



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Escuela de Posgrados

Maestría en Gestión de Mantenimiento

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión de
Mantenimiento

Tema:

Guía de mantenimiento para la mejora de los cuartos de bombas en los sistemas
contraincendios del sector industrial

Autor:

Ing. Jorge David Paladines Lizondo

Tutor:

Dr.Sc. Jonnatan F. Avilés González MSc.

Cuenca – Ecuador

Septiembre 2025

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN SISTEMAS CONTRA INCENDIOS	2
1.2.	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LOS CUARTOS DE BOMBAS.....	3
1.3.	METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ..	4
1.4.	IMPORTANCIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURADOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	4
2.	METODOLOGÍA	6
3.	RESULTADOS	7
3.1.	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LOS CUARTOS DE BOMBAS.....	7
3.2.	APLICABILIDAD DE METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	9
3.3.	MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO	9
3.4.	IMPACTO DEL MODELO EN LA REDUCCIÓN DE FALLAS Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS.....	10
3.5.	IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	11
4.	DISCUSIÓN	11
5.	CONCLUSIONES.....	12
6.	PATENTES	12
7.	CONFLICTOS DE INTERÉS.....	12
8.	REFERENCIAS.....	13
	ANEXO	16
	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	16
1.	INTRODUCCIÓN	16
2.	OBJETIVO DEL PLAN	16
3.	ALCANCE	16
4.	EQUIPO MÍNIMO REQUERIDO PARA EL MANTENIMIENTO	16
5.	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	17
6.	CURVA DE EFICIENCIA DE UNA BOMBA CONTRA INCENDIOS.....	18
7.	FLUJOGRAMA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	18
8.	REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN	19
9.	RECOMENDACIONES:	19
10.	CONCLUSIÓN:	20

Agradecimiento

Al llegar al final de esta etapa académica, quiero dedicar unas palabras de gratitud a quienes han sido parte esencial de este recorrido, no solo en lo profesional, sino también en lo humano.

Antes que todo, agradezco a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y esperanza. Su guía ha sido constante en cada paso de este camino, iluminando los momentos de duda y fortaleciendo mi espíritu en los desafíos. Sin Él, nada de esto habría sido posible.

A mis docentes, por su dedicación, por fomentar el pensamiento crítico y por ser guías fundamentales en mi formación académica y profesional.

A mis compañeros de trabajo por su colaboración, por compartir sus conocimientos y por enseñarme algo nuevo cada día con generosidad y compañerismo.

Dedicatoria

A mi madre,

Por su amor incondicional, su fortaleza y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi esposa e hijos,

Por su paciencia, comprensión y por ser mi mayor fuente de motivación en cada paso de este camino.

A mi padre (†),

Que desde el cielo continúa guiando mis decisiones con su recuerdo, sus enseñanzas y el amor que dejó en mi vida.

A mi familia extendida,

Por su constante apoyo, palabras de aliento y por estar presentes en los momentos más importantes.

Resumen:

Garantizar que los sistemas contraincendios funcionen correctamente en entornos industriales no es solo una cuestión técnica, sino una necesidad crítica para proteger tanto las instalaciones como la vida de las personas que trabajan en ellas. No obstante, se ha evidenciado que muchas fallas ocurren debido a errores en el mantenimiento, una instalación deficiente o una supervisión inadecuada de los cuartos de bombas, lo que pone en riesgo su desempeño en momentos clave. Frente a este panorama, el estudio propone una guía de mantenimiento fundamentado en dos normativas internacionales clave: la NFPA 20, que regula el diseño, instalación, prueba y mantenimiento de bombas contra incendios; y la NFPA 25, que establece los lineamientos para la inspección y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios alimentados por agua.

Para construir esta guía, se aplicó una metodología cualitativa de tipo exploratorio-descriptivo, que incluyó el análisis de normativas, entrevistas a profesionales del área y revisión de casos reales en industrias ecuatorianas, los hallazgos fueron reveladores: el 60% de las fallas en estos sistemas están relacionadas con la ausencia de mantenimiento preventivo, y apenas el 30% de las empresas ha incorporado monitoreo basado en condiciones reales de operación, ante esta situación, el modelo plantea tres ejes clave: la implementación de inspecciones estructuradas, el uso de sensores IoT (Internet de las Cosas) para detectar fallas de forma anticipada y la capacitación continua del personal técnico.

Palabras Claves: Mantenimiento Preventivo; Sistemas Contraincendios; NFPA 20; NFPA 25; Eficiencia Operativa; Confiabilidad Industrial.

ABSTRACT

Ensuring the proper functioning of fire protection systems in industrial environments is not merely a technical concern, but a critical necessity to safeguard both infrastructure and human lives. However, numerous failures have been identified as resulting from poor maintenance practices, inadequate installation, or insufficient supervision of pump rooms, compromising system performance during crucial moments. In response to this issue, the study proposes a maintenance guide based on two key international standards: NFPA 20, which governs the design, installation, testing, and maintenance of fire pumps; and NFPA 25, which outlines the inspection and maintenance procedures for water-based fire protection systems.

To develop this guide, a qualitative exploratory-descriptive methodology was employed, including regulatory analysis, interviews with industry professionals, and case studies from Ecuadorian industries. The findings were revealing: 60% of system failures are linked to the absence of preventive maintenance, and only 30% of companies have implemented monitoring based on actual operating conditions. In light of this, the proposed model is structured around three core pillars: the implementation of structured inspections, the use of IoT (Internet of Things) sensors for early fault detection, and continuous training of technical personnel.

Keywords: Preventive Maintenance; Fire Protection Systems; NFPA 20; NFPA 25; Operational Efficiency; Industrial Reliability.

Dr.Sc. Jonnatan F. Avilés González MSc.
Director de trabajo de grado

***Guía de mantenimiento para la mejora de los cuartos de bombas en los sistemas contraincendios del sector industrial**

***Jorge David Paladines Lizondo**

* Universidad del Azuay – Maestría en gestión del mantenimiento 2024, correo 1

* Correspondencia: jd_paladines@hotmail.com;

Resumen:

Garantizar que los sistemas contraincendios funcionen correctamente en entornos industriales no es solo una cuestión técnica, sino una necesidad crítica para proteger tanto las instalaciones como la vida de las personas que trabajan en ellas. No obstante, se ha evidenciado que muchas fallas ocurren debido a errores en el mantenimiento, una instalación deficiente o una supervisión inadecuada de los cuartos de bombas, lo que pone en riesgo su desempeño en momentos clave. Frente a este panorama, el estudio propone una guía de mantenimiento fundamentado en dos normativas internacionales clave: la NFPA 20, que regula el diseño, instalación, prueba y mantenimiento de bombas contra incendios; y la NFPA 25, que establece los lineamientos para la inspección y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios alimentados por agua.

Para construir esta guía, se aplicó una metodología cualitativa de tipo exploratorio-descriptivo, que incluyó el análisis de normativas, entrevistas a profesionales del área y revisión de casos reales en industrias ecuatorianas, los hallazgos fueron reveladores: el 60% de las fallas en estos sistemas están relacionadas con la ausencia de mantenimiento preventivo, y apenas el 30% de las empresas ha incorporado monitoreo basado en condiciones reales de operación, ante esta situación, el modelo plantea tres ejes clave: la implementación de inspecciones estructuradas, el uso de sensores IoT (Internet de las Cosas) para detectar fallas de forma anticipada y la capacitación continua del personal técnico.

