - Debe ser corregido para que el sistema logre su rendimiento especificado. 	Un fallo que: <ul style="list-style-type: none"> - Debe ser corregido para que el sistema logre su rendimiento especificado.
1	Menor	Un fallo que: <ul style="list-style-type: none"> - No impide el movimiento y/o la operación del tren y que - No impide que un sistema logre su rendimiento especificado y que - No cumple los criterios para ser considerado Significativo o Mayor. 	Un fallo que: <ul style="list-style-type: none"> - No impide que un sistema logre su rendimiento especificado y que - No cumple los criterios para ser considerado Significativo o Mayor.

(*) Clases específicas al Material Rodante se definen más adelante (referirse al §9.3).

El Licitante ganador clasificará las fallas conforme a estas categorías.

La medición MTTR incluirá diagnósticos en Sitio y rectificación de la falla (incluyendo reinicio del software) hasta el punto en que el sistema esté restablecido y en pleno funcionamiento. En el caso en lo cual una falla no se pueda rectificar, la medición deberá incluir el tiempo necesario para eliminar la pieza del equipo con fallas y reemplazarla con una operativa. El MTTR no incluye el tiempo de llegada del personal designado a Sitio (tiempo de acceso) para poder empezar el diagnóstico.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

9.2 Objetivos FMD

9.2.1 Disponibilidad Global Técnica

El objetivo de Disponibilidad Global Técnica del sistema de transporte será superior a 96.30 %. Se aplica al nivel de una línea.

Este objetivo tendrá que ser logrado a más tardar dos años después de la puesta en Servicio Comercial y crecerá como lo siguiente.

Periodo	Disponibilidad Global Técnica
Al inicio de la Puesta en Servicio Comercial	≥ 96.15
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial	≥ 96.20
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial	≥ 96.25

Por información, este objetivo fue calculado como lo siguiente:

$$Dgt = \prod_{i=1}^n Dti$$

Dónde:

- *Dgt* es la Disponibilidad Global Técnica del sistema. Es el producto de las Disponibilidades Técnicas de los sistemas y que son necesarios a la operación de los trenes, a saber:
 - El Material Rodante,
 - La Señalización CBTC
 - Las Puertas de Andén,
 - Vía,
 - Energía y Lógica de Tracción,
 - Redes de comunicaciones,
 - Radio,
 - CCTV,
 - Aire Acondicionado y/o Ventilación Forzada.
- *sistema i*. Se trata de la disponibilidad intrínseca que incluye todos los tipos de fallas (Significativo, Mayor y Menor ver abajo).

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

La Disponibilidad Técnica depende de los MTBF y MTTR los cuales serán calculados sobre los tiempos de funcionamiento de cada sistema. A continuación se presentan los tiempos estimados de funcionamiento de los diferentes sistemas.

Sistemas	Tiempos de funcionamiento
Material Rodante	1 hora antes el inicio del servicio diario hasta ½ hora después del fin del servicio diario
Señalización CBTC	24 h /día
Puertas de Anden	24 h /día
Energía y Lógica de Tracción	24 h /día
Los Telecomunicaciones	24 h /día
Aire Acondicionado y/o Ventilación Forzada	24 h /día

9.2.2 Disponibilidad del Servicio y Puntualidad

9.2.2.1 Disponibilidad del Servicio

El objetivo de Disponibilidad del Servicio del Sistema de Transporte será superior a 98.00 % del inicio de la Puesta en Servicio Comercial hasta el fin del primer año y superior a 99.00 % después.

$$D_{ser} = 1 - \frac{M_{can}}{M_{prog}}$$

Dónde:

- D_{ser} es la Disponibilidad del Servicio del Sistema de Transporte.
- M_{can} es el número de Misiones Canceladas.
- M_{prog} es el número de Misiones Programadas.

La Disponibilidad del Servicio será calculada diariamente.

