
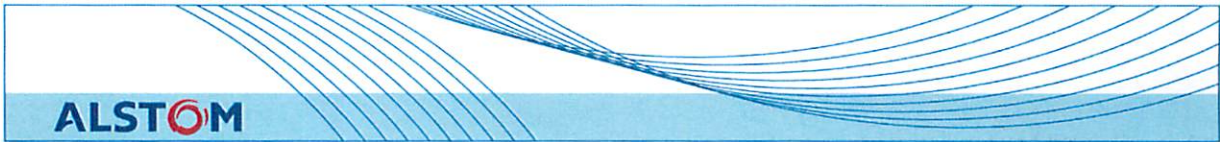


00000439

- ANEXO 1N -
JB005.RA.001
PLAN DE FIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y
MANTENIBILIDAD





00000440

ANEXO 1N

PLAN DE FIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD

- 1. INTRODUCCIÓN3
 - 1.1. LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS 3
 - 1.2. DEFINICIONES APLICABLES 3
- 2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA3
- 3. ORGANIZACIÓN DE FDMS.....4
- 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA6
 - 4.1. ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS SISTEMAS 6
 - 4.1.1. Sistema de Tracción-Frenado6
 - 4.1.2. Sistema de Antibloqueo.....6
 - 4.1.3. Sistema de Generación y Distribución de Energía Eléctrica6
 - 4.1.4. Sistemas de Informática Embarcada, de Mando y Control.....7
 - 4.1.5. Sistema de Puertas de Pasajeros.....7
 - 4.1.6. Sistema de Generación y Distribución de Aire Comprimido.....7
 - 4.1.7. Sistemas Mecánicos.....8
 - 4.1.8. Sistema de Comunicación.....8
 - 4.1.9. Sistema de Señalización y Registro.....8
 - 4.1.10. Sistema de Videovigilancia (CCTV).....9
 - 4.1.11. Caja.....9
- 5. CONDICIONES TÍPICAS AMBIENTALES Y OPERACIONALES..... 10
- 6. FIABILIDAD 10
 - 6.1. DEFINICIÓN DE TIPOS DE FALLAS 10
 - 6.1.1. FALLA TIPO A (SIGNIFICANTE)10
 - 6.1.2. FALLA TIPO B (MAYOR).....10
 - 6.1.3. FALLA TIPO C (MENOR)10
 - 6.1.4. AVERÍAS FUGITIVAS11
 - 6.1.5. DEFINICIÓN DE FALLAS PARA EVALUACIÓN DE FIABILIDAD.....11
 - 6.1.6. EXCEPCIONES11
 - 6.2. METAS DE FIABILIDAD..... 12
 - 6.2.1. METAS DEL TREN12
 - 6.2.2. METAS DE LOS SISTEMAS12
 - 6.2.3. Averías que Provocan Afectaciones al Servicio13
 - 6.3. PREDICCIÓN 14
 - 6.4. PLANO DE DEMOSTRACIÓN DE FIABILIDAD..... 15
 - 6.4.1. SISTEMA DE NOMBRAMIENTO DE FALLAS15
 - 6.5. CÁLCULO DE REPUESTOS 15
- 7. MANTENABILIDAD..... 15





7.1. CRITERIO DE MANTENABILIDAD EN PROYECTO	16
8. DISPONIBILIDAD	17
9. DEMOSTRACIÓN DE FIABILIDAD, NAFS Y DISPONIBILIDAD	18
10. CRONOGRAMA DE FIABILIDAD.....	20
10.1. DOCUMENTOS	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organización de FDMS para el proyecto	5
Figura 2: Modelo de Hoje de Predicción de la Fiabilidad.....	22
Figura 3: Modelo de Hoje de Cálculo de Piezas de recambio.....	23
Figura 4: Modelo de Hoje de Predicción de la Mantenabilidad	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Metas de Fiabilidad.....	12
-----------------------------------	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Formula 1: MDBF del Tren	12
Formula 2: MKBF e FPMK	13
Formula 3: NAFS.....	14
Formula 4: Ley de Poisson – Cálculo de repuestos	15
Formula 5: DOHP	18



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del Plano de FDM (PFDM) es describir el enfoque de ALSTOM para garantizar que los niveles deseados de fiabilidad estean inherentes en el proceso. El PFDM define la política, el escopo, la organización y los procesos establecidos para aplicar el programa.

Este programa está relacionado con el proyecto de 30 trenes de 7 coches cada uno, que funcionarán en la línea 12 de la Ciudad del Mexico.

1.1. LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

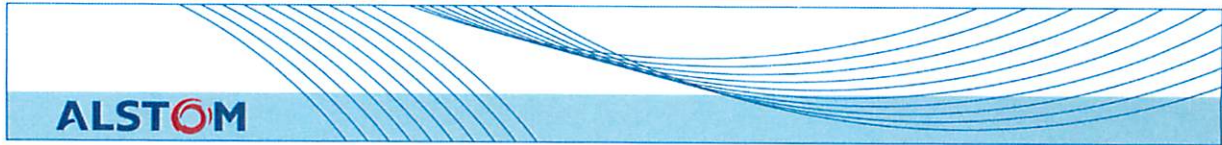
FDM	Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.
FDMS	Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad e Seguridad
FMECA	Failure Modes Effects and Criticallity Analysis - Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos Críticos
FPMK	Failures Per Million Kilometer Fallas por Millón de Kilómetros
FRACAS	Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System Reporte de fallas, análisis y Sistema de Acciones correctivas
MKBF	Mean Kilometers Between Failures Cantidad de Kilómetros entre fallas
PPFDM	Plano del Programa de Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad
RAM	Reliability, Availability and Maintainability – Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety – Confiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad
S.T.C / STC	Sistema de Transporte Colectivo
TUE	Tren Unidad Eléctrica

1.2. DEFINICIONES APLICABLES

La lista de definiciones aplicables es presentada en un documento separado, titulado "FDMS - Definiciones aplicables", número Alstom JB005.RA.005.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- [1] JB005.RA.005 - FDMS – Definiciones Aplicables
- [2] JB005.RA.004 - Perfil Típico de la Misión
- [3] ANEXO TÉCNICO – Especificaciones Técnico Funcionales para la Fabricación de un lote de 30 Trenes Férreos que Circularán en la línea 12 del Metro de la Ciudad de México.
- [4] IEC 62278 - Railway Applications – Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety, 2002.
- [5] MIL HDBK 338 B - Electronic Reliability Design Handbook, 1998.



