

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“PROTODCOLOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS DEL
EDIFICIO INTERNO ZONA FRANCA METROPOLITANA
SEGÚN LA NFPA 72”**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

AUTORA: JULISSA GONZÁLEZ ZAPATA

SEDE ARANJUEZ, SAN JOSÉ

AGOSTO 2023

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicar esta tesis a Dios, por guiarme, darme fuerzas, sabiduría, entendimiento, así como la oportunidad de cumplir uno de mis sueños profesionales aprendiendo de todos los momentos buenos y los difíciles de este proceso de formación profesional, en donde si no fuera por Él no lo hubiera logrado.

A mi papá, quien es mi ángel y desde el cielo me cuida, que me enseñó a ser una mujer fuerte, valiente y es mi gran ejemplo. Porque siempre fuiste una persona luchadora, con un corazón lleno de bondad y amor. Un hombre trabajador y siempre será una bendición y un orgullo ser tu hija. Aunque ya no estés aquí físicamente con nosotros, sé que desde arriba estás feliz y orgulloso de ver la mujer en que me estoy convirtiendo.

A mis tías mamás tía Anabell, tía Mayra y a Teita porque ustedes han sido un pilar en mi vida, gracias por acogerme como una hija y siempre darme el ejemplo de que luchando se puede salir adelante, a pesar todas las adversidades que puedan presentarse en la vida.

A mi sobrina Dani y mis primas Kris, Vale y mi primo Fabi, para ellos espero ser un ejemplo de inspiración, que por más difícil que sea los sueños se cumplen, que luchen por sus metas y hagan sentir orgullosos a sus padres.

A mi novio Keinner quien llegó a mi vida en el momento más oportuno, porque con su amor, comprensión, apoyo y cariño me ha ayudado y ha sido un soporte vital en este proceso. Espero poder disfrutar con él este y todos los buenos momentos que estén por venir en un futuro.

A mis suegros, quienes han sido una bendición; gracias por su comprensión y apoyo, por sus consejos y por estar siempre al pendiente durante este proceso, además de ser un ejemplo de familia, unión y trabajo.

Agradecimiento

Primero agradezco a Dios por la vida, la sabiduría y el entendimiento para poder haber alcanzado esta meta.

A mi papá mi ángel por su apoyo incondicional y sabias palabras que me guiaron por el camino del bien.

A mis tías mamás, que creyeron en mí y aún en momentos difíciles me alentaron a seguir adelante, han sido consejeras de bien para mis decisiones importantes y me han motivado a ser una mejor persona.

A mi novio, por el apoyo incondicional en esta etapa tan importante de mi vida y con quien mutuamente nos hemos apoyado en todos los momentos como pareja.

A toda mi familia, que me ha demostrado sus buenos deseos hacia a mi persona y ha estado ahí como apoyo en momentos de dificultad.

A todas esas personas, amigos, compañeros de trabajo, estudio entre otros, que de alguna manera hemos compartido y me han dejado una enseñanza para la vida, ya sea de fines educativos o profesionales.

A las todas las personas que Dios puso como ángeles en mi camino y que de una manera u otra en momentos difíciles de angustia, ansiedad y tristeza fueron un soporte y me ayudaron a salir adelante.

Contenido

Dedicatoria.....	2
Contenido.....	4
Índice de imágenes	9
Índice de tablas	12
Resumen ejecutivo.....	14
Generalidades de la empresa.....	16
Reseña histórica.....	16
Ubicación geográfica.....	17
Misión, visión y valores empresariales.	17
Cultura de calidad.....	18
Planteamiento del Problema.....	19
Objetivos	20
Objetivo general.	20
Objetivos específicos.....	20
Justificación	21
Antecedentes	22
Antecedentes Nacionales.....	22
Antecedentes internacionales.	28

Proyecciones	34
Limitaciones.....	34
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	36
Fuego.....	36
Tipos de fuego.	36
Triángulo del fuego y tetraedro.	37
Combustión.	38
Calor.	39
Humo	40
Llamas	40
Códigos del grado de incendio.	41
Sistema contra incendios.....	41
Medidas de protección contra incendio	42
Detección activa	42
Detección pasiva.....	42
Sistema detección de incendios.....	43
Lazo de iniciación para un sistema de detección de incendios.	43
Tipos de sistemas de detección de incendio.....	45
Dispositivos que conforman el sistema de detección de incendios.....	46

Detectores.....	48
Detectores de humo.	48
Detectores iónicos.	49
Detectores ópticos.	49
Detectores puntuales.....	49
Detectores lineales de haz o barreras lineales.	50
Detectores por aspiración.	50
Detectores de calor.	51
Detectores térmicos.	51
Detectores termovelocimétricos.	52
Detectores de llama.	52
Estación Manual.....	52
Sirenas, luces estroboscópicas y parlantes	53
Fuentes de poder	54
Módulos del sistema detección de incendios	55
Módulo de supervisión o monitoreo.....	55
Módulo de control.	55
Módulo Relé.....	56
Modulo aislador.....	56

Mantenimiento	56
Objetivos del mantenimiento preventivo.	57
Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.....	58
Tipos de mantenimiento preventivo.	59
Mantenimiento predictivo.	59
Mantenimiento programado.	59
Mantenimiento de oportunidad.	59
Mantenimiento correctivo.	60
Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).....	60
Etapas del modelo AMEF	62
Marco normativo.....	64
NFPA 72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización.	64
NFPA 101: Código de seguridad humana.	67
NFPA 170: Norma para símbolos de seguridad contra incendios y de emergencias.	68
Reglamento nacional del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica	70
NFPA70B Norma para la seguridad Eléctrica en lugares de trabajo.	71
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	73
Enfoque	73
Alcance.....	73

Diseño	74
Muestra.....	74
Variables	76
Instrumentos.....	78
Recolección de datos.....	80
Fuentes primarias	80
Fuentes secundarias.....	80
Método de análisis	80
El AMEF como herramienta de análisis complementaria para la NFPA 72.....	80
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN.....	82
Descripción del problema	82
Cálculo del muestreo	86
Aplicación del modelo “Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)	87
Paso 1. Creación de la documentación y levantamiento de existencias	87
Paso 2. Descripción y mapeo del proceso	92
Paso 3. Determinar las fallas potenciales	94
Paso 4: Determinación de las causas potenciales	102
Resumen de los hallazgos.	113
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114

Conclusiones	114
Recomendaciones.....	117
CAPÍTULO VI: PROPUESTA	118
Fase 1. Mejora Documental	118
Fase 2. Continuación del AMEF.....	126
Paso 5. Asignar gravedad y ocurrencia a cada modo de falla.	126
Paso 6. Determina la capacidad de detección.....	127
Paso 7. Calcula el Índice de Riesgo (IR).....	129
Paso 8. Priorización de las acciones correctivas.	130
Paso 9. Implementación de las acciones correctivas.	130
Paso 10. Revisiones periódicas.	130
Análisis Económico	131
Referencias Bibliográficas.....	145
ANEXOS Y APÉNDICES	148
Apéndice 1. Boleta de Mantenimiento propuesta, fotos de sitio en construcción y carta de empresa Edintel	148

Índice de imágenes

Imagen 1: Ubicación geográfica de la empresa sujeta a investigación.....	17
Imagen 2: Triángulo del fuego	38

	10
Imagen 3: Tetraedo del fuego	38
Imagen 4: Cableado clase A	44
Imagen 5: Cableado clase B	45
Imagen 6: Panel de detección de incendios y sus componentes	48
Imagen 7: Detector óptico	49
Imagen 8: Detector lineal de humo.....	50
Imagen 9: Detector de aspiración por láser	51
Imagen 10: Detector térmico	51
Imagen 11: Detector de llama.....	52
Imagen 12: Estación manual.....	53
Imagen 13: Luz estroboscópica	54
Imagen 14: Fuente de poder 24Vcc	55
Imagen 15: Módulo de monitoreo, relé y control	56
Imagen 16: Símbolos de sistemas, alarmas y dispositivos contra incendios	69
Imagen 17: Portada	83
Imagen 18: Estructura.....	84
Imagen 19. Boleta actual	85
Imagen 20: Ejemplo de etiqueta electrónica.....	91
Imagen 21: Diagrama de cajas.....	94

Imagen 22: Sección A de la boleta. Información general.....	118
Imagen 23: Sección B de la Boleta. Información general del sistema	119
Imagen 24: Sección C de la boleta. Información de los equipos de revisión	120
Imagen 25: Sección D de la boleta. Información por evaluar	120
Imagen 26: Sección E de la boleta. Consideraciones finales.....	121
Imagen 27: Sección F de la boleta. Tipología	121
Imagen 28. Portada del informe con la mejora.....	123
Imagen 29. Detalle de la estructura del informe después de la mejora.	124
Imagen 30: Matriz de criticidad.....	127

Índice de tablas

Tabla 1: Matriz de conceptualización.....	76
Tabla 2: Matriz de codificación.....	77
Tabla 3: Operacionalización del marco normativo.....	78
Tabla 4: Guía de observación	79
Tabla 5. Levantamiento de los equipos que pertenecen al sistema de detección de incendios.....	88
Tabla 6: Posibles fallas para los equipos relacionados a la Recepción de señales de los detectores de incendios	95
Tabla 7. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Seguridad y notificación de emergencia.....	96
Tabla 8. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Detección de incendios	96
Tabla 9. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Activación de alarmas locales.....	98
Tabla 10. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Notificación remota	99
Tabla 11. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Alimentación de equipos	100
Tabla 12. Posibles fallas para los equipos relacionados con Monitoreo de fuentes de poder	100
Tabla 13. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Monitoreo de lazos ..	101
Tabla 14. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Salida de señales:	101

Tabla 15. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Recepción de señales de los detectores de incendio”	102
Tabla 16. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Seguridad y notificación de emergencia”	103
Tabla 17. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Detección de incendios”	104
Tabla 18. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados a la fase de “Activación de alarmas locales”	106
Tabla 19. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados a la fase de “Notificación remota”	108
Tabla 20. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Alimentación de equipos”	109
Tabla 21. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Monitoreo de fuentes de poder”	110
Tabla 22. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Monitoreo lazos”	111
Tabla 23. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Salida de señales”	112
Tabla 24. Codificación de fallas.	112
Tabla 25. Escala propuesta para el nivel de detección	128
Tabla 26. Tabla ejemplo de cómo mostrar los índices de riesgo IR	129
Tabla 27. Presupuesto de los equipos pertenecientes al sistema de detección de incendios en estudio.	134

Resumen ejecutivo

Uno de los elementos que ha estado presente en la vida del ser humano, desde tiempos de la prehistoria, es el fuego, el cual ha sido útil en múltiples ocupaciones y procesos. Sin embargo, el uso del fuego también genera una gran cantidad de accidentes, emergencias y hasta desastres de alto grado, que no solo afectan la vida humana, sino también la naturaleza.

Este proyecto tiene como finalidad, el análisis de las rutinas de mantenimiento preventivo, según la Asociación Nacional de Protección contra Incendio (NFPA 72), para garantizar la seguridad de las personas y los bienes dentro del edificio de la Zona Franca Metropolitana. Para la verificación de las normativas mencionadas anteriormente, se desarrollará una herramienta en Excel, así como el planteamiento de una posible mejora para el diseño actual y la conservación del buen estado de los dispositivos.

Se pretende, una vez analizado el diseño actual y las rutinas de mantenimiento del edificio interno, de la Zona Franca Metropolitana, realizar un cálculo del costo por los servicios brindados de acuerdo con la cantidad de dispositivos, visitas, repuestos y materiales electromecánicos, necesarios para un funcionamiento óptimo del sistema de detección de incendios, dando así una solución completa y robusta de la protección del edificio.

Finalmente, se le estará brindando a la Zona Franca Metropolitana, el presupuesto completo sobre la inversión por realizar; en caso de que el proyecto planteado se lleve a ejecución, se tomarán como base los precios actuales del mercado costarricense en cuanto a materiales se refiere y de igual manera, se incluirá el costo total de la mano de obra, con referencia de una empresa nacional.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación responde a la necesidad sentida, de la empresa objeto de investigación del presente estudio, en cuanto a los procedimientos de seguridad en materia de siniestros por incendios, su estado actual y las posibilidades de mejoramientos.

Para ello, a continuación, se describe el proceso investigativo por desarrollar: Primeramente, se delimitó problema mediante una pregunta central generadora, y partir de allí se desarrollaron los objetivos, los cuales guiarán el proceso, definiendo los pasos por seguir y lo que se espera realizar durante el estudio.

Se establecen los antecedentes, los cuales generan un marco referencial de investigaciones vinculantes al tema de estudio y que aportan ideas metodológicas del desarrollo realizado por los autores, además de sus hallazgos, conclusiones y recomendaciones. Seguidamente se colocan las proyecciones esperadas, las cuales serán ratificadas cuando se concluya el proceso.

El capítulo dos comprende, un entramado de conceptos que responde, tanto al proceso académico como a la temática de investigación, de tal forma, que funjan como entramado teórico, que sustente lo que se va a realizar.

El tercer capítulo contiene todos los aspectos relacionados con la propuesta metodológica, en la cual se establece la delimitación del enfoque, el tipo de diseño, el establecimiento de las variables que al igual que los objetivos, guían el proceso de lo que se va a investigar, el tipo de herramientas e instrumentos ingenieriles que se aplicarán para desarrollar el proyecto, el manejo de los datos recolectados por las herramientas e instrumentos, además del método de análisis y tratamiento de los hallazgos obtenidos.

En cuanto al capítulo cuarto, a partir de los datos recolectados se realizará por medio de herramientas ingenieriles y graficación el análisis de los resultados obtenidos, evidenciando así puntos débiles y oportunidades de mejora en el proceso que se investigó.

Todos estos resultados serán concentrados en las conclusiones, las cuales responderán a los objetivos propuestos; de modo que de las deficiencias o debilidades identificadas se pretende realizar recomendaciones a la empresa, estos insumos se encontrarán en el capítulo quinto.

Por último, en el sexto capítulo se establece la propuesta de mejora, la cual surge del esfuerzo investigativo realizado y pretende subsanar las causas raíz identificadas.

Generalidades de la empresa

Reseña histórica.

La empresa sujeta a investigación es una entidad privada extranjera que se dedica a proveer servicios de diseño y fabricación de dispositivos médicos, de la más alta calidad, con el fin de mejorar la calidad de vida en el mundo.

Esta empresa inició sus operaciones en el país en el 2020 donde expandió sus operaciones a “1.300 metros cuadrados de espacio de ensamblaje y moldeo de plásticos en cuartos limpios ISO Clase 8 y readecuó 1.400 metros cuadrados de capacidad adicional de almacén, oficinas y soporte, para un total de 16.700 metros cuadrados en cuatro edificios” (Presidencia de la República de Costa Rica, 2021). Esto como parte de su primera etapa de expansión.

Actualmente cuenta con un campus que supera los 180 000 metros cuadrados distribuidos en cuatro edificios y salas limpias de clase 7 y 8, registrado por la FDA, certificado ISO 13485 y compatible con cGMP.

Entre algunas de las características de sus capacidades se encuentran:

- Inyección y moldeo por inserción.
- Extrusión de PVC.
- Sala de herramientas completa con fabricantes de herramientas certificados.
- Laboratorio de metrología completo.
- Ensamblaje del dispositivo terminado.

- Embalaje de barrera estéril.

Ubicación geográfica.

La empresa en la cual se está realizando la investigación se ubica en la Zona Franca Metropolitana, la cual se encuentra en Barreal de Heredia. A continuación se presenta visualmente su ubicación la cual está destacada por el indicador rojo de Google Maps:

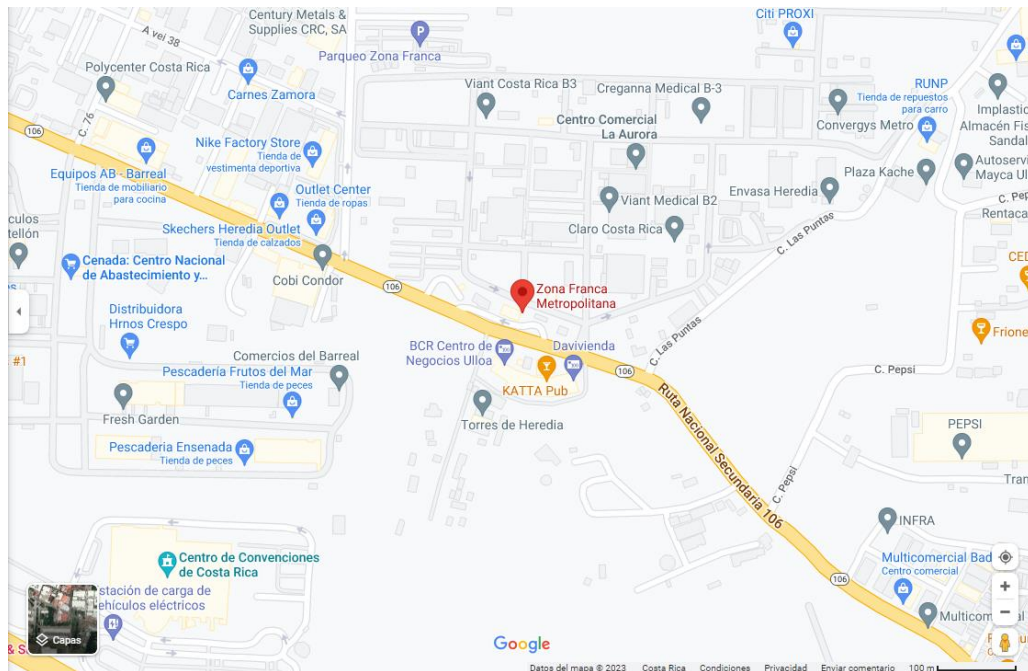


Imagen 1: Ubicación geográfica de la empresa sujeta a investigación

Fuente: Google Maps, zona Franca Metropolitana, 2023

Misión, visión y valores empresariales.

- Misión

Nos asociamos e innovamos con nuestros clientes para proporcionar dispositivos médicos de la más alta calidad que mejoran la calidad de vida en el mundo.

- Visión

Ser el socio de servicios de diseño y fabricación más confiable de la industria de dispositivos médicos.

- Valores

Orientado al cliente: Asociarnos con nuestros clientes con un enfoque en la seguridad del paciente, la calidad y el éxito mutuo.

Integridad: Hacer lo correcto, siempre.

Liderazgo de servicio: El activo más importante es nuestra gente. Apoyaremos y desarrollaremos a nuestros asociados para asegurar su éxito.

Me pertenece: Sea valiente, tome decisiones, sea responsable.

Trabajo en equipo: Un propósito, un equipo, ¡de por vida!

Sea ágil: Involucrar, comprender, alinear y actuar.

Cultura de calidad

- Visión de calidad

Calidad de Vida: La calidad está a la vanguardia de todo lo que hacemos porque las vidas dependen de nosotros. Para lograr esta visión, nos comprometemos a mantener una cultura de calidad y cumplimiento en la fabricación de dispositivos médicos.

- Política de calidad

Compromiso al proporcionar dispositivos y componentes médicos de calidad que se utilizan para salvar o mejorar la vida de los pacientes. Mantener el cumplimiento de los requisitos reglamentarios y de calidad, actuales, así como los de los clientes.

Supervisar, gestionar el riesgo y tomar medidas a lo largo de los procesos para garantizar la eficacia continua del sistema de calidad. Todos los empleados están comprometidos con el desarrollo y la mejora continua de productos y procesos a través de objetivos de calidad medidos.

- Normativa y cumplimiento:
 - ✓ Certificación ISO 13485.
 - ✓ Registrado por la FDA y cumple con el Reglamento del Sistema de Calidad cGMP.
 - ✓ Certificación de gestión de riesgos ISO 14971.
 - ✓ Dispositivos de clase I, II y III, incluido el soporte de productos de aprobación, previa a la comercialización (PMA).
 - ✓ Entornos controlados de sala limpia con certificación ISO 7 e ISO 8.
 - ✓ Laboratorios de metrología.
 - ✓ laboratorio de biocarga.

Planteamiento del Problema

Resulta imperativo determinar cuál es la estrategia que la empresa utiliza para prevenir incendios, sus rutinas de mantenimiento preventivo, su protocolo de seguridad para los empleados y para las instalaciones, y demás aspectos relacionados para salvaguardar las vidas de las personas en sus instalaciones y a garantizar el cuidado de las instalaciones y equipo. Con el fin de delimitar la problemática se determinan las siguientes preguntas generadoras:

¿Cuenta la empresa con rutinas de mantenimiento preventivo para sus instalaciones?

¿Cuenta la empresa con estrategias de capacitación al personal, sobre protocolos de seguridad ante incendios?

¿Cuáles son los protocolos de seguridad con los que cuenta la empresa en materia de incendios?

¿Realiza la empresa estudios evaluativos de las medidas de seguridad?

¿Cuenta la empresa con procesos de mejora continua en sus protocolos de seguridad?

Elaboradas estas preguntas que buscan establecer una línea base de análisis de la situación actual de la empresa, se realiza el planteamiento del problema generando la siguiente pregunta central:

¿Qué necesita la empresa para cumplir con la normativa 72 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendio (NFPA)?

Objetivos

Objetivo general.

Generar un protocolo de las rutinas de mantenimiento preventivo para el sistema de detección de incendios del edificio nuevo de la empresa ubicada en la Zona Franca Metropolitana, basado en la NFPA 72, con el fin de cumplir con los propósitos de salvaguardar vidas, bienes y la continuidad del negocio.

Objetivos específicos.

Realizar el levantamiento del sistema actual de detección de incendios de un centro de manufactura de equipo médico de aproximadamente 500 m².

- Identificar la normativa vigente de la NFPA 72 y del cuerpo benemérito de Bomberos en Costa Rica para rutinas de mantenimiento preventivo en un centro de manufactura de equipo médico.
- Establecer un listado de emergencias o posibles fallas, mediante la herramienta “Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) en los equipos presentes.
- Crear una boleta de control de una rutina preventiva para aplicar en los mantenimientos preventivos.
- Realizar un análisis económico del costo estimado por el servicio de mantenimiento preventivo propuesto.

Justificación

En esta tesis se pretende, realizar un estudio técnico y económico las rutinas de mantenimiento preventivo para mantener la protección de las vidas humanas y bienes del edificio interno de la Zona Franca Metropolitana. Además, con este estudio le permite a la empresa en mención, reforzar la seguridad en sus instalaciones y posibles mejoras en el diseño actual.

Esta empresa por su tamaño y desempeño laboral en el área de cuartos limpios dispone de equipos y materiales, los cuales tienen un costo significativo para la entidad, además de una gran cantidad de personal en planta.

La finalidad de este estudio es que la empresa en mención se vea beneficiada con el análisis de las rutinas de mantenimiento para la seguridad del edificio completo y para poder cumplirlo, se analizarán los requerimientos de la norma NFPA 72, que definen los lineamientos por seguir.

Se facilitará un análisis de costo, donde se expondrán los beneficios de las acciones preventivas derivadas de la herramienta AMEF, respecto a las acciones correctivas aportadas por la información actual.

Antecedentes

Antecedentes Nacionales.

Tesis 1.

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Diseño del sistema de detección de incendios del edificio de una institución educativa.

