EMESRT

Earth Moving Equipment Safety Round Table

REQUISITO DE DESEMPEÑO 4

GESTIÓN DE INCENDIOS DE EQUIPOS MÓVILES

PR-4

TRABAJANDO CON LA INDUSTRIA DESDE 2006

EMESRT.ORG

CONTROL DE DOCUMENTOS

1. HISTORIAL DE REVISIONES

CORR.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO POR	CONTROLADO POR	APROBADO POR
1.0	Diciembre de 2021	Versión final aprobada	Eve McDonald Mark Geerssen	Mark Geerssen	Grupo consultivo de EMESRT
2.0	Abril de 2023	Se actualizó con aportes de diseño sobre el fallo 4S; se actualizó para agregar el punto 3.1 sobre la traducción a cuatro idiomas; se actualizó con imagen CFw.	Eve McDonald	Mark Geerssen	Grupo consultivo de EMESRT
3.0	Julio 2024	Actualizar vías causales, rediseñar	Eve McDonald	Mark Geerssen	Mark Geerssen

2. ADVERTENCIA

A pesar de que se hicieron todos esfuerzos para validar el contenido de este documento de Requisito de Desempeño 4 (PR-4), el contenido se ha recopilado a partir de las principales prácticas del sector y, por lo tanto, puede cambiar con el tiempo. Por este motivo, EMESRT se reserva el derecho de actualizar y volver a publicar el documento PR-4 a medida que evolucionen las prácticas del sector.

3. 3. CONDICIONES DE USO

EMESRT tiene como objetivo reducir los riesgos para la salud y la seguridad derivados de la utilización y el mantenimiento de equipos móviles de movimiento de tierras. Esto se logra compartiendo información sobre las principales prácticas, que los usuarios y diseñadores pueden consultar cuando buscan reducir el nivel de riesgo para el personal. Conectarse a través de una colaboración comunitaria entre usuarios finales, fabricantes de equipos originales, investigadores y terceros proveedores permite comprender en profundidad los problemas que deben abordarse para apoyar las mejoras a nivel industrial.

El documento PR-4 se ha desarrollado para mejorar la comprensión de los problemas que se plantean en posibles sucesos no deseados, según se registra en el documento Filosofía de diseño 4: Incendios.

3.1 TRADUCCIONES

PR-4 se elaboró y se revisó en inglés, y se tradujo únicamente al francés, portugués, ruso y español. Si se traduce el contenido de PR-4, en parte o en su totalidad, solo las versiones en inglés, francés, portugués, ruso y español publicadas por EMESRT son las versiones aprobadas.

3.2 USO

- EMESRT pone el documento PR-4 a disposición de toda la industria sin costo alguno.
- No se obtendrá ningún beneficio económico por la utilización total o parcial de PR-4.
- EMESRT facilita el documento PR-4 de forma gratuita; no está destinado a la venta ni al alquiler, en parte o en su totalidad, en ninguna presentación, incluida la impresa, digital u otra.

Las solicitudes de uso condicional pueden dirigirse a enquiries@emesrt.org.

ÍNDICE

1.0 RESUMEN 3

2.0 OBJETIVOS DEL REQUISITO DE DESEMPEÑO 4

3.0 PRINCIPIOS DE DISEÑO 4

4.0 ÁREAS DE INFLUENCIA DEL ÁRBOL DE SUCESOS DE INCENDIOS 5

4.1 Modos de fallo creíbles de la Gestión de Incendios de Equipos Móviles de EMESRT, por área de influencia 5

TABLAS

Tabla 1: Pasos, resultados y áreas de influencia de la trayectoria del árbol de sucesos 7

Tabla 2: Modos de fallo creíbles relevantes para el diseño de equipos móviles 12

Tabla 3: Modos de fallo creíbles relevantes para el mantenimiento de equipos móviles 15

Tabla 4: Modos de fallo creíbles relevantes para la detección y extinción de incendios 17

1.0 DESCRIPCIÓN

Se ha elaborado este requisito de desempeño EMESRT para complementar el documento Filosofía de diseño 4: Incendios. Se aplica a las siguientes situaciones de sucesos potenciales no deseados:

