

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO, DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM, ASISTIDO POR HERRAMIENTA DIGITAL, OPERADO POR LA EMPRESA ENARFIRE CONSULTING SAS.

WALTER ALEJANDRO DUARTE ROJAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – SECCIONAL TUNJA  
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA

2021

1

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO, DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM, ASISTIDO POR HERRAMIENTA DIGITAL, OPERADO POR LA EMPRESA ENARFIRE CONSULTING SAS.

WALTER ALEJANDRO DUARTE ROJAS

Informe final de pasantía

Para optar por el título de ingeniero mecánico

Directores:

Ing. Edwin Torres Díaz

Ing. Saúl Andrés Hernández Moreno

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – SECCIONAL TUNJA

DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA

2021

2

Nota de aceptación:

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## DEDICATORIA

A la memoria de Pedro Ignacio Rojas Torres, Q.E.P.D, mi abuelo materno, quien fue un gran apoyo en los momentos más difíciles, y un eje central para seguir adelante.

## AGRADECIMIENTO

Primero, mis padres Walter y Cristina, quienes estuvieron conmigo durante el trayecto de mi vida universitaria; a mi hermano Andrés Felipe, quien vio en mí un ejemplo a seguir; a mis abuelos paternos, Hugo y María, quienes me aconsejaban y me desean siempre lo mejor; a mi abuela materna Luz, quien fue una luz de esperanza en los momentos difíciles.

También agradezco a Rocío, que siempre está conmigo apoyándome a lo largo de este proyecto, y a Pablo, por permitirme implementar este trabajo y por su liderazgo.

## Contenido

RESUMEN.....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO TEÓRICO.....	19
4.1. MARCO LEGAL.....	19
4.2. MARCO HISTÓRICO.....	20
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	21
4.3.1. ¿Qué es el mantenimiento? .....	21
4.3.2. Evolución del mantenimiento.....	22
4.3.3. Tipos de mantenimiento .....	24
4.3.4. RCM (Reliability Centered Maintenance).....	26
4.3.5. Redes contra incendios .....	32
5. METODOLOGÍA .....	42
5.1. DESARROLLO DE LA PASANTÍA .....	42
5.1.1. Cotización de insumos y materiales: .....	42
5.1.2. Puesta en sitio de insumos y materiales:.....	42
5.1.3. Coordinación de personal de acuerdo a la actividad: .....	42
5.1.4. Acompañamiento y supervisión en actividades programadas: .....	43
5.1.5. Realización de informes: .....	44
5.2. CRITERIOS NORMATIVOS .....	45
5.2.1. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente – título J: Requisitos de protección contra incendios en edificaciones. ....	45
5.2.2. NFPA 20: Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios.....	47

5.2.3.	NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua. Capítulo 8. Bombas contra incendios .....	50
5.2.4.	NTC – ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad .....	51
5.3.	IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS.....	52
5.3.1.	Edificio residencial y comercial en occidente de Bogotá.....	52
5.4.	ANÁLISIS FUNCIONAL .....	56
5.4.1.	Acciones preventivas .....	64
5.4.2.	Acciones proactivas .....	64
5.4.3.	Acciones predictivas.....	64
5.4.4.	Acciones correctivas .....	64
5.5.	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	65
5.5.1.	Formato de Codificación de equipos .....	65
5.5.2.	Formato de inventario de equipos .....	65
5.5.3.	Formato de ficha técnica de equipos .....	66
5.5.4.	Formato de matriz de criticidad .....	66
5.5.5.	Formato de procedimiento de mantenimiento.....	67
5.5.6.	Formato de rutina de lubricación .....	67
5.5.7.	Formato de hoja de vida.....	67
5.5.8.	Formato de requerimiento de mantenimiento (solicitud de trabajo) ...	68
5.5.9.	Formato de orden de trabajo .....	68
5.5.10.	Formato de calendario general .....	68
5.5.11.	Formato de Árbol de fallas por metodología RCM.....	68
5.5.12.	Formato de gestión de insumos .....	69
5.5.13.	Catálogo .....	69
5.5.14.	Normativa .....	69
6.	CONCLUSIONES .....	71
7.	RECOMENDACIONES .....	72
8.	REFERENCIAS.....	73
9.	ANEXOS .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas características de fallos .....	22
Figura 2 Evolución del mantenimiento .....	23
Figura 3. diagrama de Ishikawa .....	30
Figura 4. Diagrama PHVA .....	32
Figura 5. Ilustración del triángulo de fuego .....	33
Figura 6. Bomba de tipo turbina vertical.....	35
Figura 7. rodete y carcasa de boba con ejes helicoidales .....	37
Figura 8. Curva de potencias de motor típicas .....	39
Figura 9. Control automático de la bomba principal .....	40
Figura 10. Válvula de alivio de circulación .....	41
Figura 11. clasificación de edificaciones para instalación de detectores .....	46
Figura 12. Sistemas de protección contra incendios alternos .....	47
Figura 13. curvas características de las bombas .....	48
Figura 14. Ocupaciones del edificio .....	52
Figura 15. Diagrama de flujo de plan de MTTO .....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normas para protección contra incendios .....	19
Tabla 2. Peso de tubería de columna de la bomba (mm).....	36
Tabla 3. tabla de identificación de equipos .....	55
Tabla 4. identificación de fallas de componentes de incendios .....	58
Tabla 5. Probabilidad de ocurrencia de fallas .....	58
Tabla 6. Factores de severidad.....	58
Tabla 7. Medio ambiente .....	59
Tabla 8. Fallos ocultos .....	59
Tabla 9. Seguridad física .....	59
Tabla 10. Efectos en clientes .....	60
Tabla 11. Imagen corporativa .....	60
Tabla 12. Costos de reparación .....	60

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A1. Componentes de una bomba tipo turbina vertical .....	75
Anexo A2. Conformación de cuarto de bombas .....	76
Anexo A3. Tabla de frecuencia de inspección de cuarto de bombas .....	76
Anexo A4. Tabla de frecuencia de pruebas de cuarto de bombas .....	77
Anexo A5. Tabla de frecuencia de mantenimiento de cuarto de bombas.....	77

## GLOSARIO

- **Inspección:** Es un examen visual de un sistema o parte de este, cuyo fin es verificar si aparenta estar en condiciones operativas y sin daños físicos (National Fire Protection Association, 2020)
- **FM: (Factory Mutual).** Grupo conformado por compañías aseguradoras del riesgo de incendio, el cual propende por la disminución del riesgo de incendio, el cual tiene sus propios estándares para aprobación de diseños, montajes, sistemas, equipos y accesorios para protección contra incendio. (National Fire Protection Association, 2020)
- **Listado:** Equipamiento, materiales o servicios incluidos en una lista publicada por una organización aceptable para la autoridad competente y a cargo de la evaluación de productos y servicios, que mantiene inspección y evaluación periódica y cuyo listado establece que cumplen con los estándares apropiados designados para un propósito especificado.
- **Mantenimiento correctivo:** Consiste en la realización de actividades destinadas corregir defectos y solucionar fallas, en este caso se espera a que ocurra el problema para brindar la solución adecuada. (Gestión y planificación del mantenimiento industrial, 2018)
- **Mantenimiento predictivo:** Es aquel encargado de recopilar y analizar información que permita determinar el momento y lugar adecuado para efectuar tareas de mantenimiento preventivo, conociendo e informando permanentemente el estado del equipamiento de planta, lo cual requiere contar con instrumentos adicionales que permitan adquirir dicha información, sin embargo, reduce costos al hacer un uso eficiente de los recursos. (Gestión y planificación del mantenimiento industrial, 2018)
- **Mantenimiento preventivo:** Conformado por el conjunto de actividades que buscan anticiparse a la ocurrencia de una avería o falla; estas actividades son planificadas en el tiempo y lugar buscando fortalecer puntos frecuentes de falla. Localizando vulnerabilidades, reemplazando componentes antiguos o desgastados. (Gestión y planificación del mantenimiento industrial, 2018)
- **NFPA:** National Fire Protection Association. Organismo de Estados Unidos que estandariza entre otros la especialidad de protección contra incendios. Sus normas son acogidas a nivel nacional para usarse como referencia técnica. (National Fire Protection Association, 2020)
- **Prueba:** Es un procedimiento el cual se usa para determinar el estado operativo de un componente o sistema mediante verificaciones físicas periódicas, tales como pruebas de flujo de agua, pruebas de bombas contra incendios, pruebas de alarmas y pruebas de activación de válvulas de tubería

seca, de diluvio o de acción previa. (National Fire Protection Association, 2020)

- **Sistema contra incendios:** Un sistema contra incendios está diseñado para detectar la presencia no deseada de fuego, mediante la supervisión de los cambios ambientales asociados con la combustión (National Fire Protection Association, 2020)
- **UL (Underwriters Laboratories):** Es una compañía de seguridad, que, en el caso de sistemas de protección contra incendios, certifica el funcionamiento e tuberías, accesorios, y equipos y garantiza que sean aptos para cumplir con dicho trabajo durante un conato (National Fire Protection Association, 2020).

## RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo, la elaboración de un plan de mantenimiento, basado en la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance), e implementarlo en la empresa ENARFIRE CONSULTING SAS, 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, que están relacionado con este tema. A su vez, se reforzó con tesis que trabajan la metodología RCM, que se consultaron 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 elaboró 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, a través de un caso de estudio propuesto, analizando los resultados arrojados.

**Palabras clave:** Mantenimiento, protección contra incendios, normativa, RCM

## ABSTRACT

This report aims to prepare a maintenance plan based on RCM (Reliability Centered Maintenance) methodology, and implement on ENARFIRE CONSULTING SAS, an enterprise specialized in fire protection engineering.

For this labor, it was necessary apply a normative research phase, where it finds different codes as NFPA, NSR-10 and NTC, where they settled the necessary requirements on the fire protection, with the support of papers, related with this topic. At this time, it was reinforced with thesis that deal the RCM subject, consulted on Universidad Industrial de Santander (UIS) database, and RCM book by John Moubray.

From the above, a maintenance plan is prepared, where settled a format series that describe step by step the mentioned procedure, focused in fire protection, in favor of reduction of material and human affectations, through a case study, analyzing the results.

**Keywords:** Maintenance, Fire protection, normative, RCM

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una actividad enfocada en la revisión de la operación de diferentes elementos o sistemas. Para esto, se han creado 4 tipos de mantenimiento los cuales son: preventivo, correctivo, predictivo y autónomo (Moubray, 2004). En lo respecta a la protección contra incendios, suelen ser usados los dos primeros, debido a que, inicialmente se verifica el funcionamiento del sistema en cuestión, y si se encuentra alguna falla o inconsistencia, se procede a planificar lo que requiere para su optimización.

No obstante, existe un desconocimiento de la normativa de sistemas de protección contra incendios, a nivel nacional; conllevando a que tampoco se considere un correcto procedimiento de mantenimiento de estos, convirtiéndolos a través del tiempo, en mecanismos obsoletos, debido a que no se garantiza su vida útil y, por lo tanto, cuando se presenta un conato de incendio, no se pueda hacer uso de los mismos, ocasionando pérdidas humanas y de bienes materiales. Además, haciendo una revisión bibliográfica, no se cuenta con el registro de procedimientos de mantenimiento en Colombia.

A partir de lo anterior, el presente informe de pasantía, busca dar a conocer un plan de mantenimiento enfocado a sistemas de protección contra incendios, desarrollado a partir de un caso de estudio, y bajo la creación de formatos para el manejo de la información suministrada. Además, se pretende que dichos formatos sean usados para los próximos procedimientos.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La gestión de mantenimiento es uno de los procesos más importantes de la ingeniería, y gracias a esto, se puede optimizar las técnicas de operación de diversos mecanismos y sistemas, debido a que, desde la entrada en acción, es necesario asegurar la vida útil para lograr obtener los resultados esperados.

La importancia de tener una buena gestión de mantenimiento en torno a la función empresarial, es gracias a que es un modo seguro de garantizar la disponibilidad del sistema de protección contra incendios, establecido con la NFPA 25, y a su vez, hacer un debido control de los costos del mismo durante el tiempo de vida útil o período de uso.

La empresa ENARFIRE CONSULTING SAS se dedica a suministrar servicios de ingeniería de protección contra incendios, entre ellos, planes de inspección, prueba y mantenimiento, desde hace más de 6 años, por lo cual, aún operan con formatos pre-operacionales que, al realizarse de manera manual, no garantiza la fiabilidad y ocasiona retrasos, debido a la digitalización de los mismos.

Como consecuencia, no se asegura con un tiempo establecido para la culminación de los procesos de mantenimiento, y con esto, dar a conocer el control del estado operativo de los sistemas en cuestión.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Los beneficios que se pueden obtener al realizar un plan de mantenimiento son muy diversos, tanto en el ámbito laboral, como productivos, debido a que el mantenimiento y la seguridad industrial van de la mano. Por tanto, permite facilitar la búsqueda y corrección de fallas, aumentando la fiabilidad y disponibilidad de los sistemas contra incendios, y con esto, lograr resultados operacionales, marcar un antes y un después en la batalla contra costos y tiempo de la ejecución de proyectos.

Aparte de esto, pueden mejorarse la calidad y expectativas de los procedimientos de mantenimiento, además de dar tratamiento de prevención efectivo. Por lo tanto, se pretende implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo a sistemas de protección contra incendios, que sea asistido por un software existente en el mercado, operado por ENARFIRE CONSULTING SAS.

Para efectuar tal procedimiento, es necesario establecer técnicas que determinen fallas e identificar su criticidad, y con ello, anticipar fallas por medio del método de RCM (Reliability-Centered Maintenance) que, a su vez, conserve la confiabilidad y disponibilidad del sistema en cuestión.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, de sistemas de protección contra incendios basado en la metodología RCM, asistido por herramienta digital, operado por la empresa ENARFIRE CONSULTING SAS.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir criterios de mantenimiento de sistemas de protección contra incendios, contemplados en las normas NFPA, NSR-10 y NTC.
- Identificar los sistemas y subsistemas del área de detección y extinción de incendios de una edificación de uso mixto, ubicado en la zona franca del occidente de Bogotá, como caso de estudio.
- Determinar el método de operación con el que cuenta los sistemas encontrados y evaluar la criticidad, para establecer cuales generan mayor impacto operacional.
- Establecer un plan de mantenimiento según la metodología RCM que busque mejorar la confiabilidad de los sistemas de protección contra incendios y seleccionar la herramienta digital idónea que se ajuste a los requerimientos.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. MARCO LEGAL

En lo referente, se mostrará la siguiente reglamentación que aplican y regulan los sistemas de protección contra incendios en el territorio nacional.

*Tabla 1. Normas para protección contra incendios*

CLASE	N°	AÑO	DESCRIPCIÓN
Reglamento	NSR 10 Títulos J y K	2010	Presentar requisitos mínimos que, en alguna medida, garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar vidas humanas.
Ley	400 (modificación, ley 1229 de 2008)	1997	Establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas.
Decreto	926	2010	Realiza actualizaciones en aspectos técnicos y científicos a la normativa sismo resistente, que resulten pertinentes.
Norma	NTC-ISO 55001	2015	Especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión de activos
Norma	NTC-ISO 9001	2015	Emplea el enfoque a procesos que involucra el ciclo Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) y el pensamiento basado en riesgos
Norma	NFPA 20	2019	Establece criterios para minimizar los riesgos durante la instalación y operación de bombas
Norma	NFPA 25	2020	Establece los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento periódicos de los sistemas de protección contra incendios a base de agua.
Norma	NFPA 37	2021	Establece criterios para reducir al mínimo los riesgos de incendio durante la instalación y operación de motores de combustión y turbinas de gas

Norma	NFPA 72	2019	Emplea el enfoque en la aplicación, instalación, ubicación, desempeño, inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de alarmas de incendios, supervisando sistemas de estaciones de alarmas, sistemas de reporte de alarmas en emergencias públicas, equipos de detección y notificación de fuego y monóxido de carbono y sus componentes
-------	---------	------	---

#### 4.2. MARCO HISTÓRICO

Dos siglos atrás, en el siglo XIX, la ocurrencia de diversos grandes incendios que llegaron incluso a destruir grandes ciudades, generó una seria preocupación de la sociedad y sus gobernantes por la protección contra incendios (Vigara, 2019).

Quizá el hito técnico más relevante, en el desarrollo de la ingeniería de protección contra incendios, sucedió durante la segunda mitad del siglo XIX y fue la invención del **sprinkler (1ª patente en 1812)** que da lugar al primer concepto de la **protección automática contra incendios**. Posteriormente se desarrollaron los detectores automáticos de incendio, nuevos agentes extintores para la lucha contra incendios en combustibles líquidos o en equipos bajo tensión eléctrica, tales como la espuma química y física, el anhídrido carbónico, los halones, los agentes limpios, etc. (Vigara, 2019).