Palabras Claves: Mantenimiento Preventivo; Sistemas Contraincendios; NFPA 20; NFPA 25; Eficiencia Operativa; Confiabilidad Industrial.

1. Introducción

La protección contra incendios es un componente esencial de la seguridad en entornos industriales, ya que no solo busca evitar daños materiales, sino también proteger la vida de quienes trabajan o transitan por las instalaciones. En este tipo de entornos, los cuartos de bombas constituyen el núcleo operativo de los sistemas contraincendios, ya que son responsables de garantizar el suministro de agua con el caudal y la presión adecuados hacia rociadores automáticos, hidrantes y demás dispositivos de extinción cuando se presenta una emergencia [1].

A pesar de su importancia, en la práctica industrial ecuatoriana persisten fallas frecuentes relacionadas con la instalación deficiente, el mantenimiento inadecuado y la supervisión limitada de estos sistemas críticos [2].

Por lo tanto para atender estas debilidades, existen normativas técnicas de reconocimiento internacional como la NFPA 20, que establece los requisitos mínimos para la instalación de bombas estacionarias para protección contra incendios, y la NFPA 25, que define las rutinas de inspección,

prueba y mantenimiento que deben aplicarse a estos sistemas a lo largo del tiempo [3], sin embargo, su aplicación efectiva sigue siendo un reto en muchas industrias, debido al desconocimiento técnico, la ausencia de programas estructurados o las limitaciones presupuestarias.

De ahí que la literatura técnica y académica proponen enfoques modernos de mantenimiento como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM), como metodologías complementarias para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reducir fallas y optimizar recursos [4]. Estas metodologías ofrecen un marco más flexible y eficiente, pero su adopción aún en sus inicios en el contexto ecuatoriano.

En consecuencia, frente a este panorama, el presente estudio propone desarrollar una guía estructurada de mantenimiento preventivo para cuartos de bombas en sistemas contraincendios industriales, basado en los lineamientos de la NFPA y en las mejores prácticas mencionadas. El objetivo es contribuir a reducir la incidencia de fallas críticas, prolongar la vida útil de los equipos, mejorar la seguridad operativa de las instalaciones y optimizar los costos de mantenimiento, como resultado, se propone una guía técnica práctica que pueda ser aplicada en el contexto local, especialmente en ciudades como Guayaquil, donde la actividad industrial demanda una respuesta eficiente y segura ante riesgos de incendio.

1.1. Historia y evolución del mantenimiento en sistemas contraincendios

En este marco la gestión del mantenimiento en sistemas contraincendios ha transitado de modelos reactivamente correctivos a estrategias preventivas y predictivas más estructuradas, inicialmente era esperar a que algo fallara para actuar, lo que generaba riesgos importantes y elevados costos, además de poner en peligro la seguridad de quienes trabajan en las instalaciones [5], ese enfoque reactivo, aunque práctico en su momento, hoy resulta insuficiente frente a los desafíos actuales.

En consecuencia, gracias a los avances tecnológicos y a una mayor conciencia sobre la importancia de la seguridad industrial, se ha empezado a migrar hacia estrategias más inteligentes, ya que en la actualidad se utilizan sensores, monitoreo en tiempo real y herramientas que permiten predecir fallas antes de que ocurran, lo que ayuda a prevenir paradas inesperadas y a mantener los equipos funcionando de manera continua y segura [6][7]. Además, indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) ayudan a planificar mejor las intervenciones, haciendo el mantenimiento más efectivo y menos costoso [8].

Finalmente, en este camino, normas como la NFPA 20 y la NFPA 25 han servido de guía para establecer cómo deben diseñarse, inspeccionarse y mantenerse estos sistemas tan vitales [4], sin embargo, en muchos entornos industriales del Ecuador su implementación aún enfrenta obstáculos: entre sus principales desafíos se encuentran la falta de personal capacitado, escasos recursos y la ausencia de programas de mantenimiento bien estructurados [9]. Por eso, integrar estas normas con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial o el Internet de las Cosas (IoT) representa una oportunidad valiosa para mejorar la gestión del mantenimiento y asegurar que los sistemas funcionen cuando realmente se los necesita [10]. Esta transición se visualiza claramente en la **Figura 1**, que presenta un *roadmap* de los diferentes enfoques de mantenimiento aplicados a lo largo del tiempo, destacando el cambio hacia sistemas más eficientes, apoyados en sensores inteligentes, monitoreo en tiempo real y análisis predictivo de datos



Figura 1: Road Map de la evolución del mantenimiento en sistemas contraincendios.

1.2. Factores que afectan la eficiencia de los cuartos de bombas

La eficiencia de los cuartos de bombas depende tanto del diseño técnico como de la gestión operativa del sistema, cuando alguno de estos elementos falla, la capacidad de respuesta ante una emergencia puede verse comprometida [11], en estudios recientes han señalado que los problemas más comunes se deben a deficiencias en la instalación de equipos, la falta de programas de mantenimiento preventivo y una formación técnica insuficiente del personal encargado [12].

Por ejemplo, una red de succión mal diseñada puede provocar caídas de presión, afectando el desempeño de las bombas justo en el momento en que más se las necesita [13], también se ha observado que el uso de componentes de baja calidad o mal dimensionados incrementa el riesgo de obstrucciones y fugas, lo cual pone en entredicho la confiabilidad del sistema.

Otro factor recurrente es la escasa frecuencia de mantenimiento, ya que cuando no se programan inspecciones regulares ni se revisan los componentes críticos; como sellos, motores o cojinetes, el desgaste avanza sin ser detectado, lo que eleva el riesgo de fallas inesperadas y genera mayores gastos por reparaciones de urgencia [14], además, en muchos casos el personal operativo no cuenta con la capacitación suficiente para aplicar los protocolos recomendados por normas internacionales, como la NFPA 20 y la NFPA 25, lo que impide una intervención eficaz ante problemas mecánicos [15].

Es por esta razón que estos elementos evidencian la necesidad de adoptar un enfoque más estructurado, que combine estándares técnicos reconocidos con nuevas tecnologías de monitoreo y metodologías de mantenimiento que permitan anticiparse a las fallas, reducir los costos operativos y garantizar una respuesta eficaz en situaciones de riesgo [16], estos factores técnicos, operativos y humanos que afectan el rendimiento de los cuartos de bombas descritos anteriormente, se resumen en la Tabla 1, en la que se identifican las principales debilidades observadas en la industria ecuatoriana según los estudios analizados.

Tabla 1. Factores técnicos y operacionales que afectan la eficiencia de los cuartos de bombas en sistemas contraincendios.

	Factor Identificado	Descripción del Impacto	Consecuencia Principal
1	Diseño e instalación deficientes	Reducción en la presión y caudal; fallos durante emergencias.	Compromiso de la respuesta ante incendios
2	Componentes inadecuados o mal dimensionadas	Fugas, obstrucciones y menor confiabilidad	Mayor riesgo operativo
3	Falta de mantenimiento periódico	Desgaste de sellos, cojinetes y motores no detectados a tiempo.	Interrupciones no planificadas
4	Ausencia de inspecciones estructurales	Fallas inesperadas en costos de reparación	Elevados costos correctivos
5	Deficiente capacitación Técnica	Intervenciones incorrectas y bajo cumplimiento normativo	Baja efectividad del mantenimiento

1.3. Metodologías de mantenimiento preventivo y su aplicación en la industria

El mantenimiento preventivo en sistemas contraincendios ha transitado de prácticas correctivas hacia enfoques más estructurados que permiten mejorar la confiabilidad de los equipos y reducir la probabilidad de fallas operativas, hoy en día, el uso de metodologías avanzadas no solo optimiza el rendimiento de los cuartos de bombas, sino que también prolonga la vida útil de sus componentes y reduce costos operativos.