4.1	Daños por incendio derivados de daños (incluidos el calentamiento, la fusión y el rozaduras) de los cables y componentes eléctricos; mangueras hidráulicas; y líneas de combustible debido a insuficiencias de diseño, entre ellas: • Ubicación y/o enrutamiento inadecuados • Separación inadecuada de las fuentes de combustible y de ignición, es decir, turbo, sistemas de escape • Defectos en la sujeción o restricción
4.2	Daños por incendio derivados del calor generado por las fricciones superficiales (incluidos los neumáticos).
4.3	Daño por fuego que se enciende o se propaga por la acumulación de material combustible, por ejemplo, suciedad, trapos aceitosos.
4.4	Daño por atrapamiento en la cabina debido al fuego que bloquea la salida normal y de emergencia.
4.5	Daños derivados de la entrada en zonas de peligro debido a la ubicación de puntos de aislamiento de fuentes de combustible.
4.6	Daños al personal, ya sea durante el funcionamiento normal o en caso de vuelco u otro accidente, por inhalación, ingestión, abrasión de la piel, resbalones, tropiezos u otros mecanismos debidos a: • Componentes del sistema de extinción de incendios que están inadecuadamente ubicados • Accionamiento accidental del sistema de extinción de incendios
4.7	Daños causados por la propagación excesiva o incontrolada del fuego, debidos a: • Falta de apagado automático del motor y/o aislamiento de las fuentes de combustible • Falla de activación del sistema de extinción de incendios debido a los efectos del fuego, mantenimiento y/u otros daños • Retraso en la activación del sistema de extinción de incendios debido al difícil acceso a los controles del sistema de extinción de incendios • Reducción de la eficacia del sistema de extinción de incendios como resultado de opciones adicionales instaladas, como mantas de supresión de ruido • Diseño o instalación ineficaz de extinción de incendios • Agente de extinción de incendios ineficaz para suprimir el tipo de incendio, por ejemplo, químico
4.8	Diseño que no separa adecuadamente las fuentes de calor y combustible, es decir, fuentes de combustible hidráulico de caucho en lugar de acero fijo encaminadas en el compartimento del motor, neumáticos inadecuadamente protegidos de las fuentes de calor: • Diseño inadecuado de ventilación del motor que dirige el aire de las fuentes de combustible a través de las fuentes de calor • Diseño inadecuado del cortafuegos y del sellado del mamparo para evitar la propagación del fuego • El uso de materiales de construcción que alimentan un incendio, es decir, cubiertas de motor y guardabarros inflamables
4.9	Respuesta de emergencia y recuperación: en caso de un incidente, los equipos de respuesta a emergencias requieren información sobre los peligros potenciales y las acciones que podrían tomar para evitar que el incendio se intensifique, por ejemplo, una hoja de datos de seguridad sobre un producto químico en particular utilizado en el sitio, etc.

Los incendios de equipos móviles siguen produciéndose con regularidad en la industria minera y de recursos, y existen claros motivos para mejorar la comprensión y aplicación de los controles de prevención y mitigación de incendios.

Los incendios de equipos móviles tienen las siguientes características:

- Presentan importantes riesgos para los operarios, el personal de mantenimiento y los equipos de respuesta a emergencias.
- Pueden ser catastróficos en operaciones subterráneas.
- Crean problemas operativos y comerciales más amplios para los propietarios y operarios de equipos de movimiento de tierras.
- Generan que se exijan informes obligatorios en la mayoría de las jurisdicciones mineras.
- Se los ha analizado exhaustivamente y, actualmente, los organismos reguladores prevén que los operarios mineros mejoren la gestión de incendios de sus equipos móviles.

El documento DP-4 consiste en una descripción general de alto nivel de los problemas que pueden derivar en consecuencias adversas a causa de incendios de equipos móviles.

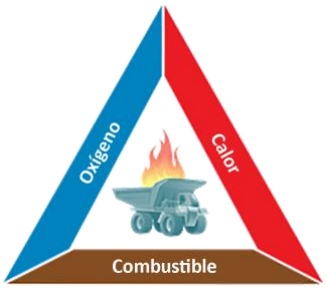
Este Requisito de Desempeño debe leerse junto con la Filosofía de Diseño 4 - Fuego de EMESRT.

2.0 OBJETIVOS DEL REQUISITO DE DESEMPEÑO

El objetivo de este requisito de desempeño es proporcionar información estructurada y completa que pueda ser aplicada por los siguientes actores:

- Diseñadores y fabricantes de equipos originales (OEM).
- Empresas mineras: usuarios de equipos móviles
- Proveedores de sistemas de detección y extinción de incendios, para reducir el número y las consecuencias de los incendios de equipos móviles de movimiento de tierras.

3.0 PRINCIPIOS DE DISEÑO



La información brindada se basa en el triángulo del fuego: calor, combustible y oxígeno.

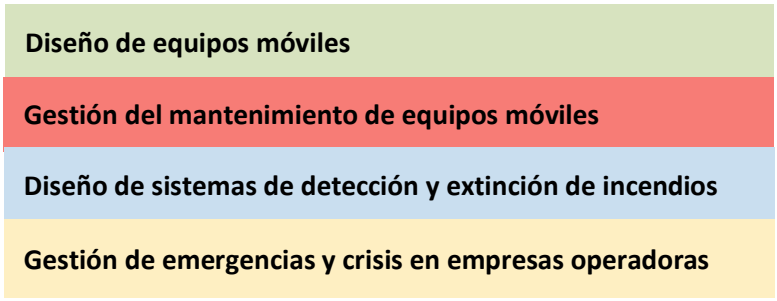
En una situación de incendio de equipos móviles, el objetivo principal es proteger al personal, antes que los equipos y los bienes cercanos.

La prevención y mitigación de incendios en equipos móviles se basa en esta secuencia:

- Revisiones del riesgo de incendio durante el diseño en fábrica de los equipos, en las que se tenga en cuenta lo siguiente:
  - Prevención de incendios: mediante un diseño de eliminación o segregación del combustible.
  - Prevención de incendios: mediante un diseño de eliminación o segregación del combustible para evitar ignición.
- Predicción de posibles incendios con notificaciones en tiempo real al operario del equipo, su supervisor y el equipo de respuesta a emergencias del sitio.
- Detección temprana de incendios y respuesta local con supresión, que permita la salida segura del operario.
- Detección temprana de incendios y respuesta local con supresión, y uso de dispositivos de escape que permitan la salida segura del operario.
- Detección temprana de incendios y equipo de respuesta local que extinga el incendio mediante una combinación de eliminación del combustible, aislamiento energético, enfriamiento y privación de oxígeno, etc.
- Proporcionar, cuando sea posible, puntos de conexión en los equipos móviles que aumenten la capacidad de extinción del equipo de respuesta a emergencias del sitio, p. ej., mediante conexiones externas en las excavadoras para añadir líquido de extinción tipo diluvio, además del almacenado en los sistemas de diluvio de a bordo.
- Proporcionar la capacidad para que el operario o el equipo de respuesta a emergencias del sitio pueda aislar las fuentes de combustible y de aire para proteger al personal y evitar que el fuego se propague.