La prestigiosa asociación normalizadora la National Fire Protection Association, **NFPA**, fue fundada en 1896. En los años 1950's se desarrolla el conocimiento científico del origen y desarrollo de los incendios, ("**Fire Dynamics**"), y con ello el concepto de la ingeniería de protección contra incendios, como una especialidad con entidad propia dentro del mundo de la ingeniería (Vigara, 2019).

Al mismo tiempo nace la Society of Fire Protection Engineere, **SFPE**, como entidad separada de NFPA. Y la especialidad de ingeniería de protección contra incendios se empieza a cursar en diversos países anglosajones. La legislación en materia de PCI ha sido tradicionalmente de naturaleza **prescriptiva**. En función de unos criterios objetivos, uso del edificio, altura, ocupación, etc., se establecen unos requisitos de protección, número de extintores, mangueras, detectores, extinción automática, compartimentación, control de humos, etc. Los códigos prescriptivos no incluyen bases técnicas que justifiquen o permitan evaluar la eficacia o fiabilidad final de las medidas requeridas (Vigara, 2019).

Para el técnico, ingeniero o arquitecto, que traslada a un proyecto los requisitos legales establecidos en las normas, resulta difícil, cuando no imposible, determinar cuán seguro es un edificio en función del conjunto de medidas establecidas en el mismo, quedando limitado a asegurar que según su criterio "**el edificio cumple el reglamento**" (Vigara, 2019).

Estas circunstancias han propiciado un marco con mayor tendencia al “**cumplimiento formal**”, que al diseño de una protección razonablemente eficaz y fiable (Vigara, 2019).

Por otro lado, la ciencia de la seguridad contra incendios ha evolucionado en el mundo de forma muy relevante durante las últimas décadas, principalmente en los países anglosajones, y al día de hoy, el ingeniero profesional de protección de incendios, dispone de los conocimientos necesarios para analizar científicamente el comportamiento del fuego, permitir la predicción de la evolución de los incendios, evaluar cómo interactúan las más avanzadas tecnologías disponibles para la prevención y mitigación de los mismos (Vigara, 2019).

En los últimos años, la evolución de los avances y herramientas de la ingeniería de PCI, en sus ámbitos científicos y de regulación profesional, se ha incorporado a los diversos reglamentos y normas internacionales, de forma que el técnico que debe aplicarlos puede optar por la vía puramente prescriptiva o bien por el **diseño prestacional**, asumiendo las condiciones exigidas en los códigos (Vigara, 2019).

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

#### 4.3.1. ¿Qué es el mantenimiento?

A partir de lo indicado por González Fernández (2003), el *mantenimiento industrial* es un campo de la ingeniería de gran interés y con amplia repercusión económica, tal como justifica el hecho de que en las sociedades industriales, el costo del mantenimiento constituyen un porcentaje apreciable en su PIB<sup>1</sup>.

Se entiende por mantenimiento al conjunto de tareas que involucran una trazabilidad, que llevan a la prolongación de la vida útil de los equipos, integrando la seguridad de los operarios, el cuidado del medio ambiente y la alta calidad de los procesos de producción.

---

<sup>1</sup> PIB: Producto Interno Bruto

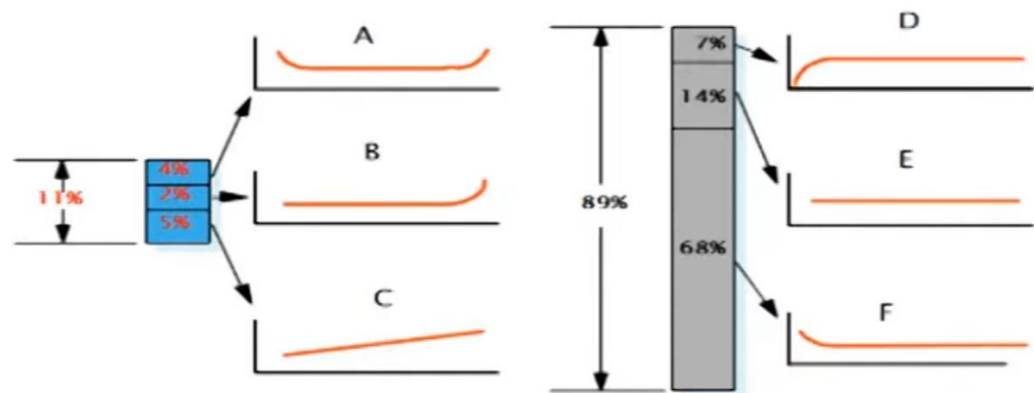


Figura 1. Curvas características de fallos

Fuente: RCM II. John Moubray

#### 4.3.2. Evolución del mantenimiento

Con base en el fundamento de Moubray (2004), el mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

De igual manera, Moubray (2004) explica que, estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuanto se hayan computarizado.

Por otro lado, según lo argumentado por Aguirre y Bravo<sup>2</sup>, desde la revolución industrial las empresas han venido buscando la manera de producir bienes de la manera más rápida y mejor con el menor costo posible, en términos generales se ha establecido 3 etapas o generaciones a través de la historia las cuales se ha visto la evolución del mantenimiento hacia las técnicas que hoy en día se manejan a nivel mundial.

<sup>2</sup> Aguirre Rodríguez, Ángela; Bravo Zúñiga, David Antonio; "DISEÑO Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE RCM PARA LA PLANTA DE ASFALTO DE CONALVIAS EQUIPOS UBICADA EN LA REGIONAL DEL PLATO MAGDALENA" Monografía de grado, Bucaramanga, 2015

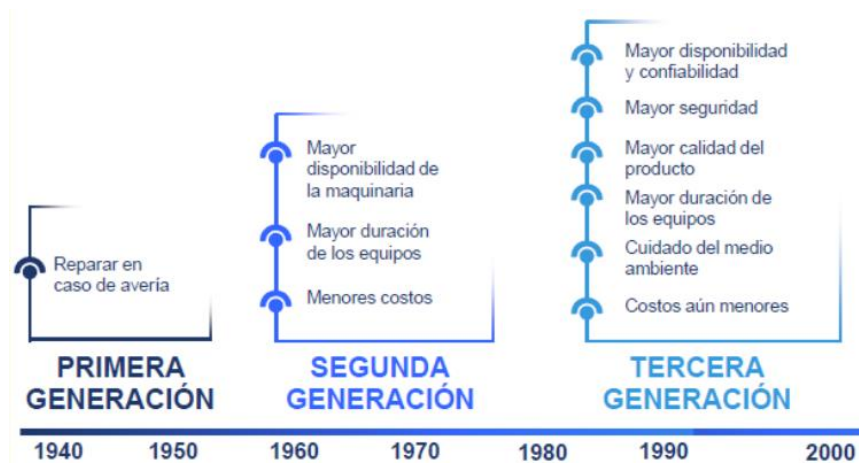


Figura 2 Evolución del mantenimiento

Fuente: RCM II, John Moubray

#### 4.3.2.1. Primera generación

La primera generación del mantenimiento, se establece desde la creación de máquinas en la revolución industrial, según algunos autores, y se extiende hasta antes de la segunda guerra mundial; esta primera etapa limitadamente constó de un mantenimiento correctivo, es decir, los dispositivos eran reparados cuando estos fallaban.

En ese momento, los procesos de producción no eran altamente mecanizados, por lo que era bastante común las paradas de las máquinas, que no se le daba importancia a este suceso. Debido a que las empresas se enfocaban únicamente en la producción, y esto tenía como consecuencia una cadena de defectos y desperfectos, donde era necesario el cambio de maquinaria por culpa de esas falencias.

Fue una etapa donde las labores de mantenimiento eran precarias en la adquisición de herramientas y repuestos de calidad y el transporte de estos eran de difícil acceso.

Con base en Moubray (2004), como resultado, no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

#### 4.3.2.2. Segunda generación

En esta etapa, se aumentó la mecanización en las industrias, y se produjeron despidos de personal, debido a la presión ejercida en

los tiempos de la segunda guerra mundial, obligó a las empresas a satisfacer la demanda de bienes de manera más rápida, pero al tiempo iba cayendo la cantidad de empleados industriales. Esto causaba que la maquinaria estuviera funcionando mucho más tiempo del debido, y por esto, los fabricantes, o por intuición de los empleados, comenzaron a establecer períodos de tiempo medido por horas, kilometraje, entre otras medidas, dando a conocer el concepto de mantenimiento preventivo. Desde este punto, los costos de mantenimiento de las máquinas aumento de manera exponencial y acelerada, con respecto a otras labores operacionales. Como consecuencia de lo anterior, se empezaron a ejecutar sistemas de control y planeación de mantenimiento, lo que maximizó la vida útil de los activos.

#### **4.3.2.3. Tercera generación**

A partir de este punto, en la década de 1970, las empresas buscaban un equilibrio de costo-disponibilidad, para mejorar las tareas de mantenimiento, que sea mucho más rentable, involucrando nuevas tecnologías. Esto generó una gran cantidad de nuevas técnicas, donde se usaban sistemas de información, y monitoreo a los equipos, tales como la TPM<sup>3</sup>, mantenimiento basado en la condición y la RCM<sup>4</sup>, las cuales demuestran un avance en la eficacia, aumentando la disponibilidad de los bienes/activos de la organización.

#### **4.3.3. Tipos de mantenimiento**

Según la tesis de Aguirre y Bravo (2015), para mantener un equipo de producción operativo y confiable, se hace indispensable establecer un conjunto de técnicas y actividades que garanticen el funcionamiento de los equipos y a su vez ayuden a disminuir los costos indirectos por pérdida de producción como costos directos del mantenimiento por una intervención inesperada.

De igual modo, Aguirre y bravo (2015), estableen que siendo el objetivo fundamental del mantenimiento, el alcance de un número determinado de horas trabajadas del equipo con las características y calidad de fabricación a un costo mínimo y máxima seguridad para el personal que lo opera, motivo por el cual se hace mención a cuatro tipos de mantenimiento siendo estos los más reconocidos

---

<sup>3</sup> Total Productive Maintenance, por sus siglas en inglés, mantenimiento productivo total

<sup>4</sup> Reliability Centered Maintenance, por sus siglas en inglés, Mantenimiento Centrado en la confiabilidad

#### **4.3.3.1. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento está estructurado por una serie de pasos que evitan o reducen el número de fallas de un equipo o dispositivo cuando está en operación. Está compuesto por la revisión e inspección de cualquier herramienta para prevenir averías para corregir en el menor tiempo posible.

Cabe resaltar que este tipo de mantenimiento necesita de una matriz de criticidad, para analizar el tipo de fallo antes de que este ocurra y ayude a programar las actividades.

#### **4.3.3.2. Mantenimiento predictivo**

Es un conjunto de etapas que se encargan de revisar variables internas o externas que están unidas a la operación del equipo, donde diagnostican el comportamiento logran detectar fallas de manera temprana.

Este tipo de mantenimiento se basa en parámetros del fabricante del equipo, los cuales pueden ser: analizadores de gases, análisis de vibración, de aceites, entre otros.

#### **4.3.3.3. Mantenimiento correctivo**

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla<sup>5</sup>.

El mantenimiento correctivo está basado en reparar una falla de un equipo o maquinaria cuando esta se presenta de forma fortuita, no planeada y se debe realizar una parada de emergencia para evitar pérdidas en la producción de bienes.

#### **4.3.3.4. Mantenimiento autónomo**

El mantenimiento autónomo es un enfoque integral el cual se centra en la mejora de la productividad en una organización, alcanzando una alta eficiencia en la operación, donde evita pérdidas económicas, accidentes y fallos en el tiempo productivo.

Este tiene como objetivo, la cooperación entre operarios y directores de mantenimiento, donde se comparten responsabilidades en una labor de mantenimiento.

---

<sup>5</sup> Carlos Borrás Pinilla. Principios de mantenimiento. Bucaramanga

#### **4.3.4. RCM (Reliability Centered Maintenance)**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología que establece un plan de mantenimiento que permita analizar los fallos potenciales que pueda tener un mecanismo, con acciones preventivas y pueden incidir en el funcionamiento de este. Este método tiene como objetivo alcanzar de manera eficiente los requerimientos de seguridad, la disponibilidad de los equipos la mejora de la economía de la operación.

##### **4.3.4.1. Objetivos del RCM**

- Aumentar la disponibilidad.
- Disminuir costos de mantenimiento.
- Mejorar el funcionamiento de los equipos.
- Analizar todas las posibilidades de fallos en un sistema y desarrolla mecanismos para evitarlos.
- Determina acciones pertinentes que garanticen una alta disponibilidad.

##### **4.3.4.2. Las 7 preguntas del RCM**

La metodología RCM, expone 7 preguntas importantes a la hora de evaluar un plan de mantenimiento que sea acorde a esta:

- ¿Cuáles son las funciones o parámetros de funcionamiento que se asocian al estado actual del activo?
- ¿De qué manera puede fallar el activo?
- ¿Cuál es la causa del fallo funcional del activo?
- ¿Qué sucede con cada falla en el activo?
- ¿En qué sentido tiene importancia la falla en el activo?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la falla del activo?
- ¿Qué se hace cuando no exista o no se encuentra una tarea adecuada para prevenir la falla?

##### **4.3.4.3. Funciones o parámetros de funcionamiento**

Para lograr aplicar un proceso se debe determinar las acciones que cumple un activo, y a su vez haga lo que se desee en su contexto operacional. El primer paso para efectuar el RCM se definir las funciones del equipo, y saber cuáles son sus parámetros de funcionamiento. Los operarios esperan de estos es que dichas acciones sean cumplidas, y por esto, se pueden dividir en:

###### **4.3.4.3.1. Funciones primarias**

Define el porqué de la consecución de un activo, y abarca los temas como producción, seguridad, almacenaje y calidad del producto

#### **4.3.4.3.2. Funciones secundarias**

Reconoce que el activo pueda cumplir de manera simple las funciones de mantenimiento, las cuales están cubiertas por la seguridad, economía, protección, eficiencia operacional, entre otras.

#### **4.3.4.3.3. Fallas Funcionales**

Una falla puede ser considerada como una anti función, es decir, que el activo no puede cumplir con su función, conforme a los parámetros requeridos por los operarios. El proceso de RCM abarca los 2 niveles más comunes que son:

- Identificar las razones que llevaron a la falla
- Se cuestiona qué tipo de eventos logran causar una falla en un activo

A estas situaciones se les conoce como fallas funcionales, debido a que no se cumplen dichas funciones en un equipo.

#### **4.3.4.4. Modos de falla**

Un modo de falla, también conocido como causa, es un hecho identificado donde se conoce las razones de origen de que un activo no cumpla con las funciones determinadas, y se incluyen los estados de estas deficiencias y qué los originó.

Las listas de modos de falla recogen información de causas por desgaste o deterioro debido al uso, pero no se tienen en cuenta los errores humanos, que los pueden causar los operarios, o por errores de diseño. Por esto, es indispensable identificar las fallas para evitar la pérdida de tiempo y esfuerzo tratando síntomas y no lo que realmente afecta al activo.

#### **4.3.4.5. Efecto de falla**

El cuarto paso para un proceso de RCM, tiene que ver con un listado de efectos de Falla. Esta descripción incluye información necesaria para apoyar una evaluación de las consecuencias de una falla. Estas preguntas son:

- ¿Qué evidencia existe en el caso de la ocurrencia de una falla?
- ¿La falla puede representar una amenaza para la seguridad o el medio ambiente?
- ¿Existen daños físicos causados por alguna falla?
- ¿Cuál es el procedimiento que se debe realizar para reparar una falla?

Identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla y sus efectos, puede traer oportunidades para mejorar el rendimiento de la seguridad y el medio ambiente, eliminando los desperdicios de materiales, la pérdida de tiempo y esfuerzo, entre otros.

#### **4.3.4.6. Consecuencias de falla**

En el caso de que una falla tenga consecuencias graves, la organización hará todo lo posible para evitarla. Por el contrario, si ésta no acarrea una alta gravedad, se limita solamente a realizar mantenimientos de rutina.

Una de las fortalezas del proceso RCM, es reconocer las consecuencias de las fallas y organizarlas según la importancia o gravedad, para evitar que éstas ocurran en un momento determinado, o cuando el activo se encuentre en producción, Lo que afecta a la disponibilidad del equipo y afecte los demás procesos de la organización. Existen 4 consecuencias clasificadas que son:

##### **4.3.4.6.1. Consecuencia de falla oculta**

Este tipo de consecuencias no tiene un impacto directo, pero son propensas a tener fallas múltiples, que pueden ser serias o catastróficas.