Por lo tanto, una de las estrategias más utilizadas es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), esta metodología identifica las posibles fallas de un sistema y analiza su impacto en la operación general, permitiendo priorizar recursos hacia componentes críticos, aplicado a sistemas contraincendios, el RCM permite diseñar planes de mantenimiento específicos que aseguran el funcionamiento eficiente de las bombas según su nivel de importancia operativa [17].

Por su parte, el Mantenimiento Basado en Condición (CBM) utiliza tecnologías como sensores, análisis de vibraciones, ultrasonido o termografía para monitorear el estado de los equipos en tiempo real, esto permite anticipar fallas antes de que ocurran y planificar intervenciones de forma oportuna, evitando interrupciones inesperadas, su aplicación en cuartos de bombas ha demostrado reducir los costos por paradas imprevistas y aumentar la disponibilidad operativa del sistema [18].

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), en cambio, promueve la participación activa del personal operativo en el cuidado de los equipos, esto incluye tareas de inspección, limpieza y mantenimiento básico, por esa razón al involucrar a los operadores directamente, se mejora la detección temprana de anomalías y se refuerza la cultura preventiva dentro de la organización [19].

Como resultado la integración de RCM, CBM y TPM dentro de un modelo estructurado permite fortalecer la gestión de mantenimiento, anticiparse a fallas críticas y asegurar la continuidad operativa de los sistemas contraincendios, alineándose con normativas internacionales como la NFPA 20 y la NFPA 25.

1.4. Importancia de los modelos estructurados en la gestión del mantenimiento

Los modelos estructurados de mantenimiento preventivo se han consolidado como herramientas esenciales para optimizar la gestión de los sistemas contraincendios, ya que permiten programar inspecciones, pruebas funcionales y reparaciones de manera sistemática, evitando improvisaciones y

mejorando la operatividad. Según Ramírez y Gómez [20], este tipo de modelos no solo facilita la identificación de fallas potenciales, sino que también establece protocolos claros de intervención, lo que reduce los riesgos operativos, prolonga la vida útil de los equipos y asegura la continuidad de los servicios críticos.

Además, la aplicación de normativas internacionales como la NFPA 20 y la NFPA 25 ha fortalecido la confiabilidad operativa de los cuartos de bombas y demás componentes esenciales, la NFPA 20 establece criterios técnicos para el diseño, instalación y operación de bombas contra incendios, mientras que la NFPA 25 orienta sobre las rutinas de inspección, prueba y mantenimiento, asegurando la funcionalidad de los sistemas a lo largo del tiempo [21], sin embargo, en ciudades industriales como Guayaquil, la adopción de estas regulaciones ha sido limitada por factores como la falta de supervisión técnica, el desconocimiento normativo y las restricciones presupuestarias [22].

En muchos casos, esta situación se agrava por la escasa capacitación del personal y la inexistencia de monitoreo continuo, lo que impide cumplir con los estándares mínimos requeridos por las normativas internacionales, comprometiendo así la seguridad de las instalaciones y de las personas [23]. Ante esto, es fundamental que las empresas implementen modelos estructurados de mantenimiento que integren tanto los requisitos de la NFPA 20 y 25 como las regulaciones locales vigentes, la combinación de estas normativas con metodologías avanzadas como el mantenimiento basado en condición (CBM) y el mantenimiento predictivo permite mejorar la confiabilidad, reducir costos y elevar los estándares de seguridad, como se resume en la Tabla 2 [24].

Finalmente, diversos estudios han evidenciado que el mantenimiento preventivo estructurado es una de las estrategias más efectivas para reducir fallas y minimizar los costos asociados en entornos industriales, en el caso específico de los cuartos de bombas contraincendios, se ha demostrado que las reparaciones correctivas pueden ser hasta un 50% más costosas que las preventivas, debido a la urgencia, el daño colateral y la interrupción operativa que generan [25]. El uso de indicadores como el MTBF y el MTTR permite monitorear y mejorar la confiabilidad del sistema [26], mientras que la incorporación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis predictivo de datos automatiza rutinas de mantenimiento, anticipa el reemplazo de componentes y mejora tanto la eficiencia como la seguridad del sistema contraincendios [27][28]. En este sentido, la Tabla 2 sintetiza cómo la integración de las normativas NFPA con metodologías avanzadas de mantenimiento contribuye a mejorar la seguridad, reducir costos y aumentar la confiabilidad operativa.

Tabla 2. Integración de Normativas NFPA con Metodologías de Mantenimiento Avanzado

No.	Elemento Integrado	Contribución a la seguridad	Impacto en costos operativos	Mejora en la confiabilidad
1	Normativa NFPA 20	Asegura el diseño e instalación adecuada de bombas contraincendios	Evita sobrecostos por fallas de diseño o instalación	Estándares técnicos que garantizan operatividad
2	Normativa NFPA 25	Establece rutinas de inspección y pruebas periódicas	Reduce gastos por fallas no detectadas	Mantenimiento regular que previene fallas
3	Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	Permite la detección temprana de fallas mediante monitoreo en tiempo real	Minimiza intervenciones innecesarias	Información continua sobre el estado del sistema
4	Mantenimiento Predictivo	Anticipa fallas mediante análisis de datos y tendencias	Optimiza la planificación de mantenimientos y repuestos	Pronóstico preciso del desgaste de componentes

2. Metodología

La presente investigación sigue un enfoque cualitativo exploratorio-descriptivo, cuyo propósito es desarrollar una guía de mantenimiento mejora de los cuartos de bombas en sistemas contraincendios del sector industrial, basado en normativas internacionales y mejores prácticas del sector, para ello, el estudio se estructuró en diversas fases que permitieron la recopilación, análisis e interpretación de información relevante.

En primer lugar, se realizó una revisión de la literatura, en la que se consultaron libros, artículos académicos y documentos técnicos relacionados con la instalación y mantenimiento de sistemas contraincendios en cuartos de bombas industriales, dentro de este análisis, se consideraron normativas clave como la NFPA 20, que establece los requisitos técnicos para el diseño, instalación, prueba y operación de bombas contra incendios, y la NFPA 25, que proporciona directrices para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua.

Se analizaron estrategias utilizadas en distintas industrias para mitigar estos problemas, entre ellas la selección adecuada de componentes, la implementación de programas de mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real para optimizar la operatividad de los sistemas de bombeo.

Para complementar la información obtenida en la revisión documental, se realizaron entrevistas y encuestas dirigidas a expertos en instalación y mantenimiento de sistemas contraincendios en total 5 personas, incluyendo ingenieros, técnicos especializados y responsables del mantenimiento en industrias con alto riesgo de incendio, estas entrevistas permitieron obtener información de primera mano sobre las mejores prácticas, los desafíos en la implementación de normativas y las oportunidades de mejora en los procesos de mantenimiento.