4.0 ÁREAS DE INFLUENCIA DEL ÁRBOL DE SUCESOS DE INCENDIOS

En este requisito de rendimiento se utiliza un modelo de árbol de sucesos de incendios de equipos móviles (que se muestra en la *imagen 1*) para definir estas áreas de influencia de la gestión de incendios de equipos móviles:



En el *cuadro 1* se presentan más detalles del árbol de sucesos, en el que los pasos y resultados de su trayectoria están alineados con las áreas de influencia pertinentes y superpuestas.

4.1 Modos de fallo creíbles de la Gestión de Incendios de Equipos Móviles de EMESRT, por área de influencia

En tres tablas complementarias se proporcionan más detalles de los Modos de fallo creíbles del Marco de Control de Gestión de Incendios de Equipos Móviles de EMESRT, clasificados por área de influencia:

- *Tabla 2: Modos de fallo creíbles relevantes para el diseño de equipos móviles*
- *Tabla 3: Modos de fallo creíbles relevantes para el mantenimiento de equipos móviles*
- *Tabla 4: Modos de fallo creíbles relevantes para el sistema de detección y extinción de incendios*

Cuando procede, también se proporcionan ejemplos operativos ilustrativos de los Modos de fallo.

Imagen 1: Árbol de sucesos de incendios de equipos móviles con áreas de influencia.

Nota: En este requisito de desempeño no se tiene en cuenta la zona de gestión de emergencias de los usuarios de equipos móviles.

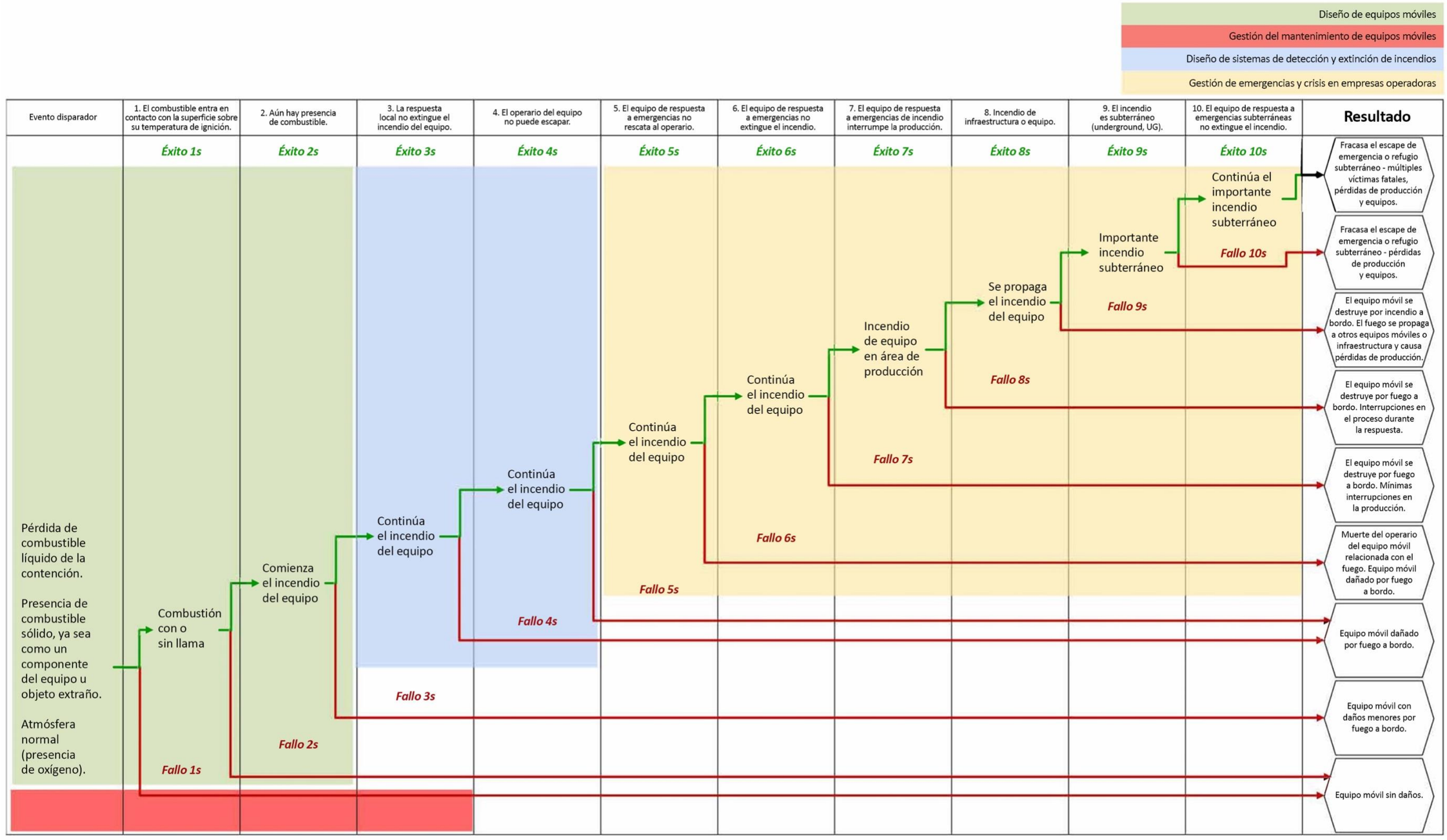


Tabla 1: Pasos, resultados y áreas de influencia de la trayectoria del árbol de sucesos