Autor: Guillermo Campos Mora

Año: agosto 2021

Esta tesis se enfocó en realizar el diseño de un sistema de detección de incendio, con todos los cálculos electromecánicos para una institución educacional universitaria. Esto fue un beneficio para la institución, ya que está destinada a la enseñanza superior y constituida por varias facultades, ya que siempre hay personas en la edificación, que podrían estar en riesgo ante algún conato de incendio, y al no tener ninguna notificación de alarma no podrían evacuar de una manera más eficaz.

Se investiga la importancia de los sistemas de detección de incendios en las edificaciones, la composición del sistema, las áreas de mayor riesgo y se analizan las normas adoptadas por el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica NFPA72, NFPA 70 y NFPA 101 para el desarrollo del diseño. Se sigue visitando donde se recolectarán los datos necesarios y se consideran los responsables de seguridad o administración universitaria quienes serán los que operen el sistema. Una vez realizado el diseño, se llevan a cabo los cálculos de los materiales electromecánicos utilizados, lo que incluye tubería, ductos, señalización y todos los equipos que componen el sistema de detección de incendios, así como el mantenimiento preventivo del sistema diseñado.

Definiendo los dispositivos y el diseño realizado, se llega a la conclusión de la importancia de la necesidad de implementar un sistema de detección de incendios, en una

edificación educativa que tiene como objetivo principal salvaguardar las vidas humanas de modo que cumpla con todas las normativas adoptadas por Bomberos de Costa Rica.

Tesis 2.

Institución: Universidad de Costa Rica

Análisis de seguridad humana basado en desempeño en caso de incendio del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

Autores: Michael Alcázar Fallas, Luis Roberto Bolaños Esquivel, Silvio Alberto García Aguirre.

Año: febrero 2019.

Este trabajo de investigación, desarrollado por Michael Alcázar Fallas, Luis Roberto Bolaños Esquivel y Silvio Alberto García Aguirre, con el tema “Análisis de seguridad humana basado en desempeño en caso de incendio del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica” se presentó a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

Se analizaron las condiciones de seguridad humana del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, tomando como base criterios del desempeño, para determinar el nivel de seguridad del edificio en sus condiciones actuales, en caso de un conato de incendio.

Para lograr el objetivo de este trabajo, se analizaron tres factores para la selección de un escenario, los cuales fueron: la carga de fuego, las características del edificio y las características de los ocupantes. A partir de dicho análisis, se estableció uno con altas probabilidades de ocurrencia y que afecte los medios de egreso. Mediante el uso de programas informáticos, se parametrizó y se desarrolló un posible modelo de comportamiento del fuego, humo y rutas de evacuación específicos para el edificio.

Una vez obtenidos los resultados del comportamiento del humo y de la evacuación de los ocupantes, se procedió a comparar el tiempo de egreso seguro requerido (RSET), contra el tiempo donde las condiciones de sostenibilidad se pierden.

Con la entrega de este documento y el informe calculado, se realizó una guía del SFPE y la NFPA en términos de seguridad humana, se facilitó una referencia documentada la cual sirve como ejemplo para estudiantes y profesionales que la requieran en un futuro análisis, basado en el método por desempeño en el país.

Tesis 3.

Institución: Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Implementación de sistema de supresión de incendios, con agente limpio para la protección de los activos de laboratorio y salas de cómputo de un centro universitario.

Autor: Andrey Calderón Venegas.

Año: abril 2022.

El pasado abril del 2022, el estudiante Andrey Calderón Venegas realizó un proyecto que consistió en un diseño del equipamiento electromecánico, que debe ser instalado en un centro universitario para la implementación del agente limpio Novec 1230, para sistemas de supresión de incendio, con el fin de proteger y salvaguardar la vida humana y los equipos activos presentes en las instalaciones.

El análisis y entendimiento del proyecto se inició con el análisis de cuáles laboratorios y salas de cómputo deberían ser protegidos, considerando que dichos recintos pueden estar ocupados durante una posible descarga, debido a un conato de incendio. Para el cumplimiento del diseño se trabajó apegado a la normativa que regula los sistemas de supresión, la NFPA 2001, de acuerdo con la cual, es necesario realizar un levantamiento de dichos aposentos y estimar el volumen de cada uno de ellos, considerar si poseen piso falso, cielo suspendido, además de aspectos fundamentales como lo es la altitud a la que se encuentra el edificio. Se selecciona, de esta manera, el cilindro correspondiente según la

cantidad de agente requerido para la inundación total del cuarto y así omitir la propagación de un conato de incendio.

Se realizó el diseño mediante un programa y se llevó a cabo la selección del equipamiento del agente limpio y electromecánico procurando que cumpliera con todas las especificaciones y requerimientos tanto eléctricos como mecánicos.

Se realizó un análisis financiero para definir el presupuesto con el que debía contar la empresa si optaba por ejecutar el proyecto. Finalmente se brinda la propuesta, con el diseño y costos del equipamiento electromecánico necesario, para el correcto funcionamiento de la implementación del sistema de agente limpio.

Tesis 4.

Institución: Universidad Latina de Costa Rica.

Comparación de costos entre: el “Reglamento nacional de protección contra incendios (2020) y el Manual de disposiciones técnicas generales al reglamento sobre seguridad humana y protección contra incendios (2013) basados en bodegas de almacenamiento.

Autor: Johan Manuel Fernández Acosta.

Año: 2021.

Para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto de construcción, se debe considerar una cierta cantidad de requisitos por parte de los desarrolladores del proyecto, para así obtener el visado de los planos antes las instituciones responsables, además del cumplimiento de los requerimientos que establece la ley, y posteriormente, por la inspección de parte del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), en la cual se toman en cuenta la capacidad y resistencia de las estructuras.

Todo diseño del sistema de detección de incendios está basado en las normas establecidas en NFPA (National Fire Protection Association). Estas normas se encargan de

regular las condiciones mínimas que debe cumplir una estructura para que esta sea considerada completamente segura y apta para que sus ocupantes sientan plena confianza de poder llevar a cabo sus labores o procesos de manera segura y de que en caso de una situación de emergencia, esta cumpla con las condiciones de seguridad y una evacuación ordenada.

Una vez aplicada la metodología que se especifica en la NFPA, se puede determinar el nivel de riesgo de las edificaciones, lo cual permite una toma de decisiones basada en las normas: el uso de equipo de protección que el diseño llevará, así como el costo que significa el proyecto, ya que algunas edificaciones llevan los siguientes sistemas de protección contra incendios: sistema de red hídrica, de detección de incendios, de pararrayos, de señalización contra incendios y evacuación, entre otros.

De esta manera se puede cumplir, con la propuesta de un diseño para la construcción de bodegas de almacenaje y se realizó una comparación entre los costos de diseños, utilizando dos reglamentos diferentes.

Tesis 5.

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Programa para la incorporación de la seguridad humana y protección contra incendios en la Planta Industrial Tico 2 de la empresa Tico Electronics TPE S.A.

Autora: Fiorella López Cordero.

Año: 2021.

Como objetivo principal del trabajo, se planteó diseñar un programa para la incorporación de la seguridad humana y protección contra incendios, en la Planta Industrial Tico 2 de la empresa Tico Electronics TPE S.A., con el propósito de integrar controles administrativos e ingenieriles enfocados en esta problemática. Para ello, se realizó una evaluación de la gestión actual de la seguridad humana y las condiciones de vulnerabilidad, en relación con la seguridad en caso de incendio.

Parte del procedimiento utilizado fue, la utilización de herramientas para recolectar la información, como matrices, entrevistas y cuestionarios. La información obtenida, se evaluó por medio de instrumentos como el análisis FODA y listas de verificación de protección pasiva, activa y de las condiciones de almacenamiento de sustancias peligrosas.

En el análisis de la información recolectada se encontró, que no existía una clara comprensión y conocimiento, en la distribución de las responsabilidades entre las partes interesadas, en la gestión de la seguridad humana. En el caso de las condiciones de protección contra incendio, no se contaba con elementos de contención y extinción de incendio obligatorias para el tipo de ocupación, por lo que se alcanzaba escasamente, el 28% de cumplimiento con la normativa nacional aplicable.

Se optó por evidenciar las principales deficiencias del sistema, en el cumplimiento de las actividades planificadas, contenidas en los lineamientos y documentos de la organización y en la distribución de responsabilidades, por lo que se recomendó establecer un programa para la incorporación de la seguridad humana y protección contra incendios, con medidas de prevención y contención, las cuales se pueden trabajar de forma integrada.

Tesis 6.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Diseño del sistema de protección contra incendios para un condominio residencial horizontal y vertical de 11 niveles.

Autores: Kenneth Josué Fonseca Castillo y Danny Antonio Soto Castillo.

Año: 2020.

En esta tesis se realizó el diseño del sistema de supresión contra incendios, con base en agua, para el edificio denominado “A” del condominio residencial horizontal y vertical Attica, el cual consta de 11 niveles, pertenece a la empresa Rocca y está ubicado en San Josecito de Escazú en la provincia de San José.

Considerando el diseño de supresión contra incendios, de acuerdo con los requisitos establecidos por la autoridad competente en el país (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica) en términos de protección activa, como lo son un sistema de rociadores automáticos y tomas clase I para uso del Cuerpo de Bomberos.

Para el diseño se contemplan las normas NFPA 1 (Código de incendios, 2012), NFPA 10 (Norma para extintores portátiles contra incendios, 2018), NFPA 13 (Norma para la instalación de sistemas de rociadores, 2019), NFPA 14 (Norma para la instalación de sistemas de montantes y mangueras, 2019), NFPA 20 (Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios, 2019), NFPA 22 (Norma para tanques para la protección contra incendios privada, 2018), NFPA 24 (Norma para la instalación de tuberías para servicio privado de incendios y sus accesorios, 2019) y NFPA 101 (Código de seguridad humana, 2018) de la Asociación Americana de Protección contra incendios (NFPA).

Se facilitan los planos respectivos del diseño, en formato digital, y una tabla resumen del costo del presupuesto del sistema de supresión de incendios, en donde se contemplan los materiales, equipos y costo de la instalación, cumpliendo con el propósito de este trabajo que fue basado en las normativas de las NFPA.

Antecedentes internacionales.

Tesis 1.

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

Diseño de un sistema de detección de incendio para el campus de la matriz bajo la norma NFPA 72 en la Universidad Técnica de Cotopaxi en el año 2016.

Autores: Byron Orlando Iza Almachi, Juan Carlos Lasluisa Guaña.

Año: mayo 2016.

Este Proyecto se realizó en función de determinar y valorar las características en un sistema de detección de incendios en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus la matriz

“Rapidez y Fiabilidad”, las cuales inciden directamente en sus posibilidades de cumplimiento y éxito: La rapidez y eficacia dependerá del tiempo en la puesta en marcha del plan de emergencia; la fiabilidad es imprescindible en la credibilidad y confianza en el sistema, lo que desembocaría en la rapidez en la puesta en marcha del plan de emergencia. La presencia continua de personas en determinadas horas determina la densidad en las distintas áreas y produce zonas críticas, la detección rápida del incendio queda asegurada en todas las zonas o áreas visibles.

Para esto, se llevó a cabo un diseño con las ubicaciones de detectores de incendios, con su ubicación respectiva y con estos los elementos apropiados bajo la norma estandarizada NFPA 72, usados en el diseño de un sistema de detección de incendio para el campus de la matriz de los pasillos de la institución.

En este proyecto se trata de aclarar qué es y cómo se originó el Código nacional de alarmas contra incendio (NFPA 72) el cual es de gran ayuda para el diseño del presente proyecto. Esta edición de la norma NFPA 72, código nacional de alarmas de incendio, fue elaborado por los comités técnicos sobre fundamentos de los sistemas de alarmas de incendio, equipos de advertencia de incendios domiciliarios, dispositivos iniciadores para sistemas de alarmas de incendio, aparatos de notificación para sistemas de alarmas de incendio, sistemas de alarma de incendio en los predios protegidos, sistemas de alarma de incendio de las estaciones de supervisión, y ensayos y mantenimiento de los sistemas de alarma de incendio, emitidos por el comité de correlación técnica para el código nacional de alarmas de incendio, y tratada por la National Fire Protection Association, Inc.

Tesis 2.

Institución: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, de sistemas de protección contra incendios, asistido por una herramienta digital, operado por la empresa Enarfire Consulting Gas.

Autor: Walter Alejandro Duarte Rojas

Año: 2021

Este proyecto tuvo como objetivo, la elaboración de un plan de mantenimiento, basado en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance), e implementarlo en la empresa ENARFIRE CONSULTING GAS, empresa especializada en ingeniería de protección contra incendios.

Para efectuarse esta labor, fue necesario emplear una etapa de investigación normativa, donde se encuentran diversos códigos como la NFPA, la NSR-10 y la NTC, donde se establecen los requerimientos necesarios en la protección contra incendios, con el apoyo de distintos trabajos de grado, relacionado con este tema. A su vez, se reforzó con tesis que trabajan la metodología RCM, consultadas en la base de datos digital, de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y con el libro RCM de John Moubray.

A partir de lo anterior, se desarrolló un plan de mantenimiento, donde se estableció una serie de formatos, que especifican el paso a paso de un procedimiento ya mencionado, encaminado a los sistemas de protección contra incendios, en pro de la reducción de afectaciones materiales y humanas, con base en un caso de estudio propuesto, analizando los resultados obtenidos.

Tesis 3.

Institución: Universidad Señor de Sipán, Perú.

Sistema contra incendio bajo la norma NFPA para incrementar la seguridad del personal en la minera Las Bambas, Apurímac.

Autor: Rómulo Panduro Cachique.

Año: 2020.

En esta investigación se planteó como objetivo general, diseñar un sistema contra incendio bajo la norma NFPA, que contribuyera al incremento de la seguridad del personal en la Minera Las Bambas, Apurímac – 2020. Para tal fin, se propuso una investigación de

tipo aplicado y diseño experimental, empleándose la revisión documental como técnica de recolección de datos y se aplicó la hoja de observación, para determinar estadísticas referentes a los índices de accidentabilidad de los 80 trabajadores que compusieron la muestra del estudio.

Así, del diagnóstico realizado se identificaron deficiencias en el sistema contra incendios que existía en la minera con nivel de riesgo 24 (de importante a intolerable), explicado por problemas eléctricos, falta de capacitación, ausencia de dispositivos automáticos, entre otros aspectos. De allí, que lograron la implementación del sistema contra incendio bajo la Norma NFPA, fundamentado en una tasa de descarga suficiente para toda el área de diseño considerada, donde se distribuyeron los rociadores, en función de que cubrieran la totalidad de la superficie por proteger.

Además, la distribución de los gabinetes de mangueras cubre en su totalidad el riesgo protegido y logró configurar el sistema de distribución de agua para que entregue un flujo de 101,84 [gpm] a través de un gabinete de mangueras clase II, con una presión residual de 67,45 [psi]. De esta manera, se pudo diagnosticar y diseñar el sistema contra incendios para una mejora en los índices de frecuencia, gravedad, responsabilidad y accidentabilidad.

Tesis 4.

Institución: Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Sistema de control y protección contra incendios para el Hospital General de Macas en la provincia de Morona Santiago.

Autor: Javier Andrés Romero Ortiz.

Año: 2017.

En esta investigación se desarrolla y construye un sistema de control y protección contra incendios, el cual se adapta y complementa las funciones de un sistema comercial anteriormente implementado en el Hospital General de Macas y cuyo principal objetivo es

disminuir los casos de falsas alarmas, provocados por las personas que acuden al hospital e incrementar la eficiencia del personal técnico encargado de supervisarlos.

La primera etapa que desarrollaron se trata de la que controla el flujo de gas licuado de petróleo (GLP) al área de cocina del hospital, mediante el accionamiento automático de una válvula solenoide que impida su circulación en caso de detectarse una fuga. La segunda etapa consiste en controlar el funcionamiento de un acceso automatizado al área de hospitalización y permite mantenerlo abierto en caso de requerir una evacuación del personal hospitalario.

Para hacer posible este proyecto, se trabajó en los siguientes puntos la etapa de adquisición de datos, encargada de captar las señales provenientes de cada dispositivo que integra el sistema, la etapa de procesamiento de la información y la etapa de interfaz del usuario, encargada de presentar los datos recolectados y procesados mediante un navegador web, ejecutado desde un dispositivo móvil o un computador. Con la implementación y uso del sistema, el personal técnico encargado demostró la mejora y eficiencia en respuesta ante una eventual emergencia, es decir, se redujo el tiempo requerido por el operario para identificar y resolver la situación

Tesis 5.

Institución: Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.

Sistema de detección, alarma y extinción de incendios de planta Atocongo.

Autores: Jorge Venegas Córdova, Ivette Fernández Rodríguez y Rommel Soberón Paredes.

Año: 2017.

Este trabajo se ha elaborado con el propósito de demostrar, que la mejora en los procesos de dirección de proyectos incrementa la probabilidad de éxito en todo el proyecto: sistema integral de detección, alarma y extinción a todas las áreas de la planta Atocongo de la empresa

UNACEM (Unión Andina de Cementos S.A.A.) ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, en la ciudad de Lima.

El proyecto para la implementación de la dirección del proyecto: sistema de detección, alarma y extinción de incendios de planta Atocongo, se desarrolló en 24 meses y con un presupuesto estimado en 4 800 000,00 dólares estadounidenses. En el primer capítulo se presenta el caso de negocio, en el cual se evaluaron los factores internos y externos de la organización, mientras en el segundo capítulo se presentaron los entregables de dirección de proyectos.

A la finalización del proyecto, la Planta Atocongo de UNACEM se pudo aplicar con la normativa nacional vigente al inicio del proyecto y desarrollará las operaciones asegurando la integridad de todos los trabajadores y de los activos de la organización; asimismo, asegurará la continuidad sostenible de las actividades operativas y comerciales

Tesis 6.

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sistema de seguridad contra detección para un edificio de departamentos de lujo de 10 pisos.

Autora: Jocelyn Mendoza Ramírez.

Año: 2014.

Con este proyecto se propuso el diseño de un sistema de protección contra incendio, que incluya la existencia de hidrantes, rociadores, detectores de humo y extintores manuales, que cumplan satisfactoriamente con las normas de la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (NFPA) de los Estados Unidos de América.

El proyecto contempló un edificio destinado para viviendas, con una superficie de 36 746 m² de construcción, en un predio de 4 336,21 m², con 74,06 m de frente por 58,55 m de lado; de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico;

se trabajó con una proyección del edificio de forma regular, compuesto de dos cuerpos cuadrados, unidos mediante una junta constructiva formando una L.

Al finalizar este proyecto se pudo observar, que hoy en día las construcciones requieren de más instalaciones especiales, como es el caso de un sistema de seguridad contra incendio y la autora consideró importante, que los ingenieros civiles conozcan las necesidades de las nuevas generaciones y se preparen para poder seguir cumpliendo con todas las normativas que se establezcan, para la aprobación de los futuros diseños.

Proyecciones

Entre las proyecciones que se pretenden con la realización de este estudio están las siguientes:

- Generar un estudio técnico, en el cual se contemplen las rutinas de mantenimiento preventivo, que responda al código NFPA 72.
- Generar un precedente para la evaluación de riesgos, referente al sistema de detección de incendios en la empresa.
- Reforzar la seguridad de las instalaciones de la empresa, que contemple la seguridad humana.
- Generar un estudio económico de costos, para el mantenimiento del sistema preventivo de incendios.

Limitaciones

- No se cuenta con planos de la última versión del sistema de detección instalado.
- No se conocen los requisitos de la aseguradora.
- El presente proyecto investigativo tiene como fin la detección, por lo que en la propuesta no se incluye agente limpio ni la supresión húmeda.
- La empresa estableció puntualmente que desea mantenerse en el anonimato, por lo que el acceso a la información es parcial, ya que algunos datos no se pueden exponer en el presente trabajo, para evitar su identificación.

- El panel instalado en la empresa es de Marca Edwards, por lo que el enfoque de la investigación será en los equipos de la misma marca
- Una vez en ejecución de este trabajo de investigación, la empresa que facilita la información de los reportes de mantenimiento, por acuerdos de confidencialidad, no revelará datos nítidos de ellos ni de los clientes; sin embargo, el tutor de este trabajo y la autora dan fe de que los datos son reales, pero dado a que la empresa objeto de estudio prefiere mantenerse en el anonimato, en cuanto a su nombre y datos, el acceso total de lo estudiado se va a mostrar parcialmente

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Uno de los elementos presentes en la vida del ser humano, desde la formación del universo, es el fuego, el cual ha sido importante en el desarrollo de múltiples ocupaciones y procesos. Sin embargo, el uso y la manipulación del fuego por las personas, también genera una gran cantidad de accidentes, emergencias y hasta desastres de alto grado, que no solo afectan la vida humana, sino también la naturaleza.

En este capítulo, se muestran las definiciones e información de importancia para el proyecto en desarrollo, empezando por la explicación respecto al fuego, sus principales causas, los elementos que lo propagan y la función de los dispositivos del sistema de detección y anunciación para posibles conatos de incendio.

Fuego

Como lo explica Equipo Editorial (2023), el fuego se define como un conjunto de partículas incandescentes de materia combustible. Debido a una reacción química de oxidación violenta (conocida como combustión), esas partículas despiden energía calórica (calor) y de energía lumínica (luz), durante un tiempo determinado.

Una vez clara la definición anterior, se podrán analizar parámetros para evaluar en este trabajo de investigación, que llevan a la pregunta: ¿Qué elementos pueden desatar un incendio? ¿Está la edificación diseñada con base en un sistema de detección, que cumple con los requerimientos y mantenimientos establecidos por la NFPA 72?

Tipos de fuego.

Existen diferentes tipos de fuego (Centro Nacional de Comunicaciones, 2015) como lo son:

Fuego Clase A: Es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica, y cuya combustión se realiza normalmente con formación de brasas.

Fuego Clase B: Se presenta en líquidos y gases combustibles e inflamables.

Fuego Clase C: Involucra aparatos y equipos eléctricos energizados.

Fuego Clase D: En él intervienen metales combustibles.

Triángulo del fuego y tetraedro.

Lanchas (2019) explica que el triángulo del fuego representa los elementos necesarios para que se produzca la combustión. Es necesario que se encuentren presentes los tres lados del triángulo para que un combustible comience a arder. Por este motivo el triángulo es de gran utilidad para explicar cómo podemos extinguir un fuego eliminando uno de los lados del triángulo.

Como se puede apreciar en la siguiente fotografía, los lados que componen el triángulo del fuego son:

- El combustible: Se trata del elemento principal de la combustión, puede encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso.
- El comburente: El comburente principal en la mayoría de los casos es el oxígeno.
- La energía de activación: Es la energía necesaria para iniciar la combustión, puede ser una chispa, una fuente de calor, una corriente eléctrica, etc.

Estos son indispensables, por lo tanto, si se elimina de la combustión cualquiera de los lados del triángulo, el fuego se apagará.

El triángulo del fuego indica qué elementos son necesarios para que se inicie la reacción de combustión. Actualmente se ha descubierto que para que se mantenga la combustión es necesario un cuarto elemento, la reacción en cadena.

Al incluir la reacción en cadena en el esquema del triángulo del fuego, se obtiene el tetraedro del fuego.



Imagen 2: Triángulo del fuego

Fuente: (Lanchas, 2019)

El principio básico del tetraedro del fuego es el mismo que el del triángulo del fuego; todos los lados del tetraedro son necesarios para que la combustión se mantenga, ya que si se elimina cualquiera de los lados, el fuego se apaga.