##### **4.3.4.6.2. Consecuencias ambientales y de seguridad**

Este tipo de consecuencias, en cuanto a la seguridad, puede causar graves lesiones e incluso la muerte. En el caso de las ambientales, surgen cuando se infringe alguna normativa o reglamento ambiental, ya sea corporativo, regional, nacional o internacional.

##### **4.3.4.6.3. Consecuencias operacionales**

Estas ocurren cuando se afecta la producción, y se tienen en cuenta la cantidad, la calidad del producto, la Atención al Cliente u otros costos directos además de la reparación.

##### **4.3.4.6.4. Consecuencias no operacionales**

Esta es una afectan la seguridad ni la producción, estos afectan de manera económica, con el costo de la reparación de la falla.

#### **4.3.4.7. Fases del RCM**

Para el desarrollo del proceso RCM, es necesario saber las fases que componen dicho análisis. Existen 10 etapas que son:

##### **4.3.4.7.1. Evaluación de indicadores**

Su objetivo es aplicar la técnica profunda como la metodología como RCM. Para saber si se ha mejorado el trabajo, es necesario

seleccionar una serie de indicadores y conocer el valor de estos, antes de realizar el estudio.

#### **4.3.4.7.2. Codificación de equipos**

En esta fase, es indispensable elaborar una lista con los sistemas y subsistemas. A partir de esta recopilación, se hace otra, con los principales equipos mantenibles

#### **4.3.4.7.3. Listado de funciones de los sistemas, subsistemas y equipos que los componen**

En esta se describen las especificaciones técnicas que debe cumplir un sistema, las funciones principales, desde lo estipulado por el manual y secundarias, para complementar la información del activo, y así sucesivamente hasta analizar los equipos. En lo que osta las funciones principales serían:

- Velocidad
- Consumo
- Producción
- Capacidad de carga

Para las funciones secundarias, estas indican que el activo trabaje más allá de cubrir funciones primarias, como pueden ser

- Seguridad
- Cumplimiento de regulaciones
- Comodidad
- Degradación
- entre otros

#### **4.3.4.7.4. Diagnóstico de fallos primarios y secundarios**

Por otra parte, en esta sección se describen las fallas que pueda tener el activo, los cuales se clasifican en totales y parciales. Los tipos de fallos se describen de la siguiente manera

- Manifestación de fallo
  - Evidente
  - Progresivo
  - Súbito
  - oculto
- Según su magnitud
  - Parcial
  - Total

- Según sus efectos
  - Leve o insignificante
  - Significativo
  - Grave
  - Muy grave
- Según sus causas
  - Primaria,
  - Secundaria
  - Múltiple

#### 4.3.4.7.5. Descripción de los modos de fallo (causas de fallo)

Para la descripción de los modos de fallo, es indispensable conocer el equipo y la manera en que funciona. En cuanto se descubre por qué este no cumple con su tarea, se procede a realizar un diagrama Ishikawa, también conocido como causa-efecto o comúnmente como espina de pescado, donde se relacionan las causas de la falla y sus efectos. Es bastante sencillo de comprender y abarca un resumen, para ayudar a organizar ideas para una posible solución

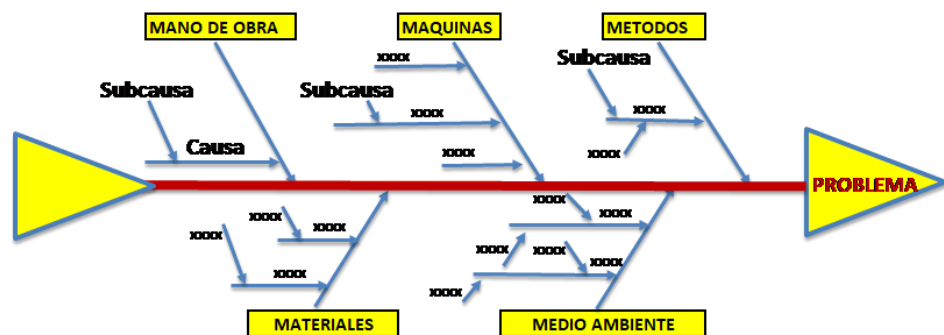


Figura 3. diagrama de Ishikawa

Fuente: (Ortiz, 2018)

Existen 8 causas principales de fallos que son:

- Fallos de diseño
- Fallos de montaje
- Fallo de un componente
- Fallo de operación
- Fallo de mantenimiento
- Condiciones externas anómalas

- Condiciones anómalas de suministros
- Fallo como consecuencia de otro fallo

#### **4.3.4.7.6. Categorización de los modos de fallo conforme a las consecuencias y su probabilidad de ocurrencia**

Es necesario conocer y analizar la importancia de los modos de fallo y sus consecuencias y categorizarlos. Las categorías de las causas de fallos son:

- Critico
- Importante
- Tolerable
- Insignificante

Parámetros a analizar

- Consecuencias de fallos en seguridad
- Consecuencias de fallo en impacto ambiental
- Consecuencias de fallo en costos de mantenimiento
- Probabilidad de que la falla ocurra
- Facilidad para detectarla

#### **4.3.4.7.7. Especificación de medidas preventivas de acuerdo a cada categoría de fallo**

Es la etapa del proceso más importante, y su objetivo es determinar qué se debe hacer para evitar los fallos. Para esto, se cuenta con 6 medidas preventivas que se adoptan en cualquier proceso de RCM

- Modificaciones de instalación
- Tareas de mantenimiento preventivo
- Medidas para minimizar los efectos de un fallo
- Procedimiento de operaciones
- Instrucciones de mantenimiento
- Formación y capacitación

#### **4.3.4.7.8. Puesta en marcha de medidas preventivas**

Se pone en marcha el proceso y se evalúan todos los factores que conduzcan a un fallo de un equipo. De lo contrario, no servirá de nada, y las fallas continuarán, debido a que, a pesar de contar con este plan, no se adoptan las medidas preventivas pertinentes

#### **4.3.4.7.9. Realizar seguimiento de resultados**

En este punto se evalúan si las medidas preventivas se implementaron, si se ha hecho de la manera correcta, se comparan

con los valores iniciales y se replantean estrategias de mejoramiento. Para esta última etapa, es necesario realizar un diagrama PHVA, para verificar el seguimiento.



Figura 4. Diagrama PHVA

Fuente: (Emprendices, 2010)

#### 4.3.4.8. Beneficios del RCM

- Mejora la seguridad
- Mejora el impacto ambiental
- Mejora el impacto en la producción
- Disminuye las averías provocadas por un mantenimiento excesivo
- Mejora el plan de mantenimiento y sus costos asociados
- Ayuda a conocer mejor los equipos
- Disminuye la dependencia técnica de los fabricantes

#### 4.3.5. Redes contra incendios

Es un conjunto de elementos diseñados para evitar o controlar un incendio, de una manera eficaz, a través de medios aéreos o subterráneos, por medio de unión de tubería, accesorios, bombas, equipos de medición, y se avalan bajo la lista UL/FM. El propósito de una red contra incendios es:

- Salvar vidas humanas
- Minimizar las pérdidas materiales producidas por el fuego
- Lograr reestablecer las condiciones de funcionamiento del establecimiento

**4.3.5.1. Triángulo de fuego:** Es un esquema que refleja los tres componentes principales para poder provocar fuego y está conformado por:

- **Oxígeno:** Sirve como iniciador y propagador de un incendio.

- **Calor:** al estar en condiciones no aptas, como calderas, el calor es un factor que determina el inicio de un incendio
- **Combustible:** Es un elemento que, por lo general, es inflamable y reacciona muy fácil con el calor.

Al suprimir uno de cualquiera de estos elementos, la probabilidad de iniciar una conflagración se reduce a cero.



Figura 5. Ilustración del triángulo de fuego

#### 4.3.5.2. Tipos de redes contra incendios

Los tipos de redes contra incendios son:

##### 4.3.5.2.1. Detección:

Según la NFPA 72 (2016), Una red de detección se encarga de definir los medios para activar señales, transmitir las, notificarlas y anunciarlas; los niveles de desempeño y la confiabilidad de diversos tipos de sistemas de alarma de incendio, de alarma de estaciones de supervisión, sistemas públicos de reporte de alarma de emergencia, de advertencia de incendio, y demás componentes.

Los sistemas de alarma se clasifican de la siguiente manera:

- Sistemas de alarma de incendio
  - Sistemas domésticos de alarma de incendio
  - Sistemas de alarma de incendio en instalaciones protegidas (locales)
- Sistemas de alarma de estaciones de supervisión
  - Sistemas de alarma de estación central (servicio)
  - Sistemas de alarma de estaciones de supervisión remotas
  - Sistemas de alarma de estaciones de supervisión de propiedad
- Sistemas públicos de reporte de alarma de emergencia
  - Sistemas de alarma auxiliares – del tipo de energía local
  - Sistemas de alarma auxiliares – del tipo en derivación

#### **4.3.5.2.2. Extinción:**

Consisten en un medio activo de protección contra incendios que permiten controlar los conatos, hasta la llegada de los grupos de bomberos. Estos se encargan de proteger bienes de alto valor y artículos que no se pueden reemplazar, actuando de manera inmediata cuando se active el sistema de detección y la señal llegue al panel de control, permaneciendo activa hasta suprimir los primeros minutos de la conflagración.

- Medidas de protección activa: Son medidas que aseguran la extinción de cualquier conato de incendio lo más pronto posible y evita su rápida expansión por el lugar. Existen dos tipos de medidas que son
  - Manuales: extintores, bocas de incendio equipadas, hidrantes, columnas secas
  - Automáticas: Agua (sprinklers, cortinas de agua, espumas, agua pulverizada), Gases (dióxido de carbono) y polvo (normal o polivalente)
- Medidas de protección pasiva: Son medidas que minimizan los efectos nocivos de un incendio una vez producido y se centran en limitar la distribución de llamas y humo por el lugar, y a su vez, permiten una evacuación segura y ordenada. Algunos ejemplos son
  - Compuertas en conductos de aire
  - Recubrimiento de estructuras
  - Puertas cortafuegos
  - Señalización e iluminación de emergencia

#### 4.3.5.3. Bomba principal de sistema contra incendios

Estas bombas se usan en su mayoría para incrementar y proveer la presión hídrica, disponibles en suministros principales, embalses, tanques de gravedad y otras fuentes. En la actualidad, la bomba de incendio estándar es centrífuga horizontal, debido a su fácil mantenimiento, características hidráulicas, turbinas de vapor y motores eléctricos. Una de sus características más importantes es la relación de presión de descarga a velocidad constante, al momento de aumentar la presión y disminuir la descarga. (National Fire Protection Association, 2019)



Figura 6. Bomba de tipo turbina vertical.

Fuente: Autor

Para este caso, se estudia una bomba de tipo de eje vertical, que tiene los siguientes componentes, basados en la NFPA 20 (2019)

- **Componente de la cabeza de bomba de turbina:** La cabeza debe diseñarse para soportar el impulsor, la bomba, el montaje de columna, el montaje de tazón, el empuje máximo descendente y la tuerca de tensión del tubo de aceite o contenedor de empaque. La cabeza de la bomba debe ser del tipo de descarga sobre tierra o subterránea
- **Columna:** debe suministrarse una columna de la bomba en succiones que no superen una longitud nominal de 10 ft (3 m), no debe ser menor a los pesos especificados en la tabla 2, y deben conectarse a acoples de camisa roscada o bridas. El eje de la línea de la bomba debe para que la velocidad crítica sea un 25% superior e inferior a la velocidad de operación de la bomba

Tabla 2. Peso de tubería de columna de la bomba (mm)

Tamaño nominal (mm)	Diámetro externo (D.E.) (mm)	Peso por unidad de longitud (extremos lisos) (Kg/m)
150	161	28,230
200	212	36,758
250	264	46,431
300	315	65,137
350	360	81,209

Fuente: NFPA 20 (2019)

- **Montaje del tazón:** El montaje debe ser de hierro fundido, grano fino, bronce u otro material adecuado al análisis químico del agua. Los rodetes deben ser de tipo cerrado y el material adecuado es el bronce u otro material de acuerdo al análisis de agua.
- **Liberador automático de aire:** Debe proveerse una válvula de alivio de aire de un tamaño igual o mayor a 1,5 in para eliminar el aire de la columna y de la cabeza de descarga al momento del arranque de la bomba; también debe admitir el paso de aire a la columna para disipar el vacío al momento que se detiene, y se ubica en el punto más elevado de la línea de descarga.

#### 4.3.5.3.1. Principio de operación:

Las bombas cuentan con 2 componentes principales, un rodete y la carcasa, como se observa en la figura

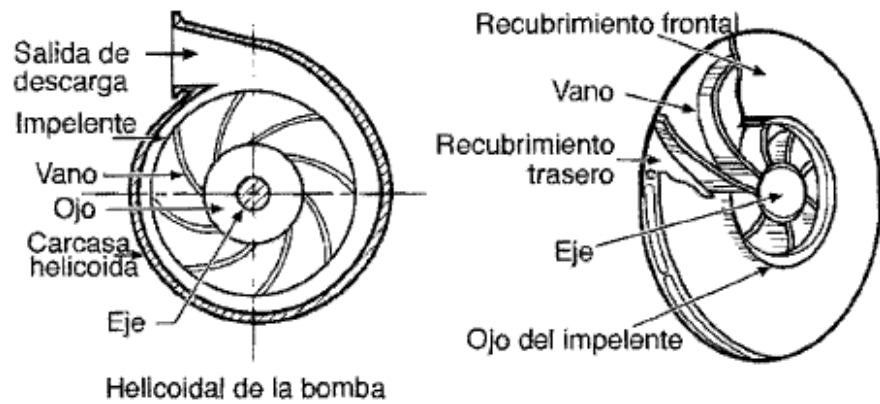


Figura 7. rodete y carcasa de boba con ejes helicoidales

Fuente: Moncada y Moncada (2009)

Su funcionamiento radica en la conversión de la energía cinética a energía de presión y velocidad y depende del tipo de flujo de bomba; flujo radial y flujo mixto. La potencia del impulsor se transmite por medio del eje que gira el impelente a alta velocidad. (2009)

#### 4.3.5.3.2. Características de la bomba

Las bombas centrífugas horizontales o tipo turbina vertical cuenta con las siguientes curvas características:

- Cabeza total vs descarga (ft o psi vs gpm).
- Caballaje de freno vs descarga.
- Eficiencia vs descarga (hp de agua/ hp de entrada vs gpm).

#### 4.3.5.3.3. Cabezal total:

Energía impartida al líquido cuando pasa a través de la bomba. Su cálculo se realiza con la siguiente expresión:

$$H = h_d + h_{vd} - h_s - h_{vs}$$

Donde:

$H$  = Cabezal total (m)

$h_d$  = Cabezal de descarga (m)

$$h_{vd} = \frac{vd^2}{2g} = \text{Cabezal de velocidad de descarga (m)}$$

$h_s$  = Cabezal de succión total (m)

$$h_{vs} = \frac{vd^2}{2g} = \text{Cabezal de velocidad de succión (m)}$$

$V$  = Promedio de velocidad (m/s)

$g$  = Aceleración debida a la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

En cuanto al cabezal de succión se tiene que es la distancia vertical desde el nivel de agua a la brida de descarga de la Bombay utiliza la siguiente expresión:

$$H = (h_{gd} + L) + h_{vd} + h$$

Donde:

$h_{gd}$  = Lectura del manómetro de descarga (m)

$L$  = Brida del manómetro de la bomba (m)

$$h_{vd} = \frac{vd^2}{2g} = \text{Cabezal de velocidad de descarga (m)}$$

$h$  = Distancia vertical, referencia para nivel de agua de la bomba

#### **4.3.5.3.4. Velocidad específica:**

Relaciona el cabezal, capacidad y velocidad de una bomba centrífuga para propósitos de diseño. Se expresa así:

$$N_s = \frac{\text{rpm} \cdot \text{gpm}^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (4)$$

Donde:

$N_s$  = Número de velocidad específica.