Recorrido	Pasos de la trayectoria	Resultados	Área de influencia	Notas sobre el área de influencia
Fallo 1s	*Presencia de combustible.* *No se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *No hay ignición.*	*Equipo móvil sin daños.*	**Diseño de equipos móviles**	Los **fabricantes de equipos originales** suministran equipos móviles con componentes no inflamables. Los **fabricantes de equipos originales** suministran equipos móviles con tolerancia a errores en las tareas de mantenimiento.
			Gestión del mantenimiento de equipos móviles	Los **encargados del mantenimiento de los equipos móviles** disponen de procesos que confirman que se llevan a cabo tareas de mantenimiento para mantener adecuadamente la integridad del diseño, y estas incluyen la comprobación de la presencia de objetos extraños y acumulaciones de material inflamable.
Fallo 2s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama agota el combustible y se autoextingue.*	*Equipo móvil sin daños.*	**Diseño de equipos móviles**	Los **fabricantes de equipos originales** suministran equipos en los que, en caso de producirse un evento de ignición, la propagación es limitada y se autoextingue a causa de la falta de combustible o las propiedades de los componentes del equipo. Los **fabricantes de equipos originales** suministran equipos móviles que tienen tolerancia a errores en las tareas de mantenimiento.
			Gestión del mantenimiento de equipos móviles	Los **encargados del mantenimiento de los equipos móviles** disponen de procesos que confirman que se llevan a cabo tareas de mantenimiento para mantener adecuadamente la integridad del diseño, y estas incluyen la comprobación de la presencia de objetos extraños y acumulaciones de material inflamable.
Fallo 3s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.*	*Daños menores en equipos móviles*	**Diseño de sistemas de detección y extinción de incendios**	Los **fabricantes de equipos originales o terceros proveedores** suministran sistemas de detección y extinción de incendios que pueden detectar y extinguir incendios a bordo. Los **fabricantes de equipos originales o terceros proveedores** proveen sistemas de detección y extinción de incendios que tienen tolerancia a errores en las tareas de mantenimiento.

Recorrido	Pasos de la trayectoria	Resultados	Área de influencia	Notas sobre el área de influencia
	El equipo de respuesta local extingue el incendio.		**Gestión del mantenimiento de equipos móviles**	Los **encargados de mantenimiento de equipos móviles** tienen la capacidad de mantener sistemas de detección y extinción de incendios adecuadamente diseñados.
Fallo 4s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El operario escapa.*	*El equipo móvil está dañado.*	**Diseño de sistemas de detección y extinción de incendios**	Los **fabricantes de equipos originales o terceros proveedores** suministran sistemas de detección y extinción de incendios que son capaces de detectar y alertar a los operarios para que respondan adecuadamente, y que proveen tiempo suficiente para que estos salgan de forma segura. Los **fabricantes de equipos originales o terceros proveedores** proveen sistemas de detección y extinción de incendios que tienen tolerancia a errores en las tareas de mantenimiento. Los **encargados de mantenimiento de equipos móviles** tienen la capacidad de mantener sistemas de detección y extinción de incendios de diseño adecuado y correctamente instalados.
Fallo 5s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El operario no puede escapar.* *Se rescata al operario atrapado.*	*El operario podría estar herido.* *El equipo móvil está dañado.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**Áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos de fabricantes de equipos originales o de terceros** Los **fabricantes de equipos originales o los terceros proveedores** proporcionan, si es posible, puntos de conexión en los equipos móviles que aumentan la capacidad de extinción del equipo de respuesta a emergencias, p. ej., mediante conexiones externas en las excavadoras para añadir líquido de extinción tipo diluvio, además del almacenado en los sistemas de diluvio de a bordo. Los **fabricantes de equipos originales o los terceros proveedores** brindan capacidad para que el operario o el equipo de respuesta a emergencias del sitio puedan aislar las fuentes de combustible y aire para proteger al personal y evitar que el fuego se propague.
Fallo 6s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.*	*Muerte por incendio de un operario de equipo móvil.* *El equipo móvil está dañado.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**

Recorrido	Pasos de la trayectoria	Resultados	Área de influencia	Notas sobre el área de influencia
	La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo. *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El operario no puede escapar.* *No se puede rescatar al operario atrapado.*			
Fallo 7s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El equipo de respuesta a emergencias no puede extinguir el incendio.* *El fuego agota todas las fuentes de combustible y se extingue.*	*Equipo móvil destruido por un incendio a bordo.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**
Fallo 8s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El equipo de respuesta a emergencias no puede extinguir el incendio.*	*Equipo móvil destruido por un incendio a bordo.* *Interrupciones significativas de la producción.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**