La reacción en cadena de la combustión desprende calor, el cual es transmitido al combustible, lo realimenta y continúa la combustión.



Imagen 3: Tetraedo del fuego

Fuente (Lanchas, 2019)

Combustión.

Emergencias (2016) define la combustión como una reacción de oxidación entre un combustible y un comburente, iniciada por una cierta energía de activación y con desprendimiento de calor (reacción exotérmica). El proceso transcurre esencialmente en fase de vapor. Los sólidos se someten primero a un proceso de descomposición molecular, a elevada temperatura (pirólisis), hasta llegar a la formación de gases que pueden ser oxidados. Los líquidos primero se vaporizan, luego se mezclan con el comburente y se someten a la

acción de la llama para iniciar la reacción. Antes de desarrollar la clasificación de las combustiones, cabe mencionar la reacción de oxidación, lenta o muy lenta, que se produce por ejemplo en un hierro que se oxida o en el papel que amarillea con el paso del tiempo y que aunque no sea posible considerarla realmente como una combustión, sí es un ejemplo claro de reacción de oxidación.

Calor.

El ingeniero Néstor en su libro (Botta, 2021) indica que la combustión es una reacción química exotérmica, es decir, emite calor. La energía que genera se emite en forma de calor, por convección (gases calientes) y radiación. Esta última representa la energía liberada en las zonas visibles e infrarrojo del espectro, que se manifiesta como llamas o luminosidad de un fuego. El calor representa un peligro para las personas. Si la energía calorífica que incide sobre el cuerpo supera la capacidad de defensa de este, provoca desde lesiones leves, hasta la muerte.

Si un exceso de calor alcanza rápidamente los pulmones, puede producir una drástica caída de la presión sanguínea, junto con el colapso de vasos sanguíneos, que conduzcan a un fallo circulatorio. Asimismo, el calor intenso puede originar la acumulación de fluido en los pulmones. Por esta razón, es necesario que el sistema de detección de incendios instalado, cuente con los mantenimientos preventivos al día.

Formas de transmisión de calor.

Botta, (2021) explica de la siguiente manera las formas de transmisión del calor.

El calor se transmite de cuatro maneras distintas:

Contacto directo: El calor se transmite por contacto directo cuando una llama o ascua alcanza un objeto combustible; estas ascuas son llevadas por la corriente del humo lejos del fuego primario.

Convección: La convección es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. Puede ser transmisión del calor a través del movimiento del humo, gases, aire y partículas calientes

Conducción: Es la transmisión de calor a través de un sólido. En la conducción, la energía calorífica se transmite desde una molécula a la contigua. Las moléculas vibran alrededor de su posición media y transmiten la energía calorífica por choque con sus vecinas.

Radiación: Se transmite el calor a través de ondas invisibles, que se propagan por el espacio al igual que la luz y viaja a través del espacio sin necesidad de un medio sólido o fluido.

Humo

Este fenómeno se debe a la combustión incompleta de las sustancias en la reacción. Se forma a partir de la condensación de partículas sólidas parcialmente quemadas, vapor y gases de combustión.

El color y la opacidad dependerán nuevamente de la naturaleza y composición química de los reactivos, así como de la concentración de oxígeno en el ambiente. Dificulta la visión y puede causar desorientación y pánico. Suele aparecer a altas temperaturas, lo que puede causar dificultad para respirar (asfixia) y quemaduras, además de importantes daños materiales, especialmente en incendios domésticos.

La separación entre humo y gas es una comprensión teórica de las propiedades de ambos, en la práctica forman un conjunto y en ocasiones su distinción resulta invaluable.

Llamas

Las llamas son gases calientes que se producen cuando la combustión en una atmósfera es "rica en oxígeno". Suelen ser visibles porque emiten radiación luminosa, aunque en ocasiones no es así (combustión completa de la materia orgánica).

La presencia de llamas indica emisiones gaseosas debidas al calor del combustible involucrado y la posible influencia de combustibles cercanos. El color de la llama depende de muchos factores, incluyendo la composición química del combustible y la proporción de oxígeno en el ambiente.

Códigos del grado de incendio.

Existen seis códigos, creados con el fin de identificar el grado de un incendio. A continuación se expone cada grado y a qué características del incendio responden:

Código 0: Este código se aplica cuando un incendio es relativamente ligero y puede ser controlado de inmediato.

Código 1: Se utiliza cuando el fuego debe y puede ser controlado de inmediato para evitar que se extienda.

Código 2: Se aplica cuando el incendio se encuentra en estado de progreso y se necesita de más de una unidad de bomberos para apagarlo.

Código 3: Corresponde cuando un incendio se encuentra fuera de control y se deben tomar medidas para contenerlo con equipo especializado y varias unidades de bomberos.

Código 4: Este código se aplica cuando el incendio está fuera de control e involucra una tragedia local, es decir, afecta un caserío, varias estructuras continuas, etc.

Código 5: La diferencia de este con el código 4 es que se aplica cuando la afectación se proyecta en el ámbito nacional, ya que en conjunto con la emergencia de incendio se producen desastres naturales y/o explosiones que desembocan o aumentan la emergencia de incendio.

Sistema contra incendios

S&P (2019) indica que se denomina sistema contra incendios al conjunto de medidas diseñadas, dentro del plan de seguridad de cualquier edificio, para minimizar los efectos del fuego en caso de incendio, en relación con la protección de las personas ocupantes del

edificio y de la propiedad o el inmueble. El diseño de cualquier sistema de protección contra incendios debe tomar en cuenta diversos factores del edificio, tales como su ocupación, uso, huella medioambiental, sistemas e instalaciones de climatización, ventilación, fontanería e iluminación, entre otros.

El peligro extremo que representan los incendios, para un edificio y sus ocupantes, requiere un enfoque holístico de los sistemas arquitectónicos y mecánicos, un enfoque integrado que incluya las características de todos los sistemas que componen una edificación.

Medidas de protección contra incendio

Las medidas de protección contra incendios se clasifican fundamentalmente en dos tipos según S&P (2019):

Detección activa

La detección activa se refiere, al conjunto de medios, equipos y sistemas instalados, para alertar sobre un incendio, e impedir que éste se propague para evitar las pérdidas y daños producidos por el fuego. Los sistemas de protección activa generalmente están asociados a la acción y se incluyen dentro de esta categoría los sistemas fijos, extintores, sistemas de detección, evacuación, etc. En la revisión del RIPCI en diciembre de 2017, los sistemas de control de temperatura y extracción de humo han pasado a formar parte de los sistemas de protección activa.

Detección pasiva

Se trata del conjunto de medidas y medios dispuestos en un edificio, con el objetivo de prevenir la propagación del fuego a otras áreas, en caso de incendio, proteger los sistemas e instalaciones, evitar la pérdida de estabilidad de la estructura del inmueble y facilitar la evacuación de los ocupantes de forma segura. Este tipo de medidas, no implican acción como en el caso anterior, pero su importancia a la hora de contener un incendio es fundamental. Las más habituales son la ignifugación de los materiales, la compartimentación a través de

cerramientos y sellado de huecos, las puertas y compuertas cortafuegos y la señalización, entre otros.

Sistema detección de incendios

Según el blog Microsegur (2021) La misión principal de un sistema de detección de incendios es detectar la presencia de fuego lo antes posible y poder lanzar las señales de alarma para que se pueda evacuar el edificio y avisar a los equipos de extinción. También para activar los mecanismos de extinción automáticos con los que cuente el edificio, como los rociadores.

Un sistema de detección de incendio se basa en una tecnología compleja y en constante evolución. Su funcionamiento se corresponde con el plan de detección y extinción de incendios que se debe aplicar en el edificio. Puede ser totalmente automatizado o incluir también mecanismos que se activan manualmente, como los pulsadores de alarma.

Gracias a los sistemas de detección, se produce una alerta temprana que permite a las personas abandonar el edificio usando las vías de evacuación antes de que estas se llenen de humo. También se puede activar un rociador o extintor para apagar el fuego que se produce en un punto localizado, para evitar que se propague al resto del edificio, o cerrar una puerta de protección, que aísla la zona incendiada de las otras partes del edificio.

El objetivo del sistema de detección de incendios es salvar vidas y también proteger los bienes, ya que se busca que el fuego se pueda apagar lo antes posible y se minimicen los daños.

Lazo de iniciación para un sistema de detección de incendios.

El lazo de iniciación es el cableado que se utiliza para el sistema de detección de incendios, este se subdivide en dos tramos, el de iniciación y el de salida. A continuación se exponen ambas partes:

Tipo de cableado clase A.

Con estos circuitos, cuando los dispositivos son de detección automática o manual, se conectan entre dos cables paralelos. Al completar la instalación de todos los dispositivos, se retoman al panel de control y se enlazan a los terminados correspondientes. Debe recalcar que, los dispositivos deben ser cableados de forma separada, es decir, por diferente tubo o canaleta. Además, los circuitos Clase A pueden diferenciar entre cortocircuitos (estado de alarma) y aperturas de circuito (condición de falla). A continuación se presenta un prototipo del circuito de cableado clase A:



Imagen 4: Cableado clase A

Fuente: SH Ingeniería, 2023

Tipo de cableado clase B.

Este tipo de cableado es el conectado entre dos cables en paralelo y permite diferenciar entre un cortocircuito y una apertura de circuito. Este tipo de conexión es ideal para los sistemas de detección de incendios convencionales y direccionables. En cuestión de supervisión, se realiza un circular de una corriente baja y se instala una resistencia en el extremo de línea; las variaciones son captadas en el panel de control de alarma, del cual se emitirá un aviso de alarma si la corriente aumenta o un aviso de falla si la corriente disminuye.

A continuación se presenta el tipo de cableado clase B:



Imagen 5: Cableado clase B

Fuente: SH Ingeniería, 2023

Tipos de sistemas de detección de incendio.

En el mercado existen diferentes tipos de sistemas de detección de incendios. En esta investigación, se va a evaluar el mantenimiento preventivo de los sistemas convencionales e inteligentes, que son los más comercializados. Se definen a continuación:

Sistema inteligente.

Según Electrónica (2019) un sistema inteligente se define, como aquel con tecnología más moderna adaptada a las necesidades y reglamentaciones actuales, el cual trabaja con lazos de comunicación (SLC) que según la central pueden tener capacidad para 50, 99, 127 o 159 dispositivos, por ejemplo, y cada uno cuenta con una dirección única programable, que permite la identificación de cada dispositivo por separado, ante una situación de disparo, y los más completos brindan la posibilidad de recibir y ajustar parámetros específicos en cada dispositivo de manera remota. Otras funciones destacables son: la compensación de deriva (autoajuste de sensores de humo) y los diagnósticos automáticos del estado de la instalación. Dentro de esta categoría existen sistemas solo direccionables y analógicos direccionables, que son los más complejos.

Sistema convencional.

Electrónica (2019) explica que los sistemas convencionales funcionan de manera similar a un sistema de intrusión, con zonas físicas en el panel, las cuales permiten la conexión de múltiples detectores (máximo 25 por zona según normativa local), reportando los eventos por cada zona del panel).

Dispositivos que conforman el sistema de detección de incendios.

Seguidamente se describen, los diferentes dispositivos que conforman el sistema de detección de incendios, ya que existen diferentes tipos de sistemas contra incendio, en el mercado, la arquitectura básica común incluye los siguientes dispositivos:

- Panel principal de control.
- Dispositivos de detección.
- Dispositivos de anunciación.
- Módulos.
- Alimentadores.

Panel.

Según Almejo (2021), el panel es el cerebro del sistema: suministra la energía a los dispositivos y monitorea el estado de todos sus componentes, contiene circuitos lógicos para interpretar las entradas y enrutar las salidas y desempeña otro tipo de tareas más específicas. Además, los paneles pueden ser programados de dos maneras distintas:

Mediante *software*: Para poder utilizar esta herramienta de programación, es necesario entrenar al personal que se dedicará a hacer las configuraciones por el fabricante, para que conste que la configuración está siendo realizada por personal capacitado. En la actualidad, la mayoría de los paneles instalados se encuentran mal configurados.

De forma manual en el panel: Este tipo de programación se realiza mediante el teclado integrado al panel a través del menú, ingresando toda la información de manera manual, esta

es la manera antigua de realizar las configuraciones y era posible que cualquier persona pudiera realizarla, desgraciadamente, la mayoría nunca estuvo certificado de fábrica.

Actualmente, los principales distribuidores de los diversos sistemas están poniendo ciertos tipos de llaves a estos, para evitar que cualquier persona pueda programar un panel sin estar capacitado; se necesita llevar un curso impartido por el fabricante y acreditarlo para que se pueda obtener la llave mencionada y poder acceder a la programación del panel, así, de cierta manera se intenta garantizar que el cliente tendrá un servicio de calidad.

Tipos de conexión en un panel.

En esta investigación, se va a revisar el estado del cableado del sistema de detección de incendios, por lo cual es importante saber cómo y qué tipo de cableado está instalado. Según Almejo (2021), un sistema de alarma contra incendio típico, conectado a un panel de control direccionable, se puede definir de la siguiente manera:

- Dispositivos iniciadores: detectores de humo, detectores de temperatura, estaciones manuales, supervisores de válvulas, detectores de flujo, etc.
- Dispositivos de notificación: estrobos, sirenas, sirenas con estrobo, altavoces, campanas, etc.

Por otra parte, el funcionamiento de sistemas de alarmas se puede explicar de manera sencilla en dos puntos:

- En un panel direccionable los dispositivos iniciadores son conectados al SLC, cada uno con su dirección particular, el panel monitorea todos los dispositivos esperando encontrar un cambio de estado, que indique la presencia de fuego o alguna acción que amerite corrección. Si no se presenta ninguna señal de este tipo, el panel simplemente supervisa que todos los dispositivos se encuentren íntegros y funcionales.
- Cuando cualquier dispositivo registra algún cambio de estado o el lazo (SLC) presenta algún problema, el panel de control interpreta dichos cambios para poder tomar el curso de acción determinado, acorde a su configuración. Todos estos cambios son desplegados en la pantalla LCD y como consecuencia de ese cambio de

estado se activa el sistema de notificación, que indica la presencia de humo o fuego según sea el caso.



Imagen 6: Panel de detección de incendios y sus componentes

Fuente: (Valentín, 2016)

Detectores

Existen diferentes tipos de detectores; según Valentín (2016), un detector es un componente que dispone de un sensor, encargado de controlar de forma permanente, prefijada o a intervalos de tiempo, varios fenómenos físicos y/o químicos, con el objeto de detectar un incendio en la zona o sector que le ha sido asignado y envía de forma automática la correspondiente señal, a la central de señalización y control.

Los detectores se pueden clasificar de la siguiente manera, según indica Valentín (2016):

Detectores de humo.

Son detectores sensibles a las partículas derivadas de la combustión y/o pirólisis suspendidos en la atmósfera, por lo que son capaces de detectar el fuego en las etapas iniciales. Los principios de activación (o tipo de detectores de humo) son los siguientes:

Detectores iónicos.

Disponen de dos cámaras (cámara patrón y cámara de medida) ionizadas por un elemento radioactivo (americio 241). Cuando las partículas derivadas de la combustión modifican la corriente de la cámara de medida, se produce la activación del detector. Son especialmente sensibles e idóneos para la detección de humos invisibles, pero actualmente están en desuso.

Detectores ópticos.

Su funcionamiento se basa en la activación de células fotoeléctricas, y puede ser mediante la absorción de luz por los humos de la combustión en la cámara de medida (oscurecimiento) o por la difusión (reflexión) de la luz, en las partículas del humo de la combustión (efecto Tyndall). Únicamente responden a humo visible y son idóneos para zonas limpias y fuegos sin llamas. Han sustituido a los detectores iónicos.

Dentro de este tipo de detectores se encuentran incluidos los siguientes:

Detectores puntuales.

Tienen una cobertura localizada (puntual) y funcionan mediante el principio de difusión (reflexión) de luz – efecto Tyndall).



Imagen 7: Detector óptico

Fuente: (Valentín, 2016)

Detectores lineales de haz o barreras lineales.

La cobertura de este tipo de detectores es más amplia que la de los anteriores y permite su utilización a grandes alturas. Su principio de funcionamiento es por el oscurecimiento de la cámara de medida, que provoca el bloqueo parcial de la trayectoria del haz de luz entre el emisor y el receptor.



Imagen 8: Detector lineal de humo

Fuente: (Valentín, 2016)

Detectores por aspiración.

Consisten en una red de tuberías, que partiendo de la unidad de detección, se extiende por toda el área o zona por proteger. Una bomba extractora aspira una muestra de aire y la conduce a la unidad de detección, en la que se analiza si el aire contiene partículas de humo.

Son adecuados para la protección de equipos electrónicos (CPD) y ambientes con alto grado de humedad y/o frío (cámaras frigoríficas de alimentos).



Imagen 9: Detector de aspiración por láser

Fuente: (Valentín, 2016)

Detectores de calor.

Son dispositivos destinados a captar el incremento de temperatura, que se produce en el ambiente como consecuencia del calor liberado en una combustión. Existen dos tipos básicos de detectores de calor:

Detectores térmicos.

Este tipo de detectores se activa cuando la temperatura ambiente pasa de un valor prefijado. Su funcionamiento se basa en la deformación de un bimetálico por el efecto de la temperatura.



Imagen 10: Detector térmico

Fuente: (Valentín, 2016)

Detectores termovelocimétricos.

Los detectores termovelocimétricos miden la velocidad de aumento de la temperatura ambiente en la zona por vigilar.

Para su funcionamiento comparan el calentamiento de una zona sin inercia térmica con otra zona provista de una inercia térmica determinada. Habitualmente incorporan un dispositivo de detección de temperatura fija.

Detectores de llama.

Los detectores de llama son sensibles a la radiación emitida por un incendio, dentro o fuera del rango de la visión humana. Su selección se realiza en función de las características de radiación de fuego, y son infrarrojos, ultravioletas o combinados fuera del rango de visión humana.



Imagen 11: Detector de llama

Fuente: Valentín (2016)

Estación Manual

De acuerdo con Argüello (2023), algunas veces son denominadas interruptores de tiro o estacionales manuales simplemente, las estaciones manuales de alarma contra incendios, a menudo con un mango de barra en T, como se muestra a continuación. Estas activan los sistemas de alarma contra incendios. La estación manual de alarma de incendio envía una

señal al panel de control, y la alarma de incendio es supervisada. El panel de control generalmente envía un mensaje al servicio de monitoreo de una empresa, que transmite ese mensaje a los primeros en responder. En algunos casos, una señal se transmite directamente a un departamento de bomberos.



Imagen 12: Estación manual

Fuente: Argüello (2023)

Sirenas, luces estroboscópicas y parlantes

Argüello (2022) explica, que la mayoría de los contratistas instalan luces estroboscópicas para cumplir con el Código Nacional de Señalización y Alarmas contra Incendios NFPA 72, simplemente usando una combinación de dispositivos audibles y visibles, en todos los lugares donde uno u otro se muestra en los planos.

El rendimiento, la ubicación y el montaje de los dispositivos de notificación, como luces estroboscópicas utilizadas para informar, iniciar o dirigir la evacuación o reubicación de los ocupantes, se encuentran en el Capítulo 18 de NFPA 72 2019, Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización.



Imagen 13: Luz estroboscópica

Fuente: Argüello (2022)

Fuentes de poder

Según Notifier (2019), las fuentes de alimentación autónomas proporcionan, alimentación auxiliar de apoyo a sistemas de control de incendio, que no pueden alimentarse desde la fuente de alimentación principal del panel de control, por falta de capacidad o para evitar pérdidas de potencia a lo largo del cableado. En caso de producirse una pérdida temporal de la alimentación principal, se mantiene la tensión de suministro por medio de las baterías. De esta forma, se garantiza el correcto funcionamiento de los equipos que requieren alimentación de 24 Vcc en alarma, tales como equipos de aspiración, avisadores ópticos y acústicos, circuitos para disparo de extinción o dispositivos autónomos de iniciación de alarma. Las salidas independientes están protegidas por fusibles electrónicos y disponen de circuito de relé para indicación de fallos, a través de un módulo monitor.



Imagen 14: Fuente de poder 24Vcc

Fuente: (Notifier, 2019)

Módulos del sistema detección de incendios

Existen diferentes tipos de módulos que puede requerir un sistema de incendios. Martínez (2019) explica lo siguiente:

Módulo de supervisión o monitoreo.

Este módulo supervisa cualquier contacto seco, ya sea para integrar algún dispositivo convencional al sistema de alarma de incendio o para supervisar la corriente de una fuente remota.

Módulo de control.

Su función consiste en controlar los sistemas de notificación, en el sistema de alarma de incendio.

Módulo Relé.

Cuenta con un relevador interno que ayuda en funciones auxiliares con equipos ajenos al sistema de alarma de incendio (puede liberar puertas en un control de acceso, detener los elevadores en un edificio o apagar el aire acondicionado del edificio.)

Modulo aislador.

Este módulo proporciona un aislamiento en el lazo de comunicación, en caso de haber un cortocircuito.



Imagen 15: Módulo de monitoreo, relé y control

Fuente: (Martínez, 2019)

Mantenimiento

Para el buen funcionamiento y alargar la vida útil de un sistema y de los equipos que lo conforman, se debe cumplir con el mantenimiento preventivo según la frecuencia establecida. A continuación, se detallará en qué consiste el mantenimiento preventivo.

Según Jervis (2020), el mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento cuya realización se planea previamente, con el motivo de extender la vida útil de una máquina o instalación. Puede comprender tareas como la limpieza, ajuste, reemplazo o lubricación de piezas.

La idea principal del mantenimiento preventivo es efectuar reparaciones, antes de que ocurran inconvenientes o se averíe la máquina. Aunque esto supone un costo adicional, es

muy inferior al que se da cuando se avería una máquina o se interrumpe un proceso de producción.

Finalmente, para la realización de un mantenimiento preventivo es necesario contar con distintos tipos de información, que van desde datos técnicos de la maquinaria, hasta tiempos de funcionamiento, entre otros.

De esta manera, se podrá realizar la planificación de los mantenimientos antes de que ocurran inconvenientes, y optimizando el tiempo y los recursos de la empresa.

Las características principales del mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Se realiza de forma periódica y rutinaria.
- Es un tipo de mantenimiento cuyas tareas y presupuestos son planificados. Tiene un tiempo de inicio y de culminación.
- Se realiza en condiciones de control total para evitar accidentes, mientras el equipo está parado.
- Se busca anticipar las futuras fallas o daños de los equipos.
- El fabricante generalmente recomienda cuándo hacerlo, por medio de manuales técnicos.
- Las actividades que se realizan siguen un programa previamente elaborado.
- Ofrece la posibilidad de actualizar la configuración técnica de los equipos.

Objetivos del mantenimiento preventivo.

Jervis (2020) indica que los principales objetivos del mantenimiento preventivo son los de extender la vida útil de una máquina y prevenir cualquier tipo de error que pueda ocurrir. Gracias a esto, es posible garantizar, por un lado, su correcto funcionamiento, y por el otro, evitar una parada imprevista.

De esta manera, la máquina dejará de funcionar en períodos previamente estipulados, sin interferir con el proceso de producción de la empresa.

Además, previniendo los posibles errores, es posible reducir los costos de reparación, ya que la avería de una pieza puede provocar una cadena de fallos y ocasionar roturas en otras piezas o hasta una rotura total de la máquina.