9.2.2.2 Puntualidad de los trenes

El objetivo de Puntualidad de los trenes del Sistema de Transporte será superior a 98.00 % del inicio de la Puesta en Servicio Comercial hasta el fin del primer año y superior a 99.00 % después.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

$$PT = 1 - \frac{R_{tot}}{T_{op}}$$

Dónde:

- *PT* es la Puntualidad de los trenes del Sistema de Transporte.
- *R_{tot}* es el total de todos los Retrasos medidos al final de las misiones en la estación de llegada. Se contempla solamente los retrasos mayores de 3 minutos, debido a que un retraso menor a 3 minutos se debería en gran parte al comportamiento de los pasajeros y no se podría medir correctamente el rendimiento del sistema.
- *T_{op}* es el total de los Tiempos de Operación de los trenes.

La Puntualidad de los trenes será calculada diariamente.

9.3 Objetivos FMD de los Trenes

Los objetivos FMD de los trenes presentados en este capítulo son un recuerdo de los objetivos ya definidos en la Especificación del Material Rodante para el Proyecto.

9.3.1 Disponibilidad

El objetivo de disponibilidad es un índice mínimo de 96.4% para el lote de trenes, considerando como base los tiempos de operación establecidos y los tiempos de inmovilización por mantenimiento preventivo y correctivo.

Además de las averías que presenten los trenes en su explotación, cuando se presente falla en taller, depósito, o sea requerida la inmovilización de cualquier tren para la atención de alguna anomalía o falla, se considerará el tiempo empleado en estas intervenciones para efectos del cálculo de disponibilidad.

9.3.2 Fiabilidad

9.3.2.1 Averías Categoría 1 y Nivel de MDBF Especificado

El indicador de fiabilidad MDBF1 - la distancia recorrida en kilómetros entre la cantidad de incidentes en dicho período - se obtiene a partir de la frecuencia de incidentes con consecuencias significativas (Clase 1) y causados en Línea.

Los incidentes de Clase 1 corresponden a una perturbación importante de la explotación en la Línea que implica pérdida de vueltas y una calidad de servicio muy deteriorada, son caracterizados por los siguientes incidentes:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 52 DE 68

El término tren descompuesto está dado por una o más averías que conducen a la ejecución de la maniobra socorro-descompostura para lograr el retiro de un tren del servicio ayudado por otro acompañado de la evacuación de los viajeros, el tren descompuesto implica retrasos importantes en el programa de explotación de los trenes en Línea.

El término de tren evacuado está dado por una o más averías que conducen al retiro de explotación del tren después de la evacuación de los viajeros, la seguridad de los usuarios puede ser una de las causas de evacuación, según las situaciones de evacuación puede implicar un retraso más o menos importante.

El término de tren con retraso está dado por una o más averías que implican una inmovilización y/o un retraso de duración superior o igual a 15 minutos en el programa de explotación de los trenes en Línea.

La medida del MDBF1 para los incidentes de clase 1 es definida por el cálculo siguiente:

- $MDBF1 = km / N 1$
- $N 1 = \sum n 1$ Número total de los incidentes de Clase 1 aparecidos sobre el parque de los trenes que constituye la muestra durante el período de observación.
- $km = \sum km$ Suma total de kilómetros recorridos de los trenes que constituyen la muestra del parque.

El tiempo de retraso incluye el tiempo de detección, localización de la avería y de intervención del conductor para normalizar el servicio del tren.

El objetivo por el lote de trenes para esta categoría de incidente es de 500,000 km.

9.3.2.2 Averías Categoría 2 y Nivel de MDBF Especificado

El indicador de fiabilidad MDBF2 - la distancia recorrida en kilómetros entre la cantidad de incidentes en dicho período - se obtiene a partir de la frecuencia de incidentes con consecuencias significativas (Clase 2) y causados en Línea.