Recorrido	Pasos de la trayectoria	Resultados	Área de influencia	Notas sobre el área de influencia
	El fuego agota todas las fuentes de combustible y se extingue. *El incendio se produce en una zona crítica de producción.*			
Fallo 9s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El equipo de respuesta a emergencias no puede extinguir el incendio.* *El fuego se propaga a otros equipos móviles o infraestructuras.*	*El equipo móvil que dio inicio al evento queda destruido por el incendio a bordo.* *Otras pérdidas por incendio de equipos móviles o infraestructuras.* *Interrupciones significativas de la producción.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**
Fallo 10s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El equipo de respuesta a emergencias no puede extinguir el incendio.* *El incendio es subterráneo.* *El fuego se propaga a otros equipos móviles o infraestructuras.* *Escape o refugio de emergencia subterráneo exitoso.*	*El equipo móvil que dio inicio al evento queda destruido por el incendio a bordo.* *Otras pérdidas por incendio de equipos móviles o infraestructuras.* *Interrupciones significativas de la producción.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**

Recorrido	Pasos de la trayectoria	Resultados	Área de influencia	Notas sobre el área de influencia
Éxito 10s	*Presencia de combustible.* *Se alcanzó la temperatura de ignición del combustible.* *Combustión con o sin llama.* *La combustión con o sin llama tiene suficiente combustible para provocar un incendio a bordo.* *El equipo de respuesta local no pudo extinguir el incendio.* *El incendio continúa.* *El equipo de respuesta a emergencias no puede extinguir el incendio.* *El incendio es subterráneo.* *El fuego se propaga a otros equipos móviles o infraestructuras.* *Fracasa el escape de emergencia o refugio subterráneo.*	*Múltiples víctimas mortales.* *El equipo móvil que dio inicio al evento queda destruido por el incendio a bordo.* *Otras pérdidas por incendio de equipos móviles o infraestructuras.* *Interrupciones significativas de la producción.*	**Gestión de emergencias y crisis en empresas operadoras**	**No hay áreas de influencia relevantes en relación con el diseño de equipos del fabricante de equipos originales o de terceros**

Modos de fallo creíbles de la Gestión de Incendios de Equipos Móviles de EMESRT, por área de influencia

Derecha: jerarquía y componentes de un marco de control.

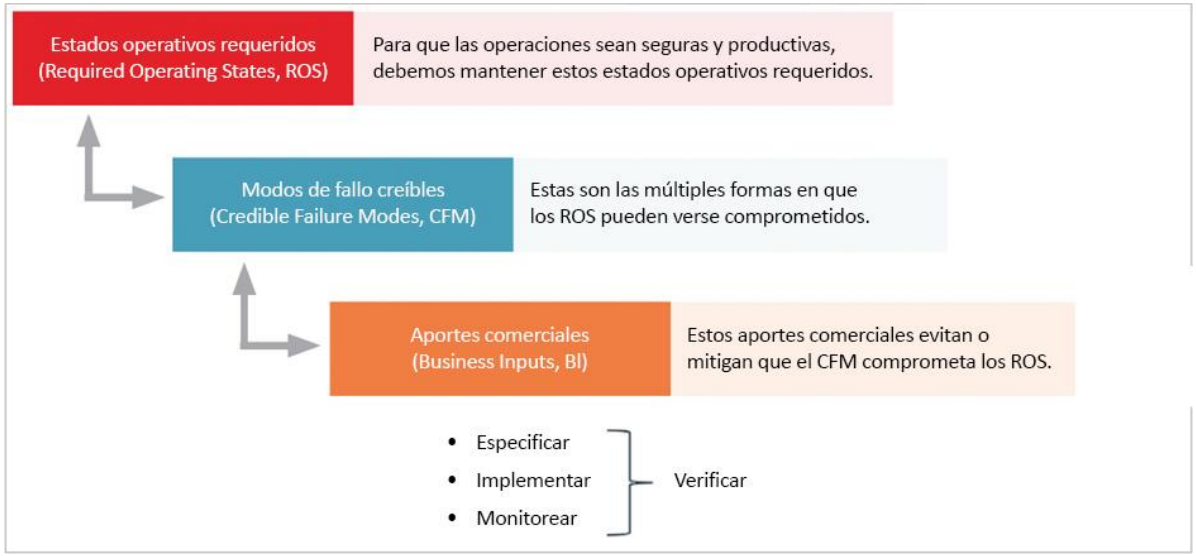


Tabla 2: Modos de fallo creíbles relevantes para el diseño de equipos móviles

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles en el diseño de equipos móviles: nombre y descripción
Fallos en la contención de líquidos	**CFM-EDF-21.01 Pérdida de contención de combustible líquido: deficiencia en el diseño** En condiciones normales de funcionamiento, se produce un fallo en depósitos, mangueras o conductos que contienen combustible, fluido hidráulico, lubricantes, refrigerantes, etc. A continuación, se enumeran las posibles causas: ▪ Fricción, vibraciones, corrosión, etc. ▪ El líquido liberado es un combustible que puede encenderse en su estado especificado o particular, p. ej., turbocompresor, escape, fallo eléctrico, fluidos atomizados a presión, etc. ▪ Rodamientos presurizados que continúan enviando combustible (aceite) al turbocompresor, incluso después de que se activa la detención del motor. ▪ Ingresa aceite alimentado por gravedad al turbocompresor (sigue ingresando combustible [aceite] después de que se activa la detención del motor). ▪ No se tiene en cuenta la exposición a los daños de los componentes externos (p. ej., tapas y respiradores de tanques de almacenamiento de líquidos inflamables, posición de desbordamiento, etc.). ▪ La pérdida de contención se debe a una falla de diseño del equipo o de los componentes por parte del fabricante de equipos originales o de un tercero proveedor.