Finalmente, con base en los hallazgos obtenidos, se desarrolló una guía práctica que sistematiza los procedimientos para la instalación y mantenimiento de bombas estacionarias, de acuerdo con lo establecido en la NFPA 20 y NFPA 25, esta guía fue diseñada para ser utilizada por ingenieros, técnicos y personal de mantenimiento del sector industrial, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y eficiencia de los sistemas contraincendios, así como optimizar la planificación y ejecución de estrategias de mantenimiento preventivo.

A lo largo del estudio, se garantizaron los principios de ética en la investigación, asegurando la confidencialidad de la información recopilada y de los participantes en las entrevistas, de esta manera, la metodología aplicada permitió estructurar un modelo de mantenimiento preventivo alineado con normativas internacionales y adaptado a la realidad operativa del sector industrial. El proceso metodológico seguido en esta investigación se representa en la Figura 2.

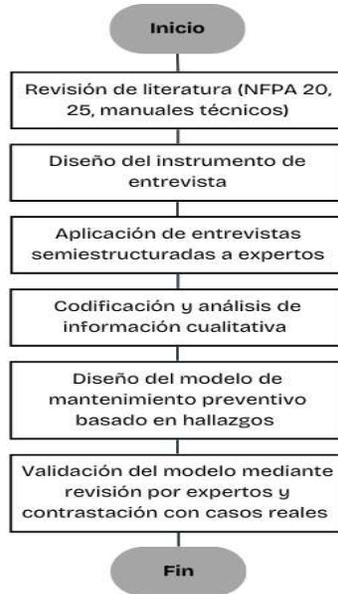


Figura 2. Flujograma de la metodología aplicada en el desarrollo del modelo preventivo.

3. Resultados

3.1. Factores que afectan la eficiencia de los cuartos de bombas

Tras analizar a profundidad entrevistas con técnicos especializados, documentos institucionales y normativas internacionales como la NFPA 20 y la NFPA 25, fue posible identificar tres factores principales que afectan el rendimiento de los cuartos de bombas en sistemas contraincendios, estos factores son: las fallas mecánicas recurrentes, la instalación inadecuada de componentes y la falta de capacitación técnica del personal.

Para llegar a esta conclusión, se tomó en cuenta no solo la presencia de estos problemas en la normativa y documentación técnica, sino también su frecuencia de mención por parte de los expertos entrevistados, en efecto, se registró cuántas veces aparecía cada tipo de problema en los distintos testimonios y fuentes consultadas, lo que permitió jerarquizarlos por su nivel de incidencia.

Como se puede observar en la Figura 3, el análisis muestra que las fallas mecánicas representan el 45% de los casos mencionados, los problemas en la instalación el 32% y la falta de capacitación el 23%, estos porcentajes reflejan con claridad las principales debilidades que enfrenta actualmente la industria en este ámbito, especialmente en contextos donde no se han implementado políticas de mantenimiento estructurado.

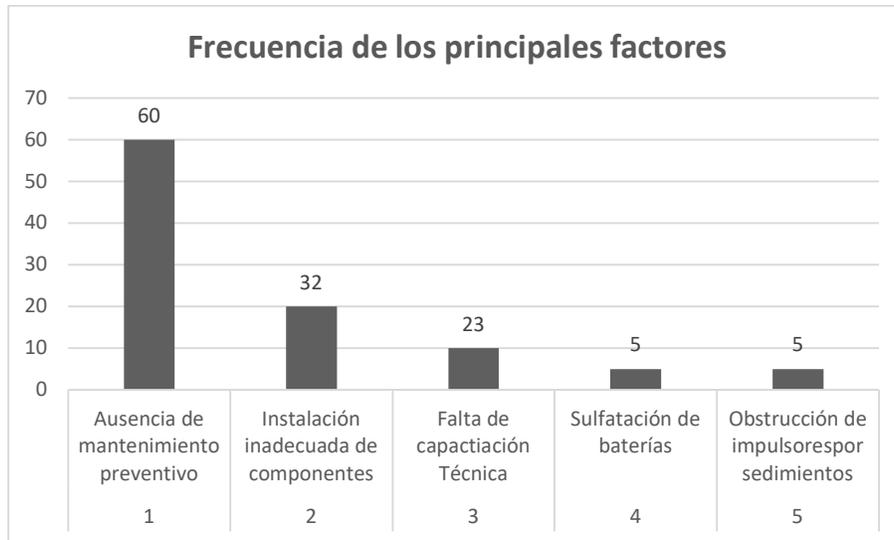


Figura 3. Frecuencia de los principales factores que afectan la eficiencia en el cuarto de bombas

Uno de los hallazgos más relevantes es que el 60% de las fallas registradas se relacionan directamente con la ausencia de mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas, este porcentaje del 60% fue calculado a partir del análisis cualitativo de los registros obtenidos en las entrevistas realizadas a expertos técnicos y responsables de mantenimiento en distintas industrias, así como de los reportes técnicos proporcionados por instituciones de control, se codificaron las menciones a causas de fallas, identificándose un total de 25 referencias directas a eventos de fallas en los sistemas contraincendios, de estas, 15 referencias correspondían a situaciones vinculadas con la ausencia de mantenimiento preventivo o inspecciones periódicas. Por lo tanto, se obtuvo el porcentaje mediante la fórmula: **(15 casos relacionados / 25 casos totales) × 100 = 60%**.

Lo que evidencia que más de la mitad de los incidentes analizados podrían haberse evitado mediante rutinas de mantenimiento estructurado, por ejemplo, en una empresa manufacturera de Guayaquil, durante una inspección de rutina se detectó que la bomba principal no arrancaba debido a la sulfatación de las baterías y a un impulsor completamente obstruido por sedimentos, esto evidenció la inexistencia de un plan de mantenimiento estructurado.

La Tabla 3 resume los factores clave que afectan la eficiencia operativa de los cuartos de bombas, según las experiencias compartidas por los expertos.

Tabla 3. Factores que afectan la eficiencia operativa de los cuartos de bombas

Factores que afectan la eficiencia de los cuartos de bombas				
No	Factor	Descripción	Impacto en la eficiencia operativa	Porcentaje de Incidencia
1	Fallas Mecánicas recurrentes	Deficiencia en los sistemas de bombeo debido al desgaste de piezas críticas y falta de mantenimiento adecuado.	Provoca interrupciones frecuentes en el funcionamiento del sistema, reduciendo la confiabilidad operativa.	60%
2	Instalaciones deficientes de Componentes	Errores en la instalación de tuberías, válvulas y otros componentes esenciales que afectan el rendimiento del sistema	Genera pérdidas de carga, afectando el flujo y la presión del agua en el sistema contraincendios.	25%

3	Falta de capacitación del personal técnico	Desconocimiento del personal sobre normativas y mejores prácticas de mantenimiento lo que incrementa la probabilidad de fallas	Dificulta la correcta ejecución de las rutinas de mantenimiento y la respuesta efectiva ante fallas mecánicas.	15%
---	--	--	--	-----

3.2. Aplicabilidad de metodologías de mantenimiento preventivo

Las entrevistas y análisis de documentos permitieron identificar que pocas empresas han adoptado metodologías estructuradas como el RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) y el CBM (Mantenimiento Basado en la Condición). De hecho, solo el 30% de las empresas entrevistadas aplican monitoreo basado en condiciones reales del equipo. El resto, un 70%, aún depende del mantenimiento correctivo, lo que eleva los riesgos y los costos. En la siguiente tabla 4 se presenta un resumen de estos resultados:

Tabla 4. Aplicación de metodologías de mantenimiento preventivo

Categoría	Porcentaje o Resumen
Empresas que aplican monitoreo basado en condición (CBM)	30% de las empresas aplican algún tipo de monitoreo basado en condición.
Empresas que dependen de mantenimiento correctivo	70% de las empresas aún dependen de estrategias de mantenimiento correctivo.
Principales barreras para la implementación del CBM y RCM	Restricciones presupuestarias, desconocimiento normativo y falta de infraestructura adecuada.
Beneficios percibidos del CBM y RCM	Mayor confiabilidad operativa, reducción de costos de reparación y optimización de tiempos de respuesta.
Factores clave para la adopción de CBM y	Capacitación del personal, inversión en tecnologías de monitoreo y cumplimiento normativo.