Los incidentes de clase 2 corresponden a una notable perturbación de la explotación de la Línea que implica pérdida de vueltas programadas y una calidad de servicio deteriorada, ellas son caracterizadas por los siguientes incidentes:

El estacionamiento de los trenes entre 5 y 15 minutos como consecuencia de una o más averías que implican un retraso de duración entre 5 y 15 minutos en el programa de explotación de los trenes en Línea.

La medida del MDBF2 para los incidentes de Clase 2 se define por el cálculo siguiente:

- $MDBF2 = km / N 2$

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 53 DE 68

- $N_2 = \sum n_2$ Número total de los incidentes de Clase 2 aparecidos en la cantidad de trenes que constituyen la muestra durante el período de observación.
- $km = \sum km$ Suma total de los kilómetros recorridos de los trenes que constituye la muestra del parque.

El tiempo de retraso incluye el tiempo de detección, localización de la avería y de intervención del conductor para normalizar el servicio del tren.

El objetivo por el lote de trenes para esta categoría de incidente es 150,000 km.

9.3.2.3 Averías Categoría 3 y Nivel de MDBF Especificado.

Este indicador se mide tomando en cuenta todas las averías. Se entenderán como averías de Categoría 3, aquéllas que den lugar a acciones de mantenimiento que requieran reparación o reemplazo de cualquier componente que no haya sido considerado como material de consumo.

La medida de la fiabilidad MDBF3 se define por el cálculo siguiente:

- $MDBF3 = km / \sum ni$
- $\sum ni$: Número total de todas las averías de Clases 1, 2 y 3, presentadas sobre el tren durante el periodo de observación.
- $km = \sum km$ Kilómetros recorridos por el tren durante el periodo de observación.

El objetivo por tren para esta categoría de incidente es de 8,465.66 kilómetros.

No serán consideradas como averías en las categorías anteriormente mencionadas, aquellas que sean originadas por vandalismo, por un mantenimiento deficiente, inadecuada operación del equipo o agentes externos al servicio. Para estos casos el Licitante ganador deberá demostrar fehacientemente estas desviaciones.

9.3.2.4 Especificación de la Fiabilidad por Sistema

Para el establecimiento de la fiabilidad, debe considerarse la clasificación de los sistemas del tren que se detallan a continuación, esta clasificación no es limitativa, en caso de haber omitido algún componente, el Licitante ganador deberá incluirlo en el grupo correspondiente.

- Sistema de Tracción-Frenado:

Equipos electrónicos de control de tracción-frenado, cableado, conectores, filtros, disyuntores, contactores, semiconductores de potencia, motores, resistencias, relevadores, transductores, conmutadores, protecciones, manipulador de Tracción-Frenado, entre otros.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 54 DE 68

- **Sistema de Antibloqueo:**
Equipos electrónicos de control, transductores, protecciones eléctricas, sensores de velocidad, electroválvulas, presostatos, tuberías, reguladores, válvulas, entre otros.
- **Sistema de Generación y Distribución de Energía Eléctrica:**
Convertidores estáticos, baterías, cableado, conectores, contactores, relevadores, conmutadores, protecciones eléctricas, fusibles entre otros.
- **Sistemas de Informática Embarcada, de Mando y Control:**
Unidades de tratamiento de la información, unidades de control programables, módulos de entradas y salidas, transductores, pantallas, conectores, cableado, botones, relevadores, conmutadores, protecciones eléctricas, entre otros.
- **Sistema de Puertas de Pasajeros:**
Equipo de control, motores eléctricos, mecanismos, cableado, conectores, relevadores, conmutadores, interruptores, sensores, protecciones eléctricas, hojas de puertas de acceso al salón de pasajeros, entre otros.
- **Sistema de Generación y Distribución de Aire Comprimido:**
Motores, inversor del grupo moto-compresor, unidad compresora, secadores, cableado, conectores, relevadores, transductores, presostatos, conmutadores, protecciones eléctricas, mangueras, tuberías, depósitos de aire, filtros, válvulas, entre otros.
- **Sistemas Mecánicos:**
Conjunto del bogí, bastidor, suspensiones primaria y secundaria, bloques de frenado, electroválvulas de frenado, freno de estacionamiento, caja de grasa, reductores, ruedas metálicas, rodamientos, acoplamiento motor-reductor, unión caja-bogí, enganches mecánicos, defensas, entre otros.
- **Sistema de Comunicación y de Video-vigilancia (CCTV):**
Equipo centralizado de información y megafonía, módulos de control, bocinas, micrófonos, cableado, conectores, botones, relevadores, conmutadores, protecciones eléctricas, monitores de videoinformación al usuario entre otros.

