



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Evaluación de la conformidad del sistema de protección contra incendio y seguridad humana basadas en la Normas NFPA para una central de Generación Hidroeléctrica y propuesta de una guía de evaluación del cumplimiento de las normas”

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:
MAGÍSTER EN GERENCIA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL
TRABAJO

Presentada por:

Mónica Emilia Guachún Peralta

GUAYAQUIL-ECUADOR
AÑO 2022

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros de la
Central Minas San Francisco
quienes, con su aporte,
hicieron posible este trabajo.

DEDICATORIA

A mi madre, Alejita.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ángel Ramírez M., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ernesto Martínez L., MSc
DIRECTOR DE PROYECTO

Dolores Astudillo B., MSc
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Mónica Emilia Guachún Peralta

RESUMEN

El presente estudio realizó una evaluación de conformidad los sistemas de protección contra incendio y seguridad humana de una central de generación hidroeléctrica basándose en las normas de la National Fire Protection Association, NFPA.

La empresa objeto de estudio es una central de generación hidroeléctrica de caverna subterránea que cuenta con un sistema de protección contra incendios activo y pasivo.

La metodología de trabajo se realizó mediante observación en campo, revisión de documentación disponible por la empresa, pruebas de campo, entre otros.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el cumplimiento de las normas NFPA aplicables para los sistemas contra incendio y se obtuvo como resultado la elaboración de una propuesta de guía de verificación de conformidad relacionadas con las normas NFPA.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
SIMBOLOGÍAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPITULO 1	1
1. GENERALIDADES.....	1
Descripción de infraestructura.....	1
1.1 Descripción del sistema de protección contra incendios de casa de máquinas 4	
1.1.1 Sistema de alarma y detección	5
Señales de entrada al sistema de alarmas contra incendios	6
Módulo o controlador de entrada	6
Señales de salida del sistema de alarma contra incendio	6
1.1.2 Sistema de extinción de incendios por agua.....	7
1.1.3 Sistema de extinción por agente FM 200	8
1.1.4 Sistema de extinción por CO ₂	9
1.1.5 Extintores portátiles.....	10
1.1.6 Iluminación de los medios de egreso y emergencia	10
1.1.7 Sistema de control y evacuación de humos.....	12
1.1.8 Sistemas de protección pasiva.....	12
CAPÍTULO 2	16
2. MARCO TEÓRICO.....	16
CAPÍTULO 3	25
3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	25
CAPÍTULO 4	26
4. RESULTADOS.....	26
4.1 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS CONTRA INCENDIO PARA LA CASA DE MÁQUINAS	26
7.2.1 Sistema de abastecimiento de agua	30
7.2.2 Sistemas de tubería vertical y manguera	33
CAPÍTULO 5	46

5 PROPUESTA DE GUÍA DE VERIFICACIÓN DE CONFORMIDAD PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	46
CAPÍTULO 6	52
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	0
ANEXOS	1

ABREVIATURA

CO ₂	Dióxido de carbono
NFPA	National Fire Protection Association
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
PQS	Polvo químico seco
msnm	Metros sobre el nivel del mar

SIMBOLOGÍAS

KV	Kilovoltio
m	Metro
km	Kilómetro
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
MW	Megawatio
MWA	Megawatio amperio
rpm	Revoluciones por minuto
RF	Resistencia al fuego