$H$  = Cabezal (m)

#### **4.3.5.3.5. Potencia de bombas de incendios**

Para adaptar un impulsor, se debe conocer su demanda máxima de potencia al freno a la tasa de velocidad, el cual se puede determinar por la curva de potencia provista por el fabricante de la bomba; representada en la Figura 46 o por la siguiente expresión:

$$bhp = \frac{5.83QP}{10000E} \text{ o } bhp = \frac{QP}{1710E} \quad (5)$$

Donde:

$bhp$  = Potencia al freno

$Q$  = Galones por minuto

$P$  = Cabezal total (psi) o presión neta

$$E = \text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia de entrada}}$$

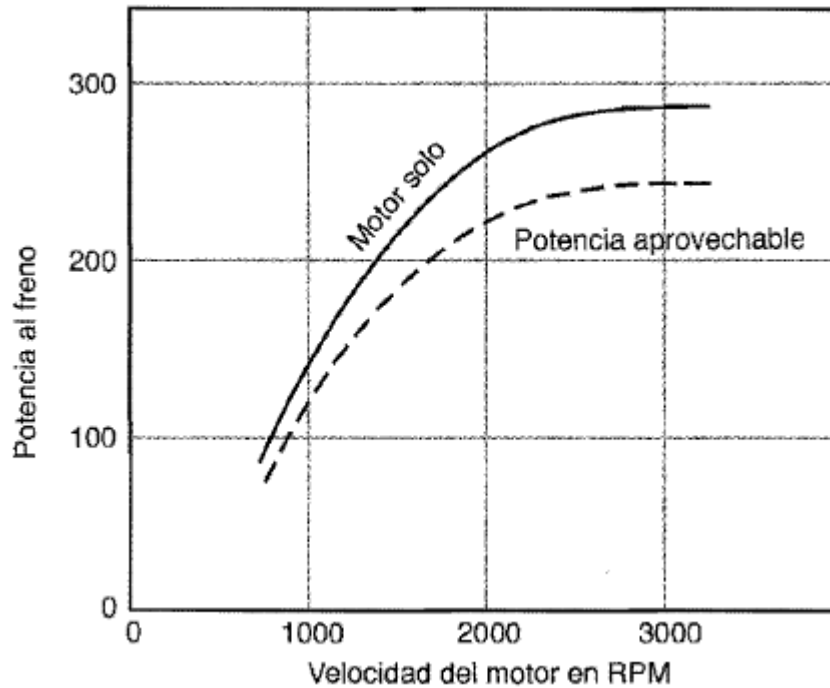


Figura 8. Curva de potencias de motor típicas

Fuente: NFPA 20 (2019)

#### 4.3.5.4. Bomba jockey del sistema contra incendios

Es una pequeña bomba conectada a la bomba principal para mantener la presión de succión. Al generarse una caída de presión en el arranque de la bomba, será detectada por el controlador automático de la bomba. Con esto se garantiza un caudal necesario, que evite la caída de presión.

#### 4.3.5.5. Controlador automático de la bomba principal

Es un panel diseñado para dar encendido, arranque y apagado de la bomba principal, por medio de una señal de activación. Gracias a este dispositivo, se puede verificar el caudal de la bomba, la presión de succión, de descarga y la velocidad del motor.



Figura 9. Control automático de la bomba principal

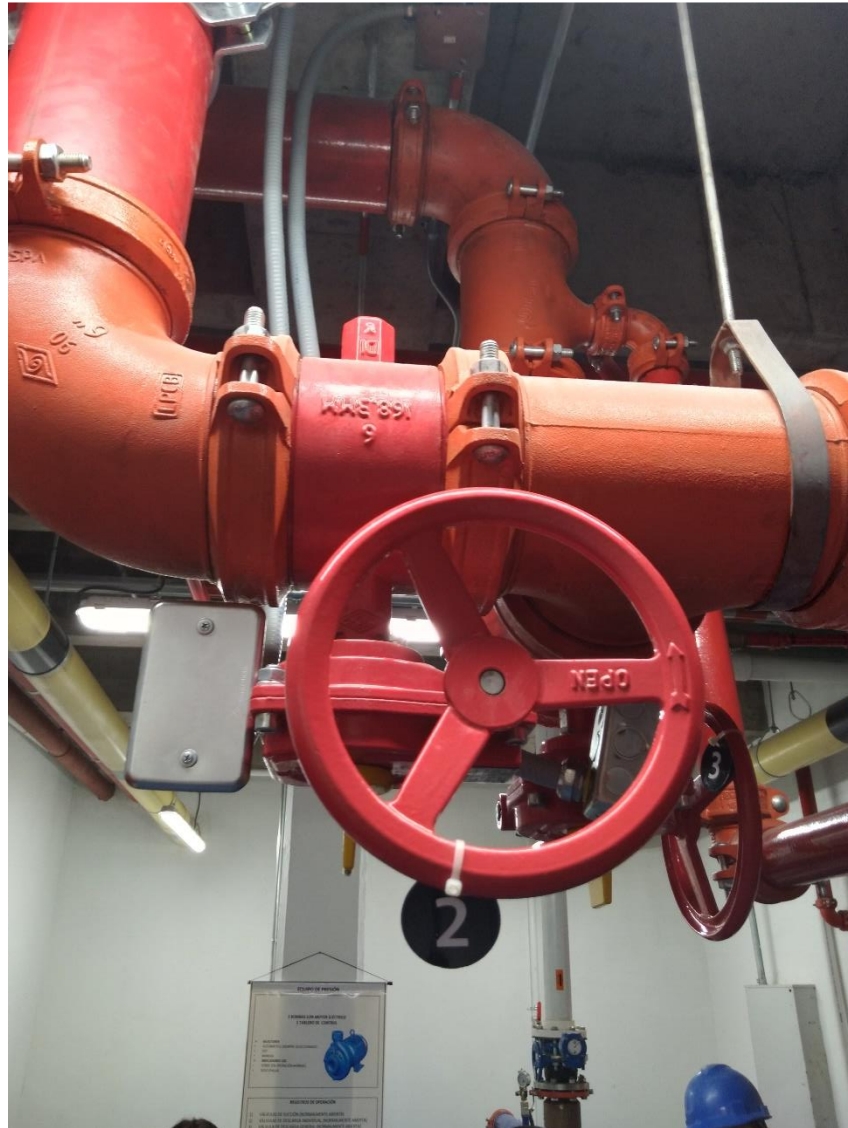
Fuente: Autor

#### 4.3.5.6. Accesorios

Una bomba debe contar con dispositivos auxiliares para un correcto funcionamiento y un suministro hídrico para la protección de incendios. Estos elementos pueden ser:

- **Válvula de alivio:** Se utilizan sobre la línea de descarga de la bomba cuando su operación sea de presión excesiva y su tasa no funcione en la extinción del fuego.
- **Válvula de manguera:** Considerando un diámetro de 2 ½" (64 mm), basado en un flujo de 250 gpm (946 L/min), utilizadas en pruebas de bombas y chorros de manguera de protección de incendios. Esta válvula se ubica en un lugar externo al cuarto de bombas, evitando daños hidráulicos.
- **Válvulas de liberación automática del aire:** Instaladas sobre la cascara de la bomba y son operadas con control remoto o automáticamente. Su función es liberar el aire atrapado en la cascara y minimizar su cavitación.
- **Válvulas de alivio de circulación:** Instaladas en bombas que operan a control remoto o automáticamente. Cuando hay una pequeña o ninguna descarga, abre a presión ligeramente para que

exista la suficiente agua, evitando el sobrecalentamiento de la bomba. No recomendada al ser operada por maquinas diésel por el uso de agua fría.



*Figura 10. Válvula de alivio de circulación*

Fuente: Autor

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. DESARROLLO DE LA PASANTÍA**

El trabajo de diseño e implementación de un plan de mantenimiento, está dirigido para realizarse dentro de actividades afines a la ingeniería mecánica, En cuanto al área de mantenimiento, e ingeniería civil para el caso de estructuras; debidamente documentadas registradas aplicando las normas que ameriten. En sistemas de protección contra incendios, es necesario entender, que su disponibilidad debe ser completa y una falla en este tipo de redes, puede ser catastrófica, En torno a la seguridad humana y la preservación de bienes importantes para una organización.

El desarrollo de este procedimiento, se efectuó en el diseño e implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, para ser ejecutado en sistemas de protección contra incendios, y de esta manera, permitir realizar dichas tareas de una manera más efectiva, ahorrando tiempo, esfuerzo y dinero, enfocado a la mejora continua en el área de mantenimiento.

Las actividades que se ejecutaron están centradas en la ingeniería aplicada analizando de forma cualitativa y cuantitativa el proceso, con el fin de dar soluciones concretas, apoyados bajo una normativa tanto legal como técnica. Para el desarrollo de la pasantía, se efectuaron actividades de diagnóstico, en el área de inspección, prueba y mantenimiento, entre las cuales se encuentran:

#### **5.1.1. Cotización de insumos y materiales:**

Esta actividad es necesaria, para determinar el precio comercial de los insumos que se requieran en alguna labor de campo. Primero, se realiza una cotización de precios, considerando el stock de proveedores con los que cuenta la empresa, para luego escoger el más adecuado. A partir de aquí, se elabora un formato para la gestión de insumos, que se mostrará en la siguiente sección.

#### **5.1.2. Puesta en sitio de insumos y materiales:**

Una vez se cuenta con la aprobación de la compra de los materiales requeridos, se recogen en sitio de proveedor seleccionado, para así, enviar al lugar donde se ejecutará el mantenimiento.

#### **5.1.3. Coordinación de personal de acuerdo a la actividad:**

Dependiendo del tipo de mantenimiento y del sistema de protección contra incendios, con 2 semanas de anticipación se contacta a los técnicos especialistas e idóneos para gestionar la fecha y hora exactas para ejecutar dicha actividad.

#### **5.1.4. Acompañamiento y supervisión en actividades programadas:**

En esta etapa se realizan todas las tareas requeridas de inspección, prueba y mantenimiento, que dependen del sistema que se vaya a evaluar, su ubicación, entre otros factores que influyen en este. Este tipo de actividades se dividen en dos que son:

##### **5.1.4.1. Clasificación de actividades del sistema de detección de incendios:**

Este tipo de actividades comprende las labores de inspección, prueba y mantenimiento de los sistemas de detección, alarma y notificación de incendios, las cuales se componen de los equipos que funcionan para tal fin, como son detectores de humo, detectores térmicos, estaciones manuales de alarma, sirenas con luz estroboscópica, parlantes audiovisuales, paneles de control, entre otros que cumplen con dichas labores. En tareas de mantenimiento preventivo, se contemplan la limpieza de dispositivos, pruebas de funcionamiento, cumplimiento de normativas, Revisión de inventario existente y entrega del sistema de manera funcional y operativa. En tareas de mantenimiento correctivo, se consideran las reparaciones de los dispositivos y de ser necesario, su reemplazo, para evitar falsas alarmas.

##### **5.1.4.2. Clasificación de actividades del sistema de extinción de incendios:**

En este tipo de actividades se entiende como aquellas que se encargan de las labores de detección de incendios que se componen por equipos que sofocan una conflagración como son extintores de dióxido de carbono, de extinción de agente limpio, de extinción de agua nebulizada, de extinción de espuma de baja y alta expansión, rociadores automáticos, cuartos de bombas, Gabinetes de extinción, Redes de tubería, entre otros. Los más importantes son los siguientes:

###### **5.1.4.2.1. Redes de rociadores y gabinetes:**

Los sistemas de rociadores automáticos de protección contra incendios son los más conocidos, y a la vez, más populares, debido a que son silenciosos, tienen una disponibilidad del 100% y no necesitan intervención para que se pongan en marcha. A estos sistemas se les considera como el método más eficiente para evitar la propagación de incendios y salvaguardar vidas Humanas y bienes materiales.

Los rociadores automáticos detectan un punto de incendio y lo apagan con agua, o lo controlan durante un tiempo, mientras se pone en marcha otro método más efectivo.

Los gabinetes son equipos completos de protección y de lucha contra incendios, que se instalan de forma fija sobre una pared y están conectados a la red de abastecimiento de agua. Están diseñados para edificaciones de cualquier tipo, e incluye dentro del armario, todos los elementos para su uso que son: manguera, devanadera, válvula, boquilla, extintor y hacha.

Este es un sistema eficaz para la protección contra incendios, que, por su eficacia y facilidad de manejo, es fácil de utilizar directamente por los usuarios de un edificio en la fase inicial del fuego.

#### **5.1.4.2.2. Cuarto de bombas:**

De acuerdo con la norma NFPA 20, las bombas contra incendio deben ser listadas para su funcionamiento, al igual que los motores eléctricos y Diésel, usados en estas operaciones.

La NFPA requiere que los sistemas de extinción cuenten con un suministro de agua confiable, haciendo referencia al caudal y a la presión; Aunque no especifica el cumplimiento de este requisito, Por lo general se recurre a las bombas, con un conjunto de equipos y accesorios que se instalan en un cuarto especial, y tampoco impone qué tipo de bomba se debe instalar, ni el accionamiento, Ya sea por motor eléctrico o motor diésel, pero sí establece los requisitos que Cumple la instalación y la disposición.

#### **5.1.5. Realización de informes:**

Después de ejecutar todas las labores de mantenimiento, se procede a reunir toda la información y recopilarse en un informe, ya sea preventivo o correctivo, que contiene el tipo de sistema de protección contra incendios y será una descripción de este, Continúan con todas las actividades que se efectuaron durante la jornada. Acto seguido, se determina el tipo de mantenimiento; si es preventivo se procede a ingresar distintos datos en una tabla ya determinada, para analizar los aspectos a evaluar del sistema de detección o extinción, junto con un inventario de instrumentos ubicados en sitio, y se dejan anotadas las actividades de mantenimiento correctivo, que son necesarias para ejecutarse lo más pronto posible, y por último se anotan las observaciones que se evaluaron del sistema. Si, por el contrario, es un informe mantenimiento correctivo, se deja solamente anotadas las observaciones. Cabe aclarar deben permanecer de manera funcional y operativa al final de cada jornada.

## **5.2. CRITERIOS NORMATIVOS**

Para el desarrollo de este plan de mantenimiento, se realizó una compilación de normas y reglamentos enfocados en inspección, prueba y mantenimiento de sistemas contra incendios, los cuales buscan ser mayormente aplicados en el territorio nacional, cuando se presente un conato. El compendio de reglas que se tomó en cuenta fue:

### **5.2.1. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente – título J: Requisitos de protección contra incendios en edificaciones.**

De acuerdo con esta norma (2010), toda edificación deberá cumplir con los requisitos mínimos de protección contra incendios, establecidos en el presente capítulo, correspondientes al uso de la edificación y su grupo de ocupación. En consecuencia, el propósito del título J, es el de establecer dichos requisitos con base en las siguientes premisas:

- a) Reducir en todo lo posible el riesgo de incendios en edificaciones.
- b) Evitar la propagación del fuego tanto dentro de las edificaciones como hacia estructuras aledañas.
- c) Facilitar las tareas de evacuación de los ocupantes de las edificaciones en caso de incendio.
- d) Facilitar el proceso de extinción de incendios en las edificaciones.
- e) Minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación y extinción.

#### **5.2.1.1. Sistemas y equipos para la detección y alarma de incendios (Capítulo J.4.1)**

Con base en este capítulo (2010), se establecen las dotaciones de instalaciones de protección contra incendio con las que deben contar los edificios. La instalación de dispositivos de detección hace posible la transmisión de una señal, automática mediante detectores o manual mediante pulsadores, desde el lugar en que se produce el incendio hasta una central, así como la posterior transmisión de la alarma desde dicha central hasta los ocupantes, pudiendo activarse dicha alarma automática y manualmente

##### **5.2.1.1.1. Aire acondicionado.**

Según el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (2010), en los edificios que cuenten con sistema central de aire acondicionado, se deberá disponer de detectores de humo en los ductos principales, que actúen desconectando automáticamente el sistema. Adicionalmente,

se dispondrá de un tablero de desconexión del sistema central de aire acondicionado ubicado adyacente al tablero general eléctrico y para el uso exclusivo del cuerpo de bomberos

**5.2.1.1.2. Dispositivos para la detección temprana de incendios**

Según lo indicado en la norma (2010), deberán instalarse equipos para la detección y la alarma temprana contra incendios en la edificaciones clasificadas en los grupos y subgrupos de ocupación que se listan en la tabla J.4.2-1

Tabla J.4.2-1  
Instalación de detectores de acuerdo con el grupo de ocupación

Grupo	Subgrupo	Condición	Tipo de detector	Ubicación
R	R-2	Para edificios de mas de 7 pisos	Automáticos de humo y alarma sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasillos, escaleras y espacios comunes de circulación.</li> <li>• Espacios residenciales para la cocina.</li> <li>• Zonas de almacenamiento cuya superficie total sea mayor de 50 m<sup>2</sup></li> <li>• Zonas comunes tales como salas de reunión, de juegos, de deportes etc.</li> </ul>
	R-3	Para edificios de mas de 5 pisos		
I	I-2	En cualquier caso	Automáticos de humo y alarma sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ubicará pulsadores manuales de alarma de incendio en los pasillos, zonas de circulación y en las diferentes dependencias del hospital.</li> <li>• En las zonas de hospitalización</li> </ul>
C, I, A	C-1	Zonas de alto riesgo	Térmicos y/o de humo y alarma sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ubicarán pulsadores manuales de alarma de incendios y repartidos adecuadamente.</li> </ul>
	C-2			
	I-4			
	A-1			
	A-2			
I, L	I-3	Si la superficie total construida es mayor de 5.000 m <sup>2</sup> ó más de tres (3) pisos	Térmicos y/o de humo y alarma sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se dispondrán pulsadores manuales en el interior de los locales de edificaciones clasificadas en las categorías de riesgo I y II.</li> <li>• No será necesario la utilización de detectores térmicos o de humo cuando exista una instalación de rociadores automáticos de agua.</li> </ul>
	L-1			
	L-2			
	L-3			
	L-4			
L-5				

Figura 11. clasificación de edificaciones para instalación de detectores

Fuente: NSR-10 (2010)

**5.2.1.2. Sistemas y equipos para la extinción de incendios**

De acuerdo con lo establecido en la norma (2010), toda edificación debe disponer de recursos para la extinción del fuego cuyas características dependen del grupo de uso en que se clasifique. Los sistemas y equipos deben diseñarse e instalarse de acuerdo con los requisitos mínimos especificados en el presente capítulo. Luego de instalados, deben mantenerse periódicamente para garantizar su adecuada funcionalidad en cualquier momento. Los sistemas hidráulicos deben tener inspección, prueba y mantenimiento, las cuales se realizan de acuerdo con la norma NFPA 25.