Por otra parte, es un procedimiento fundamental que se lleva a cabo en maquinarias como aviones, trenes o centrales nucleares, donde un error puede llevar a consecuencias fatales.

Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

Entre las ventajas que presenta el mantenimiento preventivo se encuentran las siguientes:

- Costo reducido en relación con el mantenimiento correctivo.
- Se reducen significativamente los riesgos por fallas o fugas en los equipos.
- Prolonga la vida útil de los equipos.
- Se generan menos errores en las operaciones cotidianas.
- Mejora sustancialmente la fiabilidad de los equipos.
- Reduce el riesgo de lesiones para los operarios.

Desventajas

En realidad, el mantenimiento preventivo ofrece muy pocas desventajas. Algunas de estas son las siguientes:

- El mantenimiento de los equipos debe ser realizado por personal especializado, que generalmente está fuera de la empresa, por lo cual tiene que ser contratado.
- Dado que las labores de mantenimiento de los equipos se efectúan con cierta periodicidad, no permiten que se pueda determinar exactamente la depreciación o desgaste de las piezas de los equipos.
- La empresa debe ceñirse a las recomendaciones del fabricante, para programar las labores de mantenimiento, por ende, puede ocurrir que se deba cambiar una pieza cuando quizás puede tener una mayor vida útil.

Tipos de mantenimiento preventivo.

Existen diferentes tipos de mantenimiento preventivo, los cuales se pueden utilizar, dependiendo de las necesidades de la máquina o instalación sobre la que se realizará. Según Jervis (2020) son:

Mantenimiento predictivo.

Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo reducir la cantidad de tareas por realizar en un mantenimiento, identificando y reemplazando únicamente las piezas que se puedan dañar.

Por este motivo, se intenta determinar el tiempo de vida útil de cada pieza, programando las tareas de mantenimiento, antes de que estas puedan presentar fallos.

La determinación del tiempo de vida útil, de una pieza, se puede obtener por experiencia propia, o por los datos que brinde el fabricante de la máquina, entre otros.

Mantenimiento programado.

El mantenimiento programado es un tipo de mantenimiento que se ejecuta en fechas previamente determinadas, por ejemplo: semanal, trimestral o anualmente.

Un ejemplo de este tipo de mantenimiento es el de un horno de fusión de hierro, el cual opera durante 24 horas todos los días. Debido a esto, se programa una detención de este cada tres meses, para realizar las tareas de mantenimiento necesarias.

Mantenimiento de oportunidad.

El mantenimiento de oportunidad se realiza, generalmente, en los momentos que no se está utilizando una máquina, o también antes de que esta sea exigida con una gran carga de trabajo. Por ejemplo, en una fábrica se pueden realizar tareas de mantenimiento en el período de vacaciones del personal o en momentos que no se utilice la maquinaria.

Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo es el que se efectúa cuando una máquina o planta presenta un desperfecto o error. Esto puede llevar al mal funcionamiento de la máquina, o incluso, al daño de esta.

Básicamente se trata de la reparación del daño sufrido, dejando la máquina en estado operacional, como se encontraba antes de la falla.

Comparado con el mantenimiento preventivo, en la mayoría de los casos, el mantenimiento correctivo suele ser más costoso. Esto se da porque al dañarse una máquina se produce una parada en la producción, que no estaba contemplada, lo que genera contratiempos que generalmente cuestan dinero.

Adicionalmente, en la mayoría de los casos de avería, la cantidad de piezas que se dañan es mayor que las que se cambian en un mantenimiento preventivo.

Sin embargo, que una máquina se averíe no significa que la empresa no haga mantenimiento preventivo. La maquinaria puede presentar fallos que no fueron tomados en cuenta en la planeación del mantenimiento preventivo, o incluso presentar fallos inesperados.

Por este motivo, es casi inevitable realizar mantenimientos correctivos en las máquinas. Sin embargo, una vez reparada la máquina, resulta de utilidad investigar el motivo que causó el daño, e incluirlo en el planeamiento del mantenimiento preventivo, para que no vuelva a ocurrir.

Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)

A continuación se desglosa teóricamente el modelo AMEF, el cual va a ser uno de los pilares metodológicos de la presente investigación:

El Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) es una metodología ampliamente utilizada en diversos sectores industriales, para identificar, evaluar y mitigar los posibles modos de falla y sus efectos en productos, procesos o sistemas. A través del AMEF, se busca

anticiparse a posibles problemas y desarrollar estrategias para minimizar el impacto de las fallas, mejorar la calidad y aumentar la confiabilidad de los productos o servicios.

Una de las principales características del AMEF es su enfoque sistemático y estructurado. El proceso del AMEF generalmente se lleva a cabo en equipo, reuniendo a expertos de diferentes áreas, como diseño, producción, mantenimiento y calidad. Esta colaboración multidisciplinaria permite un análisis más completo y exhaustivo de los modos de falla potenciales y sus efectos.

El primer paso en el AMEF implica la identificación de los modos de falla posibles, es decir, las formas en que un producto o sistema puede dejar de funcionar según su diseño original. Esto se logra a través de una “revisión exhaustiva de los componentes, procesos y condiciones de operación. Cada modo de falla se documenta y se clasifica según su gravedad, probabilidad de ocurrencia y facilidad de detección”. (Stamatis, 2018)

Una vez que se han identificado los modos de falla, se procede a evaluar los efectos de cada uno de ellos. Esto implica comprender cómo afectaría la falla en términos de seguridad, calidad, desempeño, cumplimiento normativo u otros criterios específicos. La evaluación de los efectos puede basarse en datos históricos, análisis de riesgos y el conocimiento y experiencia del equipo de trabajo.

Luego de evaluar los efectos, se asigna un nivel de prioridad a cada modo de falla utilizando una escala de riesgo. Los modos de falla más críticos y con mayor potencial de impacto se consideran de alta prioridad y requieren acciones de mitigación inmediatas. Estas acciones pueden implicar cambios de diseño, mejoras en procesos, implementación de controles de calidad o cualquier otra medida preventiva o correctiva necesaria.

El AMEF no se limita solo a la etapa de diseño, sino que también se puede aplicar en diferentes etapas del ciclo de vida del producto o proceso. Por ejemplo, se puede realizar un AMEF durante la etapa de desarrollo, para identificar y abordar posibles modos de falla antes de que se conviertan en problemas reales. Además, el AMEF se puede utilizar como una herramienta continua de mejora, ya que los datos recopilados durante su aplicación pueden retroalimentar los procesos de diseño, fabricación y control de calidad.

En resumen, el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) es una metodología efectiva para identificar y abordar los modos de falla potenciales y sus efectos en productos, procesos o sistemas. Su enfoque sistemático, colaborativo y estructurado, permite una evaluación rigurosa y una toma de decisiones informada para mejorar la calidad, la confiabilidad y la seguridad. Al aplicar el AMEF de manera proactiva, las organizaciones pueden reducir riesgos, optimizar la eficiencia operativa y ofrecer productos y servicios de mayor calidad a sus clientes.

Etapas del modelo AMEF

A continuación se presentan algunas de las etapas o pasos por seguir, para implementar el modelo AMEF; sin embargo, cabe resaltar que dichos pasos son los básicos que menciona Stamatis (2018), lo cual no quiere decir que el presente proyecto aplique los mismos pasos, estos se adaptarán a los alcances de la investigación y a los objetivos propuestos.

Planificación y preparación:

En esta etapa inicial, se establece el alcance y los objetivos del AMEF. Se identifica el equipo de trabajo multidisciplinario que participará en el análisis. Además, se define el producto, proceso o sistema que se va a analizar y se recopila la información relevante, como especificaciones, diagramas, planos, manuales, historiales de fallas, entre otros.

Identificación de modos de falla:

En esta etapa, el equipo de trabajo identifica y lista todos los posibles modos de falla que podrían ocurrir en el producto, proceso o sistema. Se analizan todos los componentes, subsistemas, interacciones y condiciones de operación para determinar cómo pueden fallar. Cada modo de falla se describe de manera clara y se documenta para su posterior análisis.

Evaluación de efectos de falla:

Una vez identificados los modos de falla, se procede a evaluar los efectos que cada uno de ellos podría producir. Esto implica comprender cómo afectaría la falla, aspectos como

la seguridad, calidad, rendimiento, confiabilidad y cumplimiento normativo. La evaluación se realiza en función del conocimiento y experiencia del equipo, así como de la información y datos disponibles.

Asignación de grados de severidad, ocurrencia y detección:

En esta etapa, se asignan grados o valores numéricos a tres aspectos clave: severidad, ocurrencia y detección. La severidad se refiere al impacto o consecuencias de la falla, la ocurrencia se refiere a la probabilidad de que ocurra la falla y la detección a la capacidad de detectar la falla antes de que produzca un efecto negativo. Se utilizan escalas de evaluación para asignar estos grados, que pueden variar según las normas o prácticas de la organización.

Cálculo del número de riesgo (NR):

El número de riesgo es un valor calculado multiplicando los grados de severidad, ocurrencia y detección. El propósito de este cálculo es priorizar los modos de falla, en función de su nivel de riesgo. Los modos de falla con números de riesgo más altos se consideran más críticos y requieren una mayor atención y acciones de mitigación.

Acciones de mitigación:

En esta etapa, se desarrollan y se implementan acciones para mitigar o eliminar los modos de falla críticos o con alto riesgo. Esto puede implicar cambios de diseño, mejoras en los procesos, adición de controles o dispositivos de seguridad, capacitación del personal, entre otras medidas. Las acciones de mitigación se enfocan en reducir la severidad, disminuir la ocurrencia o mejorar la detección de los modos de falla.

Seguimiento y revisión:

Una vez que se implementan las acciones de mitigación, es importante dar seguimiento y monitorear la efectividad de las medidas adoptadas. Además, el AMEF debe ser revisado y actualizado periódicamente para incorporar nuevos conocimientos, cambios en el diseño, actualizaciones normativas o cualquier otra información relevante que pueda surgir.

Marco normativo

Los marcos normativos permiten generar una estructura reglamentaria por seguir, son los requerimientos que delimitan los deberes que se deben acatar, dependiendo del área de la que se esté tratando.

Para efectos de la presente investigación, se tomarán como marco normativo pertinente las normas y requisitos de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, en inglés, National Fire Protection Association (NFPA), las cuales son un referente internacional, en cuanto a la difusión de conocimiento sobre la seguridad contra los incendios. Además, en el ámbito nacional se tomarán en cuenta las normativas emitidas por el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

NFPA 72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización.

Una normativa tiene su origen en una necesidad, causa o problema, por esta razón se crea la normativa NFPA 72, que trata de las normas por seguir para una adecuada y segura instalación de los sistemas de detección de incendios y sus dispositivos que lo integran.

Nicholson (2008) indica que la edición 1993 del código NFPA 72 fue una consolidación de la edición 1989 de la norma NFPA 71: instalación, mantenimiento y uso de los sistemas de señalización, para el servicio de la estación central; la edición 1990 del NFPA 72, Instalación, Mantenimiento y Uso de los Sistemas de Señalización para Protección; la edición 1990 del NFPA 72E, Detectores de Incendio Automáticos; la edición 1989 de la NFPA 72G, Guía para la instalación, mantenimiento y uso de los aparatos de notificación para los sistemas de señalización para protección; la edición 1988 de NFPA 72H, Guía para los procedimientos de prueba para la estación local, auxiliar, remota y los sistemas de señalización para la protección propietaria; y la edición 1989 de NFPA 74, instalación, mantenimiento y uso de los equipos de advertencia de incendios para viviendas. Muchos de los requerimientos de estas normas fueron idénticos o muy similares. Las recomendaciones extraídas de las guías NFPA 72G y NFPA 72H, se convirtieron en requisitos obligatorios.

Cambios registrados

La edición 1996 del código NFPA 72 incorporó varios cambios de naturaleza técnica. Estos cambios se relacionaron con temas, tales como la ley “Americans with Disabilities Act” (Ley de Estadounidenses con Discapacidades), pruebas de *software*, modelos de incendio y comunicaciones. La edición 1999 representó un cambio importante en el contenido del Código y su organización. Se reorganizaron los capítulos para facilitar su uso por parte de los usuarios y brindar una estructura lógica. Se agregó un nuevo capítulo sobre reporte público de incendios y se realizaron muchas revisiones técnicas.

Nicholson (2008) asegura que también se actualizó el Anexo B (anteriormente Apéndice B) para facilitar su uso, se eliminaron varios términos inaplicables y se reorganizó el Capítulo 3 para facilitar un enfoque más lógico. La edición 2002 reflejó una amplia revisión editorial del 60.

Código para cumplir con la edición más reciente del Manual de Estilo para los Documentos del Comité Técnico de la NFPA. Estas revisiones incluyeron el agregado de tres capítulos administrativos al comienzo del código: “Administración”, “Publicaciones de referencia”, y “Definiciones”. Los capítulos administrativos anteceden ocho capítulos técnicos, en la misma secuencia que en la edición 1999. Otras revisiones editoriales incluyeron una división de párrafos, con requisitos múltiples en párrafos individuales numerados para cada requisito, una reducción del uso de excepciones, el uso de encabezados apropiados para las secciones y subdivisiones de estas, además de una reorganización para limitar la numeración de los párrafos a seis dígitos.

Igualmente, Nicholson (2008) indica que la edición 2002 también contó con una serie de revisiones técnicas a lo largo del Código. Estas incluyeron una revisión importante de los requisitos de los suministros de energía; nuevos requisitos para los daños de los sistemas de alarma de incendios; requisitos adicionales sobre la revisión y aprobación de los diseños de los sistemas de detección basados en el desempeño; la revisión de las reglamentaciones para la supervivencia de los sistemas a los ataques de incendios; la implementación de normas para un enfoque alternativo de señalización audible; el agregado de requisitos en relación con

los diseños basados en el desempeño, para la señalización visible; la reubicación de los requisitos de mantenimiento y prueba para los sistemas de alarma de incendios en las viviendas, así como para los sistemas de alarma de estación múltiple y estación única en el capítulo de mantenimiento y prueba; así como revisiones para reestablecer las reglamentaciones ya estipuladas para los equipos de advertencia de incendios para viviendas, de la edición 1996 del código. Se han traducido las ediciones anteriores de este documento a otros idiomas además del inglés, incluyendo el español.

De acuerdo con lo analizado anteriormente, es importante mencionar que la NFPA 72 fue adoptada por Bomberos de Costa Rica en el año 2005; se procede a la citación de varias normas por tomar en cuenta, las cuales serán de utilidad para el diseño del sistema de detección de incendios de la institución.

Alcance.

NFPA 72 abarca la aplicación, instalación, ubicación, desempeño, inspección, prueba y mantenimiento de los sistemas de alarmas de incendio, sistemas de alarma de estación de supervisión, sistemas públicos de notificación de alarmas de emergencia, equipos de advertencia de incendio, además de sistemas de comunicaciones de emergencia (ECS) y sus componentes.

Propósito.

El propósito de este código es definir los medios para activar señales, transmitir las, notificarlas y anunciarlas; los niveles de desempeño y la confiabilidad de los diversos tipos de sistemas de alarmas de incendio, sistemas de alarma de estaciones de supervisión, sistemas públicos de notificación de alarmas de emergencia, equipos de advertencia de incendio, sistemas de comunicaciones de emergencia y sus componentes.

Este código define las características asociadas a dichos sistemas y también provee la información necesaria para modificar o modernizar un sistema existente, con el fin de cumplir con los requerimientos de una clasificación de un sistema específico.

Asimismo, establece niveles mínimos requeridos de desempeño, grado de redundancia, y calidad de la instalación. Sin embargo, no establece los métodos únicos, mediante los cuales se deben alcanzar los requerimientos anteriormente mencionados. (National Fire Protection Association, 2013, p. 16)

NFPA 101: Código de seguridad humana.

Propósito.

Proporcionar los requisitos mínimos, con la debida consideración hacia la función, para el diseño, la operación, y el mantenimiento de edificios y estructuras para la seguridad de la vida humana contra los incendios. Sus cláusulas son también aplicables a la seguridad de la vida humana en emergencias similares.

Requisitos fundamentales.

Entre los requisitos necesarios para que se cumpla este código se incluye: que la edificación cuente con protecciones múltiples, que los medios de protección seleccionados sean idóneos para el uso y respondan a las características del uso del uso de la estructura, es decir, tipo de población, tipo de actividad, entre otros. Otro requisito son los medios de egreso y la cantidad que egresos que deben tener; como mínimo serán dos y responderán a la cantidad de la ocupación y las dimensiones de la estructura, estos egresos deben mantenerse libres y sin obstrucciones, debidamente señalizados. Además, debe contar con iluminación, sistema de notificación a los ocupantes, aberturas verticales, sistema o un diseño de seguridad y mantenimiento.

Como se puede observar, este código contiene todos los tecnicismos arquitectónicos de diseño necesarios para la construcción o modificación de una edificación, con el fin de mantener las medidas de seguridad que resguardan a las personas que la ocupan, específicamente en los egresos.

Entre los componentes de los medios de egresos que establece este código están:

- Los tipos de acceso a las salidas.

- Morfología y ubicación de los pasillos hacia las salidas.
- Medidas de las salidas y características de las puertas (anchura, altura).
- Corredores y rampas (dimensiones, anchura, pendiente).
- Escaleras (medidas, capacidad y límite de descarga).

NFPA 170: Norma para símbolos de seguridad contra incendios y de emergencias.

Esta norma establece una serie de símbolos de seguridad contra incendios y emergencias, el propósito es que estos símbolos sean estandarizados, para que su identificación y significado sean universales para la identificación de incendios, emergencias y riesgos asociados.

En el tercer capítulo de esta norma se establecen los lineamientos de los símbolos de uso general, los cuales abarcan la localización de salidas, alerta sobre seguridad contra el fuego y sobre áreas seguras.

Esta guía tiene como fin, proporcionar símbolos de seguridad contra el fuego uniformes, para mejorar la comunicación, dondequiera que esos símbolos sean usados y dar información sobre seguridad contra el fuego. (NFPA, 1998)

En este capítulo se establece la orientación de las imágenes, la forma del símbolo y los colores que deben llevar según la ANSI Z535-1 Safety Color Code.

En su capítulo cuarto indica los símbolos para el uso del cuerpo de bomberos; se enfoca en los símbolos que los bomberos, o bien cualquier personal de respuesta, deben identificar. Los símbolos en este apartado tienen como finalidad, que los bomberos o personal de respuesta puedan identificar dónde se encuentran los equipos y elementos de extinción de incendios.

En el quinto capítulo, la norma expone los símbolos para uso en planos de arquitectura e ingeniería y en diagramas de seguridad. El propósito de ese capítulo es, establecer

uniformidad en el uso de símbolos de seguridad contra el fuego y temas relacionados con la preparación de planos y dibujos. (p 11)

A continuación, se presentan algunos de los símbolos utilizados en este capítulo y que responden a la temática de la investigación, los cuales se encuentran en la sección 5.7 Símbolos para alarmas de incendios, y detección y equipos relacionados:

LEYENDA DETECCIÓN CONTRA INCENDIOS			
	CENTRAL DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS ANALÓGICA		ELECTROIMÁN
	PANEL REPETIDOR DE FUNCIONES CENTRAL ANALÓGICA		PULSADOR MANUAL DE ALARMA DIRECCIONABLE ALIMENTADO DE LAZO
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR SUPERVISADA		SIRENA ALIMENTADA DE LAZO DIRECCIONABLE
	DETECTOR DE LLAMA TRIPLE INFRARROJO		SIRENA EXTERIOR
	ELECTROIMÁN PUERTAS Y ESTACIÓN DE CONTROL		MÓDULO MONITOR DIRECCIONABLE
	SENSOR ÓPTICO ANALÓGICO		MÓDULO DE CONTROL DIRECCIONABLE
	SENSOR COMBINADO IR, CO, ÓPTICO Y TÉRMICO ANALÓGICO		

Imagen 16: Símbolos de sistemas, alarmas y dispositivos contra incendios

Fuente: Elaboración propia AutoCAD

Por último, en el capítulo seis, la norma establece los símbolos que deben ser usados en diagramas de planeación de pre-incidentes, el cual tiene como fin facilitar la planeación de bosquejos para la elaboración de planes pre-incidentes.

Estos símbolos sirven como herramienta para el cuerpo de bomberos y el personal de respuesta, los cuales son responsables de preparar, usar e interpretar dichos planes. La idea de la creación de estos símbolos es que sean de fácil trazo para que se puedan realizar a mano alzada en un bosquejo o en uso de plantillas, se distinguen por ser formas geométricas como círculos, triángulos y rombos con siglas en su interior.

Reglamento nacional del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica

El reglamento del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica es el referente normativo nacional, que provee de insumos relacionados con la seguridad de los ciudadanos, en el caso específico de incendios. En él se presenta la reglamentación técnica, basada en las NFPA como marco referencial normativo.

Metas y objetivos.

- Protección a los ocupantes. Una estructura debe ser diseñada, construida y mantenida para proteger a los ocupantes que no están relacionados con los sitios de desarrollo inicial del fuego, durante el tiempo necesario para ser movilizados o evacuados a un lugar seguro.
- Integridad estructural. Debe mantenerse la integridad estructural durante el tiempo necesario, para movilizar o evacuar y proteger en un lugar seguro, a los ocupantes que no están íntimamente relacionados con el desarrollo inicial del incendio.
- Efectividad de los sistemas. Los sistemas utilizados deben ser efectivos para mitigar el riesgo, deben ser confiables, mantenerse en el nivel óptimo de diseño para la operación y permanecer en funcionamiento durante la afectación por un incendio u otra situación de emergencia.
- Proteger a los bomberos y a otros cuerpos de emergencia. Debe mantenerse un ambiente, condiciones y recursos adecuados, para los bomberos que atienden la emergencia.
- Protección a la propiedad. La implementación de los sistemas debe reducir los daños a un edificio que sufra un incendio o a las propiedades adyacentes.
- Bienestar público. Se debe mantener la continuidad de los servicios públicos en las comunidades o centros de trabajo que sean víctimas de incendio. (Bomberos de Costa Rica , 2020, p. 15).

NFPA70B Norma para la seguridad Eléctrica en lugares de trabajo.

Esta NFPA es la que se debe consultar para el mantenimiento correcto de las instalaciones eléctricas, si bien en este proyecto se realiza análisis de la NFPA 72 capítulo 14 donde se detalla las pruebas y mantenimiento del sistema de detección de incendios, el cual requiere de alimentación para su funcionamiento es por eso la importancia de consultar la NFPA 70B.

Según (NFPA70, 2021) El mantenimiento de los sistemas eléctricos le ayuda a proteger a los trabajadores, evitar tiempos de inactividad de los equipos y reducir el costo de las reparaciones. En realidad, el apropiado mantenimiento es absolutamente esencial para la seguridad de sus instalaciones y de sus empleados. Consulte los lineamientos en los que puede confiar de NFPA 70B, Práctica Recomendada para el Mantenimiento de Equipos Eléctricos. Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, NFPA 70B contribuye con los gerentes de instalaciones en el desarrollo e implementación de un programa de Mantenimiento Eléctrico Preventivo (MEP) eficaz para todos los tipos de equipos y montajes. Los contratistas consultan NFPA 70B para obtener información sobre el apropiado mantenimiento y reparación de equipos, y los diseñadores dependen de este documento para elaborar especificaciones para la instalación que tengan en cuenta el mantenimiento.