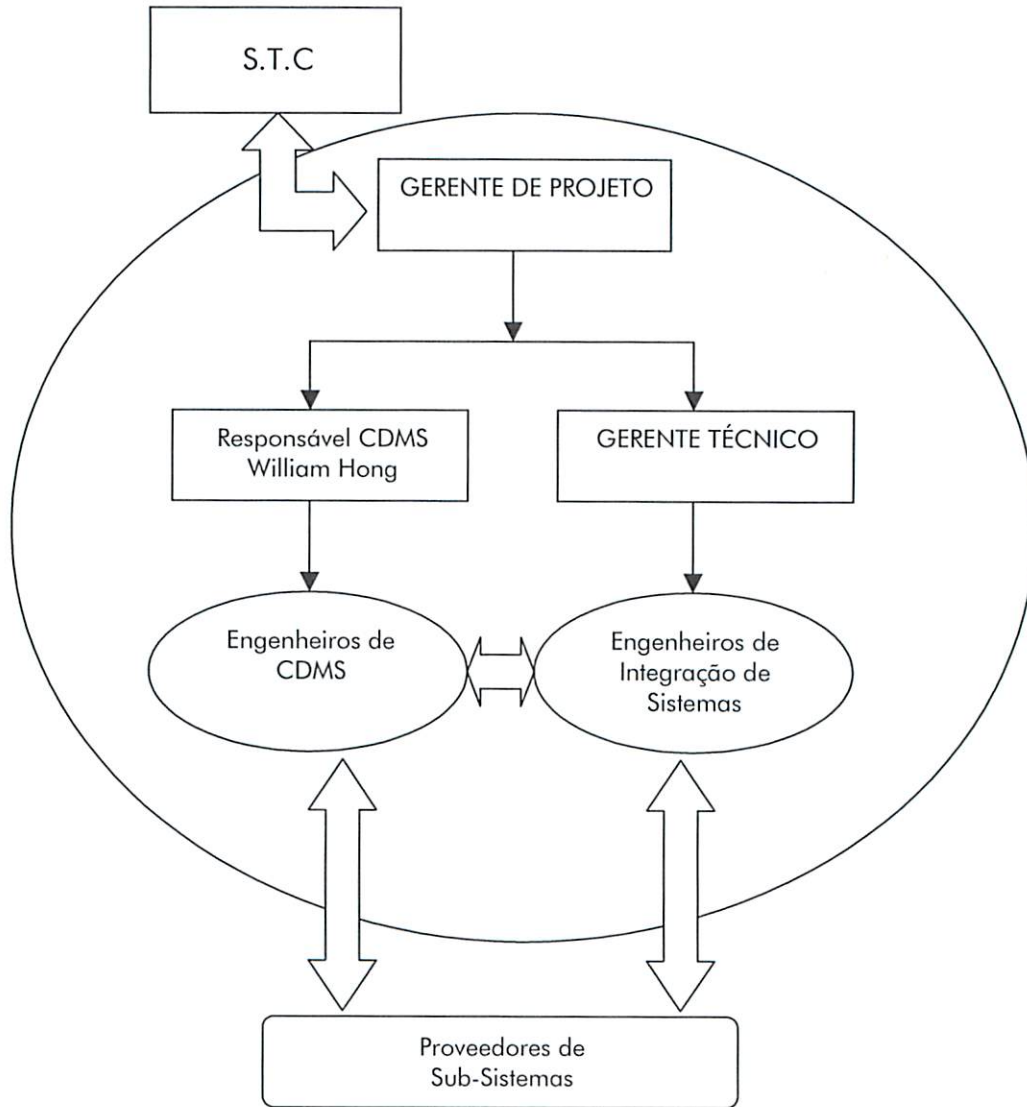
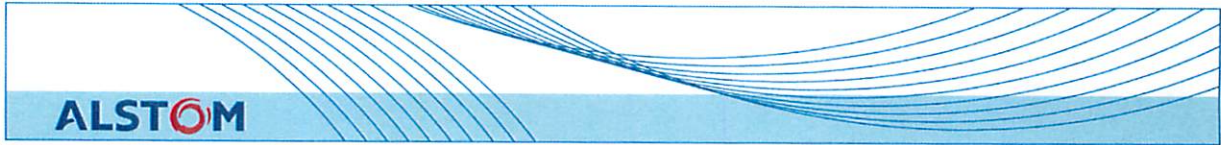
- [6] MIL-HDBK-217F, Notice 2 - Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1991.
- [7] NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia, 1994.
- [8] NPRD 95 - Non Electronic Reliability Data – Reliability Analysis Center (RAC), 1995.
- [9] UTE80810 - Union Technique de L'électricité - Composants Electroniques – Recueil de Données de Fiabilité - 1997

3. ORGANIZACIÓN DE FDMS

El Plano del Programa de Fiabilidad es elaborado e conducido por el responsable de FDMS, que es parte del equipo del proyecto.. La responsabilidad de los ingenieros de FDMS incluye:

- Hacer la asignación de metas numéricas de Fiabilidad, y asegurar que las tareas se desarrollan de forma a alcanzar estas metas;
- Promover la interacción entre los departamentos de Proyecto, Fabricación y Compras, verificando el desempeño y proponiendo modificaciones e acciones correctivas cuando necesario;
- Analizar la fiabilidad de los sistemas;
- Prestar apoyo técnico a los departamentos de Proyecto, Fabricación y Compras;
- Informar la evolución de las actividades de fiabilidad para el Gerente de Proyecto.