Cuando por características propias de los productos del sistema de almacenamiento o de los equipos, se requieren otros sistemas de protección contra incendio o sean instalados con la aprobación de la autoridad competente como una alternativa equivalente, el diseño y la instalación del sistema deberán estar de acuerdo con las normas apropiadas indicadas en la tabla J.4.3-1.

Tabla J.4.3-1  
Otros sistemas de protección contra incendio requerido

Tipo de Sistema	Norma
Sistema de espuma de baja expansión	NFPA 11
Sistema de espuma de mediana y alta expansión	NFPA 11 A
Sistema de dióxido de carbono	NFPA 12
Sistema de Halón 1301	NFPA 12 A
Rociadores en viviendas uni y bifamiliares y en casas prefabricadas	NFPA 13 D
Rociadores en ocupaciones residenciales de máximo y que incluyen cuatro pisos de altura	NFPA 13 R
Sistemas de pulverización de agua	NFPA 15
Rociadores de agua-espuma por diluvio, sistemas de pulverización de agua-espuma, sistemas de rociadores de agua-espuma de cabeza cerrada	NFPA 16
Sistemas de extinción de químico seco	NFPA 17
Sistemas de extinción de químico húmedo	NFPA 17 A
Sistemas de niebla de agua	NFPA 750
Sistemas de extinción contra incendio de agente limpio	NFPA 2001

Figura 12. Sistemas de protección contra incendios alternos

Fuente: NSR-10 (2010)

### 5.2.2. NFPA 20: Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios

De acuerdo a lo estipulado en este criterio (2019), trata lo relativo a la selección e instalación de bombas que suministran líquido a sistemas privados de protección contra incendios.

El alcance de este, debe incluir suministros de líquidos; succión, descarga y equipamiento auxiliar; suministros de energía; motores y controladores eléctricos; motores y controladores diésel; motores y controladores de turbinas de vapor; y pruebas de aceptación y operación.

El propósito de esa norma es proveer un grado razonable de protección contra incendios a la vida y a la propiedad a través de requisitos de instalación de bombas estacionarias para protección contra incendios basados en principios de ingeniería, datos de prueba y experiencia de campo.

### 5.2.2.1. Bombas contra incendios para edificios de gran altura

Se aplica a todas las bombas contra incendios que estén dentro de los edificios que superen los 74 pies (23 m), por encima del nivel más bajo de acceso de los vehículos del cuerpo de bomberos. La ubicación y el acceso al cuarto de bombas contra incendio debe ser planificados previamente con el cuerpo de bomberos.

Donde el suministro de agua de una bomba sea un tanque, debe requerirse un medidor de flujo listado o un cabezal de pruebas cuya descarga del retorno se efectúe dentro del tanque con una o más boquillas calibradas, dispuestas para la colocación de un manómetro que determine la presión del pitot.

### 5.2.2.2. Bombas centrífugas

Las bombas deben proporcionar no menos del 150% del caudal nominal a no menos del 65% de la presión nominal.

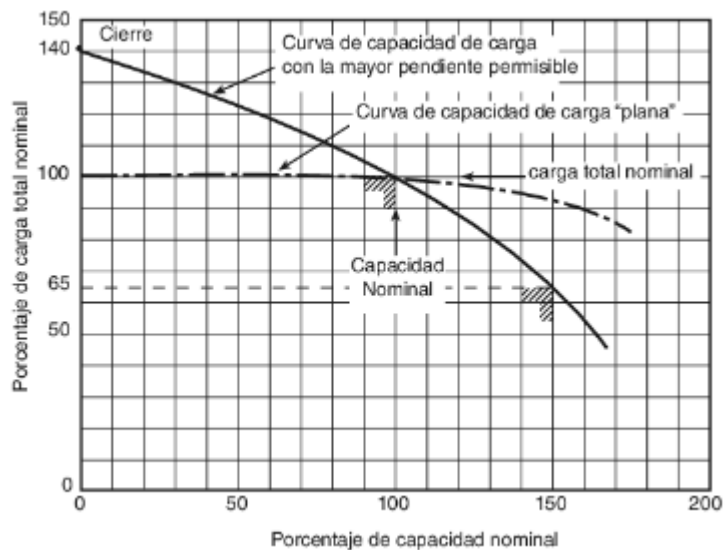


Figura 13. curvas características de las bombas

Fuente: NFPA 20 (2019)

Para cada salida de Descarga de una bomba multietapa y multipuerto, la presión de cierre no debe exceder el 140% de la presión nominal para cualquier clase de bomba. Cuando funciona por debajo de la velocidad nominal en un modo de autorregulación, una unidad de bomba contra incendio de velocidad variable de autorregulación debe mantener la

presión de descarga dentro del 5% de la presión establecida. Lo anterior se tiene en cuenta al desempeño de fábrica y puesto en sitio.

En cuanto a la parte de los accesorios, los fabricantes o algún representante autorizado proveen los siguientes accesorios:

- a) Válvula automática de circulación de aire
- b) Válvula de alivio de circulación
- c) Manómetros de presión

Cuando es necesario, se deben suministrar los siguientes elementos:

- a) Reductor cónico excéntrico en la succión.
- b) Cabezal de válvula de manguera con válvulas de manguera (cabezal de prueba).
- c) Dispositivo de medición de caudal
- d) Válvula de alivio y cono de descarga
- e) Filtro de tubería

### **5.2.2.3. Bombas de tipo turbina de eje vertical**

Según la norma en cuestión (2019), este tipo de bombas se aplica donde el suministro de agua se encuentra ubicado por debajo de la línea central de descarga de la brida y la presión del abastecimiento de agua no es suficiente. La bomba de tipo turbina vertical está diseñada para funcionar en una posición vertical con todas sus partes en una alineación correcta.

Para el suministro de agua se tiene en cuenta:

- Fuente
- Bomba sumergible
- Construcción de pozos
- Formaciones no consolidadas (arenas y gravas)
- Formaciones consolidadas
- Desarrollo de un pozo
- Evaluación e inspección del pozo

Lo siguiente a verificar en este caso es la bomba, pero se considera algunas cosas como las siguientes

- Componente de la cabeza de la bomba
- Columna de agua
- Montaje del tazón
- Filtro de succión

- Accesorios
- Liberador automático de aire

#### **5.2.2.3.1. Mantenimiento**

Se deben seguir con detenimiento las instrucciones del fabricante al momento de hacer reparaciones en la bomba. Cuando se requiera reemplazar algún repuesto, se debe anotar el número de serie de la bomba, que se encuentra adosado en la placa permitiendo proveer las piezas adecuadas. Se debe mantener un espacio amplio para remover la bomba en caso de que sea necesario

### **5.2.3. NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua. Capítulo 8. Bombas contra incendios**

Este capítulo incluye los requisitos mínimos para la inspección, prueba y mantenimiento de rutina para los conjuntos de montaje de bombas contra incendios. La frecuencia mínima de inspección, prueba y mantenimiento se encuentran en los anexos A3, A4 y A5.

#### **5.2.3.1. Inspección**

El propósito de la inspección es verificar que el conjunto de montaje de la bomba parezca estar en condiciones operativas y sin daños físicos.<sup>6</sup>

Las condiciones del cuarto de bombas se determinan así:

- a) El calor es adecuado, no menor a 40°F (4°C) para el cuarto de bombas accionadas por motor eléctrico o por motor diésel con calentadores de motor.
- b) El calor es adecuado, no menor a 70°F (21°C) para el cuarto de bombas accionadas por motor diésel sin calentadores de motor.
- c) Las rejillas de ventilación funcionan sin inconvenientes
- d) No se acumula exceso de agua en el piso
- e) Protección de acoplamientos adecuada

Las condiciones del sistema de bombas se determinan así:

- a) Las válvulas de succión, de descarga y derivación de la bomba están totalmente abiertas
- b) Las tuberías no presentan fugas

---

<sup>6</sup> NFPA 25, capítulo 8.2

- c) La lectura del manómetro de la línea de succión está dentro del rango aceptable
- d) La lectura del manómetro de la línea de descarga está dentro del rango aceptable
- e) El reservorio de succión tiene el nivel de agua requerido
- f) Las rejillas de succión del pozo húmedo no presentan obstrucciones y están debidamente colocadas
- g) Las válvulas de las pruebas de flujo de agua están cerradas, la válvula de la conexión de la manguera está cerrada y la línea hacia las válvulas de prueba no contiene agua

Las condiciones del sistema eléctrico se determinan así:

- a) La luz del piloto del controlador (encendido) está iluminada
- b) La luz normal del piloto del interruptor de transferencia está iluminada
- c) El interruptor de aislamiento está cerrado –fuente de reserva (de emergencia)
- d) La luz del piloto de alarma de fase inversa está apagada
- e) El nivel de aceite del visor de vidrio del motor está dentro del rango aceptable
- f) Se abastece de energía a la bomba de mantenimiento de presión (jockey)

#### **5.2.4. NTC – ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad**

La adopción de un sistema de gestión de calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible <sup>7</sup>

Los beneficios potenciales para una organización de implementar un sistema de gestión de calidad basado en esta norma son:

- a) La capacidad de proporcionar productos y servicios, satisfaciendo os requisitos del cliente
- b) Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente
- c) Abordar riesgos asociadas al contexto y objetivos

---

<sup>7</sup> NTC – ISO 9001. Introducción

### 5.3. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS.

#### 5.3.1. Edificio residencial y comercial en occidente de Bogotá

Es una edificación de uso comercial y residencial, que cuenta con 7 pisos. Se interconecta por pasillos, y en el área de sótano que cumple con la función de parqueadero, y tiene en este, el cuarto de bombas, el cuarto eléctrico y un cuarto de almacenamiento.

El edificio se considera de uso mixto, debido a que cuenta con zonas comerciales y residenciales, según la tabla K.2.1-1 de la NSR-10

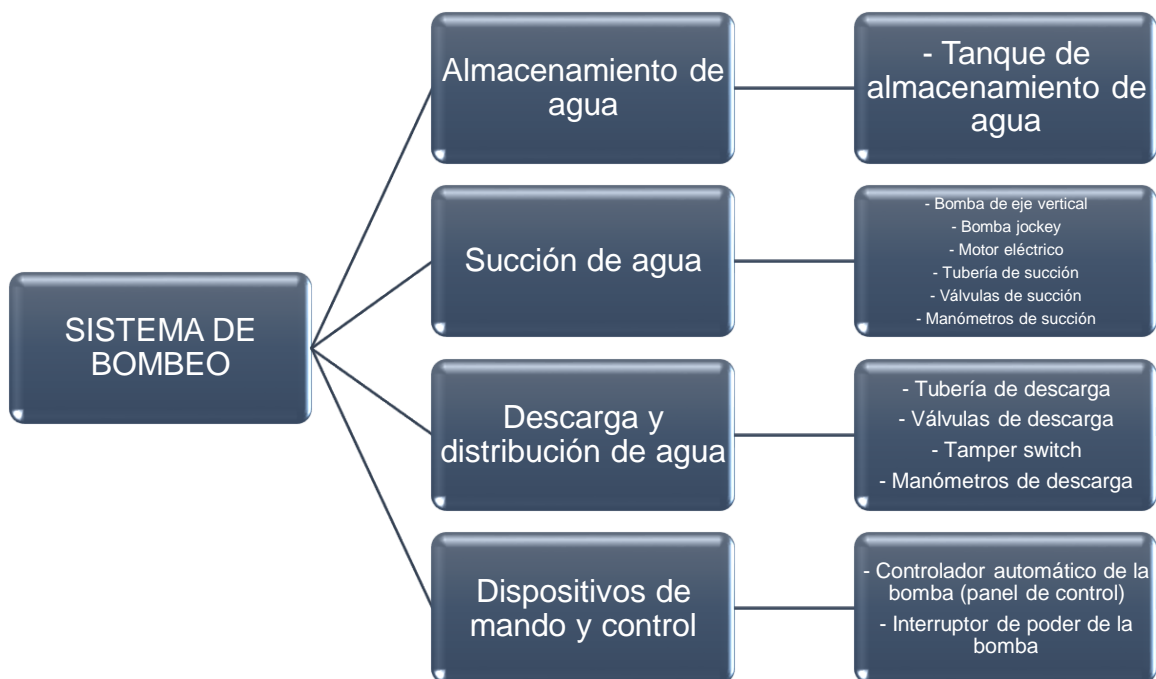
Grupos y Subgrupos de ocupación	Clasificación	Sección
A	ALMACENAMIENTO	K.2.2
A-1	Riesgo moderado	
A-2	Riesgo bajo	
C	COMERCIAL	K.2.3
C-1	Servicios	
C-2	Bienes	
E	ESPECIALES	K.2.4
F	FABRIL E INDUSTRIAL	K.2.5
F-1	Riesgo moderado	
F-2	Riesgo bajo	
I	INSTITUCIONAL	K.2.6
I-1	Reclusión	
I-2	Salud o incapacidad	
I-3	Educación	
I-4	Seguridad pública	
I-5	Servicio público	
L	LUGARES DE REUNIÓN	K.2.7
L-1	Deportivos	
L-2	Culturales y teatros	
L-3	Sociales y recreativos	
L-4	Religiosos	
L-5	De transporte	
M	MIXTO Y OTROS	K.2.8
P	ALTA PELIGROSIDAD	K.2.9
R	RESIDENCIAL	K.2.10
R-1	Unifamiliar y bifamiliar	
R-2	Multifamiliar	
R-3	Hoteles	
T	TEMPORAL	K.2.11

Figura 14. Ocupaciones del edificio

Fuente: NSR-10 Título K (2010)

Con base en la información recopilada, se decidió aplicar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, para lograr mejorar la operación del sistema de bombeo del edificio. Actualmente, se realiza un mantenimiento trimestral el cual consta de inspección, revisión, pruebas de funcionamiento y limpieza. Para lograrlo, fue indispensable conocer de manera más profunda los equipos que componen el

sistema de bombeo, para poder establecer un plan de acción en caso que uno de los elementos presente una falla. En este caso, se determina e identifican los sistemas, subsistemas y elementos que los componen.



Fuente: Autor

A continuación, se recopila la información de identificación de cada sistema, subsistema y componente del sistema de bombeo, para describir las características técnicas, capacidad operacional, entre otras.