Incluye: cámaras en el interior de los coches, monitores en cabina, equipo de control, equipo de grabación y transmisión, tomas, cableados, transmisores, equipos periféricos, entre otros.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	  GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 55 DE 68

- Sistema de Registro:

Caja de señalización, numerador de tren, indicador de destino, registrador electrónico de eventos, transductores, velocímetros, cableado, conectores, botones, señalizaciones ópticas y acústicas, relevadores, equipo de transmisión remota, conmutadores, pantallas, protecciones eléctricas, entre otros.

- Sistema CBTC:

Transmisores, receptores, antenas, módulos electrónicos, tarjetas madre, captosres, balizas, transductores, tomas eléctricas, cableado, relevadores, protecciones eléctricas, entre otros.

- Caja:

Carrocerías, soportería bajo bastidor, cabinas, accesorios, puertas de cabina, cristales, pisos, revestimientos, pasillos de inter-circulación, asientos, ventanas, ventilación refrigerada, filtros, alumbrado, cableado, conectores, acopladores eléctricos, relevadores, conmutadores, protecciones, pasamanos, cofres laterales e inferiores, entre otros.

Los valores mínimos de fiabilidad para cada uno de los sistemas del lote de trenes, se establecen en la siguiente tabla:

TABLA DE FIABILIDADES POR SISTEMA.

SISTEMAS	MDBF mensual (km/avería)
Tracción - Frenado	74,000
Antibloqueo	120,000
Generación y Distribución de Energía Eléctrica	200,000
Informática Embarcada, Mando y Control	120,000
Puertas de Pasajeros	100,000
Generación y Distribución de Aire Comprimido	150,000
Sistemas Mecánicos	130,000
Registro	120,000
Comunicación y CCTV	90,000
Caja	80,000
Señalización CBTC	100,000
Sistema de Ventilación Refrigerada (VAR)	200,000



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

HOJA: 56 DE 68

9.3.3 Mantenibilidad

Para cada intervención en el material rodante se verificarán los procedimientos, herramientas y equipos utilizados para comparar los resultados obtenidos conforme a los siguientes objetivos:

- Todas las acciones para el mantenimiento preventivo menor se realizarán en un tiempo máximo de 7 horas.
- La media del tiempo de intervención (MTTR) será de 60 minutos máximo para las intervenciones de mantenimiento correctivo que inmovilicen un tren.

9.4 Objetivos FMD de los Sistemas

9.4.1 Señalización CBTC

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
$Dt \geq 99.992 \%$	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none">• $MTBSF3 \geq 50\ 000\ h$ Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none">• $MTBSF2 \geq 10\ 000\ h$ Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none">• $MTBSF1 \geq 2\ 000\ h$	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none">• $MTTR3 \leq 20\ min$ Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none">• $MTTR2 \leq 30\ min$ Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none">• $MTTR1 \leq 60\ min$

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de la Señalización CBTC.

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = MTBSF / (MTBSF + MTTR).$$

Además se definen los objetivos de fiabilidad siguientes por equipos:

- Equipos ATC a bordo $MTBF \geq 50\ 000\ h$,
- Equipos ATC fijos (en locales técnicas y en vía) $MTBF \geq 50\ 000\ h$

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	HOJA: 57 DE 68

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.985 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.990 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.991 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.992 %

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor la Señalización y Pilotaje Automático.