La [Figura 1](#) muestra la organización de FDMS para el proyecto.

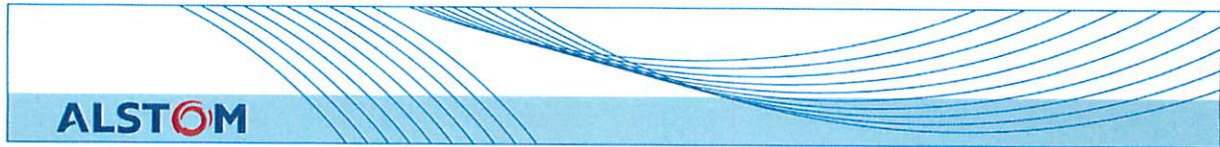


Handwritten red and blue marks on the right side of the page, including a vertical red line and a signature.

Figura 1: Organización de FDMS para el proyecto



A



4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Una descripción general del sistema es detallada en otros documentos que conforman la propuesta.

4.1. ESTRUTURA BÁSICA DE LOS SISTEMAS

De acuerdo con [3], los principales ítems que componen los sistemas del tren son:

4.1.1. 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 eléctricas;
- manipulador de tracción-frenado.

4.1.2. Sistema de Antibloqueo.

- Equipos electrónicos de control;
- Transductores;
- protecciones eléctricas,
- sensores de velocidad,
- electroválvulas,
- presostatos,
- tuberías,
- reguladores,
- válvulas,

4.1.3. Sistema de Generación y Distribución de Energía Eléctrica.

- Pantógrafo,
- escobillas negativas y de masa,
- convertidores estáticos,
- baterías,
- cableado,
- conectores,
- contactores,
- relevadores,
- conmutadores,
- protecciones eléctricas,

- fusibles.
-

4.1.4. 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,

4.1.5. 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.

4.1.6. Sistema de Generación y Distribución de Aire Comprimido.

- Motores,
- inversor del grupo motocompresor,
- unidad compresora,
- secadores, cableado,
- conectores,
- relevadores,
- transductores,
- presostatos,
- conmutadores,
- protecciones eléctricas,
- mangueras,
- tuberías,
- depósitos de aire,
- filtros,
- válvulas.

4.1.7. Sistemas Mecánicos.

- Conjunto del bogie,
- 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-bogie,
- enganches mecánicos,
- defensas.

4.1.8. Sistema de Comunicación.

- Equipo centralizado de información y megafonía,
- módulos de control,
- bocinas, micrófonos,
- cableado,
- conectores,
- botones,
- relevadores,
- conmutadores,
- protecciones eléctricas,
- monitores.

4.1.9. Sistema de Señalización y 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,
- protecciones eléctricas.

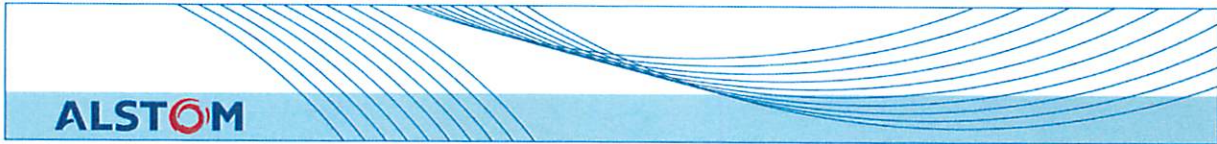
4.1.10. Sistema de Videovigilancia (CCTV).

- cámaras en el interior de los carros,
- monitores en cabina,
- equipo de control,
- equipo de grabación,
- tomas,
- antenas,
- cableados,
- transmisores,
- receptores,
- decodificadores,
- equipos periféricos.

4.1.11. Caja.

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

Estos ítems pueden ser diferentes de acuerdo con la propuesta técnica de Alstom.



5. CONDICIONES TÍPICAS AMBIENTALES Y OPERACIONALES

Las condiciones ambientales y operacionales son presentadas en un documento separado, titulado "Perfil Típico de la Misión", número Alstom JB005.RA.003.

6. FIABILIDAD

El propósito de esta sección es asegurar que los coches suministrados cumplirán con los requisitos de fiabilidad especificados en este plano.

En general, los sistemas de alta fiabilidad se consiguen utilizando componentes de probada fiabilidad, que han demostrado con éxito su eficiencia en la operación. Principales aspectos de la fiabilidad para este programa incluyen tareas relacionadas con:

- Cumplimiento de la fiabilidad de la propuesta;
- Análisis y predicción de fiabilidad durante el proyecto;
- Monitoramento de los esfuerzos de los proveedores con la fiabilidad de sus productos;
- Participación en Revisiones de Proyecto ("Design Reviews");
- Demostración de la fiabilidad;
- Utilización de Sistema de Registro y Análisis de Fallas y Acciones Correctivas (FRACAS);

6.1. DEFINICIÓN DE TIPOS DE FALLAS

Los tipos de falla pueden ser definidos como:

6.1.1. FALLA TIPO A (SIGNIFICANTE)

Las fallas que afectan el movimiento del tren, causan detenimiento o provocan retrasos que afectan a operación por completo. El tren ya no es capaz de tráfico y se han evacuado y trasladado fuera de servicio inmediatamente, o remolcados por sus propios medios.