En los capítulos de NFPA 70B se abordan todos los aspectos relacionados con el mantenimiento de equipos:

- Planificación y desarrollo de un programa de Mantenimiento Eléctrico Preventivo.
- Seguridad del personal
- Fundamentos del mantenimiento de los equipos eléctricos
- Estudios de los sistemas
- Calidad de la energía eléctrica
- Pruebas y métodos de prueba
- Mantenimiento de equipos eléctricos sujetos a largos intervalos entre interrupciones del servicio eléctrico.

- Protección contra fallas a tierra
- Puesta a tierra

Además, capítulos detallados sobre diferentes tipos de conjuntos de montaje, equipos, cables y dispositivos.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se desglosarán todos los insumos necesarios para la aplicación metodológica de la investigación, por lo tanto, se realiza una delimitación de la configuración de la investigación, es decir, el enfoque, el diseño, las variables y demás factores necesarios, para describir la intencionalidad metodológica del estudio. Además, se exponen elementos como los instrumentos investigativos que se utilizarán para recolectar la información, así como la muestra y el tratamiento que se les dará a los datos recolectados.

Enfoque

Para este estudio se eligió el enfoque mixto, que implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema. (Hernández, 2014)

Este proyecto se desarrollará bajo un enfoque mixto, ya que se revisará el estado del diseño actual del sistema de detección de incendios, se analizará y estudiará el código con los requerimientos necesarios para la ejecución de los mantenimientos. También se realizará el presupuesto del servicio de los mantenimientos, de esta manera se obtendrá un costo aproximado para la ejecución, que será brindado a la empresa, e incluirá tanto materiales como repuestos y mano de obra. Para ello se necesitarán elementos de la investigación cuantitativa, pero también de las características de la investigación cualitativa, por lo que el enfoque mixto es el más adecuado en este caso.

Alcance

El alcance de la presente investigación se orienta a aplicar el código NFPA 72. Esta normativa tiene como fin, realizar una adecuada y segura instalación de los sistemas de detección de incendios y sus dispositivos que lo integran en un edificio o instalaciones, en este caso, el edificio de la empresa ubicado en Zona Franca Metropolitana.

Aunado a esto, otro alcance es la triangulación del código NFPA 72, con el código 101, el cual se centra en la seguridad humana, por lo que de forma integral, se pretende realizar un estudio técnico sobre las instalaciones, la seguridad humana y la instalación de sistemas preventivos de detección de incendios.

Diseño

Para el presente estudio se seleccionó el diseño trasformativo secuencial, el cual como menciona Creswell citado por Hernández, Fernández & Baptista (2014), se basa en un marco referencial teórico o metodológico que guía la investigación, “debido a que determina la dirección en la cual debe enfocarse el investigador al explorar el problema de interés [...] Tal teoría o marco se introduce desde el mismo planteamiento inicial. El tipo de mezcla de métodos mixtos es de conexión”. (p. 557)

El marco referencial de esta investigación responde a la aplicación de la NFPA 72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, por lo tanto, el acopio de datos y la aplicación de instrumentos van a estar orientados con base en esta normativa; por ende, como mencionan los autores, guía transversalmente toda la investigación.

Muestra

La muestra se realizará por criterios atributivos, ya que se trata de la aplicación de una normativa en un establecimiento determinado, por lo que el criterio de selección de la muestra se limita a personas que forman parte de la organización y están relacionadas o desempeñan funciones vinculantes a la gestión de riesgos en la empresa, por lo que la población es de tipo finita.

La fórmula para el cálculo de la muestra está dada por

$$n = \frac{[N \times Z^2 \times p \times (1 - p)]}{[(N - 1) \times e^2 + Z^2 \times (1 - p)]}$$

Donde

N: Tamaño de la población.

Z: Nivel de confianza

p: Proporción estimada de la característica de interés en la población.

e: Margen de error máximo permitido, expresado como una proporción.

Para el cálculo de la muestra implica el nivel de confianza que se establece en el 95%, esto significa que si se repite un experimento o una encuesta una y otra vez, el 95 por ciento de las veces sus resultados coincidirán.

El margen de error es un indicador de la fiabilidad y la exactitud del estudio. Se expresa como un porcentaje que indica que los resultados obtenidos están dentro de más o menos este porcentaje de los valores presentados, si el índice de confianza es de 95% lo ideal es que el margen de error sea del 5%, para cubrir ambas colas de la gráfica (+5%, -5%)

Es importante destacar, que la proporción estimada (p) y el margen de error (e) deben expresarse como proporciones (números entre 0 y 1)

La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra con población finita es ampliamente utilizada y aceptada en la estadística. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas consideraciones al usar esta fórmula, para garantizar su confiabilidad:

Representatividad de la muestra: La confiabilidad de cualquier fórmula de cálculo de muestra, depende de que la muestra seleccionada sea representativa de la población objetivo. Es esencial que el método de selección de la muestra sea aleatorio y que todos los elementos de la población tengan una probabilidad conocida y no nula de ser seleccionados.

Supuestos de la fórmula: La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra con población finita se basa en ciertos supuestos, como la distribución normal o la utilización de una proporción estimada (p). Estos supuestos pueden no ser válidos en todos los casos, por lo que es necesario considerar la adecuación de los supuestos, en relación con los datos y el contexto específico.

Estimación de la proporción (p): La fórmula requiere una estimación de la proporción (p) de la característica de interés en la población. Si esta estimación no es precisa, puede afectar la confiabilidad de la fórmula. Es recomendable utilizar estimaciones conservadoras o basadas en información previa si no se dispone de datos previos.

Margen de error (e): El margen de error especificado en la fórmula es una medida de la precisión deseada en la estimación. Es importante elegir un margen de error adecuado que sea relevante para los objetivos del estudio. Un margen de error demasiado pequeño puede requerir un tamaño de muestra más grande y aumentar los costos asociados.

Variables

A continuación se presentan en las tablas 1 y 2, las matrices conceptuales para la delimitación, sistematización y operacionalización de las variables

Tabla 1: Matriz de conceptualización

Matriz de conceptualización					
Objetivo	Variable	Indicador	Conceptual	Operacional	Instrumental
Generar un protocolo de las rutinas de mantenimiento preventivo para el sistema de detección de incendios del edificio nuevo de la empresa ubicada en la Zona Franca Metropolitana, basado en la NFPA 72 con el fin de cumplir con los propósitos de salvaguardar vidas, bienes y la continuidad del negocio.	Una empresa en la Zona Franca Metropolitana.	Estado del sistema actual del edificio nuevo.	El edificio está ubicado en Heredia, ya cuenta con un sistema de detección de incendios.	La evaluación de las condiciones y las posibles mejoras.	Se realizarán vistas al sitio y se aplicarán rutinas de mantenimiento o según el código NFPA 72 en específico el cap. 14.
Realizar el levantamiento del sistema actual de detección de incendios de un centro de	Sistema actualmente instalado.	Estado (puede haber daños o deterioro.)	Sistema de detección de incendios se encuentre funcionando.	Análisis de las condiciones y el diseño.	Se realizarán visitas al sitio para inspeccionar y

manufactura de equipo
médico de
aproximadamente 500 m²

se revisarán
los planos.

Realizar un análisis económico del costo estimado por el servicio de mantenimiento preventivo propuesto.	Presupuesto del costo por visita, repuestos y materiales.	Materiales y vistas que se necesiten.	Se realiza un presupuesto que incluya los costos totales de las variables para una estimación en su ejecución.	Presupuesto que incluya una solución económica para el mantenimiento completo del sistema de detección de incendios	Investigación técnica y comparación de costos de los materiales y repuestos, además de una herramienta en Excel para el cálculo.
--	---	---------------------------------------	--	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 2: Matriz de codificación

Matriz de codificación				
Objetivo	Categoría	Subcategoría	Definición Conceptual	Instrumento
Identificar la normativa vigente de la NFPA 72 y del Benemérito Cuerpo de Bomberos en Costa Rica para rutinas para mantenimiento preventivo en un centro de manufactura de equipo médico.	Código NFPA 72.	Rutinas de mantenimiento.	Aplicación de los requerimientos para las rutinas de mantenimientos necesarias del sistema detección de incendios.	Lectura y análisis del código NFPA 72.
Establecer un listado de emergencias o posibles fallas, mediante la herramienta Análisis de (AMEF).	Mantenimientos.	Tipos de mantenimiento.	Diferenciar los tipos de mantenimiento y sus características.	Lectura del código NFPA 72, libros, artículos de mantenimiento. Metodología AMEF (Modo y Efecto de Fallas) en los equipos presentes.
Crear una boleta de control de una rutina preventiva para aplicar en	Boleta de control.	Rutinas mantenimiento.	Realizar una guía para las rutinas de mantenimiento.	Lectura y análisis del código NFPA 72 y fichas técnicas de los equipos.

los mantenimientos
preventivos.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Instrumentos

Como se mostró en las tablas 1 y 2, primeramente, se tomará como marco referencial metodológico y teórico el Código NPFA 72, para la comparación del estado actual y la aplicación de su normativa, según sean identificadas las oportunidades de mejora. Aunado a esto y con el fin de que el estudio se aborde de una forma integral, se tomará en cuenta la NFPA 101, y el Reglamento nacional de protección contra incendios del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

A continuación, en la tabla 3 se especifican los capítulos que se utilizarán de manera metodológica en la investigación

Tabla 3: Operacionalización del marco normativo

Norma	Capítulo
NFPA 72	Cap. 14: Inspección, prueba y mantenimiento.
NFPA 101	Cap. 6: Clasificación de las ocupaciones y riesgo de los contenidos. Cap. 42: Ocupaciones para almacenamiento.
Reglamento nacional de protección contra incendios del Benemérito Cuerpo de Bomberos.	Todo lo referente a mantenimiento, inspección, seguridad en las instalaciones y seguridad humana.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Debe recalarse, que si bien la NFPA 72 consta de 29 capítulos y la NFPA 101 de 42 capítulos, solo los indicados en la tabla 3 serán los que se aplicarán ya que son los que responden al objeto de estudio de la presente investigación.

Otra herramienta por utilizar será la observación directa, mediante visitas de campo a las instalaciones del edificio ubicado en Zona Franca Metropolitana. Para ello se aplicará una guía de observación, con la cual se pretende darle organización y rigor científico al hecho de observar.

A continuación, en la tabla 4 se presenta la guía de observación para el registro de hallazgos, durante las vistas de campo:

Tabla 4: Guía de observación

Guía de observación N.º 1			
Lugar: Zona Franca metropolitana	Fecha: 07-02-2023		
Observador/a: Julissa González Zapata	Hora de inicio 9:00 am	Hora de Finalización: 11:30am	
Participantes: Ingeniero Eléctrico (la empresa en estudio designó un profesional para el acompañamiento) Julissa González.			
Objetivo de la visita: Realizar un levantamiento del equipo instalado y observar sus condiciones			
Hallazgos: Sistema de detección de incendios en buen estado, aún el sitio se encuentra en construcción.			
Observaciones: Esta especificado en una sola marca, ya que esta nuevo no se le ha brindado el mantenimiento.			

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cabe destacar que el papel de la observadora será de participación completa, donde como menciona Hernández, Fernández & Baptista (2014) “Se mezcla totalmente, el observador es un participante más”, ya que la intencionalidad es comprender el proceso aplicado para el mantenimiento de sistemas de prevención de incendios, la revisión de planos, la observación del sistema y la estructura del edificio entre otros, por lo que la interacción con los personeros de la empresa será directa.

Otra herramienta es la elaboración y aplicación de una boleta de control de rutina preventiva, la cual se utilizará después de la implementación del AMEF, esta tiene como propósito garantizar que se realicen acciones de mantenimiento documentadas, que se cumplan los lineamientos de la NFPA 72, y la identificación oportuna de posibles fallas o problemas en los sistemas.

Por último se hará uso del programa computacional Excel, para el análisis de costos del mantenimiento de los sistemas preventivos de incendios en la empresa.

Recolección de datos

Los datos serán recolectados por medio de fuentes primarias y secundarias de información:

Fuentes primarias:

- Entrevistas.
- Documentación de la empresa.
- Guías de observación.

Fuentes secundarias:

- NFPA 72
- NFPA 101
- Reglamento nacional de protección contra incendios del Benemérito Cuerpo de Bomberos.

Método de análisis

El análisis de datos se realizará mediante la triangulación de la información de la NFPA 72 y NFPA 101, así como el reglamento de Bomberos de Costa Rica, en relación con los hallazgos obtenidos, gracias a las entrevistas y las visitas de campo, con el fin de identificar las deficiencias u oportunidades de mejora, a la luz del marco normativo.

El AMEF como herramienta de análisis complementaria para la NFPA 72

A continuación, se describe cómo se puede utilizar el modelo AMEF en el contexto de la NFPA 72:

- Planificación y preparación:

En esta etapa, se recopila toda la información pertinente, relacionada con el sistema de alarmas de incendio, incluyendo planos, especificaciones técnicas y manuales de equipo.

- Identificación de modos de falla:

Se identifican los posibles modos de falla que podrían ocurrir en el sistema de alarmas de incendio. Esto podría incluir fallas en los componentes del sistema, como detectores de humo, alarmas audibles o visuales, paneles de control, sistemas de comunicación, entre otros. Se documentan todos los modos de falla identificados.

- Evaluación de efectos de falla:

Una vez identificados los modos de falla, se evalúan los efectos que cada uno de ellos podría causar en el sistema de alarmas de incendio y en la seguridad de las personas y propiedades. Esto implica comprender cómo afectaría cada modo de falla, la capacidad del sistema para detectar incendios, alertar adecuadamente y coordinar acciones de respuesta. Se evalúa la gravedad de cada efecto de falla.

- Asignación de grados de severidad, ocurrencia y detección:

Siguiendo el enfoque del modelo AMEF, se asignan grados de severidad, ocurrencia y detección a cada modo de falla identificado en el sistema de alarmas de incendio. Estos grados se utilizan para evaluar el nivel de riesgo asociado con cada modo de falla y priorizar las acciones de mitigación necesarias.

- Seguimiento y revisión:

Es importante realizar un seguimiento continuo del sistema de alarmas de incendio, monitorear la efectividad de las acciones de mitigación implementadas y revisar periódicamente el AMEF. El cual se realizará mediante la boleta de control, de rutina preventiva, para asegurar el mantenimiento preventivo de los sistemas.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

A continuación, se presentan los datos recolectados de la aplicación de la metodología, con el fin de alcanzar los objetivos de la investigación

Descripción del problema

En el presente apartado, se recabó informes técnicos de mantenimiento de la empresa sujeta a investigación, de la cual se tomaron los datos para realizar el cálculo de muestreo.

En la Ilustración 17 se presenta un ejemplo de la portada de los informes técnicos de mantenimiento y en la Ilustración 18, la estructura que contiene dichos informes, de la cual se obtuvieron datos para la realización del análisis.

Imagen 17: Portada

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

**Informe Técnico de Mantenimiento
Sistema de Detección de Incendio,**

Cliente

Técnicos a cargo de la visita
XXXX XXXX XXXX

Fecha de realización del mantenimiento
XX DE XXXX DEL XXXX

Imagen 18: Estructura

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio

Logo

A. Inicio de mantenimiento.
Confirmación de labores previas

B. Sistema por someter a mantenimiento
Breve descripción del sistema, nombre del sistema

C. Trabajos por realizar

ACTIVIDAD	TAREAS POR EJECUTAR

D. Trabajos realizados
Evidencia fotográfica y documental de los trabajos realizado

E. Estado final del mantenimiento
Observaciones al respecto

F. Recomendaciones
Recomendaciones al respecto

G. Anexos
Lista de equipos

SERIE	DESCRIPCIÓN	VISUAL	LIMPIEZA

Fin del documento

Debe destacarse que los informes contienen datos discretos, en otras palabras, datos que no provienen de una medición, sino más bien de un recuento, por lo cual, lo que se evalúa es una característica deseada. Esta característica por evaluar se encuentra en las recomendaciones, donde se detecta alguna causa documentada que podría derivar en una falla. Estas causas también pueden ser documentadas en las boletas de rutina de mantenimiento.

La boletas de rutina de mantenimiento del sistema de detección de incendios incluye información como el detalle de los equipos por revisar, el objetivo de la rutina, así como su tipo y frecuencia. Agrega espacio de observaciones, fecha y firma.

En la boleta actual no se logra discernir entre información del sistema en general o información de los equipos en forma individual y además, la información sobre las posibles causas debe leerse entre líneas y a través del análisis.

A continuación el ejemplo de la boleta actual

Imagen 19. Boleta actual

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

BOLETA DE CONTROL ROUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS					
Equipo	Objetivo	Tipo de rutina	Frecuencia	Estado	Referencia NFPA 72
Observaciones:					
Referidos/Notificaciones:			Fecha de aplicación:		
			Firma encargado:		

<p>Descripción:</p> <p>Equipo: Componentes del sistema de detección de incendios que se va a revisar o intervenir</p> <p>Objetivo: Razón de la aplicación de la boleta de control (responde al porqué y para qué)</p> <p>Tipo de rutina: Inspección, Mantenimiento o realización de pruebas</p> <p>Frecuencia: Acatando la NFPA 72 y las recomendaciones del fabricante</p> <p>Estado: condiciones en las que se encuentra el equipo al realizar el chequeo</p> <p>Referencias: Marco referencial metodológico que sustenta las acciones desempeñadas</p> <p>Observaciones: Cualquier dato que sea necesario destacar para el seguimiento del control</p> <p>Referidos/Notificados: Referencias a otras instancias del estado del sistema si así lo amerita (garantía de fabricante, jefaturas, bomberos, entre otros)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tipología</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de rutina</td> <td>In= Inspección Pr: Prueba Mto: Mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td>A: Anual St: Semestral Tr: Trimestral M: Mensual Sem: Semanal D: Diario</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Ok: Óptimo Rev: Revisión necesaria</td> </tr> </tbody> </table>	Tipología		Tipo de rutina	In= Inspección Pr: Prueba Mto: Mantenimiento	Frecuencia	A: Anual St: Semestral Tr: Trimestral M: Mensual Sem: Semanal D: Diario	Estado	Ok: Óptimo Rev: Revisión necesaria
Tipología									
Tipo de rutina	In= Inspección Pr: Prueba Mto: Mantenimiento								
Frecuencia	A: Anual St: Semestral Tr: Trimestral M: Mensual Sem: Semanal D: Diario								
Estado	Ok: Óptimo Rev: Revisión necesaria								

Cálculo del muestreo

Se generan dos informes semanales, por lo que anualmente se cuenta con la siguiente cantidad de informes:

2 semanales

$$2 \times 4.5 \text{ semanas} = 9 \text{ mensuales}$$

$$9 \times 12 \text{ meses} = 108 \text{ anuales}$$

Se encontró que la proporción de informes mencionado en las recomendaciones, alguna causa que puede derivar en fallas es de 10 informes de los 108.

Por lo que la proporción se calcula

$$\frac{100 \times 15}{108} = 9,25\%$$

$$9,25\% \approx 0,0925 = p$$

Encontrada la proporción, el tamaño de muestra se calcula en

$$n = \frac{[N \times Z^2 \times p \times (1 - p)]}{[(N - 1) \times e^2 + Z^2 \times (1 - p)]}$$

$$n = \frac{[108 \times 1,96^2 \times 0,09 \times (1 - 0,09)]}{[(108 - 1) \times 0,05^2 + 1,96^2 \times (1 - 0,09)]} = 9,03 \approx 9$$

Debido a que se determinó que en la sección de recomendaciones de los informes, 10 de los 108 informes revisados presentan características que pueden derivar en una falla, se procede a aplicar el modelo de Análisis de modo y efecto (AMEF).

Con base en la aplicación del AMEF, es posible analizar cada componente y subsistema de un sistema de detección de incendios en detalle, identificando los posibles modos de falla, evaluando sus efectos y priorizando las acciones de mitigación necesarias.

Aplicación del modelo “Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)”

Seguidamente se exponen los pasos realizados durante la aplicación del modelo AMEF.

Paso 1. Creación de la documentación y levantamiento de existencias

En este paso, mediante la observación participante, la entrevista y la revisión documental en la empresa sujeta a investigación, se recopiló la información expuesta en la tabla 5 donde se realizó con los datos obtenidos, el levantamiento del estado actual de los sistemas de detección de incendios que posee la empresa y de esta manera dar respuesta al primer objetivo específico de la presente investigación, de realizar el levantamiento del sistema actual de detección de incendios, del centro de manufactura de equipo médico, que posee un edificio de aproximadamente 500 m².

La propuesta se da en dos partes: primero se recopila la información de los equipos, donde se incluye a qué proceso pertenece y en qué área se encuentra. El proceso en estudio es “Sistema de detección de incendio” por lo que todos los equipos en cuestión pertenecen a este proceso y en caso de las áreas, por razones de seguridad no pueden ser expuestas; sin embargo, presenta una simbología de ejemplo.

Para este proyecto se utilizó la marca Edwards, por lo que el análisis de la herramienta AMEF se centró en esa marca en específico, ya que cada fabricante tiene sus propias alertas de alarma y códigos definidos.

Además, los dispositivos entre marcas no se pueden mezclar, por los protocolos de comunicación que utilizan.

Para definir el tipo de evento, se debe consultar el manual de instalación del panel IO1000 de Edwards y confirmar la descripción del evento, que en su momento se presente en la pantalla del panel.

El listado de equipos se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Levantamiento de los equipos que pertenecen al sistema de detección de incendios

Fuente: Elaboración propia

Cantidad	Modelo	Marca	Descripción	Área
Panel de incendios				
1	iO1000G-SP	Edwards	FACP, 1-2 Loop, 1000pt max, 4 Cl B NACs, gray, 120v, Spanish	Oficina A003
2	12V10A	Edwards	11 AH Battery	Despacho 001 Despacho 003
Anunciador remoto				
1	RLCD-C-SP	Edwards	LCD Ann, 4x20 LCD, w/common LEDs & Ctrls, white, Spanish	
1	LSRA-SB	Edwards	Surface Mount Box - for R-Series	
Fuente de poder				
1	BPS6A	Edwards	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	
2	12V6A5	Edwards	7.2 AH Battery	
Módulo de monitoreo para fuente				
1	SIGA-CT1	Edwards	Signature Input Module	
Sensor de humo				
46	SIGA-OSD	Edwards	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	
Sensor de temperatura				
2	SIGA-HFD	Edwards	Heat detector, 135F fixed	
Base estándar y base de aislamiento para sensor				
45	SIGA-SB	Edwards	Standard Detector Base	
3	SIGA-IB	Edwards	Isolator Detector Base	
Sensor de ducto				
2	SIGA-SD	Edwards	SuperDuct Detector	

2	SD-PH	Edwards	Protective Housing - for high humidity environments
2	SD-T120	Edwards	SuperDuct, Air sample tube, 120 inch
2	SD-TRK	Edwards	SuperDuct, Remote test/reset station, keyed
Estación manual			
12	SIGA-278	Edwards	Double Action Fire Alarm Station
Módulo de monitoreo			
17	SIGA-CT1	Edwards	Single Input Module
Módulo de salida			
17	SIGA-CR	Edwards	Control Relay Module
Detector de humo tipo BEAM			
2	EC-50R	Edwards	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.
2	EC-LLT	Edwards	Ground Level Test Station
Sirena/estrobe en pared			
19	G1AVRF	Edwards	Wall Horn-Strobe, Selectable - 15, 30, 75 cd - High/low dB - Red - Fire
Sirena/estrobe en cielo y montaje			
1	GRSW-10	Edwards	Total Universal Mounting Plate, 10 Pack
8	GCAVRF	Edwards	Ceiling Temporal Horn-Strobe, Fire, red, 15, 30, 75, 115 cd
Botón de asistencia en baños			
6	SS-2409EM-ES	STI	Stopper® Station, blue, Push, Turn-to-Reset - Spanish
6	MHW	SYSTEM SENSOR	S/S 12/24VDC MINI HORN
6	ST-1206-1.5AQ	Secolarm	Fuente 1.5 Ah
6	PTD1640U	DSC	PTD1640U ENERGY EFF TRANS NULL
6	712BNP	ADEMCO	BATT, LEAD-ACID, 12V, 7A-HR
Supresor de lazos			
8	DTK-2MHL24BWB	Ditek	Supresor de picos modular para líneas de datos y NACs en paneles de incendio (24V), 2 pares, incluye base

Nota: Cabe destacar, que todos dispositivos que contengan las siglas SIGA, corresponden a un sistema inteligente de detección de incendios, propio de la marca Edwards.