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles en el diseño de equipos móviles: nombre y descripción
Componentes inflamables de equipos móviles.	**CFM-EDF-21.02 Combustible sólido en equipos móviles: deficiencia en las especificaciones** En condiciones normales de funcionamiento, se observa la presencia de combustible no líquido que puede arder. A continuación, se enumeran las posibles causas: ▪ Contacto de componentes con un turbocompresor, escape, fallo eléctrico, etc. ▪ Presencia de combustible en el equipo o componente del fabricante de equipos originales o de terceros como resultado del diseño o la falla en el diseño, lo que incluye adaptaciones posventa, p. ej., cubiertas y protecciones para tanques de combustible en equipos móviles. ▪ No se tienen en cuenta los productos de combustión de los componentes inflamables (p. ej., productos ignífugos y antiestática que producen gases CN). ▪ Las baterías (de los vehículos eléctricos) son inflamables. ▪ Identificación inadecuada del peligro de la presencia de combustibles sólidos en el diseño y las especificaciones de diseño, las auditorías, las evaluaciones de riesgos, la aceptación del sitio, etc.
Acumulación externa de combustible	**CFM-EDF-21.03 Ingreso de combustible en el equipo móvil: deficiencia en el diseño** En condiciones normales de funcionamiento, el diseño no impide la acumulación de combustible externo en el equipo móvil. A continuación, se enumeran las posibles causas: ▪ Componentes o superficies cercanas calientes que permiten la acumulación de polvo de carbón, minerales sulfurados, materia orgánica, etc.
Aislamiento o blindaje inadecuados.	**CFM-EDF-21.04 Generación de calor excesivo que no se contiene ni se protege eficazmente de las fuentes de combustible durante el funcionamiento del equipo móvil: deficiencia en el diseño.** En condiciones normales de funcionamiento, se observan superficies expuestas calientes a una temperatura superior a la de ignición de probables fuentes de combustible. A continuación, se enumeran las posibles causas: ▪ Averías eléctricas, como el atasco de motores de arranque. ▪ Sobrecalentamiento de cables o averías como resultado de una protección inadecuada contra cargas excesivas o cortocircuitos. ▪ Fallo eléctrico alrededor de la batería con daños en el aislamiento, cortocircuito de los cables o contacto entre los componentes con tensión y el cuerpo de la máquina. ▪ Fallos del alternador. ▪ Aislamiento térmico de superficies calientes, p. ej., turbocompresores, sistemas de escape e incluso aislamiento para atenuación de ruido. ▪ Separación, protección y restricción inadecuadas en el tendido de cables cercanos a materiales o combustibles inflamables.
Diseño que no tiene tolerancia a errores.	**CFM-EDA-3 El fabricante de equipos originales no ofrece una estrategia de mantenimiento adecuada para la planta a la que abastece.** Un diseño y provisión de equipos adecuados incluye proporcionar al operario información sobre las tareas de mantenimiento. A continuación, se enumeran algunos ejemplos de fallos: ▪ Falta de identificación o descripción de los requisitos de mantenimiento y revisión, p. ej., sistemas de frenado, vida útil de protección de superficies calientes, tiempo medio hasta el fallo de mangueras hidráulicas, etc. ▪ El diseño de la máquina restringe el acceso adecuado y la capacidad para ejecutar las tareas de mantenimiento, lo que induce a la posibilidad de error. ▪ No se identifica en la estrategia de mantenimiento la necesidad de una mayor frecuencia de inspección o sustitución de componentes críticos para la

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles en el diseño de equipos móviles: nombre y descripción
	prevención o extinción de incendios. ▪ Deficiencia en la identificación de componentes de la máquina relacionados con incendios (p. ej., conductos de combustible, tuberías, detectores, fallos de componentes giratorios, etc.) expuestos a daños y fallos prematuros. ▪ Deficiencia en el análisis proporcionado al operario minero respecto de los riesgos de incendio de los equipos. ▪ Requisitos mínimos de diseño establecidos por el fabricante inadecuados para satisfacer las necesidades del sitio (lo que no se identifica durante el desarrollo de la estrategia de mantenimiento).
Diseño que no tiene tolerancia a errores.	**CFM-EDA-21.20 Recomendaciones externas (alertas) que los diseñadores no tuvieron en cuenta** Limitaciones para introducir cambios en el diseño a causa de lo siguiente: ▪ Equipos móviles que se utilizan en diferentes jurisdicciones mineras con una serie de requisitos de cumplimiento. ▪ Discrepancias entre la reglamentación, las normas y las directrices regionales y mundiales. ▪ Los cambios de diseño recomendados no son técnicamente viables. ▪ Los cambios de diseño recomendados no son comercialmente viables. ▪ Los nuevos diseños no se adaptan fácilmente a la flota existente.
Riesgos de incendio de las nuevas tecnologías.	**CFM-EDF-21.50 Nueva generación de equipos móviles: falta de reconocimiento de potencial y trayectorias de incendio** Los riesgos de incendio derivados de las nuevas tecnologías no se conocen lo suficiente o no se evalúan adecuadamente, por ejemplo: ▪ Vehículos eléctricos o parcialmente eléctricos que utilizan regeneración cuesta abajo. ▪ Remolque incorrecto de vehículos eléctricos a batería. ▪ Motores diésel de nueva generación (nivel 4: T4F), ya que funcionan a temperaturas más elevadas y tienen mayor probabilidad de contar con superficies calientes expuestas. ▪ La nueva tecnología de los sistemas de gestión de control de vehículos impide la integración directa con los sistemas de parada y extinción de incendios. ▪ Deficiencia en la capacidad para iniciar los sistemas contra incendios en equipos operados a distancia. ▪ Deficiencia en la evaluación de la respuesta a incendios de fuentes de almacenamiento de energía de nueva generación, como baterías de iones de litio, pilas de combustible de hidrógeno, etcétera.