La norma IEC [4] define este tipo de falla como "Falla de inmovilización", el efecto de la operación es "operación imposible".

6.1.2. FALLA TIPO B (MAYOR)

Las fallas que afectan la parte relativa al movimiento del tren, paralizando parcialmente o retrasando la operación. El tren tiene condiciones para el tráfico por el final de la carretera por sus propios medios a ser cerrado.

La norma IEC [4] define este tipo de falla como "Falla funcional Crítica", cuyo efecto sobre la operación es la "Operación de emergencia 1".

6.1.3. FALLA TIPO C (MENOR)

Estas son las fallas que no afectan la circulación de los trenes. El tren es capaz de cumplir el horario del día, o esperar una parada programada, ya que no causa retrasos en la operación. Fallas encontradas en el mantenimiento preventivo se consideran también como tipo C.

A norma IEC [4] define este tipo de falla como "Falla funcional no crítico", que se traducen en la operación es "la operación de emergencia 2".

6.1.4. AVERÍAS FUGITIVAS

Para el caso de las averías reportadas que no se presenten al hacer la revisión, es decir fallas fugitivas del tren, se recurrirá a: la extracción de la información almacenada en los equipos informáticos del tren y de sus distintos sistemas, cualquier evidencia de que hubo avería demostrada a través de los medios anteriores, será condición suficiente para imputar estas averías a "ALSTOM", independientemente de que se encuentre o no la causa de la avería.

Para el caso de las averías fugitivas y/o repetitivas de las cuales no se encuentra ninguna evidencia de su existencia a través de los medios del párrafo anterior, no serán consideradas como avería, salvo que en un periodo de 15 días se repita 3 veces el mismo reporte de avería y con características similares, en este caso se considerará, para efectos de evaluación de la fiabilidad a partir de la primera avería más las que se acumulen en el periodo de evaluación.

6.1.5. DEFINICIÓN DE FALLAS PARA EVALUACIÓN DE FIABILIDAD

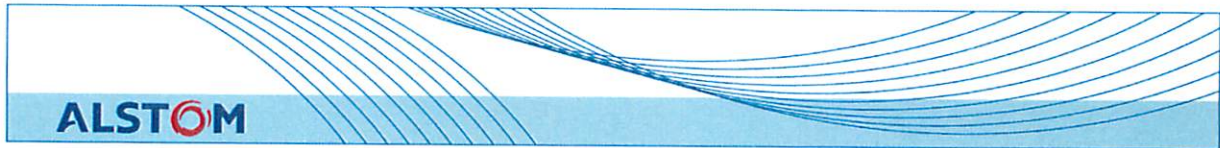
La imputabilidad de las averías para efecto del cálculo de fiabilidad por tren y por sistemas se determinará de común acuerdo entre ALSTOM y "EL S.T.C." respetando los siguientes criterios:

- Avería o falla, es una anomalía que afecta el funcionamiento normal del tren o de sus equipos, presentada durante la operación del tren, el mantenimiento del mismo, al realizar pruebas o cualquier verificación.
- Para el caso de las averías reportadas que no se presenten al hacer la revisión, es decir fallas fugitivas del tren, se recurrirá a: la extracción de la información almacenada en los equipos informáticos del tren y de sus distintos sistemas, cualquier evidencia de que hubo avería demostrada a través de los medios anteriores, será condición suficiente para imputar estas averías a "ALSTOM", independientemente de que se encuentre o no la causa de la avería.
- Para el caso de las averías fugitivas y/o repetitivas de las cuales no se encuentra ninguna evidencia de su existencia a través de los medios del párrafo anterior, no serán consideradas como avería, salvo que en un periodo de 15 días se repita 3 veces el mismo reporte de avería y con características similares, en este caso se considerará, para efectos de evaluación de la fiabilidad a partir de la primera avería más las que se acumulen en el periodo de evaluación.
- Para el caso de las averías que son normalizadas a través del "restablecimiento o reseteo" de los equipos, estas también serán contabilizadas como avería.
- Todas las averías previa su intervención serán reportadas conforme al procedimiento que se establezca en forma conjunta entre "EL S.T.C." y "ALSTOM". En caso que la avería tenga que ser atendida por personal de "EL S.T.C." por estar afectando el servicio, se le dará el tratamiento de avería fugitiva para determinar su imputabilidad.

6.1.6. EXCEPCIONES

No serán consideradas como fallas:

- Los accidentes cuya causa no es atribuible a una falla
- Inadecuada manutención
- Fallas que sean originadas por vandalismo
- Inadecuada operación del equipo o agentes externos al servicio
- Factores externos al tren
- Condiciones ambientales extraordinarias (inundaciones etc)
- Interdependientes o que se deriven de: un componente defectuoso puede provocar errores en otros componentes secuenciales. Para evitar duplicidades, fallas interdependientes o derivados no serán considerados como fallas, pero serán atribuidas a la falta original.



- Desgaste normal de las piezas

6.2. METAS DE FIABILIDAD

6.2.1. METAS DEL TREN

La fiabilidad se evaluará mediante la distancia media entre fallas (Mean Distance Between Failures, MDBF), y se entenderá por tal concepto la relación que existe entre el recorrido realizado por el lote de coches recepcionados y puestos en servicio y el número de fallas presentadas durante dicho recorrido por el lote de coches.

$$MDBF = \frac{\text{Kilómetros recorridos}}{\text{Número de fallas}}$$

Formula 1: MDBF del Tren

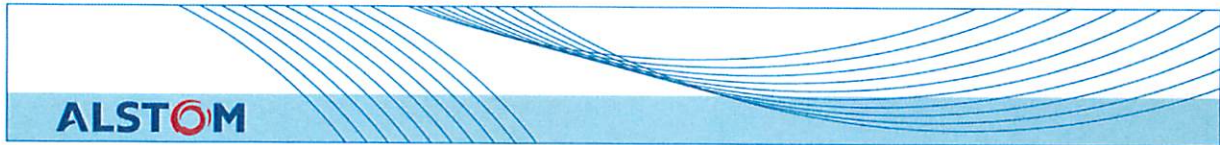
La meta de fiabilidad es un MDFB de 8.933 km.