Para la visualización de los fallos en el panel, referirse al manual de usuario del fabricante específico del modelo.

Para el registro y trazabilidad, se trabaja con los números únicos de los equipos, que se da por su plaqueo de inventario y se lleva un control de los equipos por medios electrónicos.

La documentación se mantiene como tarjetas con la siguiente información:

- Número único de equipo
- Modelo
- Serie (en caso de tenerla)
- Marca
- Descripción del equipo
- Nombre de la compañía y área donde se encuentra
- Nombre del proceso al que pertenece
- Fecha de última revisión (o testeo)

Un ejemplo de cómo podrían verse las etiquetas es el siguiente:

Imagen 20: Ejemplo de etiqueta electrónica

Fuente: Elaboración propia.

Número único de equipo	001-C
Modelo	iO1000G-SP
Serie (en caso de tenerla)	4A185048W
Marca	Edwards
Descripción del equipo	Panel de incendios FACP, 1-2 Loop, 1000pt max, 4 Cl B NACs, gray, 120v, Spanish
Nombre de la compañía	Compañía
Área	Oficina A03
Proceso	Detección de Incendios
Fecha de última revisión (Testeo)	01 diciembre, 2022

Paso 2. Descripción y mapeo del proceso

Con la información de los equipos que pertenecen al proceso de detección de incendios, se describe en una serie de pasos en orden lógico y posteriormente se muestra de una forma gráfica.

Inicio

Recepción de señales de los detectores de incendios, que incluyen los sensores de humo (SIGA-OSD), sensores de temperatura (SIGA-HFD) y detectores de humo tipo BEAM (EC-50R, EC-LLT).

Detección de incendios

Los sensores de humo (SIGA-OSD) detectan la presencia de partículas de humo en el aire y activan una señal de alarma en caso de detección.

Los sensores de temperatura (SIGA-HFD) monitorean cambios de temperatura y envían una señal de alarma si se supera un umbral predefinido.

Los detectores de humo tipo BEAM (EC-50R, EC-LLT) utilizan un emisor y un receptor para generar un haz de luz y detectar la interrupción del haz de luz, causada por el humo.

Seguridad y notificación de emergencia

Este paso se refiere a la activación de dispositivos o acciones adicionales para garantizar la seguridad y notificación de emergencia en situaciones críticas, más allá de las alarmas locales.

Se incluyen dispositivos adicionales como los botones de asistencia en baños SS-2409EM-ES, MHW, ST-1206-1.5AQ, PTD1640U y el 712BNP.

Activación de alarmas locales

Las señales de detección de incendios se envían al panel de incendios modelo iO1000G-SP, según corresponda.

Los paneles de incendios activan las alarmas locales, que incluyen sirenas/estrobos en pared modelo G1AVRF y sirenas/estrobos en cielo y montaje modelo GRSW-10 y GCAVRF. Estas alarmas alertan a las personas dentro del edificio sobre la presencia de un incendio.

Notificación remota

Los anunciadores remotos modelo RLCD-C-SP y LSRA-SB reciben las señales de detección de incendios y muestran información sobre la ubicación y el tipo de alarma en otros lugares dentro del edificio.

Estos anunciadores remotos proporcionan una indicación visual y audible de la situación del incendio, para ayudar a la evacuación y respuesta adecuada.

Alimentación de equipos

Las fuentes de poder modelo BPS6A y 12V6A5 suministran energía eléctrica a los equipos del sistema de detección de incendios, incluidos los paneles de incendios, anunciadores remotos, sensores y otros dispositivos conectados.

Monitoreo de fuentes de poder

El módulo de monitoreo para fuente modelo SIGA-CT1 supervisa el estado de las fuentes de poder, como las fuentes de poder modelo BPS6A y 12V6A5.

Si se produce una falla de energía o un problema con la fuente de poder, el módulo de monitoreo envía una alerta para su pronta resolución.

Monitoreo de lazos

El supresor de lazos modelo DTK-2MHLP24BWB protege los circuitos de detección de incendios, contra sobretensiones y descargas eléctricas.

Garantiza la integridad y confiabilidad de las señales transmitidas en los lazos de detección de incendios.

Salida de señales

El módulo de salida modelo SIGA-CR recibe señales del panel de incendios y las transmite a otros sistemas de seguridad o administración, como el sistema de control de accesos o el sistema de gestión de emergencias.

Estas señales permiten una respuesta coordinada y rápida ante una situación de incendio.

De manera resumida se puede observar en el siguiente diagrama de cajas

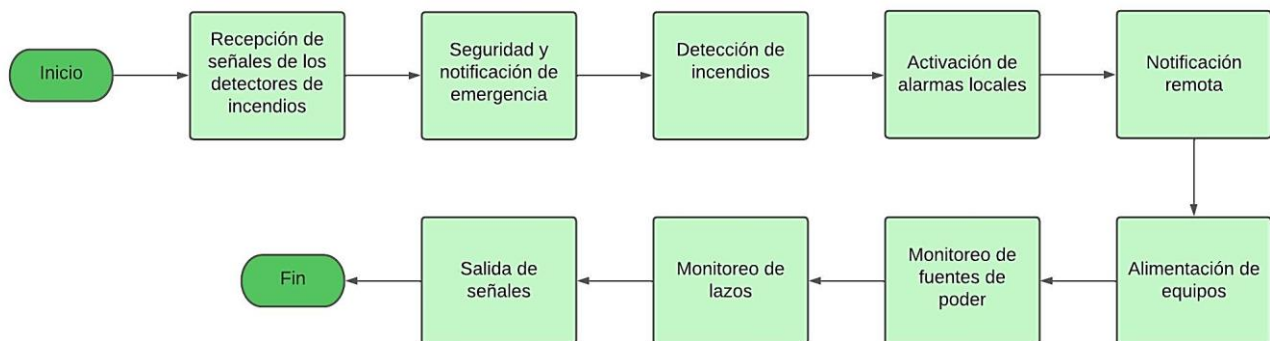


Imagen 21: Diagrama de cajas

Fuente: Elaboración propia

Paso 3. Determinar las fallas potenciales

En el paso 3 se enumeran los modos de falla para cada componente, además, se identifican los posibles modos de falla que podrían ocurrir. Un modo de falla es una forma en la que un componente puede dejar de funcionar o funcionar incorrectamente.

En la tabla 6 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Recepción de señales de los detectores de incendio”.

Tabla 6: Posibles fallas para los equipos relacionados a la Recepción de señales de los detectores de incendios

Recepción de señales de los detectores de incendios		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
SIGA-OSD	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	Fallo de detección Falsas alarmas Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos
SIGA-HFD	Heat detector, 135F fixed	Error en la medición de temperatura Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos Interferencias externas
EC-50R	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.	Fallo de detección Falsas alarmas Problemas de alineación Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos
EC-LLT	Ground Level Test Station	Fallo de detección Falsas alarmas Problemas de alineación Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 7 se muestran las posibles fallas, asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Seguridad y notificación de emergencias”.

Tabla 7. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Seguridad y notificación de emergencia

Seguridad y notificación de emergencia		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
SS-2409EM-ES	SS-2409EM-ES	Fallo de activación Problemas de comunicación Desgaste o daños físicos Problemas de alimentación Falsas activaciones Falla en la protección contra el agua
ST-1206-1.5AQ	Fuente 1.5 Ah	Fallo de activación Problemas de comunicación Desgaste o daños físicos Problemas de alimentación Falsas activaciones Falla en la protección contra el agua

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 8 se muestran las posibles fallas, asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Detección de incendios”.

Tabla 8. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Detección de incendios

Detección de incendios		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
SIGA-OSD	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	Fallo de detección Falsas alarmas Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos
SIGA-HFD	Heat detector, 135F fixed	Error en la medición de temperatura Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación

		Problemas de alimentación Degradación o daños físicos Interferencias externas
EC-50R	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.	Fallo de detección Falsas alarmas Problemas de alineación Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos
EC-LLT	Ground Level Test Station	Fallo de detección Falsas alarmas Problemas de alineación Sensibilidad incorrecta Falla de comunicación Problemas de alimentación Degradación o daños físicos
SIGA-SB	Standard Detector Base	Problemas de montaje Fallo en la alimentación eléctrica Problemas de comunicación Daños físicos Desgaste o corrosión
SIGA-IB	Isolator Detector Base	Problemas de montaje Fallo en la alimentación eléctrica Problemas de comunicación Daños físicos Desgaste o corrosión
SIGA-SD	SuperDuct Detector	Problemas de detección Falla en la comunicación Problemas de alimentación Desgaste o corrosión Falsas alarmas
SD-PH	Protective Housing - for high humidity environments	Problemas de detección Falla en la comunicación Problemas de alimentación Desgaste o corrosión

		Falsas alarmas
		Problemas de detección
		Falla en la comunicación
SD-T120	SuperDuct, Air sample tube, 120 inch	Problemas de alimentación
		Desgaste o corrosión
		Falsas alarmas
		Problemas de detección
		Falla en la comunicación
SD-TRK	SuperDuct, Remote test/reset station, keyed	Problemas de alimentación
		Desgaste o corrosión
		Falsas alarmas

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 9 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Activación de alarmas locales”.

Tabla 9. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Activación de alarmas locales

Activación de alarmas locales		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
iO1000G-SP	FACP, 1-2 Loop, 1000pt max, 4 Cl B NACs, gray, 120v, Spanish	Falla en la visualización Problemas de comunicación Falla en la detección de incendios Falla en el sistema de alimentación Fallas en los circuitos o componentes
12V10A	11 AH Battery	Falla en la alimentación Falla en la comunicación Problemas de programación Fallas en los circuitos o componentes Problemas de visualización o interfaz
G1AVRF	Wall Horn-Strobe, Selectable - 15, 30, 75 cd - High/low dB - Red - Fire	Falta de sonido Fallo en la iluminación estroboscópica Problemas de sincronización Falla en la comunicación Fallas en la resistencia al ambiente
GRSW-10		Falta de sonido

	Total Universal Mounting Plate, 10 Pack	Fallo en la iluminación estroboscópica Problemas de sincronización Falla en el montaje o la estructura Fallas en la resistencia al ambiente
GCAVRF	Ceiling Temporal Horn-Strobe, Fire, red, 15, 30, 75, 115 cd	Falta de sonido Fallo en la iluminación estroboscópica Problemas de sincronización Falla en el montaje o la estructura Fallas en la resistencia al ambiente
SIGA-278	Double Action Fire Alarm Station	Falla en la activación Falla en la señalización Problemas de comunicación Falla en la resistencia al ambiente Falla en la restablecimiento

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 10, se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Notificación remota”.

Tabla 10. Posibles fallas para los equipos relacionados con la Notificación remota

Notificación remota		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
RLCD-C-SP	LCD Ann, 4x20 LCD, w/common LEDs & Ctrls, white, Spanish	Pantalla defectuosa Falla en la comunicación Problemas de visualización Falla en las alarmas audibles o visuales Fallas en los botones o controles
LSRA-SB	Surface Mount Box - for R-Series	Falla en la comunicación Problemas de visualización Falta de retroalimentación Fallas en las alarmas audibles o visuales Problemas en los botones o controles

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 11 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Alimentación de equipos”

Tabla 11. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Alimentación de equipos

Alimentación de equipos		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
BPS6A	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	Falla en la alimentación
		Sobrecalentamiento
		Cortocircuito
		Falla en los circuitos de protección
		Ruido eléctrico
12V6A5	7.2 AH Battery	Falta de suministro de energía
		Sobrecalentamiento
		Cortocircuito
		Ruido eléctrico
		Falla en los circuitos de protección

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 12 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Monitoreo de fuentes de poder”.

Tabla 12. Posibles fallas para los equipos relacionados con Monitoreo de fuentes de poder

Monitoreo de fuentes de poder		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
SIGA-CT1	Signature Input Module	Fallo en la detección de la fuente de alimentación
		Falta de comunicación
		Error en la lectura de datos
		Falla en los circuitos de protección
		Problemas de alimentación eléctrica
BPS6A	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	Falla en la alimentación
		Sobrecalentamiento
		Cortocircuito
		Falla en los circuitos de protección
		Ruido eléctrico
12V6A5	7.2 AH Battery	Falta de suministro de energía

Sobrecalentamiento
 Cortocircuito
 Ruido eléctrico
 Falla en los circuitos de protección

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 13 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Monitoreo de lazos”.

Tabla 13. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Monitoreo de lazos

Monitoreo de lazos		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
DTK- 2MHLP24BWB	Supresor de picos modular para líneas de datos y NAC en paneles de incendio (24V), 2 pares, incluye base	Fallo en la protección contra sobretensiones
		Pérdida de la capacidad de supresión
		Daño físico
		Problemas de conexión
		Incompatibilidad con el sistema
SIGA-CT1	Signature Input Module	Fallo en la detección de la fuente de alimentación
		Falta de comunicación
		Error en la lectura de datos
		Falla en los circuitos de protección
		Problemas de alimentación eléctrica

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 14 se muestran las posibles fallas asociadas a los equipos del paso del proceso llamado “Salida de señales”

Tabla 14. Posibles fallas para los equipos relacionados a la Salida de señales:

Salida de señales		
Modelo	Descripción	Posibles Fallas
SIGA-CR	Control Relay Module	Fallo en la activación de dispositivos
		Falta de respuesta a señales de activación
		Problemas de comunicación
		Falla en la entrega de energía
		Sobrecarga de salida

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023.

Paso 4: Determinación de las causas potenciales

Para cada uno de los modos de falla identificado, se determinan las posibles causas que podrían llevar a ese modo de falla. Esto implica analizar factores como problemas de diseño, fallos en la fabricación, errores de instalación, falta de mantenimiento, entre otros.

En la tabla 15 se observan las causas pertenecientes a los posibles fallos de recepción de señales de los detectores de incendio, se puede observar que los golpes, suciedad y falta de mantenimiento en general, son fuente de posibles fallos.

Tabla 15. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Recepción de señales de los detectores de incendio”

Recepción de señales de los detectores de incendios			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
SIGA-OSD	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Fallo de transmisión debido al humo
		Problemas de alimentación	Cortes de energía. Fluctuaciones y picos.
		Degradación o daños físicos	Golpes o mala manipulación
SIGA-HFD	Heat detector, 135F fixed	Error en la medición de temperatura	Falta de mantenimiento
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos
		Degradación o daños físicos	Golpes vibraciones, mala manipulación
		Interferencias externas	Interferencias electromagnéticas
EC-50R	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Problemas de alineación:	Movimientos o vibraciones
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración

		Falla de comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos Golpes
		Degradación o daños físicos	vibraciones, mala manipulación
		Fallo de detección	Acumulación de polvo u suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Problemas de alineación	Movimientos o vibraciones
EC-LLT	Ground Level Test Station	Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos Golpes
		Degradación o daños físicos	vibraciones, mala manipulación

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 16 se observan las causas pertenecientes a los posibles fallos de seguridad y notificación de emergencias, se puede apreciar que los golpes, la suciedad y falta de mantenimiento en general, son fuentes de posibles fallos.

Tabla 16. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Seguridad y notificación de emergencia”

Seguridad y notificación de emergencia			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
		Fallo de activación	Desgaste interno Interferencias electromagnéticas
		Problemas de comunicación	Cables sueltos Corrosión
SS-2409EM-ES	SS-2409EM-ES	Desgaste o daños físicos	Manipulación indebida Golpes
		Problemas de alimentación	Batería agotada
		Falsas activaciones	Manipulación indebida Golpes
		Falla en la protección contra el agua	Manipulación indebida Golpes
ST-1206-1.5AQ	Fuente 1.5 Ah	Fallo de activación	Desgaste interno Interferencias electromagnéticas
		Problemas de comunicación	Cables sueltos Corrosión

Desgaste o daños físicos	Manipulación indebida Golpes
Problemas de alimentación	Batería agotada
Falsas activaciones	Manipulación indebida Golpes
Falla en la protección contra el agua	Manipulación indebida Golpes

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 17 se aprecian las causas pertenecientes a los posibles fallos de detección de incendios, se puede observar que los golpes, la suciedad e interferencias externas como la luz directa y las interferencias electromagnéticas, son fuente de posibles fallos.

Tabla 17. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de "Detección de incendios"

Detección de incendios			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
SIGA-OSD	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Fallo de transmisión debido al humo
		Problemas de alimentación	Cortes de energía. Fluctuaciones y picos.
		Degradación o daños físicos	Golpes o mala manipulación
SIGA-HFD	Heat detector, 135F fixed	Error en la medición de temperatura	Falta de mantenimiento
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos Golpes
		Degradación o daños físicos	vibraciones, mala manipulación Interferencias electromagnéticas
EC-50R	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Problemas de alineación	Movimientos o vibraciones
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Exposición a luz directa

		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos
		Degradación o daños físicos	Golpes vibraciones, mala manipulación
EC-LLT	Ground Level Test Station	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falsas alarmas	Interferencias externas
		Problemas de alineación	Movimientos o vibraciones
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración
		Falla de comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos
		Degradación o daños físicos	Golpes vibraciones, mala manipulación
SIGA-SB	Standard Detector Base	Problemas de montaje	Mala manipulación
		Fallo en la alimentación eléctrica	Cortes Fluctuaciones y picos
		Problemas de comunicación	Exposición a luz directa
		Daños físicos	vibraciones, mala manipulación
		Desgaste o corrosión	Exposición a las inclemencias del tiempo
SIGA-IB	Isolator Detector Base	Problemas de montaje	Mala manipulación
		Fallo en la alimentación eléctrica	Cortes Fluctuaciones y picos
		Problemas de comunicación	Exposición a luz directa
		Daños físicos	vibraciones, mala manipulación
		Desgaste o corrosión	Exposición a las inclemencias del tiempo
SIGA-SD	SuperDuct Detector	Problemas de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falla en la comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos
		Desgaste o corrosión	Exposición a las inclemencias del tiempo
		Falsas alarmas	Interferencias externas
SD-PH	Protective Housing - for high humidity environments	Problemas de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falla en la comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes Fluctuaciones y picos
		Desgaste o corrosión	Exposición a las inclemencias del tiempo
		Falsas alarmas	Interferencias externas

SD-T120	SuperDuct, Air sample tube, 120 inch	Problemas de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falla en la comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes
		Desgaste o corrosión	Fluctuaciones y picos
		Falsas alarmas	Exposición a las inclemencias del tiempo Interferencias externas
SD-TRK	SuperDuct, Remote test/reset station, keyed	Problemas de detección	Acumulación de polvo o suciedad
		Falla en la comunicación	Exposición a luz directa
		Problemas de alimentación	Cortes
		Desgaste o corrosión	Fluctuaciones y picos
		Falsas alarmas	Exposición a las inclemencias del tiempo Interferencias externas

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 18 se detallan algunos de los posibles fallos por activación de alarmas, cabe destacar que en algunas ocasiones, la causa se debe a una mala manipulación del sistema.

Tabla 18. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados a la fase de “Activación de alarmas locales”

Activación de alarmas locales			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
iO1000G-SP	FACP, 1-2 Loop, 1000pt max, 4 CI B NACs, gray, 120v, Spanish	Falla en la visualización	Píxeles muertos
		Problemas de comunicación	Golpes
		Falla en la detección de incendios	Problemas de cableado
		Falla en el sistema de alimentación	Mal configuración
		Fallas en los circuitos o componentes	Interferencias electromagnéticas
12V10A	11 AH Battery	Falla en la alimentación	Cortes de energía
		Falla en la comunicación	Fluctuaciones de voltaje
		Problemas de programación	Fallas en la fuente de alimentación
		Fallas en los circuitos o componentes	Problemas de cableado
		Problemas de visualización o interfaz	Mala configuración
			Corrosión
			Mala conexión
			Píxeles muertos
			Golpes

G1AVRF	Wall Horn- Strobe, Selectable - 15, 30, 75 cd - High/low dB - Red - Fire	Falta de sonido	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación
		Fallo en la iluminación estroboscópica	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación Bombillas quemadas
		Problemas de sincronización	Mala configuración
		Falla en la comunicación	Problemas de cableado Mal configuración Temperatura
		Fallas en la resistencia al ambiente	Corrosión Humedad Químicos
GRSW-10	Total Universal Mounting Plate, 10 Pack	Falta de sonido	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación
		Fallo en la iluminación estroboscópica	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación Bombillas quemadas
		Problemas de sincronización	Mala configuración
		Falla en el montaje o la estructura	Falta en las piezas Falta estructural Desgaste Temperatura
		Fallas en la resistencia al ambiente	Corrosión Humedad Químicos
GCAVRF	Ceiling Temporal Horn- Strobe, Fire, red, 15, 30, 75, 115 cd	Falta de sonido	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación
		Fallo en la iluminación estroboscópica	Fallo en circuitos Fallo en la alimentación Bombillas quemadas
		Problemas de sincronización	Mala configuración
		Falla en el montaje o la estructura	Falta en las piezas Falta estructural Desgaste Temperatura
		Fallas en la resistencia al ambiente	Corrosión Humedad Químicos
SIGA-278	Double Action Fire Alarm Station	Falla en la activación	Fallo del interruptor interno Cableado defectuoso Conexión suelta.
		Falla en la señalización	Problemas de sonido Problemas en la iluminación
		Problemas de comunicación	Cableado defectuoso Interferencias electromagnéticas Configuraciones incorrectas. Temperatura
		Falla en la resistencia al ambiente	Humedad Químicos
		Falla en la restablecimiento	Desactivación anterior Fallo de circuitos internos

Fuente: Información extraída de los informes provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 19 se detalla, que las causas de algunos de los posibles fallos en la fase de “notificación remota” se da por malas conexiones en los cableados, falta de actualización o de la información requerida.

Tabla 19. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados a la fase de “Notificación remota”

Notificación remota			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
RLCD-C-SP	LCD Ann, 4x20 LCD, w/common LED & Ctrls, white, Spanish	Pantalla defectuosa	Píxeles muertos Falta de retroiluminación distorsión
		Falla en la comunicación	Problemas de cableado Interferencias electromagnéticas Configuraciones incorrectas.
		Problemas de visualización	Falta de actualización Falta de información
		Falla en las alarmas audibles o visuales	Falla en altavoz Falla en circuitos Bombillas quemadas Desgaste
		Fallas en los botones o controles	Atascamiento Golpes.
LSRA-SB	Surface Mount Box - for R-Series	Falla en la comunicación	Problemas de cableado Interferencias electromagnéticas Configuraciones incorrectas.
		Problemas de visualización	Falta de actualización Falta de información
		Falta de retroalimentación de estado	Falta de actualización Falta de información
		Fallas en las alarmas audibles o visuales	Falla en altavoz Falla en circuitos Bombillas quemadas Desgaste
		Problemas en los botones o controles	Atascamiento Golpes.