Tabla 3: Modos de fallo creíbles relevantes para el mantenimiento de equipos móviles

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles de mantenimiento: nombre y descripción
Fallos de componentes que liberan líquido inflamable.	**CFM-EPA-31.10 Pérdida de contención de combustible líquido: deficiencia en el mantenimiento** En condiciones normales de operación, se produce un fallo en los depósitos, las mangueras o los conductos que contienen combustible, fluido hidráulico, lubricantes, refrigerante, etc., a causa de lo siguiente: ▪ Fugas por ajuste excesivo o insuficiente de mangueras y conductos. ▪ Fallos por fricción o desgaste debido a que el mantenimiento y la reinstalación de mangueras y conductos no se ajustan a las recomendaciones del fabricante o de terceros proveedores. ▪ El líquido que se libera es un combustible que puede arder a causa de una superficie caliente expuesta, p. ej., el turbocompresor, el tubo de escape, un fallo eléctrico, etc. ▪ El fallo que provoca la fuga de líquido se debe a una deficiencia en el mantenimiento de los componentes del equipo del fabricante o de terceros. ▪ Líquidos inflamables que se introducen como parte del proceso de mantenimiento (como disolventes, limpiadores, etc.).
Compromiso de la protección térmica y el combustible sólido.	**CFM-EPA-31.11 Combustible sólido; los componentes que se encuentran en el equipo móvil se convierten en combustible: deficiencia de las normas de mantenimiento** Los componentes sólidos forman una fuente de combustible, a causa de lo siguiente: ▪ Componentes inflamables (p. ej., cubiertas) que quedan en contacto con componentes calientes (p. ej., turbocompresor, escape, etcétera.). ▪ Instalación de componentes que son inflamables o no cumplen las especificaciones del fabricante. ▪ Eliminación o falta de reemplazo de barreras de protección entre componentes calientes e inflamables. ▪ Limpieza o eliminación inadecuadas de finos inflamables (como el carbón) en zonas de componentes calientes o cerca de estas.
Introducción de combustible externo durante el mantenimiento	**CFM-EPA-31.12 Introducción de combustible en el equipo móvil: deficiencia en las normas de mantenimiento** En condiciones de funcionamiento normal, arde una fuente de combustible externa introducida durante el mantenimiento, al entrar en contacto con una superficie caliente, como un turbocompresor, un tubo de escape, etc., a causa de lo siguiente: ▪ Paños de limpieza. ▪ Grasas o lubricantes. ▪ Disolventes y desengrasantes. ▪ Recipientes inflamables. ▪ Otro material inflamable que queda en el compartimento del motor.
Los fallos de los componentes en servicio provocan un aumento de la temperatura.	**CFM-EPA-31.13 El mantenimiento inadecuado provoca un calentamiento excesivo durante las operaciones posteriores del equipo móvil** Incendios posteriores al mantenimiento, a causa de lo siguiente: ▪ En condiciones de funcionamiento normal, la temperatura de los componentes del motor se eleva por encima de la temperatura de ignición de las fuentes de combustible adyacentes, p. ej., un fallo del turbocompresor o la falta de reemplazo del blindaje térmico del turbocompresor. ▪ Fallos de encendido eléctrico (p. ej., inspección o restauración inadecuadas de los cables que provoca daño del aislamiento de los cables, compromiso del alojamiento de las baterías, etc.)

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles de mantenimiento: nombre y descripción
	▪ Fricción entre componentes móviles, p. ej., colapso de rodamientos de ruedas. ▪ Falta de identificación por parte de los encargados de mantenimiento de los elementos comprometidos de los sistemas de combustible, hidráulicos o de extinción de incendios (por lo que no se emiten o no se cierran órdenes de trabajo para cumplir los requisitos del sitio). ▪ Operación sin lubricantes. ▪ Blindaje de protección térmica. ▪ Barreras deflectoras que separan las mangueras de aceite y las líneas de combustible de las superficies calientes, como los turbocompresores. ▪ Deficiencia en la sustitución de componentes, p. ej., contención de líneas de combustible y mangueras hidráulicas que evitan que las fugas salpiquen superficies calientes.
Fallos del sistema de trabajo en caliente	**CFM-EPA-31.14 Introducción de una fuente de calor externa al equipo móvil durante el mantenimiento** Los trabajadores de mantenimiento introducen calor, a causa de lo siguiente: ▪ Trabajos de mantenimiento en caliente que se realizan directamente sobre equipos móviles o cerca de ellos (las chispas y la escoria entran en contacto con los elementos inflamables). ▪ No se sigue adecuadamente un proceso de trabajo en caliente (p. ej., no se realiza guardia de incendios o se la realiza de forma inadecuada). ▪ No se despliega protección térmica alrededor de los elementos inflamables de los equipos al momento de realizar trabajos en caliente. ▪ Se utilizan equipos de trabajo en caliente defectuosos (incluso equipos de respuesta a trabajos en caliente defectuosos).
Los fallos de los componentes en servicio provocan un aumento de la temperatura.	**CFM-EPA-31.01 Retorno de equipos al servicio sin inspección adecuada ni confirmación de tareas** Control de calidad inadecuado —inspección inadecuada antes de volver a poner el equipo en servicio— debido a que los siguientes aspectos no fueron contemplados en las inspecciones: ▪ Trabajos de servicio y mantenimiento efectivos y registrados. ▪ No se identifican ni se confirman fugas en mangueras y líneas de fluidos. ▪ La instalación y el mantenimiento de deflectores y aislamiento de superficies calientes son inadecuados. ▪ Los sistemas de detección, alarma y extinción de incendios no funcionan o no se vuelven a poner en servicio de forma eficaz. ▪ Los componentes de sustitución de diseño o calidad que se utilizan son inadecuados.
	CFM-EPA-31 Falta de aplicación de las recomendaciones del fabricante o tercero proveedor No se subsanan defectos inherentes al diseño o la fabricación, a causa de lo siguiente: ▪ Los sitios en operación no disponen de procesos para aplicar las recomendaciones. ▪ No se da prioridad a las acciones u órdenes de trabajo que se elevan en cumplimiento de alertas del fabricante u otros proveedores para que se las aborde en los plazos requeridos. ▪ No se identifica que las alertas de seguridad y los boletines técnicos se aplican a los equipos utilizados en el sitio.