6.2.2. METAS DE LOS SISTEMAS

Las metas de fiabilidad son presentadas en la [Tabla 14](#), en MDBF e FPMK para cada sistema. Los valores son establecidos en Tren x Kilómetro.

Tabla 1: Metas de Fiabilidad

Sistema	MDBF
Tracción- Frenado	50.000
Antibloqueo	120.000
Generación y Distribución de Energía Eléctrica	100.000
Informática Embarcada, Mando y Control	120.000
Puertas de Pasajeros	90.000
Generación y Distribución de Aire Comprimido	200.000
Sistemas Mecánicos	100.000
Comunicación	120.000
Señalización y Registro	120.000
Caja	80.000
Circuito Cerrado de Televisión (CCTV).	100.000



Total	8.933
-------	-------

$$MDBFS_X = \frac{\sum_{n=1}^N KM_{T_n}}{\sum_{n=1}^N AV_{T_n}}$$

Formula 2: MKBF e FPMK

Donde:

X = Sistema a evaluar (según la Tabla 1 Fiabilidades por Sistema).

MDBFSX = Fiabilidad del sistema a evaluar

KMTn = Soma de la Kilometraje total recorrido por los coches del tren Tn, recepcionado para puesta en servicio con periodo de puesta a punto cubierto en el periodo a evaluar.

AVTn = Total de averías del sistema a evaluar del tren Tn, recepcionado para puesta en servicio con periodo de puesta a punto cubierto en el periodo a evaluar.

N = Cantidad de trenes recepcionados para puesta en servicio con periodo de puesta a punto cubierto en el periodo a Evaluar.

6.2.3. Averías que Provocan Afectaciones al Servicio

Para el cálculo del nivel de afectación al servicio NAFS se considerarán todas las averías que se presenten durante la operación de los trenes de la Línea 12 y que como consecuencias de cada una de estas averías se tenga un retraso en el servicio más grande o igual a 4 minutos. Para esta evaluación se utilizará la información del Puesto de Control Central de "EL S.T.C" (Informe Diario de Operación de la Línea 12) respecto a los retrasos ocasionados por las distintas averías imputables al Material Rodante.

Dentro de este tipo de averías están las que ocasionan retraso por:

Trenes con pérdida de conducción, trenes con tracción lenta, trenes desalojados por afectar la seguridad, trenes que tienen que ser remolcados, trenes que provocan cortocircuitos con afectaciones a la alimentación general, trenes que para continuar su marcha requieren la ejecución de maniobras sobre este, entre otras. Solo se considerarán las averías que sean imputables a ALSTOM, utilizando el criterio establecido en 6.1.5.

Para el lote de trenes se evaluará este tipo de afectaciones a través del Nivel de Afectaciones al Servicio (NAFS). Se exigirá el nivel de cumplimiento siguiente:

NAFS ≤ 50

El cual se calculará de la siguiente manera:

$$NAFS = \frac{TAFS}{0.37 \times N_{ts}} \leq 50$$

Formula 3: NAFS

TAFS = Suma de los tiempos de retardo expresado en minutos, por averías que afectaron la operación con tiempos más grandes o iguales a 4 minutos de todos los trenes recepcionados para puesta en servicio con su periodo de puesta a punto cubierto.

N_{ts} = Número de trenes recepcionados para puesta en servicio con su periodo de puesta a punto cubierto durante el periodo a evaluar.

El tiempo de afectaciones al servicio (TAFS), se evaluara por periodos de 30 días, considerándose para cada tren a partir de su recepción para puesta en servicio un periodo de puesta a punto de 15 días, durante los cuales no se evaluará.

6.3. PREDICCIÓN

La predicción o estimación de la fiabilidad tiene el objetivo de predecir la fiabilidad del sistema a través de modelos, cálculos y análisis para comparar las soluciones técnicas posibles y elegir la que mejor se adapte a sus necesidades. No necesariamente se obtienen los valores precisos en la predicción de fiabilidad, pero para efectos de comparación - entre sub-sistemas, y mismo lo incluso entre los diferentes sistemas - la predicción es muy importante.

Asimismo, por lo general, el fabricante debe cumplir con ciertas metas de fiabilidad, y los métodos de predicción hace posible darse cuenta de cuán lejos de esos objetivos se encuentra y si necesita un plan de acción para que se cumplan los objetivos.

En resumen, la técnica de predicción de la fiabilidad no es necesariamente siempre eficaz en modo cuantitativos. Sin embargo, aunque existen diferencias entre la fiabilidad real y prevista, esta técnica es útil para identificar y separar los elementos vitales de los varios elementos triviales.

La predicción de la fiabilidad es un proceso continuo que comienza en las primeras etapas del ciclo de vida del producto, cuando los datos preliminares existen sólo sobre el papel, y pasa por otras etapas de desarrollo de productos.