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Esquema de Casa de Máquinas	1
Figura 1.2. Esquema Unidad de Generación.....	2
Figura 1.3. Esquema de caracol y turbina.....	2
Figura 1.4 Subestación San Francisco	3
Figura 1.5. Vista frontal de la presa San Francisco	4
Figura 1.6 Botonera de accionamiento manual para incendio y emergencia.....	5
Figura 1.7 Alarma audiovisual	7
Figura 1.8 Conjunto de Válvulas para pulverizadores de transformadores	8
Figura 1.9. Conjunto de banco de cilindros de CO2	9
Figura 1.10. Botoneras de accionamiento local de descarga CO2	10
Figura 1.11 Iluminación de medios de egreso en piso principal	11
Figura 1.12 Iluminación de emergencia.....	11
Figura 1.13 Señalización fotoluminiscente.....	12
Figura 4.14 Esquema de flujo de información de incendio.....	27
Figura 4.15 Cuarto de Bombas del Sistema Contra Incendios.....	31
Figura 4.16 Despliegue de lista de alarmas de la Unidad de Bombeo en el SCADA ...	32
Figura 4.17 Información visual el controlador de la Unidad de Bombeo	33
Figura 4.18 Disposición de dos Bocas Equipadas de Incendio	35
Figura 4.19 Esquema de la distribución de pulverizadores en el transformador	36
Figura 4.20 Esquema de instalación del sistema de extinción por CO2	37
Figura 4.21 Pantalla de visualización de alarmas y estado del SCI del generador.....	38
Figura 4.22 Esquema de sistema de extinción FM 200	39
Figura 4.23 Sala de cilindros de agente FM 200.....	40
Figura 4.24 Vista general en 3D superior de Casa de máquinas.....	41
Figura 4.25 Ingreso y extracción de aire a Casa de Máquinas.....	41
Figura 4.26 Visualización del estado de inyección o extracción en el SCADA	42
Figura 4.27 Comprobación visual empírica del efecto de extracción de aire	42
Figura 4.28 Vista longitudinal de Casa de Máquinas	43
Figura 4.29 Paso de cables a sala de baterías sin protección corta fuegos.....	45
Figura 5.30 Cuadro de estimación de riesgo	48
Figura 5.31 Formato para evaluación de criticidad	50
Figura 5 32 Formato de guía de evaluación	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuadro resumen sistemas contra incendio.....	4
Tabla 2 Resumen evaluación riesgo de incendio en generador.....	20
Tabla 3 Resumen evaluación de riesgo de incendio en transformador.....	22
Tabla 4. Medios de actuación y restauración de señales a evaluar.....	28
Tabla 5 Datos técnicos de la bomba contra incendios	32
Tabla 6 Distribución BIE en Casa de Máquinas	34
Tabla 7 Valoración de riesgos	48
Tabla 8 Evaluación de cumplimiento de medios de actuación y restauración de señales	2
Tabla 9 Evaluación de cumplimiento de inspecciones al sistema de detección y alarma	5
Tabla 10 Evaluación de cumplimiento de estado actual de la unidad de bombeo	10
Tabla 11 Evaluación de cumplimiento de inspecciones al sistema de Bocas Equipadas de Incendio	14
Tabla 12 Evaluación de cumplimiento de inspección de sistema de extinción por CO2	16
Tabla 13 Evaluación de criticidad de Sistema de detección y alarma	20
Tabla 14 Guía para evaluación de criticidad de SCI por CO2	21
Tabla 15 Guía para evaluación de criticidad para la Unidad de bombeo.....	22
Tabla 16 Guía para evaluación de criticidad para FM 200	24
Tabla 17. Evaluación de criticidad de extinción por pulverización	25
Tabla 18. Evaluación de conformidad del detección y alarma.....	26
Tabla 19 Propuesta de guía de evaluación del sistema de extinción de CO2	28
Tabla 20 Propuesta de guía de evaluación de la unidad de bombeo.....	30
Tabla 21 Propuesta de guía de evaluación del sistema FM 200.....	32
Tabla 22. Tabla 21 Propuesta de guía de evaluación del sistema de pulverización.....	33

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

Descripción de infraestructura

La central hidroeléctrica Minas San Francisco está ubicada al suroeste del Ecuador, entre las provincias de Azuay y El Oro y cuenta con una potencia instalada de 270 MW. Aporta al Sistema Nacional Interconectado con un aproximado de 3% de la demanda actual.

Las obras de infraestructura civil y electromecánicas que constituyen la central hidroeléctrica son, casa de máquinas, subestación y presa.

La presa San Francisco posee una capacidad de alojamiento de agua de catorce millones de metros cúbicos la cual será la materia prima para producir energía eléctrica.

En casa de máquinas se podrá encontrar los componentes electromecánicos que constituyen cada unidad para la producción de energía hidroeléctrica.

Una vez generada la energía esta se conduce a través de un pozo de cables hasta la subestación de seccionamiento Minas San Francisco desde la cual pasa a aportar a sistema nacional interconectado.

Casa de máquinas

Está compuesta por tres turbinas tipo Pelton de Eje Vertical alojadas en la casa de máquinas. Cada una de las turbinas, tienen una potencia nominal de 90 MW, se encuentra acoplada a un generador eléctrico, de una velocidad de rotación de 360 rpm y una tensión nominal de 13.8 KV. La energía producida por el generador eléctrico es conducida a un transformador elevador ubicado en una caverna de transformadores, donde la tensión se eleva a 230 KV.