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 20 se detalla que las causas de algunos de los posibles fallos en la fase de “Alimentación de equipos”, se da por malas conexiones en los cableados, falta de actualización o de la información requerida.

Tabla 20. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Alimentación de equipos”

Alimentación de equipos			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
BPS6A	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	Falla en la alimentación	Falta del suministro externo Falla en componentes internos
		Sobrecalentamiento	Mala ventilación Carga excesiva Cableado dañado
		Cortocircuito	Fluctuaciones del suministro externo Componentes internos dañados Diseño defectuoso
		Falla en los circuitos de protección	Baja calidad Desgaste Cables sueltos, corroídos o defectuosos
		Ruido eléctrico	Variaciones de temperatura
12V6A5	7.2 AH Battery	Falta de suministro de energía	Fallo de componentes internos
		Sobrecalentamiento	Mala ventilación Carga excesiva Cableado dañado
		Cortocircuito	Fluctuaciones del suministro externo Componentes internos dañados
		Ruido eléctrico	Cables sueltos, corroídos o defectuosos Variaciones de temperatura
		Falla en los circuitos de protección	Diseño defectuoso Baja calidad Desgaste

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023.

En la tabla 21 se detalla, que las causas de algunos de los posibles fallos en la fase de “Monitoreo de fuentes de poder” se da por malas conexiones en los cableados, falta de actualización o de la información requerida.

Tabla 21. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Monitoreo de fuentes de poder”

Monitoreo de fuentes de poder			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
SIGA-CT1	Signature Input Module	Fallo en la detección de la fuente de alimentación	Fallo en los sensores
		Falta de comunicación	Fallo en los cables Fallo en el protocolo Fallo en la configuración Fallas de comunicación
		Error en la lectura de datos	Diseño defectuoso
		Falla en los circuitos de protección	Baja calidad Desgaste Cortes de energía Fluctuaciones de voltaje
		Problemas de alimentación eléctrica	Fallas en la fuente de alimentación
BPS6A	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	Falla en la alimentación	Falta del suministro externo Falla en componentes internos
		Sobrecalentamiento	Mala ventilación Carga excesiva Cableado dañado Fluctuaciones del suministro externo
		Cortocircuito	Componentes internos dañados Diseño defectuoso
		Falla en los circuitos de protección	Baja calidad Desgaste Cables sueltos, corroídos o defectuosos
		Ruido eléctrico	Variaciones de temperatura
12V6A5	7.2 AH Battery	Falta de suministro de energía	Fallo de componentes internos
		Sobrecalentamiento	Mala ventilación Carga excesiva Cableado dañado Fluctuaciones del suministro externo
		Cortocircuito	Componentes internos dañados Cables sueltos, corroídos o defectuosos
		Ruido eléctrico	Variaciones de temperatura Diseño defectuoso
		Falla en los circuitos de protección	Baja calidad Desgaste

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023

En la tabla 22 se detalla, que las causas de algunos de los posibles fallos en la fase de “Monitoreo de lazos” se da por defectos de fábrica, malas conexiones en los cableados, falta de actualización o de la información requerida.

Tabla 22. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Monitoreo lazos”

Monitoreo de lazos			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
DTK- 2MHLP24BWB	Supresor de picos modular para líneas de datos y NACs en paneles de incendio (24V), 2 pares, incluye base	Fallo en la protección contra sobretensiones	Defectos de fábrica Desgaste
		Pérdida de la capacidad de supresión	Diseño deficiente Configuración inadecuada
		Daño físico	Golpes Vibraciones Condiciones ambientales adversas
		Problemas de conexión	conectores flojos Cables dañados Conexiones deficientes
		Incompatibilidad con el sistema	Diferencias en los requisitos eléctricos, protocolos de comunicación o configuración del sistema.
SIGA-CT1	Signature Input Module	Fallo en la detección de la fuente de alimentación	Fallo en los sensores Fallo en los cables
		Falta de comunicación	Fallo en el protocolo Fallo en la configuración
		Error en la lectura de datos	Fallas de comunicación Diseño defectuoso
		Falla en los circuitos de protección	Baja calidad Desgaste Cortes de energía
		Problemas de alimentación eléctrica	Fluctuaciones de voltaje Fallas en la fuente de alimentación

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023

En la tabla 23 se detalla, que las causas de algunos de los posibles fallos en la fase de “Salida de señales” se da por defectos de fallas en los circuitos, cableados, configuración y falla en los suministros externos.

Tabla 23. Posibles causas de las fallas de los equipos relacionados con la fase de “Salida de señales”

Salida de señales			
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas
SIGA-CR	Control Relay Module	Fallo en la activación de dispositivos	Falla en los circuitos Fallas en las conexiones Falla en los circuitos
		Falta de respuesta a señales de activación	Fallas en las conexiones Falla en la configuración
		Problemas de comunicación	Falla en la configuración Falta de actualización
		Falla en la entrega de energía	Falla en el suministro externo
		Sobrecarga de salida	Falla en el suministro externo Fluctuaciones Picos

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023

Además, como información complementaria se detalla el resumen de las fallas más comunes según lo identificado en la aplicación del paso 3 de la metodología AMEF, con los códigos descritos en el manual de instalación de fabricante se realiza la tabla que puede ser usada como guía para evaluar las fallas que pueden presentarse y bajo esta misma lógica en otros sistemas de detección de incendios.

Tabla 24. Codificación de fallas.

Descripción posible falla	Código indicativo
Falsa alarma	004-076-112-373
Fallo de detección	066-307-331
Falla de comunicación	057-321-322-326-327
Problemas de comunicación	354-373
Problemas de alimentación	301-312
Problemas de programación	094-354-500
Cortocircuito	099-310-011
Error en la lectura de datos	007-008-009

Fuente: Información extraída de los documentos provistos por la empresa, 2023

Resumen de los hallazgos.

Para la recolección de datos de esta investigación se obtiene lo siguiente.

Los documentos “boleta de mantenimiento del sistema de detección de incendio” y el “informe de mantenimiento” no tienen relación entre sí, ni se refieren el uno al otro; esto quiere decir, que en el informe no se indica referirse a determinada boleta o viceversa.

La información contenida, tanto en el informe como en la boleta, no indican con claridad y de forma contundente alguna posible causa, sino que se describen como observación, restándoles la importancia adecuada.

La investigación de las posibles causas para las fallas potenciales se puede clasificar en cuatro tipos diferentes, uno es el eléctrico y se refiere a todo lo relacionado con las fuentes de poder, conexiones, cableados, etc. El segundo tipo es de la configuración, en esta clase se pueden ingresar: la información referente a actualizaciones de sistema, programación, protocolos de comunicación y todo lo referentes al *software*.

El tercer tipo es el físico y estructural, donde se coloca la información sobre instalaciones, estructura, daños o desgates de los equipos y el cuarto tipo de causas se refiere a las refacciones, donde se indica si los equipos requieren algún repuesto, cambio o reparación.

La propuesta de mejora debe ser dirigida a estos puntos débiles.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se procede a recopilar, las conclusiones halladas a partir del proceso investigativo realizado, con el fin de concretar los hallazgos, los cuales serán expuestos de forma que respondan a los objetivos del estudio.

Conclusiones

En cuanto al objetivo en el cual se buscaba realizar el levantamiento del sistema actual de detección de incendios de la empresa objeto de investigación, el mismo se combinó en su análisis satisfactoriamente utilizando una serie de documentación técnica se instrumentalizó por medio de la revisión de 108 informes técnicos de mantenimiento de la empresa nacional, encargada de brindar el servicio a sus clientes, de los cuales se extrajo solamente la información pertinente al objeto de estudio, es decir, se enfocó en las recomendaciones de los informes, ya que ellos se encontraba información documentada, de causas que podrían derivar en posibles fallos de los sistemas de detección de incendios. Del levantamiento en sitio se logra determinar que el edificio esta conformado por los equipos descritos en la tabla 5 del capítulo III.

Para la recopilación de información, también se tomaron en cuenta las boletas de control que utiliza la empresa; sin embargo, estas no poseían información específica que apuntara a causas de posibles fallos, sino información general de los sistemas de mantenimiento.

En el segundo objetivo se logró identificar que en Costa Rica utiliza la norma NFPA 72 en su última versión tal como se logra apreciar en el artículo 14 en el cual se encuentra el boceto de los requisitos que debe contener un registro, informe, o boleta de mantenimiento para garantizar la buena condición del sistema los sistemas de detección de incendios, así como los artículos a los cuales responde cada objetivo, que de forma regulatoria y obligatoria se deben cumplir. Estos se aplicaron para la realización del Análisis AMEF posteriormente que se muestran en el presente trabajo. Aunado a esto, con relación al reglamento de bomberos se define tal como se observa en el marco metodológico que el mismo está

homologado a la NFPA 72 por lo tanto ambas regulaciones son complementarias y se utilizan sin ningún problema en este proyecto.

Recordemos que el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) es una metodología que ayuda a definir los planes de mantenimiento preventivo, asignando calificaciones a los modos y efectos de las posibles fallas. Posteriormente al levantamiento realizado de sistema de estudio que posee la empresa y aplicando la herramienta Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) que se explica en el marco teórico en los equipos y se que se puso en marcha en el desarrollo, se puede observar en el capítulo análisis de la situación en las tablas de la 5 a la 24 y en la propuesta de la tabla 25 y 26 con el fin de establecer un listado de emergencias o posibles fallas que detecte la aplicación de la herramienta.

Para este trabajo el primer paso fue el levantamiento de equipos, el cual se ejecuta por normativa, se encuentra que el sistema de detección de incendios del edificio en investigación consta de 29 equipos diferentes en su mayoría marca Edwards, en complemento a este paso se propone crear fichas electrónicas para la identificación y trazabilidad de cada uno de los equipos. En el segundo paso se realizó un mapeo del proceso con el cual se logra con el fin de asociar los equipos a cada una de las fases pertenecientes al proceso de sistema de detección de incendio, en este paso se identificó que hay equipos que se deben utilizar en varios pasos del proceso, por lo que se reitera su uso en diferentes etapas.

El tercer paso se realiza una investigación bibliográfica real con una empresa que se dedica a brindar estos servicios y se logró identificar las fallas potenciales por cada uno de los equipos según la fase del proceso, siendo la mayoría temas eléctricos, físicos y de software, posteriormente, con el paso cuatro se determinaron las posibles causas de esas fallas potenciales, esto con la finalidad de anticiparlas.

Una vez aplicada la normativa NFPA 72, reglamento de bomberos y la metodología AMEF aplicada para encontrar los fallos y causas se logró determinar crear una boleta de control que se encuentra en la propuesta de este trabajado de manera que se cree una rutina preventiva para aplicar en los mantenimientos de los sistemas de incendios de la empresa. En

la cual se incorporen aspectos determinantes que la boleta actual no contiene y que son importantes para el cumplimiento de la NFPA 72 del capítulo 14.

Entre las nuevas incorporaciones se contempla información del cliente, trazabilidad de la boleta, información del sistema en revisión, recomendaciones técnicas, y visto bueno del encargado de la aplicación con sus respectivas credenciales, para efectos de validación y verificación de los procesos. Una vez realizado el mismo se logra concluir que la herramienta va a estandarizar las revisiones de este sistema para el técnico que realice el trabajo. Además de incluir una tabla con las fallas más comunes y su codificación con esto se logra establecer una guía para otros sistemas de detección de incendios.

Para finalizar tal como se visualizó en el análisis económico se investigó el costo estimado por el servicio de mantenimiento preventivo por una empresa encargada de brindar el servicio en Costa Rica, una vez realizado esto se logró tener 1 proforma propuesto en cual pretende visualizar los costos reales del mantenimiento requerido en las diferentes frecuencias y poder facilitarlos a la empresa que se está basando este trabajo.

Se realizó el cálculo del costo del mantenimiento del sistema de detección de incendios sería de \$35116,09 contando con dos técnicos anuales, esto basándose en los salarios mínimos estipulados por el ministerio de trabajo, en cuanto a la pérdida sería de \$1192500 donde se considera el costo de la edificación de 500m², en una nave tipo A05 y un cuarto limpio de 190m² con todo su equipamiento correspondiente, este costo se tomó del decreto legislativo N° 10029. Esto en caso de que exista un conato de incendio y se requiera reconstruir el sitio.

Por lo tanto, la inversión de los \$35116,09 menor en comparación a los \$1192500, que es el monto que se tendría que hacer si la empresa no contará con sistemas de detección de incendios y un siniestro pueda mermar los activos y pasivos de la empresa lo que significaría una pérdida de grandes dimensiones y una inversión considerable.

Recomendaciones

Una vez realizado este trabajo de investigación una de las mayores inquietudes de la empresa en estudio es la activación continua de los sensores tipo BEAM del sistema de detección de incendios, se recomienda abarcar más a fondo el tema de diseño o reemplazo de dichos sensores y esto le ayude a evitar las falsas alarmas en el sistema.

Se recomienda la existencia de algún tipo de brigada de incendios por parte del personal que labora en la institución para que en caso de algún siniestro sepan cómo actuar y tomar las medidas pertinentes, por ejemplo, elaboraciones de rutas de evacuación rápidas y eficaces.

Se recomienda a la empresa, la aplicación de la propuesta en esta investigación, la cual resultaría una inversión relativamente accesible en comparación con las pérdidas y la inversión, en caso de presentarse un incendio en las instalaciones y no contar con los equipos adecuados para alertar y activar los mecanismos pertinentes, para minimizar las afectaciones que el incendio pueda causar.

En esta propuesta se contemplan los pasos del análisis AMEF del 5 al 10, donde incluyen gráficos de criticidad, escalas de Likert y cómo unir estas herramientas para poder implementar las acciones correctivas y preventivas, que deben tomarse en cuenta para la creación de un manual de mantenimiento preventivo.

Se debe considerar que el AMEF es un documento vivo, por lo tanto, debe estar actualizándose según las modificaciones e incorporación de nuevos equipos o bien actualizaciones de la normativa, por lo que se recomienda a la empresa realizar las modificaciones, incorporaciones y cambios que sean necesarios con el paso del tiempo, para así garantizar la efectividad de la herramienta. Asimismo, cabe recordar que el trabajo se enfocó en una marca específica, pero en el futuro, si la empresa en estudio cambia la marca de sus dispositivos, será necesario ajustar la herramienta AMEF.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

La propuesta de mejora debe enfocarse en los hallazgos encontrados en la fase de recolección y análisis de información, por lo que se propone realizarla en dos fases. La primera, con un cambio documental en la boleta de rutina de mantenimiento preventivo y en el informe de mantenimiento preventivo. La segunda fase es la implementación de la segunda parte de la metodología AMEF (del paso 5 al paso 10).

Fase 1. Mejora Documental

Dados los hallazgos obtenidos a partir de la aplicación del AMEF, se determina que la utilización de una boleta de control, de rutina preventiva, puede subsanar de manera temprana los posibles fallos que se presentan en los modelos de sistemas de incendios, que se mostraron en las tablas anteriores, incluyendo información más detallada y relevante.

A continuación, se presenta un ejemplo de la boleta de control de rutina preventiva:

La primera sección de la boleta muestra información general del documento, como el título, los datos de trazabilidad para el sistema de gestión documental, información del cliente, contactos y fechas importantes y los números relacionados.

Imagen 22: Sección A de la boleta. Información general

Logo	Rutina Mantenimiento Preventivo Sistema Detección de Incendios		Versión Código ABC-XXX Fecha Página X
A. Información General			
Fecha	<input type="text"/>	Operario	<input type="text"/>
		Firma	<input type="text"/>
Cliente	<input type="text"/>	Representante	<input type="text"/>
		Cargo	<input type="text"/>
Fecha de instalación	<input type="text"/>	Fecha último mantenimiento	<input type="text"/>
		Fecha última revisión configurada	<input type="text"/>
Empresa	<input type="text"/>	Empresa	<input type="text"/>
		Empresa	<input type="text"/>
Contacto de Notificación Nombre	<input type="text"/>	Teléfono	<input type="text"/>
		Correo	<input type="text"/>
Número único de boleta	<input type="text"/>	Número de Informe relacionado	<input type="text"/>

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

Logo	Rutina Mantenimiento Preventivo Sistema Detección de Incendios	Versión Código ABC-XXX Fecha Pagina X
A. Información General		
Fecha	Operario	Firma
Cliente	Representante	Cargo
Fecha de instalación	Fecha último mantenimiento	Fecha última revisión configura
Empresa	Empresa	Empresa
Contacto de Notificación Nombre	Telefono	Correo
Número único de boleta	Número de Informe relacionado	

La sección B del documento, expone información general respecto al sistema de detección de incendios propiamente.

Imagen 23: Sección B de la Boleta. Información General del Sistema

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

B. Información General del Sistema			
Sistema	Convencional	Análogo	Periodicidad
Marca	Modelo		T S A F
Capacidad del Sistema H	Tipo de Batería	Almacenamiento de batería	
Tipo de Alimentación	Voltaje	Amperaje	
Tipo de circuitos	Nº de Lazos		

En la sección C se integra la información referente a los equipos por inspeccionar; en esta sección se indica el tipo de rutina por realizar y su estado.

Imagen 26: Sección E de la boleta. Consideraciones finales

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

E. Consideraciones Finales					
Observaciones					
Recomendaciones					
Fecha		V. B		Firma	

En la última sección, la E, se presenta la información referente a los términos correctos que se deben utilizar en esta boleta.

Imagen 27: Sección F de la boleta. Tipología

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio.

F. Tipología									
Tipo de rutina	In	Inspección		Frecuencia	T	Trimestral	Estado	OK	Óptimo
	Pr	Prueba			S	Semestral		Rev	Necesita Revisión
	Mto	Mantenimiento			A	Anual		Cam	Necesita Cambio
					F	Fallo			

Adicional al cambio de la boleta de rutina de mantenimiento preventivo del sistema se detección de incendios, se propone actualizar los informes para que muestren la relación entre los números de boleta y de informe y además, la información de las posibles causas, de una forma más clara, así como las acciones tomadas al respecto.

Estas se dividieron en tipo de hallazgo eléctrico, donde se incluye todo lo relacionado con el suministro externo, circuitos y cableados, entre otros. Los hallazgos de tipo configuración, se refieren al *software*, programación y actualizaciones. En los de tipo físico / estructural, se ingresa la información de los hallazgos relacionados con la integridad de los equipos, como golpes o daños. Por último, los hallazgos de refacción, se encuentran relacionados con los cambios que se puedan dar en los equipos, tales como bombillas, pantallas o conexiones. Estos cambios se encontrarían en la sección E del documento, siguiendo un orden lógico.

La creación de las tablas de causas y efecto por parte de la metodología AMEF van a dar el sustento técnico y más especializado de ser necesario, para justificar algún ítem del punto D especial de los que se evalúan en la boleta. El técnico tiene acceso a toda la metodología para evaluación esto como respaldo para garantizar que el sistema queda funcionando correctamente, sin embargo, al cliente o propietario solamente se le entrega la boleta de control.

Imagen 28. Portada del informe con la mejora

Fuente: Empresa nacional que brinda el servicio

Logo
Informe Técnico de Mantenimiento
Sistema de Detección de Incendio
Cliente
Técnicos a cargo de la visita
XXXX <u>XXXX</u> <u>XXXX</u>
Fecha de realización del mantenimiento
XX DE XXXX DEL XXXX
Número único de informe: _____
Número de Boleta asociado: _____

Imagen 29. Detalle de la estructura del informe después de la mejora.

Fuente: Elaboración propia.

A. Inicio de mantenimiento.			
Confirmación de labores previas			
B. Sistema por someter a mantenimiento			
Breve descripción del sistema, nombre del sistema			
C. Trabajos por realizar			
ACTIVIDAD	TAREAS POR EJECUTAR		
D. Trabajos realizados			
Evidencia fotográfica y documental de los trabajos realizado			
E. Hallazgos encontrados			
Tipo	Hallazgo	Acción	Descripción de la acción
Eléctrico		Acción Correctiva	
		Acción Preventiva	
		Alerta	
Configuración		Acción Correctiva	
		Acción Preventiva	
		Alerta	
Físico / Estructural		Acción Correctiva	
		Acción Preventiva	
		Alerta	
Refacción		Acción Correctiva	
		Acción Preventiva	
		Alerta	
F. Estado final del mantenimiento			
Observaciones al respecto			
G. Recomendaciones			
Recomendaciones al respecto			
H. Anexos			
Lista de equipos			
SERIE	DESCRIPCIÓN	VISUAL	LIMPIEZA
Fin del documento			

La utilización de una boleta de control de rutina preventiva y del informe técnico de mantenimiento, en la NFPA 72, el Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, es útil para varios propósitos y diversos beneficios. A continuación, se mencionan algunas de las razones clave, para utilizar una boleta de control de rutina preventiva:

- Mantenimiento adecuado

La boleta de control de rutina preventiva ayuda a garantizar que se realicen las actividades de mantenimiento necesarias, de manera regular y sistemática. Esto incluye inspecciones, pruebas y ajustes, esenciales para mantener el correcto funcionamiento del sistema de alarmas de incendio.

- Cumplimiento normativo

La NFPA 72 establece requisitos específicos, en cuanto a las pruebas y mantenimiento periódico de los sistemas de alarmas de incendio. Utilizar una boleta de control de rutina preventiva ayuda a demostrar el cumplimiento de estas exigencias normativas, ya que permite documentar y registrar las actividades realizadas.

- Registro de actividades

La boleta de control de rutina preventiva proporciona un registro detallado, de todas las actividades de mantenimiento realizadas en el sistema de alarmas de incendio. Esto es útil para el seguimiento y la trazabilidad de las acciones realizadas, así como para el análisis retrospectivo en caso de problemas o investigaciones posteriores.

- Detección temprana de fallas

Al realizar rutinariamente las pruebas y verificaciones establecidas en la boleta de control, se pueden identificar de manera temprana posibles fallas o problemas en el sistema de alarmas de incendio. Esto permite tomar acciones correctivas oportunas y evitar situaciones de emergencia o mal funcionamiento durante eventos reales.

- Mejora de la confiabilidad

La boleta de control de rutina preventiva contribuye a mejorar la confiabilidad y el desempeño general del sistema de alarmas de incendio. Al realizar pruebas y ajustes periódicos, se pueden identificar y solucionar problemas menores, antes de que se conviertan en fallas mayores, lo que aumenta la fiabilidad y la eficacia del sistema.

- Documentación para seguros y auditorías

En muchos casos, las compañías de seguros y los organismos de regulación pueden requerir evidencia de mantenimiento adecuado y cumplimiento de normas para asegurar y auditar los sistemas de alarmas de incendio. La boleta de control de rutina preventiva proporciona una documentación precisa y detallada, que puede ser presentada en estas situaciones.

Fase 2. Continuación del AMEF

Para la continuación del AMEF es necesaria la recopilación de datos históricos, por lo que no es posible incluirlos en la presente investigación; sin embargo, se muestra la guía de los pasos restantes y cómo ejecutarlos a manera de planificación.