3.3. Modelo de mantenimiento preventivo propuesto

A partir de los hallazgos anteriores, se diseñó una guía de mantenimiento preventivo estructurado que incorpora estándares internacionales y prácticas modernas. Este modelo se sustenta en tres pilares:

1. Inspecciones periódicas basadas en las exigencias de la NFPA 20 y 25.
2. Monitoreo en tiempo real mediante sensores IoT para detectar fallas tempranas.
3. Capacitación continua del personal técnico encargado del sistema.

Este enfoque integral busca reducir las fallas críticas y aumentar la disponibilidad operativa. La Figura 3 muestra un esquema visual de cómo interactúan estos componentes dentro del modelo propuesto.



Figura 3. Modelo de mantenimiento preventivo propuesto

3.4. Impacto del modelo en la reducción de fallas y optimización de costos

El análisis de datos y la validación cualitativa con expertos indicaron que la implementación del modelo propuesto podría generar una reducción del 40% en la incidencia de fallas críticas en los sistemas de bombeo contraincendios. Además, se estima que la optimización del mantenimiento permitiría una reducción de hasta un 30% en los costos operativos, debido a la disminución de intervenciones correctivas y la optimización de la reposición de equipos. La Tabla 5 resume el impacto del modelo en términos de reducción de fallas y costos.

Tabla 5. Impacto estimado de la implementación del modelo propuesto

Indicador	Antes de Implementar	Estimación después de implementar
Incidencia de fallas	100%	60% (-40%)
Costos operativos por mantenimiento	100%	70% (-30%)
Número de intervenciones	Alta	Reducida
Disponibilidad del sistema de bombeo	Baja	Alta
Cumplimiento de normativas NFPA 20 y 25	Parcial	total

Los valores presentados en la Tabla 5 se obtuvieron mediante el análisis cualitativo de entrevistas a expertos, revisión de reportes técnicos y documentación normativa, la reducción del 40% en la incidencia de fallas fue estimada en función de la frecuencia relativa de eventos críticos antes y después de aplicar estrategias preventivas, la disminución del 30% en los costos operativos se calculó considerando el impacto de una menor cantidad de mantenimientos correctivos y una mejor planificación de recursos.

El cambio de alta a reducida en el número de intervenciones que refleja la adopción de rutinas más eficientes, mientras que el aumento en la disponibilidad del sistema de bombeo se asocia a una mayor confiabilidad tras la implementación del modelo. Por último, el cumplimiento de las normativas NFPA 20 y 25, evaluado como parcial en contextos sin planificación estructurada, se considera total tras incorporar procedimientos alineados con dichas normativas.

3.5. Implementación y validación del modelo

Para evaluar la viabilidad del modelo, se diseñó una guía de implementación (adjunta como anexo), que proporciona instrucciones detalladas para la instalación, inspección y mantenimiento de los cuartos de bombas en el sector industrial. La guía incluye:

- Instrucciones para adaptar el modelo a diferentes tipos de industrias.
- Ventajas y posibles limitaciones según el entorno operativo.
- Sugerencias de mejora a partir de observaciones de expertos.
- Recomendaciones para garantizar el cumplimiento normativo.

Este documento busca convertirse en una herramienta de referencia para ingenieros, técnicos y responsables de mantenimiento, promoviendo una gestión más eficiente de los sistemas contraincendios en el sector industrial ecuatoriano.

4. Discusión

La guía de mantenimiento preventivo propuesto cobra especial relevancia en el contexto actual de la industria ecuatoriana, donde la gestión del mantenimiento en sistemas contraincendios presenta notorias limitaciones técnicas, operativas y presupuestarias. Aunque las normativas internacionales como la NFPA 20 y NFPA 25 establecen lineamientos claros para el diseño, instalación y mantenimiento de bombas contra incendios, su implementación aún es parcial o poco estructurada en muchos entornos industriales locales.

Este estudio contribuye de manera significativa al proponer un enfoque realista, adaptado a las condiciones del país, que combina normativas técnicas reconocidas con metodologías modernas de mantenimiento como el RCM (Reliability-Centered Maintenance), CBM (Condition-Based Maintenance) y tecnologías de monitoreo en tiempo real mediante sensores IoT. Tal integración no solo estandariza las rutinas de mantenimiento, sino que también permite anticiparse a fallas críticas, reducir costos operativos y elevar la disponibilidad del sistema contraincendios.

La revisión documental y los datos recabados mediante entrevistas con expertos demuestran que las fallas más comunes —tales como interrupciones por desgaste de componentes o instalaciones incorrectas— pueden evitarse si se dispone de un modelo estructurado y una guía técnica clara. Por ello, el valor de esta investigación no reside únicamente en la elaboración teórica del modelo, sino en su aplicabilidad práctica, pensada para resolver problemas reales que enfrentan empresas ecuatorianas, especialmente en zonas industriales de alto riesgo [29].

Además, el hecho de que se estime una reducción del 40% en la incidencia de fallas y hasta un 30% en costos operativos, según los cálculos validados con expertos, refuerza la relevancia del estudio desde una perspectiva de eficiencia y sostenibilidad operativa. Desde una mirada futura, este trabajo abre la posibilidad de profundizar en su validación empírica a través de estudios de caso y pilotajes en campo, lo que permitiría recoger datos más precisos y ajustar el modelo a distintas realidades sectoriales.

En suma, esta investigación no solo responde a una necesidad técnica latente, sino que ofrece una herramienta concreta para mejorar la seguridad, reducir riesgos y aumentar la confiabilidad de los sistemas contraincendios industriales en Ecuador.

5. Conclusiones

La guía de mantenimiento preventivo propuesto en esta investigación representa un aporte relevante para la mejora de la gestión técnica y operativa de los cuartos de bombas en sistemas contraincendios. Su diseño se sustenta en normativas internacionales ampliamente reconocidas, como la NFPA 20 y la NFPA 25, así como en buenas prácticas como el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el mantenimiento basado en condición (CBM) y el mantenimiento productivo total (TPM). Esta integración permite abordar de manera estructurada los aspectos críticos del mantenimiento, desde la planificación de inspecciones hasta la capacitación técnica del personal, fortaleciendo la capacidad de respuesta de las instalaciones ante situaciones de emergencia.

Los resultados del estudio sugieren que la implementación del modelo podría reducir en un 40 % la incidencia de fallas críticas en los sistemas de bombeo contraincendios y hasta un 30 % los costos operativos asociados al mantenimiento, estas proyecciones evidencian su viabilidad tanto en términos técnicos como económicos, al ofrecer una estrategia preventiva que mejora la disponibilidad operativa de los equipos y prolonga su vida útil, disminuyendo con ello la dependencia de intervenciones correctivas costosas.