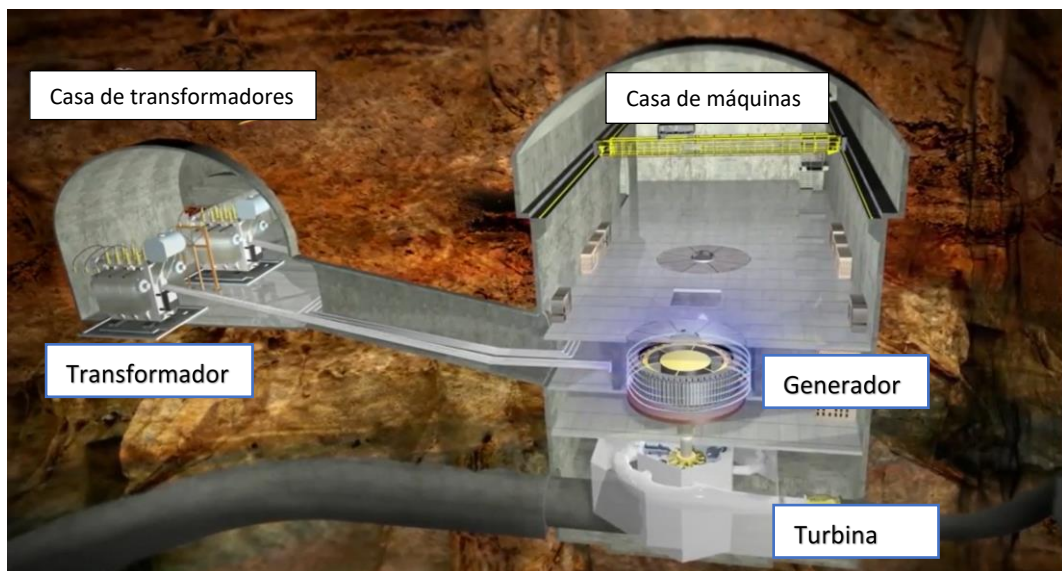


Figura 1.1 Esquema de casa de máquinas

Fuente: CELEC SUR

En casa de máquinas se encuentran los equipos de generación eléctrica entre los que destacan:

- 3 generadores de 90.31 MW que se encuentran dentro de un recinto protegido de riesgo de incendios a través de dióxido de carbono.

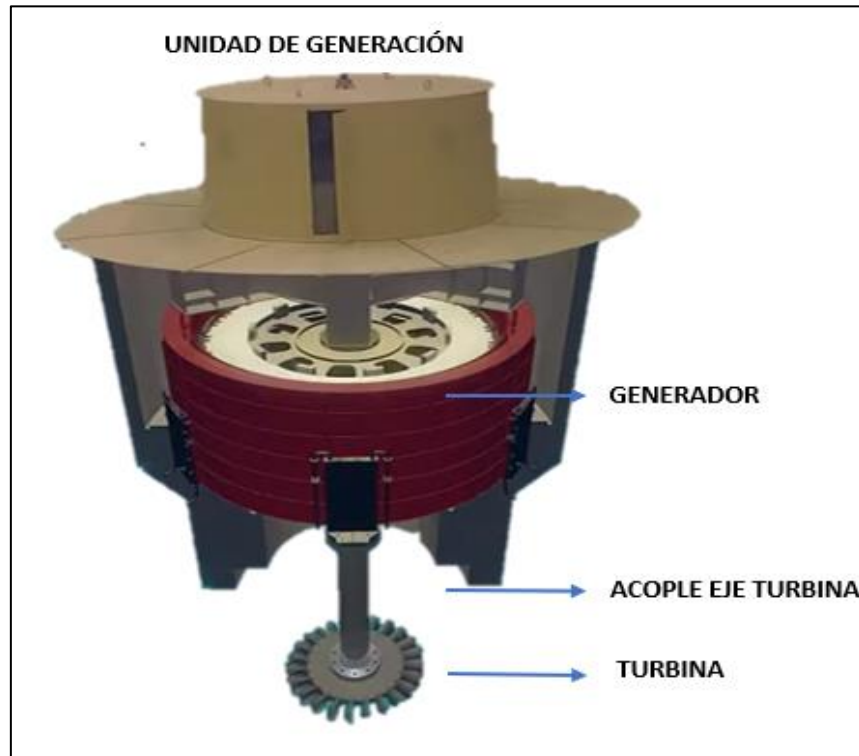


Figura 1.2. Esquema unidad de generación

Fuente: CELEC SUR

- 3 turbinas Pelton de eje vertical de 91.87 MW movidas por agua con un caudal de 21.66 m³/s través de válvulas esféricas de control de flujo.