9.4.2 Puertas de Andén

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.97 % D ≥ 99.99 % para cada posición PDA en cada estación.	MTBF ≥ 4 años por cada PDA en cada estación. Además: Falla seria Significativo: • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: • MTBSF1 ≥ 2 000 h	MTTR ≤ 2 h por cada PDA en cada estación. Además: Elementos cuya falla sería Significativo: • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor:

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.94 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.95 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.96 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.97 %



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 58 DE 68

9.4.3 Vía

Los objetivos de RAM a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.995 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 2 000 h 	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 15 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 15 min Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 30 min

Para cada una de las categorías de falla, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Los objetivos de RAM crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.992 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.993 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.994 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.995 %



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 59 DE 68

9.4.4 Energía y Lógica de Tracción

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.99 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 2 000 h 	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 60 min

Estos objetivos se aplicaran de manera separada para la Lógica de tracción, la Energía de tracción.

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.96 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.97 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.98 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.99 %



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 60 DE 68

9.4.5 Equipamientos de Talleres y Garajes

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 97.50 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 2 000 h 	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor:

Para cada una de las categorías de fallo, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

9.4.6 Mando Centralizado

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.999 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 2 000 h Panel de Control Visual MTBF ≥ 100 000 h.	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 60 min Panel de Control Visual: MTTR ≤ 30 min.



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 61 DE 68

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Además se definen los objetivos de fiabilidad siguientes por equipos:

- Puesto Informático Operador MTBF \geq 50 000 h,
- Servidores Informático MTBF \geq 100 000 h,
- Material de red MTBF \geq 100 000 h.

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt \geq 99.996 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt \geq 99.997 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt \geq 99.998 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt \geq 99.999 %

9.4.7 Redes de comunicaciones

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt \geq 99.9993 %	<p>Falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 \geq 200 000 h <p>Falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 \geq 100 000 h <p>Falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 \geq 50 000 h 	<p>Elementos cuya falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 \leq 30 min <p>Elementos cuya falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 \leq 30 min <p>Elementos cuya falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 \leq 60 min

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Además se definen los objetivos de fiabilidad siguientes por equipos:

- Servidores Informático MTBF \geq 100 000 h,

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

- Material de red MTBF $\geq 100\ 000$ h.

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.9990 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.9991 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.9992 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.9993 %

9.4.8 Telefonía

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.99 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 $\geq 200\ 000$ h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 $\geq 100\ 000$ h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 $\geq 50\ 000$ h 	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 60 min

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de la Telefonía.

Para cada una de las categorías de falla, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

9.4.9 Radio

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.998 %	Falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF3 ≥ 200 000 h Falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 100 000 h Falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 50 000 h 	Elementos cuya falla sería Significativo: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 60 min

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de la Radio.

Para cada una de las categorías de falla, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.995 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.996 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.997 %

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de la Radio.



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 64 DE 68

9.4.10 CCTV

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.997 %	Falla sería Significativo: • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: • MTBSF1 ≥ 2 000 h	Elementos cuya falla sería Significativo: • MTTR3 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: • MTTR2 ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: • MTTR1 ≤ 60 min

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor.

Para cada una de las categorías de falla, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

9.4.11 Información a Pasajeros

Los objetivos de RAM a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.50 %	Falla sería Significativo: • MTBSF3 ≥ 50 000 h Falla sería Mayor: • MTBSF2 ≥ 10 000 h Falla sería Menor: • MTBSF1 ≥ 2 000 h	Elementos cuya falla sería Significativo: • MTTRsig ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Mayor: • MTTRmay ≤ 30 min Elementos cuya falla sería Menor: • MTTRmen ≤ 60 min



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 65 DE 68

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de Información a Pasajeros.