Esta técnica sirve para ayudar a generar un producto final más fiable, si utilizada correctamente y entendida sus limitaciones. La predicción de la fiabilidad es muy útil para (entre otros):

- Evaluar la viabilidad del proyecto;
- Establecer los objetivos de fiabilidad;
- Estimación de la fiabilidad global del proyecto y
- Detectar posibles áreas de problemas;

Siempre que sea posible, los datos de fiabilidad sera obtenida el siguiente orden de preferencia:

- Información de Fallas reales de campo de los componentes que son idénticos a los utilizados en el nuevo proyecto;

- Información de Fallas reales de campo de los componentes que son similares a los utilizados en el nuevo proyecto;
- Información de resultados de pruebas de vida realizada en componentes idénticos o similares a los que se utilizarán en el nuevo proyecto;
- Base de datos de información y guías como [6], [8] e [9];
- Estimación de especialista, evaluación y comparación con otros sistemas.

6.4. PLANO DE DEMOSTRACIÓN DE FIABILIDAD

6.4.1. SISTEMA DE NOMBRAMIENTO DE FALLAS

Tras la entrega del primer tren se presentará para su aprobación por el S.T.C., el método estadístico que se adoptará para el nombramiento de las fallas y el cálculo de los índices de confiabilidad.

El S.T.C registrará la distancia recorrida en cada tren y el nombramiento de las fallas se producirá en conformidad con la clasificación mencionada, y pondrá esa información disponible para el estudio y la verificación.

El número de fallos que se utilizarán para calcular los índices se determinará después de un acuerdo entre Alstom y el S.T.C., donde se discutirán los acontecimientos de periodo.

6.5. CÁLCULO DE REPUESTOS

Se calcularán sobre las cantidades de artículos de repuesto para el mantenimiento de los sistemas del tren. Estos cálculos se realizarán durante el proyecto, por artículos reparables o sustituibles de los sistemas, basados en estudios de FDMS y el "lead time" de los proveedores. Artículos consumibles como filtros, luces, aceite, etc no son parte de estos cálculos.

El cálculo es para un riesgo de falta de material igual o menor que 2%. Es utilizada la ley de Poisson (teniendo en cuenta las tasas de fallo de elementos como constantes), expresada por la siguiente ecuación:

$$P(r) = \sum_{j=0}^r \frac{(\lambda \cdot n \cdot t)^j}{j!} e^{-\lambda \cdot n \cdot t}$$

Formula 4: Ley de Poisson – Cálculo de repuestos

En esta formula, R representa el número de artículos de repuesto, con una tasa de fallos λ , n representa el número total de los elementos instalados en los trenes y t representa el tiempo de funcionamiento del artículo en el periodo de lead time. P(r) es el complemento de la probabilidad de falta de material, o sea, P(r) = 1-0,02 = 0,98.

7. MANTENABILIDAD

El propósito de esta sección es conducir generalmente a:

- Reducción del tiempo de mantenimiento para el intercambio de equipo;
- Menor necesidad de mano de obra;
- Mejora de la disponibilidad general de los trenes;

Durante el proyecto las siguientes tareas de mantenimiento se llevarán a cabo:

- Examen de los criterios de mantenimiento en el proyecto (ver 7.1);
- Participación en reuniones para la revisión del proyecto ("Design Reviews ");
- Recopilación y análisis de mantenabilidad de los sub-proveedores;
- Cálculo de piezas de repuesto necesarias para proporcionar mantenimiento de campo;

7.1. CRITERIO DE MANTENABILIDAD EN PROYECTO

Los principales criterios de mantenimiento que se utilizarán en el proyecto y que se comprobarán en " Design Reviews " se enumeran en la Tabla 2. Estos criterios serán verificados y validados por las grandes asambleas.

Tabla 2: Criterios de mantenabilidad em proyecto

CRITERIO	DEFINICIONES / COMENTARIOS
Acessibilidad	El nivel de accesibilidad para reducir el número de acciones que deben ser realizadas por personal calificado, el tiempo para cada acción, y la necesidad de herramientas especiales, centrándose en los elementos menos fiables y los sistemas que requieren una inspección visual, calibración, y / o limpieza.
Facilidad de manutención preventiva	El proyecto del sistema que simplifique el mantenimiento preventivo, e incluya características que facilitan el monitoramiento de los itens sujetos a desgaste, la fatiga, o la degradación.
Diagnóstico de fallas	Cualquier acuerdo o sistemas que permiten la reducción del tiempo de diagnóstico de fallos.
Conexiones	El objetivo de este criterio es reducir el tiempo de remoción y de conexión, y reducir al mínimo el riesgo de errores de mantenimiento inducidos cuando se trata de las conexiones eléctricas, mecánicas y neumáticas. Aunque las conexiones intermedias pueden mejorar la capacidad de mantenimiento, ellas también pueden afectar la fiabilidad del sistema, porque son una fuente potencial de fugas de líquido, circuitos abiertos o cortos, y desconexiones mecánica. Debese buscar un equilibrio adecuado.
Facilidad na detección de fallas	Característica de un elemento o sistema para localizar una falla y facilitar la investigación y el diagnóstico. Los estados de las funciones que pueden tener fallas latentes deven ser monitoreados.
Facilidad de transporte	Criterios relacionados con la capacidad técnica del manejo de los elementos desmontados. Los factores limitadores, como la fuerza humana, alcance, altura y posición, deben ser considerados para cualquier elemento reemplazable. Cuando las capacidades humanas no son suficientes, el uso de taller auxiliar, como grúas, por ejemplo, debe ser considerados durante el proyecto.
Facilidad de limpieza	Posibilidad de limpieza de un elemento para facilitar la inspección visual. Condiciones de funcionamiento limpio para mejorar la calidad de la actividad de mantenimiento.