Tabla 4: Modos de fallo creíbles relevantes para la detección y extinción de incendios

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles del sistema de detección y extinción de incendios: nombre y descripción
Fallo en los sistemas de detección y extinción	**CFM-EDF-23.01 Los sistemas de extinción de incendios no funcionan o son inadecuados: fallo de diseño** A continuación, se enumeran algunas causas: ▪ El diseño del sistema de extinción de incendios permite el escape de los operarios, pero es inadecuado para extinguir algunos incendios, por falta de capacidad, selección del supresor, o tipo e intensidad del incendio, p. ej., grandes incendios verticales. ▪ El foco de ignición no puede extinguirse debido a la capacidad de almacenamiento insuficiente del supresor. ▪ Imposibilidad de aislar la fuente de combustible. ▪ Colocación ineficaz de líneas de detección (pirotubos) o boquillas de pulverización de supresor. ▪ El despliegue automático de los sistemas de extinción de incendios o de apagado no se activa según lo previsto. ▪ La interfaz de operación del sistema de extinción de incendios no transmite eficazmente el requisito de despliegue (no se dispone de comando de voz u otro sistema de notificación). ▪ Los sistemas del vehículo están dañados o deteriorados debido a una colisión o vuelco.
Integración lógica de interfaz entre equipos y sistemas contra incendios.	**CFM-EDF-28.01 Fallo del sistema de extinción de incendios a causa de problemas de lógica de interfaz** A continuación, se enumeran algunas causas: ▪ Se envía la señal de activación automática o manual del sistema, pero el sistema de extinción de incendios no la recibe. ▪ Se envía la señal automática o manual de activación del sistema y el sistema de extinción de incendios la recibe; este se activa, pero no consigue extinguir el incendio debido a un problema de secuencia o coordinación, es decir, los ventiladores de refrigeración siguen funcionando, el retardo de tiempo es incorrecto, no está integrado con el diseño base de la máquina.
El diseño de los sistemas de detección y extinción de incendios es inadecuado.	**CFM-EDF-25 El diseño, la configuración y la instalación de sistemas de extinción de incendios se contratan a terceros, y se proporcionan al operario sin especificaciones ni supervisión del fabricante.** El diseño del sistema de extinción de incendios no permite controlar adecuadamente el riesgo de incendio: ▪ El fabricante brinda información inadecuada o ineficaz sobre el potencial relativo de incendio durante el funcionamiento. ▪ La instalación es vulnerable, es decir, los activadores del sistema de extinción se desactivan a causa del incendio. ▪ La instalación de un sistema de extinción de incendios compromete el funcionamiento de los equipos, e incluso daña los componentes existentes, lo que puede provocar un incendio. ▪ Los tendidos de tuberías de agentes de supresión pueden sufrir daños mecánicos. ▪ La detección tiene cubertura insuficiente de las zonas de alto riesgo. ▪ La integración de un sistema de componentes de múltiples diseñadores es ineficaz, es decir, se trata de un sistema híbrido. ▪ El proceso de "aceptación para el funcionamiento in situ" o de aprobación de las operaciones es inadecuado, ya que no se identifican ni rectifican fallos de fabricación o diseño. ▪ El diseño de los equipos del fabricante no contempla equipos de supresión de incendios de terceros (espacio insuficiente para cilindros supresores, cables, mangueras, abrazaderas, etc.).

Modos de fallo de diseño	Modos de fallo creíbles del sistema de detección y extinción de incendios: nombre y descripción
La instalación de sistemas de detección y extinción de incendios es inadecuada.	**CFM-EDF-25.01 La especificación, el diseño, la instalación, la prueba y el mantenimiento de los sistemas de extinción de incendios involucran a múltiples diseñadores y proveedores** Deficiencia en las especificaciones y la instalación del sistema que provoca fallos de integración. A continuación, se enumeran algunas causas: • Deficiencia en la comunicación de los requisitos técnicos y de desempeño para el diseño y la instalación entre los fabricantes de equipos originales y los diseñadores externos. • Mantenimiento y pruebas inadecuados o ineficaces por parte de la empresa que opera la maquinaria, el fabricante, el distribuidor o terceros, debido a un conocimiento insuficiente del funcionamiento de los sistemas integrados.

emesrt.org

enquiries@emesrt.org

Síganos en LinkedIn

PR-4

Este documento debe leerse junto con el documento DP-4, Incendios.