Código del equipo	Descripción del equipo	Función del equipo	Características
ERCB-RCI-EXCB-EQ-001	Bomba tipo turbina vertical	Realiza la extracción de agua desde un tanque sumergido para distribuir el líquido (agua) por medio de tubería hacia el sistema de extinción de	Caudal nominal: 500 GPM
			Presión nominal: 205 PSI
			Presión máxima: 261 PSI
			Presión al 150%: 155 PSI

		incendios. No debe estar por encima del 140% de la presión nominal, ni por debajo del 70%, evitando la sobrecarga o las caídas de presión respectivamente	Potencia máxima: 85 Hp
			Velocidad nominal: 1760 RPM
ERCB-RCI-EXCB-EQ-002	Bomba jockey contra incendios	Mantiene presurizada la instalación contra incendios compensando las posibles pérdidas o fugas de la instalación evitando la puesta en marcha de la bomba principal	Caudal nominal: 13 GPM
			Presión nominal: 78 PSI
			Presión máxima: 94 PSI
			Presión al 150%: 94 PSI
			Potencia máxima: 1.5 Hp
			Velocidad nominal: 3500 RPM
ERCB-RCI-EXCB-EQ-003	Controlador automático de bomba principal contra incendios	Controla el arranque, el encendido y el apagado automático de la bomba principal (y jockey en algunos casos) contra incendios.	Potencia máxima: 50 Hp
			Ciclos de fase: 3
			Frecuencia: 60 Hz
			Presión máxima: 300 PSI
			Presión máxima: 21 Bar
			Voltaje: 440 V
ERCB-RCI-EXCB-EQ-004	Interruptor de poder de la bomba contra incendios	Evita el funcionamiento de la bomba en seco, previniendo averías por un recalentamiento	Potencia máxima: 50 Hp
			Ciclos de fase: 3
			Frecuencia: 60 Hz
			Presión máxima: N/A
ERCB-RCI-EXCB-EQ-005	Motor eléctrico de la bomba	A través del movimiento del	Potencia máxima: 75 Hp

		eje, impulsa el líquido hacia la bomba, ayudando a distribuirlo por medio de tubería, evitando una conflagración	Velocidad nominal: 1760 RPM
			Voltaje: 460 V
			Amperaje: 87 A
			Peso: 800 Lb

*Tabla 3. tabla de identificación de equipos*

Fuente: Autor

#### 5.4. ANÁLISIS FUNCIONAL

A continuación, se efectúa un análisis funcional de los componentes en cuestión, luego de determinar las funciones de los componentes en cuestión, con el fin de especificar los modos de falla y cuáles son las causas que las pueden ocasionar; para esto, se usaron las 7 preguntas del RCM que se relacionan a partir de esta sección:

- ¿Cuáles son las funciones o parámetros de funcionamiento que se asocian al estado actual del activo?
- ¿De qué manera puede fallar el activo?
- ¿Cuál es la causa del fallo funcional del activo?
- ¿Qué sucede con cada falla en el activo?
- ¿En qué sentido tiene importancia la falla en el activo?

Planteando estas preguntas, se logra determinar en los equipos, las funciones que cumplen, las fallas que pueden tener, los modos o causas de estas fallas y los efectos de estas, en los equipos, ayudando a la mejora continua de los activos.

A continuación, se relaciona la información de cada componente:

Código equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla
ERCB- RCI- EXCB- EQ-001	Realiza la extracción de agua desde un tanque sumergido para distribuir el líquido (agua) por medio de tubería hacia el sistema de extinción de incendios. No debe estar por encima del 140% de la presión nominal, ni por debajo del 70%, evitando la sobrecarga o	Aire introducido en la conexión de succión a través de fugas	Empaquetadura defectuosa o desgastada	Causa una pérdida de succión de la bomba o que no logre mantener la presión de descarga
		Ajuste de rodete incorrecto	Malas prácticas de instalación por parte del fabricante	Causa daños en el rodete, si queda con juego, no logra la succión, y si queda muy forzado, puede dañar el eje.
		Rodete bloqueado	Grandes cargas impuestas en el eje	Puede causar pérdida de succión de la bomba,

	las caídas de presión respectivamente	Fallo del impulsor	Fallo de conexiones del motor eléctrico	No logra mantener presión de descarga de la bomba
		Velocidad demasiado baja	Voltaje demasiado bajo o descarga de agua insuficiente	Puede causar despresurización en la bomba
ERCB- RCI- EXCB- EQ-002	Mantiene presurizada la instalación contra incendios compensando las posibles pérdidas o fugas de la instalación evitando la puesta en marcha de la bomba principal	No mantiene la presión	Fuga de aire hacia la bomba	Puede causar despresurización de la bomba principal
		Velocidad demasiado alta	Voltaje muy bajo y requiere demasiada energía	El motor se calienta demasiado
		Unidad de bomba no arranca	Ajustes de rodete incorrecto	No logra la función de mantener una presión
ERCB- RCI- EXCB- EQ-003	Controla el arranque, el encendido y el apagado automático de la bomba principal (y jockey en algunos casos) contra incendios.	Terminales y conductores internos dañados	Fallo de funcionamiento por exceso de sobrecarga	Cortocircuito
		Contactor defectuoso	Fallo de funcionamiento por exceso de sobrecarga	Cortocircuito
		Interruptor de corriente no funciona	Fallo de funcionamiento por exceso de sobrecarga	Cortocircuito
ERCB- RCI- EXCB- EQ-004	Evita el funcionamiento de la bomba en seco, previniendo	Terminales y conductores internos dañados	Fallo de funcionamiento por exceso de sobrecarga	Cortocircuito
		Contactor defectuoso	Fallo de funcionamiento	Cortocircuito

	averías por un recalentamiento		por exceso de sobrecarga	
		Interruptor de corriente no funciona	Fallo de funcionamiento por exceso de sobrecarga	Cortocircuito
ERCB-RCI-EXCB-EQ-005	A través del movimiento del eje, impulsa el líquido hacia la bomba, ayudando a distribuirlo por medio de tubería, evitando una conflagración	Sobrecargas	Mala conexión de conectores	Puede dañar de manera permanente el equipo
		Vibración	Freno del vibrador	Causar daños graves en el motor
		Desalineamiento	Freno del vibrador	Causar daños graves en el motor
		Deterioro en sistema de aislamiento	Freno del vibrador	Causar daños graves en el motor

Tabla 4. identificación de fallas de componentes de incendios

Fuente: Autor

Las siguientes tablas se muestran como la descripción de factores importantes que componen la metodología RCM, que describe las fallas potenciales de los equipos y su influencia en el análisis de fallas.

Tabla 5. Probabilidad de ocurrencia de fallas

Ocurrencia		Calificación
Frecuente	1 falla en 1 mes	4
Ocasional	1 falla en 1 año	3
Remota	1 falla en 5 años	2
Poco probable	1 falla en 20 años	1

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 6. Factores de severidad

Factores de severidad K	
KFO (fallas ocultas)	0.05
KSF (seguridad física)	0.20
KMA (medio ambiente)	0.10
KIC (imagen corporativa)	0.30
KOR (costo de reparación)	0.30
KOC (efectos en clientes)	0.05

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 7. Medio ambiente

Medio ambiente	
No afecta el medio ambiente	0
Afecta el MA, pero se puede controlar. No daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de 6 meses con un valor inferior a 5000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en menos de 3 años con un valor inferior a 50000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el Ecosistema. Es reversible en más de 3 meses o es irreversible. Su impacto social y económico es superior a 50000 dólares	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 8. Fallos ocultos

Fallos ocultos	
No existen fallas ocultas que generen fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja probabilidad de que la falla no sea detectada y ocasione fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla sería siempre oculta y genera fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja probabilidad de que la falla si se detecte y ocasione fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas graves al sistema	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 9. Seguridad física

Seguridad física	
No afecta ni personas ni equipos	0

Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
Afecta de 2 a 5 personas y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	2
Afecta a más de 5 personas y puede generar incapacidad de tipo temporal o permanente	3
Genera incapacidad permanente o la muerte. Afecta una o más personas	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 10. Efectos en clientes

Efectos en clientes	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5000 dólares	2
Entre 5001 y 50000 dólares	3
Más de 50001 dólares	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 11. Imagen corporativa

Imagen corporativa	
No es relevante	0
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos	1
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión inferior a 1000 dólares	2
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión entre 1000 y 10000 dólares	3
Afecta credibilidad de los clientes, pero se maneja con argumentos e inversión mayor a 10000 dólares. Puede ser irreversible	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

Tabla 12. Costos de reparación

Costo de reparación	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5000 dólares	2

Entre 5001 y 50000 dólares	3
Más de 50001 dólares	4

Fuente: RCM (Moubray, 2004)

El objetivo de esta sección es reconocer y analizar los modos de falla potenciales que se presentan, precisar los efectos de estas fallas en dichos dispositivos, para disponer de acciones en el momento que se presenten las fallas.

Cuando se obtiene el análisis funcional y se detectan las acusas de falla, se procede a señalar los efectos de falla que se presentan en los equipos y sus consecuencias. Para esto se deben plantear las siguientes preguntas:

- ¿En qué sentido tiene importancia la falla en el activo?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir la falla del activo?
- ¿Qué se hace cuando no exista o no se encuentra una tarea adecuada para prevenir la falla?

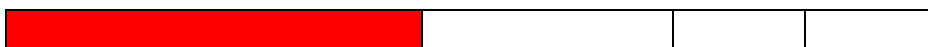
A través de una matriz de criticidad, se precisó el impacto que puede generar los efectos de las fallas en cada componente, como el riesgo económico, ambiental, humano, entre otros factores, señalados en las tablas que se muestran anteriormente:

FRECUENCIA	4		MC	MC	C	C	C
	3		NC	MC	MC	C	C
	2		NC	NC	MC	C	C
	1		NC	NC	NC	MC	C
				10	20	30	40
CRITICIDAD TOTAL							

Fuente: Autor

Cuando se tiene la información del impacto que pueden generar los componentes, es necesario asignar un rango de criticidad

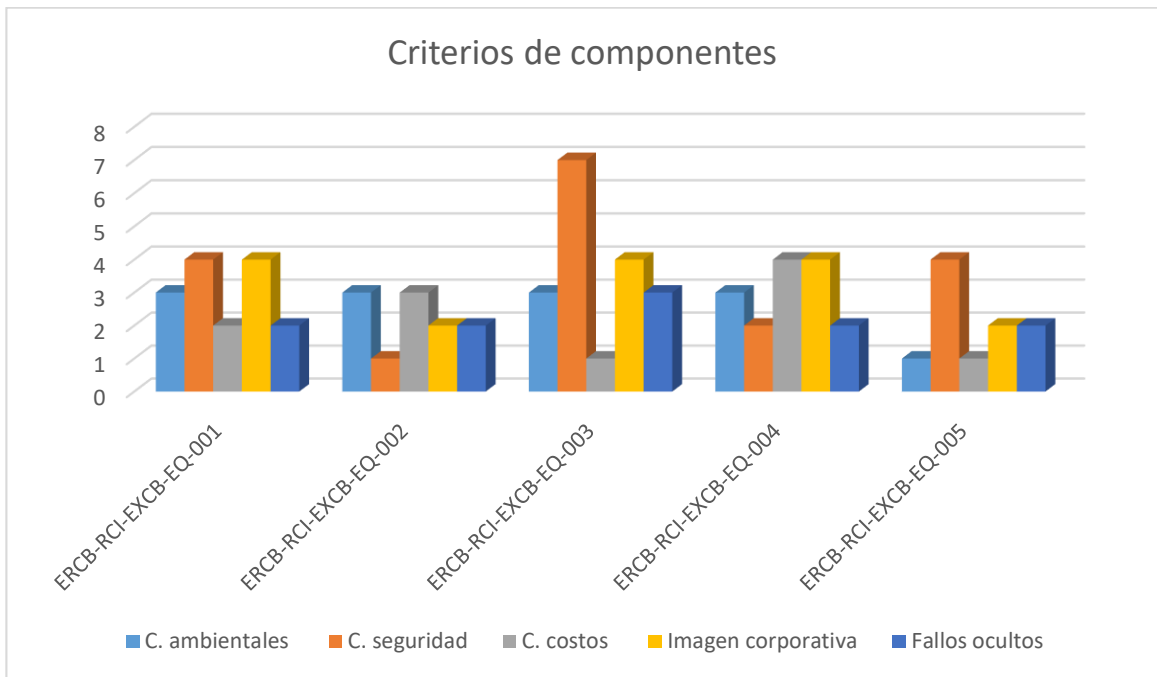
Color de identificación	Grado	Rango	
	No crítico	1	30
	Medianamente crítico	31	50
	Crítico	51	200



Fuente: autor

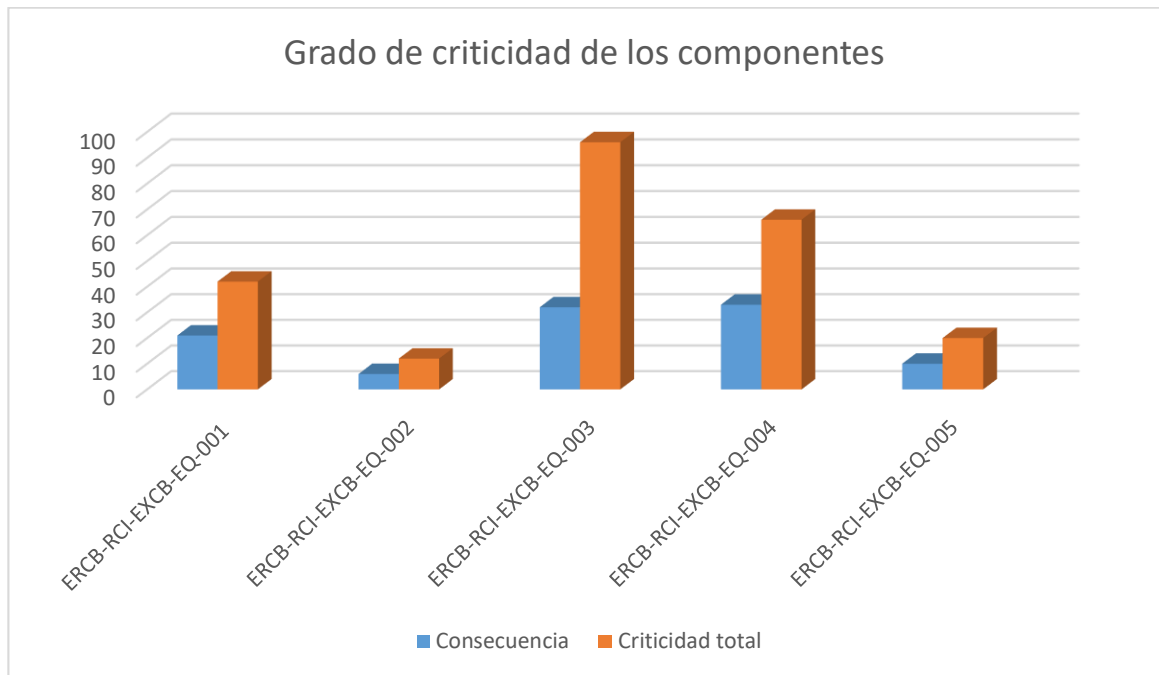
Al mismo tiempo, se debe establecer un valor cuantitativo de criticidad donde bueno = 1, regular = 2, malo = 3, y el rango de criticidad se constituye como el resultado de multiplicar en la matriz de criticidad las consecuencias ambientales, de seguridad física y los costos de reparación

	C. ambientales	C. seguridad	C. costos	Imagen corporativa	Fallos ocultos
ERCB-RCI-EXCB-EQ-001 – bomba tipo turbina vertical	3	4	2	4	2
ERCB-RCI-EXCB-EQ-002 – bomba jockey	3	1	3	2	2
ERCB-RCI-EXCB-EQ-003 – controlador automático	3	7	1	4	3
ERCB-RCI-EXCB-EQ-004 – interruptor de poder	3	2	4	4	2
ERCB-RCI-EXCB-EQ-005 – motor eléctrico	1	4	1	2	2



Fuente: Autor

	Consecuencia	Criticidad total
ERCB-RCI-EXCB-EQ-001 – bomba tipo turbina vertical	21	42
ERCB-RCI-EXCB-EQ-002 – bomba jockey	6	12
ERCB-RCI-EXCB-EQ-003 – controlador automático	32	96
ERCB-RCI-EXCB-EQ-004 – interruptor de poder	33	66
ERCB-RCI-EXCB-EQ-005 – motor eléctrico	10	20



Fuente: Autor

Como resultado se evidencia que, de los cinco equipos escogidos, el más crítico es el controlador automático de la bomba, debido a la sensibilidad de sus componentes. Con esta información se puede efectuar una serie de acciones no solo para el equipo en cuestión, sino también para todo el sistema en general.

#### **5.4.1. Acciones preventivas**

Se detectaron fallas, las cuales pueden anticiparse a las causas de la falla

#### **5.4.2. Acciones proactivas**

Se pueden programar tareas que puedan prevenir o eliminar fallas antes de que se presenten. Este tipo de eventos parten de los modos de falla

#### **5.4.3. Acciones predictivas**

Se enfoca a sustituir componentes del sistema, conociendo las condiciones actuales del equipo asegurando su operación y prolongando su vida útil

#### **5.4.4. Acciones correctivas**

Una vez estén identificadas las tareas correctivas, se procede a programar dichas actividades

A partir de ahí, se puede reducir la consecuencia del modo de falla a un nivel aceptable.