CRITERIO	DEFINICIONES / COMENTARIOS
Facilidad de reparación	Decisiones logísticas deben ser consideradas, como: <ul style="list-style-type: none"> - Coste de un ítem similar; - Obsolescencia técnica; - Dificultad de desmontar el ítem en taller; - Conocimientos técnicos necesarios; - Necesidad de herramientas especiales;
Documentación de mantenimiento	La calidad de la documentación técnica y el mantenimiento es esencial para un mantenimiento eficaz y eficiente. Se debe considerar lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> - instrucciones escritas, claras y completas - disponibilidad de la documentación en la entrega de los trenes; - validación y actualización de la documentación;

8. DISPONIBILIDAD

El horario de servicio para efectos de evaluación se considerará de las 5:00hrs a las 00:30 hrs en días hábiles, sábados de las 6:00 hrs a las 00:30 hrs, domingos y días festivos de las 7:00 hrs a las 00:30 hrs.

La evaluación de este concepto estará en función de la siguiente clasificación.

Disponibilidad operativa en hora punta: Por este concepto se entenderá el nivel de cumplimiento de "EL FABRICANTE" de trenes disponibles para el servicio, por causas imputables a este, evaluado en días hábiles durante las horas de servicio de las 6:00 a las 11:00 hrs., para la hora punta matutina y de 16:00 a las 22:00 hrs., para la hora punta vespertina (estas franjas horarias de las horas punta matutina y vespertina podrán variar de acuerdo a las necesidades del servicio, pudiéndose ajustar previa notificación de "EL S.T.C.", a ALSTOM con los consecuentes ajustes a las fórmulas de cálculo de disponibilidad). El nivel mínimo de disponibilidad (D) deberá ser más grande o igual al 92%.

Se calculará de la siguiente forma:

$$DOHP_M = \frac{100 \sum_{i=1}^{i=m} \left(\left(LT_{RPS} - \frac{TD_{6-7} + TD_{7-8} + TD_{8-9} + TD_{9-10} + TD_{10-11}}{5} \right) \div LT_{RPS} \right)_i}{m} \%$$

$$DOHP_V = \frac{100 \sum_{i=1}^{i=m} \left(\left(LT_{RPS} - \frac{TD_{16-17} + TD_{17-18} + TD_{18-19} + TD_{19-20} + TD_{20-21} + TD_{21-22}}{6} \right) \div LT_{RPS} \right)_i}{m} \%$$

Formula 5: DOHP

DOHPM = Disponibilidad operativa en hora punta matutina.

DOHPV = Disponibilidad operativa en hora punta vespertina.

LTRPS = Lote de trenes recepcionados y puestos en servicio con periodo de puesta a punto concluido.

n = Hora de evaluación (considera cada hora desde el inicio de la hora punta hasta el final de la hora punta).

TD (n) a (n+1) = Número máximo de trenes detenidos imputables a "EL PRESTADOR DE SERVICIOS" para las diversas actividades de mantenimiento (preventivo, correctivo y trabajos especiales) entre la hora punta n y n+1, contabilizados a partir de que "EL S.T.C." ponga a disposición de "EL PRESTADOR DE SERVICIOS" el tren, y hasta que el tren sea entregado a "EL S.T.C." por "EL PRESTADOR DE SERVICIOS" a través del reporte correspondiente. Se contabilizarán los trenes detenidos en intervalos de una hora mientras dure la hora punta ya sea matutina o vespertina. En caso de que un tren sea puesto a disposición de "EL PRESTADOR DE SERVICIOS" cinco minutos antes del término de la hora, se considerará para efectos del cálculo la hora inmediata superior.

m = Total de días hábiles con horas punta comprendidos en el periodo de evaluación.

$$D = \frac{DOHP_m + DOHP_v}{2} \geq 97,5\%$$

El nivel de disponibilidad (D) deberá ser más grande o igual al 97,5%.

Para los horarios valle en días hábiles, fines de semana y días festivos, dado que no se evaluará la disponibilidad, no se podrán detener por actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y/o trabajos especiales imputables a ALSTOM más de 2 trenes en el mismo horario.

La disponibilidad (D) en función de DOHPM y DOHPV del lote de trenes en servicio se evaluará de acuerdo a las expresiones a cima para periodos de 30 días de servicio, iniciándose a partir de la conclusión del periodo de puesta a punto de cada tren. Esta se determinará a través de la cantidad de trenes fuera de servicio por cualquier causa imputable a "EL FABRICANTE".

9. DEMOSTRACIÓN DE FIABILIDAD, NAFS Y DISPONIBILIDAD

A partir del 9º tren recepcionado y puesto en servicio con usuarios el lote de trenes deberá cubrir 24 periodos de 30 días cumpliendo con los niveles mínimos de fiabilidad, disponibilidad y NAFS, establecidos en este plano.

La evaluación de la fiabilidad del lote de trenes se realizará conforme a la Formula 1 y será evaluada cada 30 días, considerando las fallas presentadas por el lote de trenes recepcionados para puesta en servicio y con periodo de puesta a punto cubierto.

La evaluación de la fiabilidad para los sistemas del lote de trenes se realizará conforme a la formula Formula 2 y será evaluada cada 30 días, considerando las fallas presentadas por el lote de trenes recepcionados para puesta en servicio y con periodo de puesta a punto cubierto.

El tiempo de afectaciones al servicio (TAFS), se evaluará por periodos de 30 días, considerándose para cada tren a partir de su recepción para puesta en servicio un periodo de puesta a punto de 15 días, durante los cuales no se evaluará.

Para todos los casos cada tren tendrá a partir de su puesta en servicio con usuarios en Línea 12 un periodo de puesta a punto de 15 días, tiempo durante el cual no se le evaluará la fiabilidad ni se contabilizará para efectos de garantía.

ALSTOM se obliga a entregar a "EL S.T.C." cada uno de los reportes de evaluación de fiabilidad debidamente validados por "EL S.T.C." a más tardar dentro de los primeros 15 días naturales posteriores al periodo de evaluación.



10. CRONOGRAMA DE FIABILIDAD

El cronograma de FDM será definido en la fase de proyecto.