Paso 5. Asignar gravedad y ocurrencia a cada modo de falla.

En este paso se evalúa la gravedad del efecto que tendría cada modo de falla si ocurriera, así como la probabilidad de que ocurra. Para esto se crea una matriz de criticidad, la cual es una herramienta que combina la gravedad del fallo y la ocurrencia, para evaluar el nivel de criticidad de cada falla en un sistema. En el caso de un sistema de detección de incendios, la matriz de criticidad puede ayudar a priorizar las acciones de mantenimiento y reparación, asignando puntuación del 1, siendo el valor bajo, 2, para los valores medios y 3, para los valores altos.

Imagen 30: Matriz de criticidad

Fuente: Elaboración propia.

Gravedad del fallo			
Ocurrencia	Baja (1)	Media (2)	Alta (3)
Baja (1)	Prioridad Baja	Prioridad Baja	Prioridad Media
Media (2)	Prioridad Baja	Prioridad Media	Prioridad Alta
Alta (3)	Prioridad Media	Prioridad Alta	Prioridad Crítica

Se aclara que esta matriz de criticidad solamente debe aplicarse para el desarrollo de la herramienta análisis AMEF, ya que la falla de cualquier dispositivo del sistema de detección de incendios es realmente grave si hubiera un conato de incendio.

En esta matriz de criticidad, se utilizan tres niveles de gravedad del fallo (Baja, Media y Alta) y tres niveles de ocurrencia (Baja, Media y Alta). Cada combinación de gravedad y ocurrencia se asigna a una prioridad, en función de la criticidad del fallo.

Paso 6. Determina la capacidad de detección.

En el paso 6, se evalúa la capacidad del sistema de detección de incendios para detectar cada modo de falla. ¿Existen mecanismos de redundancia? ¿Hay sistemas de alerta o notificación que se activan en caso de fallos?, se requiere un historial anual para evaluar la detección más certera. La propuesta de evaluación es por medio de una escala de Likert de 5 puntos, donde la puntuación más baja se relaciona con las detecciones más simples o evidentes y la puntuación más alta corresponde a las fallas que no sean fácilmente detectables.

Tabla 25. Escala propuesta para el nivel de detección

Fuente: Elaboración propia.

Puntuación	1	2	3	4	5
Descripción	Fácil detección, es confiable	Detecta en la mayoría de los casos	Detección moderada	Detección deficiente o no confiable	No detectable

Paso 7. Calcula el Índice de Riesgo (IR).

En el paso 7 se busca el índice de riesgo; este se calcula multiplicando las puntuaciones de gravedad, ocurrencia y capacidad de detección para cada modo de falla. El IR es una medida del nivel de riesgo, asociado con un modo de falla en particular, por lo que es de tratamiento individual. Un ejemplo de cómo se puede mostrar el índice de riesgo es, continuando las tablas descritas en el capítulo 4, como se muestra a continuación.

Tabla 26. Tabla ejemplo de cómo mostrar los índices de riesgo IR

Fuente: Elaboración propia.

Recepción de señales de los detectores de incendios							
Modelo	Descripción	Posibles Fallas	Causas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	IR
SIGA-OSD	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	Fallo de detección	Acumulación de polvo o suciedad	1	3	1	3
		Falsas alarmas	Interferencias externas	2	3	2	12
		Sensibilidad incorrecta	Mala calibración	3	1	3	9
		Falla de comunicación	Fallo de transmisión debido al humo	1	3	4	12
		Problemas de alimentación	Cortes de energía. Fluctuaciones y picos.	2	2	5	20
		Degradación o daños físicos	Golpes o mala manipulación	3	1	1	3

Nota. Los datos mostrados en el IR, gravedad, ocurrencia y detección son demostrativos, no son sus calificaciones reales.

Siguiendo esta lógica, el rango de los IR estaría dado de la siguiente forma:

$$Min = 1 \times 1 \times 1 = 1$$

$$Max = 3 \times 3 \times 5 = 45$$

Una vez que se hayan determinado las fallas más comunes y definir la criticidad y el personal técnico haya verificado en la normativa, el código y se revise el alcance de la boleta el procedimiento a seguir sería el siguiente, con el personal en sitio de debe revisar las tablas del paso 3 que indica las posible fallas y causas, revisando el mantenimiento anterior (si existe o si se aplicó) se empieza a descartar con el listado de las causas del paso 3 cuál puede ser la falla que se está detectando en el momento.

Paso 8. Priorización de las acciones correctivas.

En este paso se ordenan los modos de falla según su índice de riesgo (IR) y se priorizan las acciones correctivas para abordar los modos de falla más críticos, o sea, los de puntuaciones más altas. Estas acciones pueden incluir mejoras en el diseño, cambios en los procedimientos de mantenimiento y actualizaciones de equipos.

Se pueden utilizar como ayuda técnica, las clasificaciones de los hallazgos, según tipo, eléctrico, de configuración, físico / estructural o de refacción. Para agruparlas y ahorrar en tiempo y eficiencia.

Paso 9. Implementación de las acciones correctivas.

Para este paso se planifica la implementación de las acciones correctivas identificadas y se realiza un seguimiento para asegurarse de que se llevan a cabo de manera efectiva. Esto puede incluir la actualización de procedimientos, la capacitación del personal, la modificación de equipos, etc.

Paso 10. Revisiones periódicas.

Para que la herramienta AMEF sea efectiva, debe ser revisada y actualizada periódicamente, a medida que se adquiere más información, ingresen o descarten equipos y

se realicen mejoras en el sistema. Se recomienda programar revisiones regulares del AMEF, según los calendarios de auditorías internas, para asegurarse de que siga siendo relevante y efectiva.

Análisis Económico

Este proyecto pretende dar a conocer la importancia y necesidad, del mantenimiento del sistema de detección de incendios en el edificio interno Zona Franca Metropolitana, con el fin de poder opacar cualquier condición de fuego que pueda llegar a dañar equipo activo, infraestructura y sobre todo, afectar de manera crítica vidas humanas, en caso de presencia de personas en un eventual suceso.

Con un sistema de detección de incendio en las mejores condiciones, se pretende una respuesta oportuna y eficaz para notificar un posible incendio y así evitar que se interrumpen las labores de la empresa; asimismo, para que la brigada de emergencias pueda actuar de manera más eficiente ante el incidente y contactar a las autoridades que corresponden para la atención del siniestro, con la finalidad de poder disminuir las pérdidas materiales que puede convertirse en un impacto económico muy considerable, para la administración de la empresa.

Para garantizar la calidad del servicio de manteniendo, en el sistema detección de incendios, la empresa que realice el servicio deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

Se deberá presentar el documento vigente emitido por el fabricante (casa matriz o filial); de los servicios propuestos en el objeto contractual, donde indique que autoriza a la empresa para representarlo en Costa Rica como distribuidor autorizado y ser integradora certificada en sitio de fábrica para el desarrollo de actividades comerciales de venta, capacitación y servicio de mantenimiento preventivo, además de servicio técnico correctivo que incluya repuestos. Debe entenderse vigente, un documento que tiene como máximo un año de haber sido emitido y además, dicho documento debe estar escrito en idioma español.

Experiencia técnica: Se deberá demostrar que tiene experiencia en trabajos de mantenimiento y reparación de sistemas de detección contra incendio, para lo cual, debe aportar cartas con información de contratos con personas físicas o jurídicas, a las cuales el servicio brindado haya sido para atender no menos de 05 sistemas similares. Dichos contratos pueden estar ejecutados o vigentes con no menos de un año, durante los últimos cinco años anteriores a la fecha de apertura de ofertas del presente contrato.

Las cartas que certificarán la experiencia de la empresa deben incluir la siguiente información: membrete de la institución o empresa que la extiende, descripción del servicio brindado, período en que brindó el servicio (fecha de inicio y término del contrato), monto del contrato, calidad del servicio brindado, nombre, número de teléfono y cargo de la persona que extiende la certificación, número de teléfono de la institución o empresa.

Equipo de trabajo y experiencia de este

Preparación del personal técnico de la empresa

Se deben indicar los técnicos en el área eléctrica, mecánica, electromecánica y mantenimiento industrial; como mínimo dos técnicos independientemente de la especialidad, con que cuenta para brindar el servicio, los cuales deben cumplir con lo siguiente:

- Graduados en colegio vocacional, el INA o instituciones privadas.
- De todo el personal técnico al menos uno (1) deberá contar con preparación técnica, ya sea en fábrica o impartida en el territorio nacional, por representantes de fábricas de los equipos para los que cotiza el servicio y con conocimientos de la normativa NFPA 72.
- Aportar *currículum vitae*, con copias de los títulos o certificados, tanto de la institución académica, como de la preparación que haya recibido para alguna marca específica de este tipo de sistema antes mencionado.
- Deberá contar con un ingeniero, cuyo grado académico debe ser de la rama eléctrica y/o electrónica y/o mecánica y/o electromecánica y/o mantenimiento o afín. Deberá presentar copia del título. Dicho profesional deberá contar con

una experiencia de al menos dos años en el diseño, operación, montaje y mantenimiento de sistemas de detección de incendio y también debe estar certificado en la normativa NFPA. En la oferta se deberá incluir el *curriculum vitae*, aportar copia del carné vigente o en su defecto certificación original emitida por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. El profesional no debe estar inhabilitado para ejercer.

Lista de Chequeo

Se debe aportar una lista de chequeo del manual de servicio de fábrica (que incluya rutinas de mantenimiento, diagnósticos, tiempos de atención, entre otros) para aprobación.

Lugar de notificación

Se deberá brindar los medios para atender las notificaciones vinculadas a reportes de fallas, reportes de averías, mantenimientos correctivos, entre otros, e indicar la siguiente información para realizar dichos reportes:

- Número telefónico para emergencias o reportes de fallas o averías.
- Correo electrónico para reportes de fallas o averías.

Además, la empresa encargada de los mantenimientos debe estar al día con las responsabilidades patronales de la CCSS y contar con las pólizas del INS para los colaboradores que realicen el servicio.

Para poder evaluar el costo - beneficio de poseer un sistema de detección de incendio, se propone el siguiente escenario:

El costo del sistema de detección de incendio y la mano de obra, anual, respecto al costo de una pérdida total de la edificación y que este último sería el beneficio.

El costo de los equipos del sistema de detección de incendio viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 27. Presupuesto de los equipos pertenecientes al sistema de detección de incendios en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Cantida d	Modelo	Marca	Descripción	Costo unitario	Costo Total
Panel de incendios					
1	iO1000G-SP	Edwards	FACP, 1-2 Loop, 1000pt max, 4 Cl B NACs, gray, 120v, Spanish	\$ 555,69	\$ 555,69
2	12V10A	Edwards	11 AH Battery	\$ 35,27	\$ 70,54
Anunciador remoto					
1	RLCD-C-SP	Edwards	LCD Ann, 4x20 LCD, w/common LEDs & Ctrlrs, white, Spanish	\$ 256,42	\$ 256,42
1	LSRA-SB	Edwards	Surface Mount Box - for R-Series	\$ 25,53	\$ 25,53
Fuente de poder					
1	BPS6A	Edwards	Remote Booster Power Supply, 6.5A, 120Vac, Red	\$ 258,44	\$ 258,44
2	12V6A5	Edwards	7.2 AH Battery	\$ 31,61	\$ 63,22
Módulo de monitoreo para fuente					
1	SIGA-CT1	Edwards	Signature Input Module	\$ 34,64	\$ 34,64
Sensor de humo					
46	SIGA-OSD	Edwards	Multi-criteria optical smoke detector (UL268 Compliant)	\$ 49,61	\$ 2 282,06
Sensor de temperatura					
2	SIGA-HFD	Edwards	Heat detector, 135F fixed	\$ 34,15	\$ 68,30

Base estándar y base de aislamiento para sensor					
45	SIGA-SB	Edwards	Standard Detector Base	\$ 6,38	\$ 287,10
3	SIGA-IB	Edwards	Isolator Detector Base	\$ 25,91	\$ 77,73
Sensor de ducto					
2	SIGA-SD	Edwards	SuperDuct Detector	\$ 131,22	\$ 262,44
2	SD-PH	Edwards	Protective Housing - for high humidity environments	\$ 166,17	\$ 332,34
2	SD-T120	Edwards	SuperDuct, Air sample tube, 120 inch	\$ 12,41	\$ 24,82
2	SD-TRK	Edwards	SuperDuct, Remote test/reset station, keyed	\$ 27,48	\$ 54,96
Estación manual					
12	SIGA-278	Edwards	Double Action Fire Alarm Station	\$ 57,43	\$ 689,16
Módulo de monitoreo					
17	SIGA-CT1	Edwards	Single Input Module	\$ 34,64	\$ 588,88
Módulo de salida					
17	SIGA-CR	Edwards	Control Relay Module	\$ 47,72	\$ 811,24
Detector de humo tipo BEAM					
2	EC-50R	Edwards	Reflective Beam Smoke Detector, Single As'bly, 15 to 160 ft.	\$ 516,66	\$ 1 033,32
2	EC-LLT	Edwards	Ground Level Test Station	\$ 117,47	\$ 234,94
Sirena/estrobe en pared					

19	G1AVRF	Edwards	Wall Horn-Strobe, Selectable - 15, 30, 75 cd - High/low dB - Red - Fire	\$ 32,68	\$ 620,92
Sirena/estrobe en cielo y montaje					
1	GRSW-10	Edwards	Total Universal Mounting Plate, 10 Pack	\$ 23,58	\$ 23,58
8	GCAVRF	Edwards	Ceiling Temporal Horn-Strobe, Fire, red, 15, 30, 75, 115 cd	\$ 33,31	\$ 266,48
Botón de asistencia en baños					
6	SS-2409EM-ES	STI	Stopper® Station, blue, Push, Turn-to-Reset - Spanish	\$ 52,10	\$ 312,60
6	MHW	SYSTEM SENSOR	S/S 12/24VDC MINI HORN	\$ 15,25	\$ 91,50
6	ST-1206-1.5AQ	Secolarm	Fuente 1.5 Ah	\$ 10,27	\$ 61,62
6	PTD1640U	DSC	PTD1640U ENERGY EFF TRANS NULL	\$ 14,55	\$ 87,30
6	712BNP	ADEMCO	BATT, LEAD-ACID, 12V, 7A-HR	\$ 20,60	\$ 123,60
Supresor de lazos					
8	DTK- 2MHL P24BWB	Ditek	Supresor de picos modular para líneas de datos y NACs en paneles de incendio (24V), 2 pares, incluye base	\$ 78,91	\$ 631,30
				Total	\$ 8 716,09

El costo del sistema de detección de incendios, en términos de equipos, es de \$8 716,09 y a esto se le debe sumar el costo de mínimo dos técnicos encargados de los mantenimientos, que se realizan una vez al mes. El dato anual está dado de la siguiente manera:

$$1 \text{ Técnico} = \$1100 \times \text{mes}$$

$$\$1100 \times 12 \text{ meses} = \$13 200$$

$$\$13 200 \text{ anual} \times 2 \text{ técnicos} = \$26 400 \text{ (tipo cambio } \text{C}\$549.43)$$

Por lo que el costo anual de contar con un sistema de detección de incendio es el siguiente:

$$\$8 716,09 + \$26 400 = \$35 116,09 \text{ (tipo cambio } \text{C}\$549.43)$$

Para el cálculo del beneficio se considera el costo de la edificación como tal y el costo de los equipos que se encuentran en el cuarto limpio, por ser los rubros más costosos y a los que se tiene acceso.

Los costos inherentes a producción, materias primas e inventario de productos terminados y tiempos, tanto de producción, como tiempos muertos, no serán considerados, pues son de carácter variable y confidenciales.

Para conocer el costo del edificio, se hace referencia al manual de valores base unitarios, por tipología constructiva, propuesto por el Departamento de Normalización y Sistemas de Información del Ministerio de Hacienda.

Este manual indica, que para las edificaciones tipo nave con la codificación NA05, tiene un costo de \$865 el metro cuadrado. Por lo tanto, si la edificación es de 500 m² su costo sería de:

$$\$865 \times 500m^2 = \$432\,500(\text{tipo cambio } \text{C}\$549.43)$$

En el caso del cuarto limpio, sus dimensiones son de $190m^2$, por datos proporcionados por la compañía, la puesta en marcha del cuarto limpio se cotizó en \$4000 el m^2 , por lo que su costo sería de:

$$\$4000 \times 190m^2 = \$760\,000 (\text{tipo cambio } \text{C}\$549.43)$$

En total, el coste del edificio y la puesta en funcionamiento del cuarto limpio sería de

$$\$432\,500 + \$760\,000 = \$1\,192\,500 (\text{tipo cambio } \text{C}\$549.43)$$

Considerando que, ante una pérdida total, el costo por la reconstrucción ascendería mínimo al doble lo que sería un monto cercano a los \$ 2 400 000 (dos millones, cuatrocientos mil dólares), como punto de referencia se le solicitó a una empresa nacional encargada de brindar el servicio de mantenimiento preventivo, al sistema de detección de incendio, la cotización para un futuro mantenimiento.

Se aclara que análisis económico que todos los precios se manejan en dólares ya que es la tendencia de la actividad en el mercado y se utiliza el tipo de cambio del banco central $\text{C}\$549.43$ del día jueves 06 de julio 2023.

En los siguientes cuadros se observa el costo por frecuencia del mantenimiento detección de incendios

Frecuencia trimestral

Tabla 28. Preforma servicio mantenimiento frecuencia trimestral.

Fuente: Elaboración propia.

LINEA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	Servicio de mantenimiento preventivo, por el tiempo indicado	4,00	\$ 357,48	\$ 1 429,92
Garantía del Servicio: 1 año(s), tipo de visita: trimestral, con revisiones parciales . No se incluyen visitas de mantenimiento correctivo				
			Subtotal	\$ 1 429,92
			Materiales	\$ -

Subtotal	\$	1 429,92
descuento (no aplica a equipos ni a materiales)		0,00%
subtotal con descuento	\$	1 429,92
IVA	\$	194,88
Total	\$	1 624,80

Frecuencia semestral

Tabla 29. Preforma servicio mantenimiento frecuencia semestral

Fuente: Elaboración propia

LINEA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	Servicio de mantenimiento preventivo, por el tiempo indicado	2,00	\$ 1 056,47	\$ 2 112,94
Garantía del Servicio: 1 año(s), tipo de visita: semestral, con revisiones completas No se incluyen visitas de mantenimiento correctivo				
Subtotal				\$ 2 112,94
Materiales				\$ -
Subtotal				\$ 2 112,94

descuento (no aplica a equipos ni a materiales)	0,00%
subtotal con descuento	\$ 2 112,94
IVA	\$ 274,68
Total	\$ 2 387,62

Frecuencia Anual

Tabla 29. Preforma servicio mantenimiento frecuencia semestral

Fuente: Elaboración propia.

LINEA	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	servicio de mantenimiento preventivo, por el tiempo indicado	2,00	\$ 1 056,47	\$ 2 112,94
<p>Garantía del Servicio: 1 año(s), tipo de visita: semestral, con revisiones completas</p> <p>No se incluyen visitas de mantenimiento correctivo</p>				
				Subtotal \$ 2 112,94
				Materiales \$ -
				Subtotal \$ 2 112,94
descuento (no aplica a equipos ni a materiales)				0,00%
subtotal con descuento				\$ 2 112,94
IVA				\$ 274,68
Total				\$ 2 387,62

Referencias Bibliográficas

- Almejo, I. M. (27 de julio de 2021). *Desing Engineering*. Obtenido de Desing Engineering: <https://bajadesignengineeringblog.academy/2021/07/27/principios-y-funcionamiento-de-los-paneles-de-sistemas-de-alarmas-contraincendios/>
- Argüello, F. (mayo de 2022). *infoteknico*. Obtenido de infoteknico : <https://www.infoteknico.com/luces-estroboscopicas/>
- Argüello, F. (diciembre de 2023). *Infoteknico*. Obtenido de Infoteknico: <https://www.infoteknico.com/estacion-manual-de-alarma-de-incendio/>
- Bomberos de Costa Rica . (2020). *Reglamento nacional de protección contra incendios* . San José, Costa Rica : Bomberos de Costa Rica .
- Botta, N. A. (2021). *El Fuego Dinámica de los incendios* . Rosario, Argentina : Red Proteger.
- Centro Nacional de Comunicaciones, S. d. (2015). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <https://www.unam.mx/medidas-de-emergencia/incendios>
- Electrónica, I. S. (10 de mayo de 2019). *Innovación Seguridad Electrónica*. Obtenido de Innovación Seguridad Electrónica: https://revistainnovacion.com/nota/10467/nociones_basicas_de_un_sistema_de_deteccion_de_incendios/
- Emergencias, D. G. (2016). *Protección Civil*. Obtenido de Protección Civil: <https://www.proteccioncivil.es/>
- Equipo editorial, E. (23 de enero de 2023). *Enciclopedia Humanidades*. Obtenido de Enciclopedia Humanidades: <https://humanidades.com/fuego/>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Métodos de investigación*. México: McGraw Hill Education.
- Jervis, T. M. (25 de septiembre de 2020). *Lifeder* . Obtenido de Lifeder : <https://www.lifeder.com/mantenimiento-preventivo/>
- Lanchas, A. (2019). *Asociación Española de Laboratorios de Fuego*. Obtenido de <http://www.aelaf.es/el-triangulo-del-fuego/>
- Martínez, D. (2019). Obtenido de <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/115001400291--Cu%C3%A1l-es-la-funci%C3%B3n-que-tienen-los-m%C3%B3dulos-de-iniciaci%C3%B3n-en-el-sistema-de-incendio-para-los-paneles-de-incendio-Kidde-VS1-VS2-y-VS4-Microsegur>. (13 de abril de 2021). *Microsegur.com*. Obtenido de Microsegur.com: <https://microsegur.com/que-es-un-sistema-de-deteccion-de-incendios/>
- NFPA. (1998). *Símbolos de Seguridad Contra el Fuego* . Boca Ratón : Comité Técnico en Símbolos de Seguridad Contra el Fuego .
- Nicholson. (2008). *Decisión Acertada. NFPA Journal en español*. Obtenido de Decisión Acertada. NFPA Journal en español.: <https://www.nfpajla.org/archivos/edicion-impresa/alarma-deteccion-senalizacion/634-decision-acertada>
- Notifier. (2019). *Notifier.es* . Obtenido de Notifier.es : <https://www.notifier.es/index.php/productos/accesorios/item/fuentes-de-alimentacion-y-baterias>
- S&P. (25 de marzo de 2019). *Solerpalau* . Obtenido de Solerpalau : <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistema-contra-incendios/#:~:text=Se%20denomina%20sistema%20contra%20incendios,la%20propiedad%20o%20el%20inmueble>.
- Stamatis, D. (2018). *Failure Mode and Effect Analysis*. México: ASQ Quality Press.

Valentín, M. C. (2016). *Sistemas de detección y alarma* . Barcelona : Col·legi d'Enginyers Graduats i Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona. Obtenido de https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/arxiu/collegi/Manual_Seguretat_Incendis/2.3_Sistemas_deteccion_y_Alarma_V0.pdf

ANEXOS Y APÉNDICES

Apéndice 1. Boleta de Mantenimiento propuesta, fotos de sitio en construcción y carta de empresa Edintel