## **5.5. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

Para el avance del plan de mantenimiento, fue necesario crear distintos formatos, a través de Excel, teniendo en cuenta que se optimiza con la herramienta macros, con el fin de agilizar los pasos para ejecutar tareas de mantenimiento. Los documentos establecidos son:

### **5.5.1. Formato de Codificación de equipos**

Este documento se creó para codificar los distintos equipos que se presentan en un sistema contra incendios. Este consta de 4 partes importantes que son:

- Código del equipo
- Marca del equipo
- Nombre del equipo
- Descripción del equipo

En la primera sección, se asigna un código alfa numérico, que clasifica a los equipos, desde el tipo de sistema contra incendios, hasta la numeración de cada componente y subcomponente. Un claro ejemplo de código es:

PCI-EXT-CB-ME001

Donde

- PCI: protección contra incendios
- EXT: sistema de extinción
- CB: cuarto de bombas
- ME: motor eléctrico
- 001: número de componente

En la segunda, se ingresa la marca del equipo, según el fabricante

En la tercera sección, se expone cual es el equipo,

Por último, se relata una descripción breve al equipo,

### **5.5.2. Formato de inventario de equipos**

En este, se registra un inventario de los equipos que se encuentran en un sistema contra incendios. Se clasifica en tres partes que son:

- Identidad del equipo
- Costos
- Análisis de mantenimiento

En la primera parte, se recopila lo planteado en el formato de codificación de los equipos, adicionando el serial de los equipos

En la segunda parte, se describe el costo del equipo, y la condición en que se encuentra el equipo, si es buena, regular o mala.

En la tercera parte, se describe un análisis del proceso de mantenimiento, donde se considera el tipo de mantenimiento, su criticidad, la fecha de adquisición del equipo y una descripción breve del proceso de mantenimiento

### 5.5.3. Formato de ficha técnica de equipos

En este se especifica cualquier componente de un sistema contra incendios de manera detallada. En la primera parte, el formato contiene los datos del equipo, específicamente el nombre, el modelo, el serial, el código, entre otros datos del equipo.

En la segunda parte, contiene las especificaciones técnicas del activo, donde se encuentran las dimensiones del equipo, como la altura, el ancho, el peso, la potencia, entre otros. Adicionalmente, se pueden agregar dos fotografías del mecanismo para obtener una mejor visualización de este.

En la tercera sección del documento se encuentra lo concerniente al procedimiento de mantenimiento, que contempla el número, el nombre y el tipo de proceso anteriormente mencionado.

En la cuarta, tiene que ver con el proveedor de insumos, el cual describe específicamente la compañía fabricante, correo electrónico, teléfono de contacto, código de catálogo y de insumo.

Por último, se tiene en cuenta los insumos a utilizar, la cantidad y el costo.

### 5.5.4. Formato de matriz de criticidad<sup>8</sup>

En esta matriz, se contempla la criticidad de los mecanismos en cuestión. En esta sección, se describe los distintos criterios a evaluar que son:

- **Frecuencia de fallas:** Analiza el intervalo de tiempo que tarda un equipo en presentar una falla, y se clasifica en 4 factores, que son:
  - Pobre (más de 2 fallas/año) = 4
  - Promedio (2 fallas/año) = 3
  - Buena (1 falla/año) = 2
  - Excelente (menos de 0,5 fallas/año) = 1
- **Costo del mantenimiento:** Estudia el costo de mantenimiento de un equipo en dos fases que son:
  - Mayor o igual a 3'000.000 = 2
  - Menor a 3'000.000 = 1
- **Flexibilidad operacional:** Se entiende como la posibilidad de hacer un cambio sin tener pérdidas, y se clasifican en:
  - No existe opción de producción y no hay función de prepuesto = 4
  - Hay opción de repuesto compartido = 2

---

<sup>8</sup> Desarrollando un plan de mantenimiento apoyados en RCM. Disponible en <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/desarrollando-un-plan-de-mantenimiento-apoyados-en-rcm/>

- Función de repuesto disponible =1
- **Impacto operacional:** Se entiende como los efectos que causa sobre los equipos, donde se comporta de la siguiente forma:
  - Pérdida de operación = 10
  - Parada de sistema o subsistema = 7
  - Impacto de nivel de inventario = 4
  - No genera efecto = 1
- **Impacto en seguridad, ambiente e higiene:** Se centra en analizar los inconvenientes ambientales o de seguridad humana, de la siguiente forma:
  - Afecta la seguridad humana de manera interna o externa = 8
  - Afecta la seguridad de manera severa = 7
  - Afecta las instalaciones de manera severa = 5
  - Provoca un efecto ambiental pero no infringe las normas = 3
  - No provoca daños al personal o medio ambiente = 1

#### **5.5.5. Formato de procedimiento de mantenimiento**

En este documento, se da la explicación de la forma en que se debe proceder en un trabajo de mantenimiento de los equipos que tienen una influencia importante a la hora de operar en caso de un conato de incendio.

En la primera parte, se diligencia la información del equipo, a continuación, se especifica el procedimiento, el personal a cargo. El modelo, el serial, y demás datos pertinentes. Seguido, se evalúan los EPPs<sup>9</sup> según la norma NTC 1532, y su uso correcto, el tipo, la descripción y la unidad por persona. Luego, se describen las herramientas, la cantidad, se detalla y se da asigna el operario. Por último, se describe el procedimiento, el tiempo de realización y el encargado.

#### **5.5.6. Formato de rutina de lubricación**

Contiene los elementos y etapas de un mantenimiento de lubricación de equipos rotativos, y contempla el tipo de lubricante, la cantidad de lubricante, la frecuencia de lubricación entre otros. Se aclara que, en sistemas de protección contra incendios, no es muy común realizar rutinas de mantenimiento.

#### **5.5.7. Formato de hoja de vida**

Es un documento que identifica el activo, las características e incluye un historial de procedimientos de mantenimiento que se ejecutan en un equipo, las especificaciones del mantenimiento, y los trabajos realizados en el mecanismo mencionado anteriormente. Este formato permite un fácil manejo

---

<sup>9</sup> Elementos de Protección Personal

de los componentes del sistema y garantiza una forma correcta de realización de inventario.

Este documento contiene la siguiente información

- Identificación del activo (área, procedimiento, número de serie, etc.)
- Especificaciones (modelo, serie, placa identificadora, año de fabricación, etc.)
- Numero de orden de trabajo
- Fecha de ejecución
- Tipo de mantenimiento
- Tiempo de parada
- Disponibilidad
- Repuesto (si aplica)
- Descripción
- Costo

#### **5.5.8. Formato de requerimiento de mantenimiento (solicitud de trabajo)**

Es el documento que registra las peticiones del cliente para realizar un trabajo de mantenimiento, el personal que lo va a ejecutar, efectuando una descripción minuciosa; el estado del equipo, las condiciones del equipo y se describe la causa de la falla.

#### **5.5.9. Formato de orden de trabajo**

Es un documento que describe las actividades que ejecuta el personal de mantenimiento, y recopila los datos de las tareas efectuadas. Este formato es único para cualquier empresa, dependiendo de su actividad, pero por lo general contiene datos importantes que son

- Consecutivo
- Tipo de mantenimiento a realizar
- Tiempo de duración del mantenimiento
- Datos del solicitante
- Datos del operario
- Descripción del servicio
- Datos de mano de obra y repuestos

#### **5.5.10. Formato de calendario general**

Es un calendario donde se programan todas las tareas a las que haya lugar, cumpliendo con los tiempos establecidos.

#### **5.5.11. Formato de Árbol de fallas por metodología RCM**

Constituye el más importante de los formatos, debido a que registra las funciones de los equipos, sus fallas, las causas de estas, sus efectos y factores relevantes que afectan los sistemas y componentes que se analicen

**5.5.12. Formato de gestión de insumos**

En este se suministra la información de proveedores, las cotizaciones de los insumos, el valor de los anteriores

**5.5.13. Catálogo**

Es un compendio de catálogos de accesorios y equipos de sistemas de protección contra incendios, de diversos proveedores

**5.5.14. Normativa**

Es el conjunto de normas que se basan los procedimientos de mantenimiento, la protección contra incendios y la gestión de activos y calidad, como son las normas

- NSR-10
- NFPA 25
- ISO 55000
- ISO 9001
- entre otras.

Para garantizar el buen manejo del plan de mantenimiento, es indispensable dar un orden establecido a los formatos en cuestión, de acuerdo con el siguiente diagrama

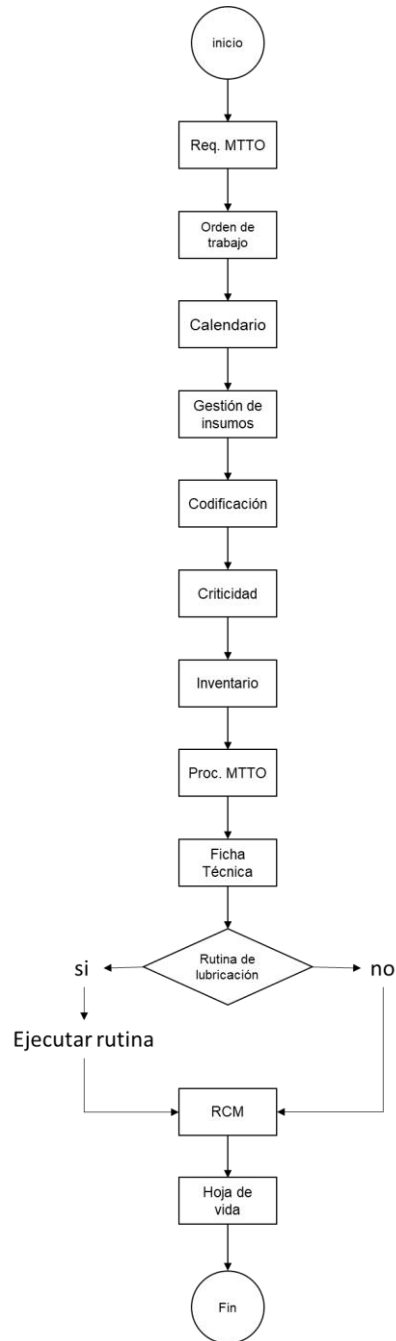


Figura 15. Diagrama de flujo de plan de MTTO

Fuente: Autor

## 6. CONCLUSIONES

- Al finalizar este proyecto, se hace énfasis en la importancia de los sistemas de protección contra incendios, debido a que son estos los que evitan las pérdidas de bienes materiales y vidas humanas en caso de un conato de incendio.
- La metodología RCM se enfoca en aumentar la confiabilidad de los equipos. Ampliando un panorama que abarca las funciones y capacidades de estos, una vez identificada la criticidad de cada componente, alcanzando a analizar hasta qué punto puede afectar la salud, la seguridad y el medio ambiente, dicho sistema, y tomando medidas correctivas al respecto.
- Las normas que se plantearon son de vital importancia, porque son estas las que definen los distintos procedimientos que se efectúan una rápida sofocación de incendios.
- Las labores de mantenimiento se enfatizaron a la disponibilidad de los equipos evaluados, y, por consiguiente, es necesario realizar mantenimientos periódicos, para evitar fallas catastróficas. En cuanto al caso de estudio, al ser una edificación nueva, hasta el momento no presenta fallas de funcionamiento, pero se realizó una evaluación de algunas fallas en el caso que se lleguen a presentar.
- Este plan de mantenimiento se enfoca a tareas de mantenimiento preventivo de sistemas rotativos y estacionarios de extinción, y a su vez, puede aplicarse para trabajos de detección de incendios
- En el desarrollo de la pasantía, se logra adquirir experiencia en el ejercicio de la ingeniería, logrando que se aprenda a tomar las decisiones adecuadas.

## 7. RECOMENDACIONES

- Implementar y actualizar de manera constante el plan de mantenimiento, para lograr agilizar dichos procesos
- Buscar alternativas digitales como software, enfocados a sistemas de protección contra incendios, para acceder a la información de modo más rápido y más efectivo
- Documentar los equipos existentes con códigos QR, para agilizar los procesos de codificación e inventario
- Por parte de las universidades, especialmente facultades de ingeniería, dar a conocer el funcionamiento de sistemas de protección contra incendios, con fines académicos, por la gran importancia que tienen estos y el enorme contenido temático.

## 8. REFERENCIAS

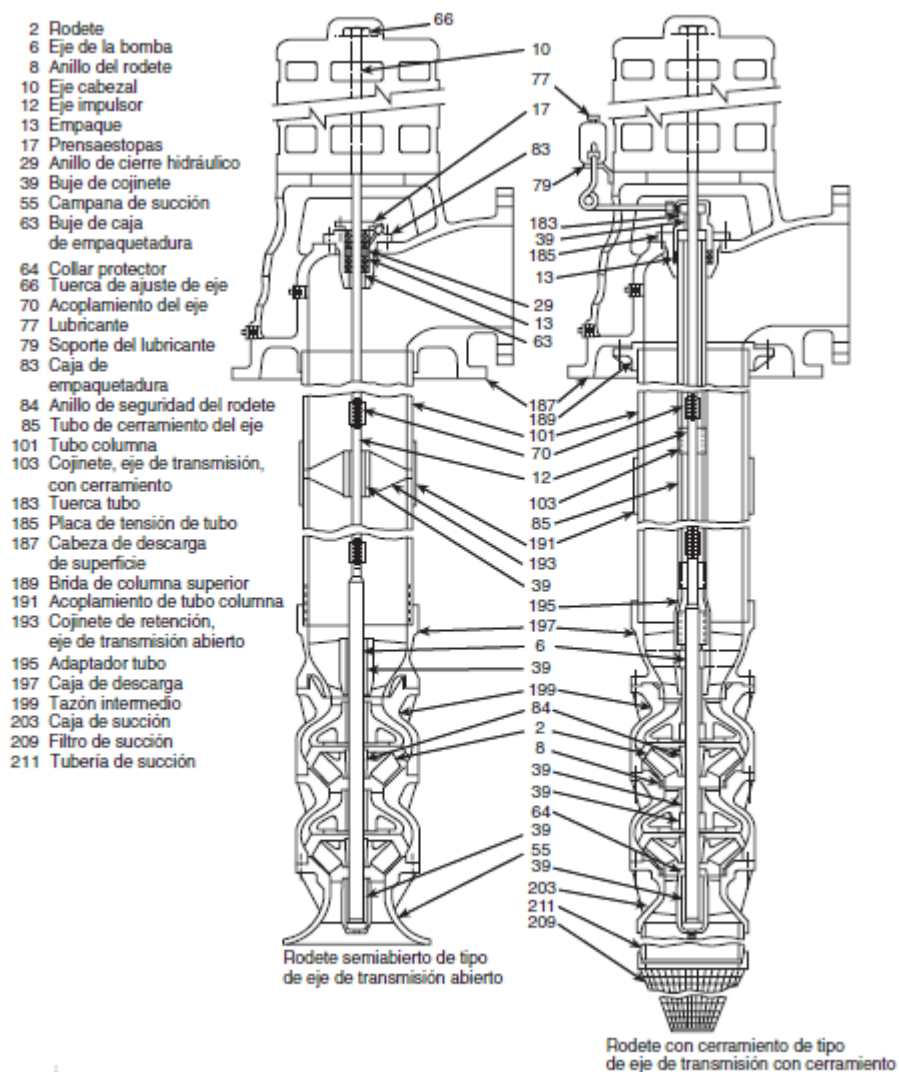
- Aguirre Rodríguez, A., & Bravo Zúñiga, D. A. (2015). *DISEÑO Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA DE RCM PARA LA PLANTA DE ASFALTO DE CONALVÍAS EQUIPOS UBICADA EN LA REGIONAL DEL PLATO MAGDALENA*. Bucaramanga.
- Borrás Pinilla, C. (s.f.). *Principios de mantenimiento*. Bucaramanga .
- Emprendices*. (29 de Agosto de 2010). Obtenido de <https://www.emprendices.co/el-ciclo-phva-y-las-normas-iso-9000/>
- Gestión y planificación del mantenimiento industrial. (2018). IntegraMarkets.
- Gómez Lubo, N. R. (2012). *Modelo de mantenimiento basado en RCM para las subestaciones portátiles 69 Kv / 72 Kv de la empresa Carbones del Cerrejón, Ltd*. Bucaramanga.
- González Fernández, F. J. (2003). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: Fundación confemetal.
- Mendez Gomez, L. (2014). *Mantenimiento a sistemas contra incendios*. México D.F.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Bogotá.
- Moncada, J. A. (13 de 08 de 2020). *Seguridad en América*. Obtenido de <https://www.seguridadenamerica.com.mx/noticias/articulos/25825/historia-de-la-ingenieria-de-proteccion-contra-incendios>
- Moncada, J., & Moncada, J. A. (2009). *Manual de protección contra incendios* . Bogotá: MAPFRE.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado de la confiabilidad* . Asheville : Aladon LLC .
- National Fire Protection Association. (2016). *NFPA 72: Código nacional de alarmas de incendio y señalización*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/>
- National Fire Protection Association. (2019). *NFPA 20: Norma para la instalación de bombas estacionarias para protección contra incendios*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/>
- National Fire Protection Association. (2020). *NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/>