570

Propuesta Técnica Revisión 0
Material Rodante

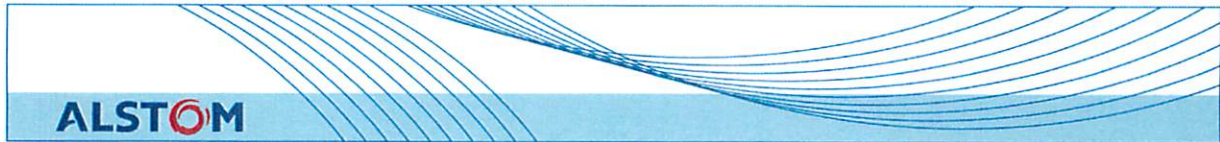
Fabricación de 30 Trenes Férreos
STC - Línea 12 del Metro de la Ciudad de México

Noviembre/2009

Pág. 20 de 20

Toda la información contenida en este documento es de propiedad de ALSTOM.

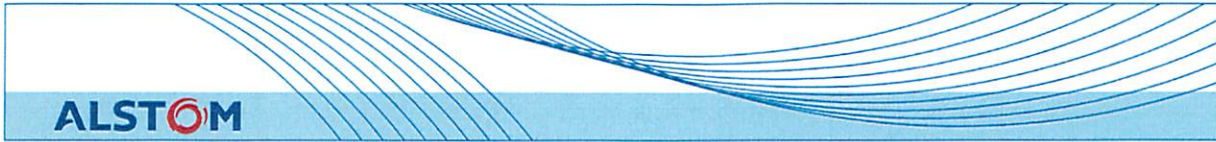
00000459



10.1. DOCUMENTOS

Los principales documentos de la fiabilidad que se establecerán durante el proyecto son:

- Plano del Programa de FDM
- Análisis del Perfil de la Misión
- Requisitos para los proveedores
- Definiciones y terminología para FDMS
- Relatorio de predicción de la fiabilidad de los sistemas (modelo de predicción conforme [Figura 2](#))
- Cálculo de piezas de recambio de sistemas (modelo conforme [Figura 3](#))
- Predicción de mantenabilidad (modelo conforme [Figura 3](#))
- Procedimiento de Seguimiento de la Operación
- Informes de seguimiento y demostración de la fiabilidad



ALSTOM				SPARE PARTS CALCULATION															
PROGRAM:				Notes:				Mission Profile											
SYSTEM:								Average operating hours per year [h]:											
SUPPLIER / RESP.:								9											
ALSTOM APPROVAL:																			
DATE:																			
NUMBER / REV.:																			
FUNCTIONAL WARRANTY STRUCTURE				Fleet size (number of cars per car type)				Quantity in fleet		Reliability				Lead Time [months]		Number of Warranty Spares recommended for a risk lower than:		Number of Warranty Spares informed by supplier	
FWS	Part Number	Component Description	LRU / SRU	Quantity / Car type				MTBF [h]	λ [1/fh]	R(t)	F(t)	Qty x F(t)		2.0%	10.0%	Number	Risk of missing		
	2			3				4		5	100,000%	-	6	7	-	8	-		
											100,000%	-							
											100,000%	-							
											100,000%	-							
											100,000%	-							
											100,000%	-							

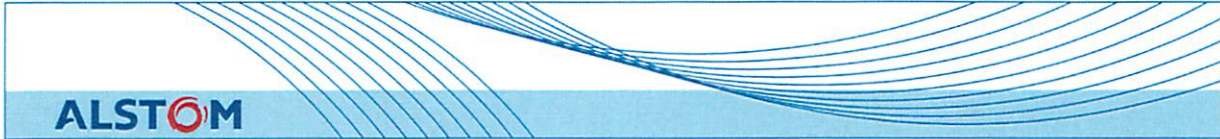
Onde:

1	Identificación del Sistema, N° ALSTOM y Responsables	6	Lead Time
2	Estructura del Sistema – Componentes principales	7	Número de piezas de recambio recomendados para un riesgo de 2% y 10%
3	Cantidad de ítems por Coche	8	Número de piezas de recambio informados por el proveedor y riesgo de falta de material
4	Cantidad de ítems en el lote	9	Tiempo promedio operacional por año
5	MTBF, tasa de fallo, Fiabilidad, Probabilidad de fallo y esperanza de ítems defectuosos		

Figura 3: Modelo de Hoja de Cálculo de Piezas de recambio

53

00000462



ALSTOM				MAINTAINABILITY PREDICTION CALCULATION													
PROGRAM:		Notes:										RESULTS					
SYSTEM:		9										MTTR:					
SUPPLIER / RESP.:												1		10			
ALSTOM APPROVAL:																	
DATE:																	
NUMBER / REV.:																	
FUNCTIONAL WARRANTY STRUCTURE				Quantity / Car		Qty / Train	MTBF [h]	λ [f/h]	MAINTENANCE TASK TIMES [h]					$\lambda \cdot \tau$	Installation Drawing	Maintenance procedure	
FWS code	Part Number	Component Description	LRU / SRU						Localization & Isolation	Disassembly	Interchange	Reassembly	Adjusts & Tests	τ			
		2			3	4	5								6	7	8
Onde:																	
1	Identificação do Sistema, Nº ALSTOM e Responsáveis						6	Tempos das atividades de manutenção									
2	Estrutura do Sistema – Componentes principais						7	Tempo total de manutenção									
3	Quantidade de itens por Carro						8	Desenhos de Instalação e Procedimentos de Manutenção									
4	Quantidade de itens por Trem						9	Notas Gerais									
5	MTBF e taxa de falha						10	Resultados									

Figura 4: Modelo de Hoje de Predicción de la Mantenibilidad

522



00000463