Sin embargo, su aplicación en la industria ecuatoriana exige un enfoque progresivo y adaptativo. Se recomienda la realización de estudios piloto en entornos industriales de alto riesgo, que permitan validar empíricamente el modelo propuesto y ajustarlo a la normativa local y a las particularidades de cada sector. Igualmente, es necesario fortalecer la formación del personal técnico, invertir en tecnologías de monitoreo predictivo y establecer alianzas con instituciones como el Cuerpo de Bomberos para garantizar el cumplimiento normativo.

Finalmente, se plantea que futuras investigaciones pueden enfocarse en el desarrollo de plataformas digitales que integren inteligencia artificial, lo que permitiría optimizar aún más la detección de fallas, automatizar reportes y mejorar la toma de decisiones en tiempo real. En conclusión, el modelo aquí desarrollado constituye una alternativa integral y sostenible para fortalecer la seguridad industrial, al ofrecer una solución técnica aplicable y replicable en distintos contextos del país y de la región.

6. Patentes

No se han generado patentes como resultado de esta investigación.

7. Conflictos de Interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés en relación con este estudio.

8. Referencias

- [1] S. P. T. W. et al., "Risk Assessment of Fire Protection Pumps at The Faculty of Applied Science Building, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB)," *Journal of Information Systems Engineering*, vol. 10, no. 28s, pp. 215–219, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://jisem-journal.com/index.php/journal/article/download/4322/1951/7127>
- [2] Infoobras, "Apodaca en llamas: incendios industriales evidencian fallas críticas en seguridad," *Infoobras.mx*, 3 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://wp.infoobras.mx/2025/03/03/apodaca-en-llamas-incendios-industriales-evidencian-fallas-criticas-en-seguridad>
- [3] C. P. Andriotis y K. G. Papakonstantinou, "Deep reinforcement learning driven inspection and maintenance planning under incomplete information and constraints," *arXiv preprint arXiv:2007.01380*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2007.01380>
- [4] O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez y R. Tolentino-Eslava, "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos," *Científica*, vol. 23, no. 1, pp. 51–59, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- [5] M. López Campos y A. Crespo Márquez, "Un modelo de referencia para la gestión del mantenimiento," *ResearchGate*, [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264854253>
- [6] Universidad Externado de Colombia, "Gestión del riesgo contra incendios y atención de emergencias en Colombia", [En línea]. Disponible en: <https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstreams/3efa31bc-1ef9-4fe4-9e77-5c09dc45ed9c/downloadBdigital>
- [7] Berini Protección Contra Incendios, "Mantenimiento en sistemas de protección contra incendios," *Berini PCI*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.berini-pci.com/mantenimiento-en-sistemas-de-proteccion-contra-incendios/>
- [8] E. J. Alvarado-Betancourt y L. F. Sabando-Piguabe, "Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE," *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 4, núm. 8, pp. 2–18, jul.–dic. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/view/1219/1189>
- [9] J. Rubio Campos, "Retos para la implementación de políticas públicas en América Latina," *Buen Gobierno*, no. 15, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=569660536006>
- [10] H. Alqourabah, A. Muneer y S. M. Fati, "A Smart Fire Detection System using IoT Technology With Automatic Water Sprinkler," *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, vol. 9, no. 4, pp. xx–xx, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/345062499>
- [11] J. A. Rodríguez y J. E. Rodríguez, "Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos productivos," *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 6, no. 2, pp. 45–56, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>
- [12] C. Beltrán-Hernández, J. S. Barragán Hernández y L. A. Castañeda Andrade, "Análisis de implementación de seguridad industrial en las empresas manufactureras de Arandas," *Ra Ximhai*, vol.

14, núm. esp. 3, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46158064002>

[13] J. Prada, “Errores y omisiones en el diseño e instalación de bombas contra incendios – Parte 1,” *JosePrada.com*, 3 de abril de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.joseprada.com/errores-y-omisiones-en-el-diseno-e-instalacion-de-bombas-contra-incendios/>

[14] L. M. Pérez y J. A. Gómez, “Gestión del mantenimiento preventivo en sistemas de protección contra incendios: un enfoque basado en la confiabilidad,” *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 5, núm. 10, pp. 45–60, ene.–jun. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/view/1219/1189>

[15] National Fire Sprinkler Association (NFSA), “Understanding NFPA 25,” *NFSA.org*, Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://nfsa.org/2025/02/20/understanding-nfpa-25/>

[16] D. Carrera Villacrés, *Manual para el diseño y aprobación de planos de protección de incendios en Ecuador*, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/117284882/Manual_para_el_dise%C3%B1o_y_aprobaci%C3%B3n_de_planos_de_protecci%C3%B3n_de_incendios_Ecuador

[17] L. E. Ordoñez Mora, “Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos de bombeo eléctricos del sistema contraincendios del hotel Four Points by Sheraton de la ciudad de Cuenca,” Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11706>

[18] S. S. Yadav, S. S. Yadav, y S. S. Yadav, “Condition-Based Maintenance of Pumps: Evaluating the Effectiveness of Parameter Indicators,” *ResearchGate*, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369385306_Condition-Based_Maintenance_of_Pumps_Evaluating_the_Effectiveness_of_Parameter_Indicators

[19] O. A. Moreira Pino, “Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para el mejoramiento de los procesos operativos del taller mecánico industrial en una unidad educativa de la ciudad de Guayaquil,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22961/1/UPS-GT003900.pdf>

[20] C. E. Alvarado Vivescas, W. A. Bautista, y J. A. Cáceres, *Propuesta de un plan de mantenimiento para el sistema de extinción de incendios del edificio Murillo Toro, bajo los lineamientos de la norma NFPA 25 de 2020*, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, 2020.

[21] R. E. Rockwood Iglesias y L. E. Ordoñez Mora, *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos de bombeo eléctricos del sistema contraincendios del hotel Four Points by Sheraton de la ciudad de Cuenca*, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11706>

[22] M. A. Segura Domínguez y R. I. López Pagalo, “Diseño de un sistema hidráulico de extinción contra incendios en base a la normativa NFPA para una industria láctea de la ciudad de Guayaquil,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21066/1/UPS-GT003422.pdf>

- [23] E. D. Tapia Egas, “Evaluación de las condiciones de seguridad contra incendios y propuesta del sistema de supresión y detección de incendios para empresa RTM Internacional,” Tesis de Maestría, Universidad Internacional SEK, Facultad de Seguridad y Salud Ocupacional, Quito, Ecuador, 2022.
- [24] R. E. Rockwood Iglesias y L. E. Ordóñez Mora, *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos de bombeo eléctricos del sistema contra incendios del hotel Four Points by Sheraton de la ciudad de Cuenca*, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11706>
- [25] J. Hart, “Pruebas de bombas contra incendios sin flujo semanales o mensuales,” *National Fire Protection Association (NFPA)*, 09-sep-2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.nfpa.org/es/news-blogs-and-articles/blogs/2022/09/09/weekly-or-monthly-no-flow-churn-tests-of-fire-pumps>
- [26] P. Alavian, Y. Eun, K. Liu, S. M. Meerkov, y L. Zhang, “The (ϵ, δ) -Precise Estimates of MTBF and MTTR: Definitions, Calculations, and Effect on Machine Efficiency and Throughput Evaluation in Serial Production Lines,” University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA. [En línea]. Disponible en: https://web.eecs.umich.edu/~smm/publications/MTBF/MTBF_and_MTTR_011619_ForWeb.pdf
- [27] National Institute of Standards and Technology (NIST), *Inspection, Testing, and Maintenance of Fire Protection & Life Safety Systems*, NIST S 7401.02, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.nist.gov/document/nist-s-7401-02itm-fire-protection-and-life-safety-systems042221pdf>
- [28] P. Tuset Peiró, “El Internet de las Cosas en la Industria: el mantenimiento predictivo,” *Universitat Oberta de Catalunya (UOC)*, 21-ene-2019. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.uoc.edu/informatica/es/la-aplicacion-del-internet-de-las-cosas-en-el-ambito-de-la-industria-el-mantenimiento-predictivo/>
- [29] C. A. Petersen Ramírez, *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo basado en la norma NFPA 25 para el sistema hidráulico contra incendio de la UPS sede Guayaquil*, Tesis de grado, Univ. Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11268>