Ortiz, D. (17 de Abril de 2018). *Estucorp*. Obtenido de <http://www.estucorp.com/blog/toc-vs-espina-de-pescado/>

ReliabilityWeb.com. (s.f.). *Desarrollando un plan de mantenimiento apoyados en RCM*. Obtenido de <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/desarrollando-un-plan-de-mantenimiento-apoyados-en-rcm/>

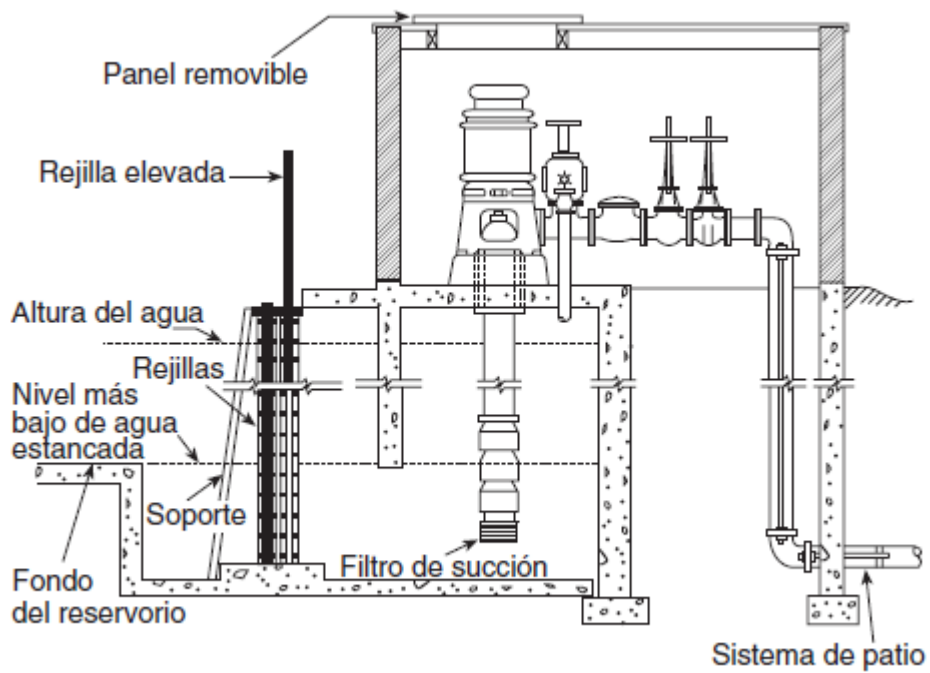
Vigara, F. (5 de Enero de 2019). *Idea deBombero*. Obtenido de <http://ideadebombero.org/>

## 9. ANEXOS



Las vistas en sección transversal ilustran la mayor cantidad posible de piezas en su apropiada relación y algunas modificaciones en la construcción, pero no necesariamente representan el diseño recomendado.

Anexo A1. Componentes de una bomba tipo turbina vertical



Anexo A2. Conformación de cuarto de bombas

Ítem	Frecuencia	Referencia
<b>Inspección</b>		
Alineación	Anual	8.3.6.4
Aislamiento de cables/conductores	Anual	8.1.1.2.5
Sistema de motor diésel	Semanal	8.2.2(4)
Sistema eléctrico	Semanal	8.2.2(3)
Respiradero del cárter del motor	Trimestral	8.1.1.2.12
Sistema de escape y trampa de condensado de drenaje	Anual	8.1.1.2.13
Conexiones y mangueras flexibles	Anual	8.1.1.2.11
Ventilaciones de tanques de combustible y tuberías de rebose	Anual	8.1.1.2.10
Piezas de fontanería – en interior y exterior de paneles	Anual	8.1.1.2.6
Corrosión en placas de circuitos impresos (PCB)	Anual	8.1.1.2.4
Bomba	Semanal	8.2.2(2)
Caseta/cuarto de bomba	Semanal	8.2.2(1)
Movimiento u holgura longitudinal de ejes durante el funcionamiento	Anual	8.1.1.2.1
Sistema de bombas de vapor	Semanal	8.2.2(5)
Rejillas de succión	Anual	8.3.3.12

Anexo A3. Tabla de frecuencia de inspección de cuarto de bombas

<b>Prueba</b>		
Interruptor de transferencia automática	Anual	8.3.3.12
Interruptores de transferencia automática y generadores de emergencia/reserva	Según NFPA 110	8.3.6.1, 8.3.6.2
Bomba contra incendios accionada por motor diésel (sin flujo)	Semanal	8.3.1.1
Pruebas del combustible diésel	Anual	8.3.4.1
Bomba contra incendios accionada por motor eléctrico	Semanal/mensual	8.3.1.2
Módulo de control electrónico (MCE)	Anual	8.3.3.16
Señales de alarma de bomba contra incendios	Anual	8.3.3.13
Medidores de flujo	Anual	8.3.3.5.3
Tanque de combustible, interruptor de flotador y señal de supervisión para espacio intersticial	Trimestral	8.1.1.2.7
Manómetros, transductores y otros dispositivos usados para las pruebas	Anual	8.3.3.5.2
Válvula de alivio de presión principal	Anual	8.3.3.11, 13.5.6.2.3
Condiciones ambientales de caseta/cuarto de bombas		8.3.6.3
Funcionamiento de la bomba (sin flujo)	Semanal/mensual	8.3.2, 8.3.5
Desempeño de la bomba (con flujo)	Anual	8.3.3, 8.3.5
Señal de supervisión para alta temperatura del agua de refrigeración	Anual	8.1.1.2.8

*Anexo A4. Tabla de frecuencia de pruebas de cuarto de bombas*

<b>Mantenimiento</b>		
Baterías	Anual	8.1.1.2.15
Filtro del agua circulante	Anual	8.1.1.2.21
Conexiones del cableado de energía y control	Anual	8.1.1.2.16
Controlador y todos los otros componentes del conjunto de montaje de la bomba	Según fabricante	8.5
Sistemas activos de mantenimiento de combustible diésel	Anual o según fabricante	8.3.4.3
Sistema de motor diésel	Según fabricante	8.5
Sistema de motor eléctrico y energía	Según fabricante	8.5
Conexiones eléctricas	Anual	8.1.1.2.2
Aceite lubricante de motores	50 horas operativas o anual	8.1.1.2.17
Filtro de aceite de motor	50 horas operativas o anual	8.1.1.2.18
Filtro de combustible	50 horas operativas o anual	8.1.1.2.19
Tanque de combustible – verificar presencia de agua y materiales extraños	Anual	8.1.1.2.9
Medir contrapresión en turbo de motor	Anual	8.1.1.2.14
Componentes de transmisión de energía con materiales elastoméricos (incluye acoples de torsión)	Cada 5 años o según fabricante	8.1.1.2.23
Manómetros y sensores de presión	Anual	8.1.1.2.22
Acoplamientos y cojinetes de bombas y motores	Anual o según lo requerido	8.1.1.2.3
Ánodo de sacrificio	Anual	8.1.1.2.20

*Anexo A5. Tabla de frecuencia de mantenimiento de cuarto de bombas.*

Los anexos desde B1 hasta B11 se presentarán en secuencia según el orden establecido. Se realiza un comentario de cada uno

Anexo B1. Requerimiento de mantenimiento

Anexo B2. Orden de trabajo

Anexo B3. Codificación de equipos

Anexo B4. Matriz de criticidad

Anexo B5. Inventario de equipos

Anexo B6. Procedimiento de mantenimiento

Anexo B7. Ficha técnica


Anexo B8. Análisis de modos de falla RCM

Anexo B9. Hoja de vida



<b>CONTROL DE CAMBIOS</b>							
<b>Version</b>			A-2			<b>Descripción</b>	
<b>Fecha</b>			15/04/2021				
<b>Elaboro</b>	Alejandro Duarte		<b>Reviso</b>	Ing. Jonattan Calderón		<b>Aprobo</b>	Ing. Pablo Juez

**Orden de trabajo:** Este formato se aplicó para ejecutar las tareas de mantenimiento, luego de aprobar el requerimiento, y se profundiza la descripción del servicio, y en dado caso, se explica los repuestos o insumos necesarios dar cumplimiento al trabajo.


		<b>ORDEN DE TRABAJO</b>		<b>VERSIÓN:</b>	A2
				<b>EMISIÓN:</b>	06/05/2021
				<b>PAGINA:</b>	1de1
				<b>CÓDIGO:</b>	OT-001
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>					
				<b>SOLICITUD No.</b>	<b>OT-001</b>
<b>ORDEN DE TRABAJO</b>					
<b>TIPO DE ORDEN</b>		<b>TIPO DE PARO</b>			
Equipo		N° de serie de equipo			
Fecha Solicitud		Solicitante			
Hora Solicitud					
Fecha Inicio		ID del solicitante			
Hora Inicio		Motivo Solicitud			
Fecha Finalizacion					
Hora Finalizacion					
<b>Identificacion del activo</b>					
<b>Codigo</b>		<b>Modelo</b>			
<b>Serial</b>		<b>Diagnostico</b>			
<b>Descripcion del Servicio</b>					
<b>Procedimiento de Manteniemiemo</b>					
<b>Persona encargada</b>					
<b>Descripcion</b>					
<b>Observaciones</b>					
<b>Mano de Obra</b>					
<b>Nombre de Tecnico</b>		<b>oficio</b>	<b>Costo. Hora</b>	<b>Costo. Mantenimiento</b>	

<b>Repuestos</b>					
<b>ITEM</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>costo. Unidad</b>	<b>Costo. Repuestos</b>
<b>Total costos</b>					
<b>Costo Mantenimiento</b>		\$ 0	<b>Costo Repuestos</b>	\$ 0	<b>Costo Total</b> \$ 0
<b>CONTROL DE CAMBIOS</b>					
<b>Version</b>		A-1		<b>Descripción</b>	
<b>Fecha</b>		06/05/2021			
<b>Elaboro</b>	Alejandro Duarte	<b>Reviso</b>	Ing. Jonattan Calderón	<b>Aprobo</b>	Ing. Pablo Juez



CONTROL DE CAMBIOS						
<b>Version</b>		A-2			<b>Descripción</b>	
<b>Fecha</b>		25/03/2021				
<b>Elaboró</b>	Alejandro Duarte		<b>Revisó</b>	Ing. Jonattan Calderón	<b>Aprobó</b>	Ing. Pablo Juez

**Matriz de criticidad:** Para determinar la criticidad de los equipos, es necesario usar esta matriz, para representar las frecuencias de fallas y otros impactos, en los cuales estará inmerso la unidad si corre un fallo

		MATRIZ DE CRITICIDAD				VERSIÓN:	A1
						EMISIÓN:	11/03/2021
						PAGINA:	1de1
						CÓDIGO:	20XX-XXX-XXX-XXX
DOCUMENTO CONTROLADO							
Criterios a evaluar		Criterio a evaluar		Flexibilidad Operacional			
Frecuencia de fallas	Factor	Costo de mantenimiento	Factor	No hay función de repuesto	4		
Pobre: mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a \$3.000.000	2	Hay opción de repuesto compartido /almacén	2		
Promedio: 2 fallas/año	3	Menor que \$3.000.000	1	Función de repuesto disponible	1		
Buena: 1 falla/año	2	Ingrese valor	2	Ingrese valor	4		
Excelente: Menos de 0.5 fallas/año	1						
Ingrese valor	4						
Impacto Operacional		Impacto en Seguridad, Ambiente e higiene (SAH)					
Pérdida de la operación	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8	Criterios a evaluar	Valores		
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7	Afecta el ambiente /instalaciones.	7	Frecuencia de fallas	4		
Impacta en niveles de inventario y/o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5	Impacto Operacional	1		
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones	1	Provoca daños menores (ambiente/seguridad)	3	Flexibilidad Operacional	4		
Ingrese valor	1	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o el ambiente	1	Costo de mantenimiento	2		
		Ingrese valor	1	Impacto en SAH	1		
CONSECUENCIA=(IMPACTO OPERACIONAL*FLEXIBILIDAD)+COSTO MANTENIMIENTO+IMPACTO (SAH)		CONSECUENCIA		7			
CRITICIDAD TOTAL= FRECUENCIA*CONSECUENCIA DE FALLAS		CRITICIDAD TOTAL		28			
		16		NC			
Criterio a evaluar	Valores						
Frecuencia de fallas	1						
Impacto Operacional	7						
Flexibilidad Operacional	2						
Costo de mantenimiento	1						
Impacto en SAH	1						

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	NC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		11	20	30	40	50-200
CRITICIDAD TOTAL						


  

NC	Area de equipos <b>"NO CRITICOS"</b>
NC	Area de equipos <b>"MEDIANA CRITICIDAD"</b>
NC	Area de equipos <b>"CRITICOS"</b>






**Procedimiento de mantenimiento:** este formato aplica la detección de necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo, reportando el trabajo, por medio de calibración o reparación del activo.

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			VERSIÓN:	A1
				EMISIÓN:	11/03/2021
				PAGINA:	1de1
				CÓDIGO:	PM-001
DOCUMENTO CONTROLADO					
CODIGO DE PROCEDIMIENTO		Información del equipo			
Según solicitud N°			Codigo		
Nombre equipo			Serial		
Tipo			Marca		
Posicionamiento					
Descripción					
Especificación del procedimiento					
Nombre					Foto del equipo
Producto Requerido					
Modelo					
Serial					
Persona acargo del procedimiento					
Elementos de proteccion personal NTC 1532					
Norma	Elemento De proteccion	unidad por persona	Descripción		
HERRAMIENTAS					
HERRAMIENTA O EQUIPO	CODIGO según fabrica	CANTIDAD	DESCRIPCION	PERSONA ACARGO	
PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO					
ORDEN	DESCRIPCION			TIEMPO MIN	REALIZO


<b>CONTROL DE CAMBIOS</b>							
<b>Version</b>		A-2				<b>Descripción</b>	
<b>Fecha</b>		25/03/2021					
<b>Elaboro</b>	Alejandro Duarte	<b>Reviso</b>	Ing. Jonattan Calderón	<b>Aprobo</b>	Ing. Pablo Juez		

**Ficha técnica:** Este documento resume el funcionamiento de los equipos, describiendo detalladamente las características de los componentes del sistema o del subsistema

	<b>FICHA TÉCNICA</b>		<b>VERSIÓN:</b>	A2
			<b>EMISIÓN:</b>	25/03/2021
			<b>PAGINA:</b>	1de1
			<b>CÓDIGO:</b>	FT-001
<b>DOCUMENTO CONTROLADO</b>				
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>				
Nombre del equipo				
Código de costos		Código de equipo		
Modelo		Placa identificadora		
Número de serie		Año de fabricación		
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>				
<b>Dimensiones</b>				
Altura (mm.)				
Anchura (mm.)				
<b>Peso</b>				
peso (Lb)				
<b>Exigencias</b>				
Voltaje				
Amperaje				
Lubricación				
Potencia del motor (Hp)				
RPM				
<b>Datos</b>				
manual de servicio				
manual de repuestos				
Planos hidráulicos				
Planos eléctricos				
<b>PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO</b>				
No. De procedimiento		Nombre de procedimiento		Tipo de procedimiento



**Análisis de modos y efectos de falla por metodología RCM:** En este formato asegura las funciones de los equipos que se van a analizar, señalando una metodología de modos de falla por medio de análisis de fallas potenciales, recopilando información de manera uniforme, evaluando los fallos y priorizando los riesgos y jerarquizando las fallas

		Análisis de modos y efectos de fallas										VERSIÓN:	A1					
												EMISIÓN:	15/04/2021					
												PAGINA:	1de1					
												CÓDIGO:	AMEF-001					
DOCUMENTO CONTROLADO																		
Empresa: _____ RCM: _____ Planta: _____ Fecha: _____ Objeto de estudio: _____ Código: _____																		
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (causa)	EFECTO DE FALLA	Ocurrencia	Kfo (factor fallas ocultas)		Ksf (factor seguridad física)		Kma (factor medio ambiente)		Kic (factor imagen corporativa)		Kor (factor costo de reparación)		Koc (factor efectos en clientes)		Sumatoria	R = O x S
					0.05		0.20		0.10		0.30		0.30		0.05			
					FO (fallas ocultas)	Kfo x FO	SF(seguridad física)	Ksf x SF	MA (medio ambiente)	Kma x MA	IC (imagen corporativa)	Kic x IC	OR (costo de reparación)	Kor x OR	OCE (efectos en clientes)	Koc x OC		
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
CONTROL DE CAMBIOS																		
Version		A-1										Descripción						
Fecha		15/04/2021																
Elaboró	Alejandro Duarte	Revisó	Ing. Jonatán Calderón								Aprobó	Ing. Pablo Juez						