Para cada una de las categorías de falla, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

9.4.12 Sonorización

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
<p>$D_t \geq 99.6\%$ por la función "todos los altavoces por estación"</p> <p>$D_t \geq 99.5\%$ por la función "todos los altavoces por tren"</p>	<p>$\text{MTBSF} \geq 8$ años por cada altavoz en cada estación</p> <p>$\text{MTBSF} \geq 2$ años y por cada altavoz en cada tren</p> <p>Además:</p> <p>Falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTBSF}_3 \geq 50\,000$ h <p>Falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTBSF}_2 \geq 10\,000$ h <p>Falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTBSF}_1 \geq 2\,000$ h 	<p>$\text{MTTR} \leq 9$ h por cada altavoz en cada estación.</p> <p>$\text{MTTR} \leq 12$ h por cada altavoz en cada tren.</p> <p>Además:</p> <p>Elementos cuya falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTTR}_3 \leq 30$ min <p>Elementos cuya falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTTR}_2 \leq 30$ min <p>Elementos cuya falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{MTTR}_1 \leq 60$ min

Estos objetivos se aplicaran a todos los suministros (embarcado y suelo) del proveedor de Sonorización.

Para cada una de las categorías de fallo, la disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	

9.4.13 Aire Acondicionado y/o Ventilación forzada

Los objetivos de FMD a dos años se establecen como sigue:

Disponibilidad Técnica	Fiabilidad	Mantenibilidad
Dt ≥ 99.9992 % para la función "al menos 90 % de capacidad por cada sistema de ventilación"	<p>MTBF ≥ 1 (un) año por cada sistema de ventilación</p> <p>Además:</p> <p>Falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBF3 ≥ 50 000 h <p>Falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF2 ≥ 10 000 h <p>Falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTBSF1 ≥ 2 000 h 	<p>MTTR ≤ 48 h por cada sistema de ventilación.</p> <p>Además:</p> <p>Elementos cuya falla sería Significativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR3 ≤ 30 min <p>Elementos cuya falla sería Mayor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR2 ≤ 30 min <p>Elementos cuya falla sería Menor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTTR1 ≤ 60 min

Estos objetivos se aplicaran de manera separada para el sistema de ventilación en túnel y el sistema de ventilación en estación.

La disponibilidad se calculara de la siguiente forma, por ejemplo:

$$D = \text{MTBSF} / (\text{MTBSF} + \text{MTTR}).$$

Los objetivos de FMD crecerán conforme a lo siguiente:

Periodo	Disponibilidad Técnica
Inicio de Puesta en Servicio Comercial	Dt ≥ 99.995 %
6 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.999 %
12 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.9991 %
24 meses después de la Puesta en Servicio Comercial y	Dt ≥ 99.9992 %

Estos objetivos se aplicaran de manera separada para el sistema de ventilación en túnel y el sistema de ventilación en estación.



TITULO:
ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL



GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00

HOJA: 67 DE 68

10 ENTREGABLES FMD

El Licitante ganador deberá entregar, como mínimo, los siguientes documentos:

- Plan FMD de Sistema (System RAM Plan)
- Diagramas de Bloque de Fiabilidad (Reliability Block Diagrams)
- Informe de Asignación de FMD (RAM Allocation Report)
- FMECA
- Informe de Análisis e de Predicción FMD (RAM Prediction and Analysis Report)
- Lista de Elementos Críticos de Fiabilidad (Reliability Critical Items List)
- Informe de Piezas de Repuesto (Spare Parts Report)
- Informe FMD (RAM Report)
- Plan de Demostración FMD (RAM Demonstration Plan)
- Informe de Demostración FMD (RAM Demonstration Report)
- Informe Mensual de Rendimiento FMD (RAM Performance Monthly Report)

Se debe entregar algunos de estos documentos a nivel del sistema (por separado) y a niveles de subsistemas. Esto se definirá en el Plan FMD de Sistema.

	TITULO: ESPECIFICACIÓN FDMS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y CONTROL	 GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
	No. Clave: 2020-SDGM-CBTC-L1MO-000-II-05-11-E-00	