ANEXO

Plan de mantenimiento preventivo

1. Introducción

El mantenimiento preventivo en los sistemas de bombeo contra incendios es esencial para garantizar su operación eficiente y confiable en situaciones de emergencia. Este plan se basa en las normativas NFPA 20 y NFPA 25, las cuales establecen los estándares mínimos para la instalación, inspección y mantenimiento de bombas contra incendios.

Este documento proporciona un enfoque sistemático para la planificación, ejecución y seguimiento del mantenimiento, asegurando la seguridad de las instalaciones y la protección del personal.

2. Objetivo del Plan

Este plan tiene como objetivo establecer una guía estructurada de mantenimiento preventivo para cuartos de bombas en sistemas contra incendios, asegurando su óptimo funcionamiento. Se busca:

- Reducir fallas operativas y costos de mantenimiento correctivo.
- Garantizar la seguridad de instalaciones industriales y comerciales.
- Cumplir con los estándares internacionales NFPA 20 y NFPA 25.
- Prolongar la vida útil de los equipos de bombeo.
- Optimizar la eficiencia operativa mediante tecnología y monitoreo predictivo.

3. Alcance

Este plan es aplicable a todos los sistemas de bombeo contra incendios, incluyendo:

- Bombas eléctricas y diésel
- Sistemas de tuberías, válvulas y accesorios
- Paneles de control y sistemas eléctricos
- Sensores de monitoreo y equipos de seguridad

Se adapta a entornos industriales, comerciales y de infraestructura pública, estableciendo protocolos de mantenimiento basados en la frecuencia de uso y criticidad del sistema.

4. Equipo Mínimo Requerido para el Mantenimiento

Para la ejecución del plan de mantenimiento se requiere contar con herramientas y equipos específicos que permitan la inspección, prueba y mantenimiento de los cuartos de bombas.

N°	Equipo / Herramienta	Especificaciones Técnicas	Uso en el mantenimiento
1	Multímetro Digital	Rango de voltaje: 0-1000V, corriente: 0-10A, resistencia: 0-20MΩ	Medición de voltajes y continuidad en tableros eléctricos, asegurando el correcto funcionamiento del sistema eléctrico de la bomba.
2	Termómetro Infrarrojo	Rango de temperatura: -50°C a 650°C, precisión ±1.5%.	Evaluación térmica de motores y tableros eléctricos, permitiendo la detección temprana de sobrecalentamientos.

3	Medidor de Vibraciones	Sensibilidad: 10 Hz - 1 kHz, rango: 0-20 mm/s RMS.	Monitoreo de condiciones mecánicas en motores y bombas para prevenir fallas por desalineación o desgaste de componentes.
4	Manómetros de Prueba	Rango de presión: 0 a 300 PSI.	Medición de presión en succión y descarga de la bomba, verificando que los parámetros estén dentro de los rangos óptimos.
5	Caudalímetro Ultrasónico	Precisión $\pm 1\%$, flujo: 0-5000 m ³ /h.	Evaluación del caudal en pruebas de rendimiento, asegurando que la bomba suministre el flujo de agua adecuado para la protección contra incendios.
6	Tacómetro Láser	Rango de medición: 10-100,000 RPM.	Medición de la velocidad de rotación de motores, detectando posibles anomalías en su funcionamiento.
7	Llaves de Torque	Rango: 5-300 Nm.	Ajuste de tornillería en componentes críticos de la bomba para evitar fugas o fallas por desajustes.
8	Batería de Reemplazo	Capacidad: 150 Ah.	Sustitución en sistemas diésel para garantizar la operatividad de los motores de arranque de la bomba en caso de emergencia.
9	Filtros de Combustible y Aceite	Según fabricante.	Mantenimiento de motores diésel, asegurando la limpieza del combustible y la lubricación adecuada del sistema.

5. Procedimiento de Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se estructura en inspecciones diarias, semanales, mensuales, trimestrales y anuales, alineadas con la NFPA 25.

1.1. Inspecciones Diarias

Objetivo: Garantizar la operatividad del sistema.

Actividades:

- Verificación de **presión del sistema** en los manómetros.
- Inspección de **fugas, corrosión o daños** en tuberías y bombas.
- Revisión de **paneles de control** y alarmas activas.

1.2. Inspecciones Semanales

Objetivo: Evaluar el funcionamiento operativo.

Actividades:

- Prueba de bomba **sin flujo** durante **30 min (diésel)** o **10 min (eléctrica)**.
- Inspección del **nivel de combustible** en bombas diésel.

1.3. Inspecciones Mensuales

Objetivo: Evaluar la funcionalidad de los componentes auxiliares.

Actividades:

- Inspección de **válvulas de control y alivio**.

- Revisión de **conexiones eléctricas y mecánicas**.

1.4. Inspecciones Trimestrales

Objetivo: Asegurar la eficiencia del sistema.

Actividades:

- Prueba de **flujo** con medición de presión diferencial.
- Lubricación de **rodamientos y engranajes**.

1.5. Inspecciones Anuales

Objetivo: Verificar el rendimiento del sistema.

Actividades:

- **Prueba de desempeño** con diferentes cargas de flujo (0%, 50%, 100%, 150%).
- **Cambio de aceite y filtros** en motores diésel.

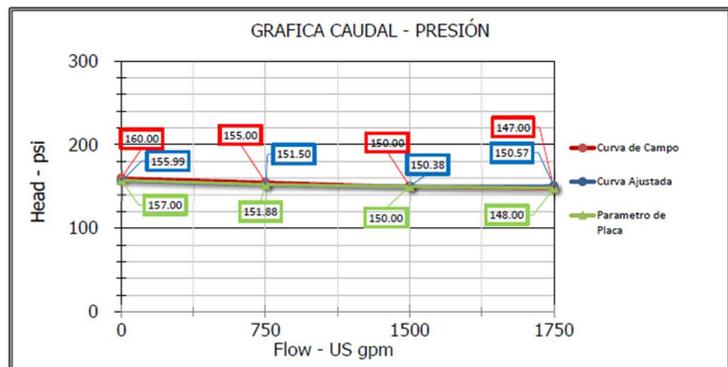
6. Curva de eficiencia de una bomba contra incendios.

Uno de los procesos de para detectar el cumplimiento de las bombas contra incendios es realizar la curva de eficiencia con el fin demostrar que el equipo y sus componentes cumplen con el diseño y los parámetros del fabricante, en este proceso los equipos que operan dentro del cuarto de bombas (motobomba y sus periféricos) se someten serie de cargas de trabajo con el fin de obtener una curva de eficiencia, las cargas de operación son a caudal 0%, 50%, 100%, 150% de su operación, esta tarea se realiza flujo cerrado y debe de realizar año a año con el fin identificar variaciones de operación irregular de algún componente.

Curva de resultados de prueba de Motobomba

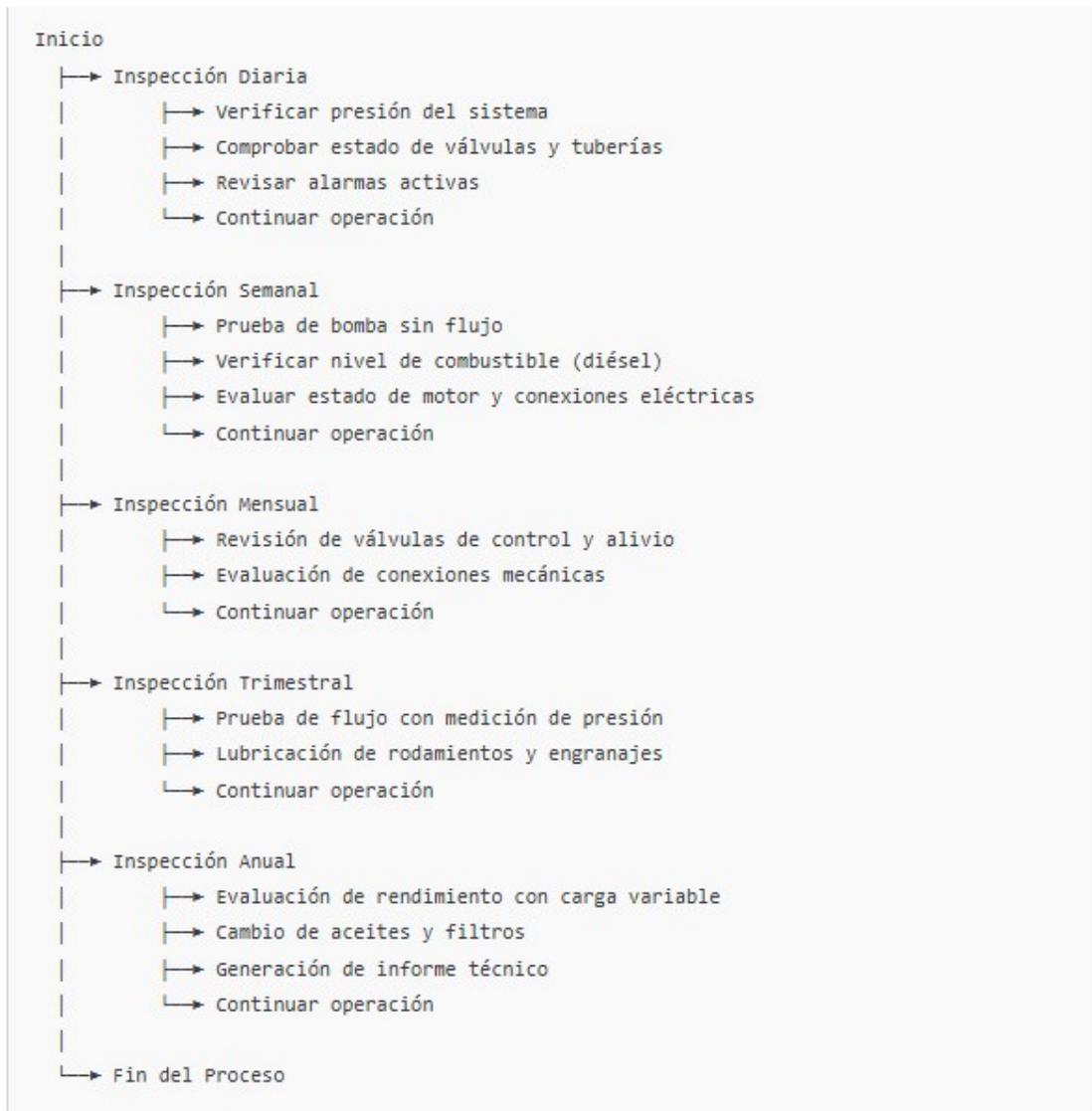
CURVA - RESULTADO DE PRUEBA							CAPITANIA DEL PUERTO CONTECON	
							5/12/2024	
Flujo %	Curva de Campo		Parametro de Placa		Curva Ajustada		RPM	
	Caudal	Presión	Caudal	Presion	Caudal	Presión		
0%	0	160.00	0	157.00	0	155.99	2380	
50%	750	155.00	750	151.88	750	151.50	2377	
100%	1500	150.00	1500	150.00	1500	150.38	2347	
117%	1750	147.00	1750	148.00	1750	150.57	2322	

SERIAL NUMBER : 62305960 MODEL: HC250-200



7. Flujograma del Mantenimiento Preventivo

Este **flujograma operacional** muestra la secuencia de actividades desde la inspección hasta la validación del mantenimiento.



8. Registro y Documentación

Formatos a utilizar:

- Checklists de inspección
- Registro de pruebas de desempeño
- Historial de mantenimiento
- Informe de fallas y acciones correctivas

9. Recomendaciones:

- **Capacitación especializada del personal técnico**

Asegurar que el personal encargado de la operación y mantenimiento de los sistemas contraincendios reciba formación continua en normativas NFPA, protocolos de respuesta ante emergencias, y procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo.

- **Implementación de monitoreo remoto basado en IoT**
Integrar sensores inteligentes y plataformas IoT para habilitar el mantenimiento basado en condición (CBM), permitiendo la detección temprana de desviaciones operativas, análisis de tendencias y generación de alertas en tiempo real.
- **Automatización de la gestión mediante software especializado**
Utilizar sistemas SCADA o plataformas CMMS (Computerized Maintenance Management System) que permitan visualizar el estado operativo de los equipos, registrar eventos, generar reportes técnicos y facilitar la toma de decisiones basada en datos.
- **Uso de equipos certificados y calibrados**
Garantizar que todos los instrumentos de medición utilizados en pruebas hidráulicas, eléctricas y de presión estén debidamente certificados y calibrados, asegurando precisión en los datos y cumplimiento con estándares internacionales. equipos certificados y calibrados para mediciones precisas.

10. Conclusión:

La correcta ejecución de este plan garantizará la seguridad y operatividad de los sistemas de bombeo contra incendios, alineándose con las normativas internacionales. La guía propuesta representa un aporte significativo para la estandarización y mejora continua en la gestión de cuartos de bombas, alineándose con normativas internacionales como NFPA 20 y NFPA 25, y buenas prácticas de ingeniería.

La implementación del modelo sugerido podría reducir hasta en un 40% la ocurrencia de fallas críticas, gracias a la incorporación de controles técnicos, protocolos de mantenimiento preventivo y criterios de diseño que favorecen la confiabilidad operativa.

El enfoque estructurado permite una optimización integral de los recursos técnicos, logísticos y humanos, incrementando la disponibilidad del sistema en situaciones de emergencia. Esto es esencial, considerando que el propósito fundamental de los sistemas contraincendios es salvaguardar la vida de las personas y proteger los activos físicos de la organización.