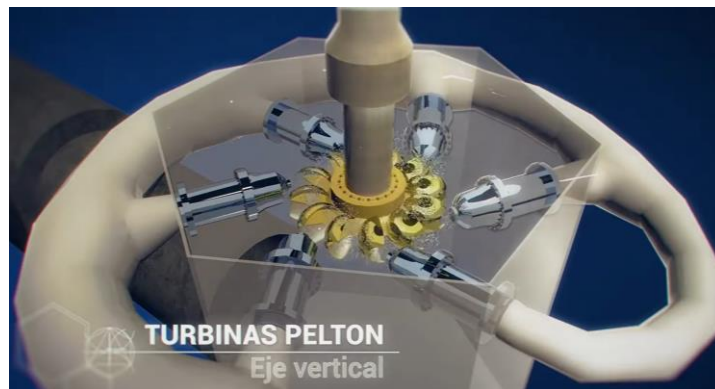


Figura 1.3. Esquema de caracol y turbina

Fuente: CELEC SUR

- 3 transformadores trifásicos de 120 MVA, de relación de transformación 13,8/230 KV ubicados en cavernas cerradas protegidas de riesgo de incendios a través de agua pulverizada.
- 1 puente grúa de 250 toneladas
- Edificio de control que incluye, sala de control, sala de comunicaciones, sala de baterías y oficinas administrativas.
- Bodegas de almacenamiento de materiales combustibles e inflamables.

Así mismo, la casa de máquinas se conecta con el pozo combinado (cables, ventilación, ascensor y escaleras) que tiene una profundidad de 440.97 m y el túnel de descarga que conduce el agua turbinada por una sección tipo baúl de 7.20 x 6.35 m y 1,6 Km de longitud, que devuelve el caudal al río Jubones.

Subestación Minas San Francisco

La energía es finalmente conducida mediante un pozo de cables desde la caverna de transformadores hacia una subestación de seccionamiento, desde la cual pasa a aportar al sistema nacional interconectado.



Figura 1.4 Subestación San Francisco

Fuente: CELEC SUR

Presa

La central Minas San Francisco cuenta con una presa de hormigón rodillado de 80m de altura desde la cimentación; posee tres vertederos de excesos y dos desagües de fondo, construida en el denominado sector San Francisco dando origen un embalse de captación y regulación de agua con una capacidad aproximada de 14 millones de metros cúbicos de agua y una cola de embalse de 5 kilómetros que llega aproximadamente al sector denominado La Virgen en la vía Girón Pasaje.

El agua acumulada en el embalse es llevada a través de un túnel de baja presión de una longitud de 13.9 km, un diámetro de 5.67 m y un caudal de 65m³/s.



Figura 1.5. Vista frontal de la presa San Francisco

Fuente: CELEC SUR

Túnel de presión

El agua conducida desde el embalse llega al túnel vertical de presión de 461 m de altura y un tramo horizontal de 153 m de longitud. El túnel de presión termina en tres bifurcadores que conducen el agua a las tres turbinas tipo Pelton de eje vertical.

1.1 Descripción del sistema de protección contra incendios de casa de máquinas

El sistema de protección contra incendios de casa de máquinas cuenta con los sistemas de detección, alarma y extinción con agua, dióxido de cloro y FM 200, como se resume en la tabla 1.

Tabla 1
Cuadro resumen sistemas contra incendio

Sistema protección contra incendio	Instalado en	Objetivo
Detección y alarma	Todas las instalaciones de casa de máquinas y caverna de transformadores	Identificar y alertar de la presencia de fuego en las instalaciones. Emitir señales de alarma y accionamiento de sistemas de extinción.
Extinción por dióxido de carbono (CO ₂)	Recinto de generadores	Protección de un incendio dentro del recinto del generador.
Extinción por agua mediante pulverización	Caverna de transformadores	Extinción de un incendio y prevenir una explosión en el transformador
Extinción por agua mediante bocas de incendio equipadas (BIE)	Instalaciones de casa de máquinas y transformadores	Extinción de cualquier incendio originado en las instalaciones.
Extinción por agente FM200	Sala de control, sala de ingeniería, sala de	Protección de un incendio dentro de estas

	comunicaciones, sala de servidores.	instalaciones con equipos sensibles.
--	-------------------------------------	--------------------------------------

Fuente: autor

1.1.1 Sistema de alarma y detección

El sistema de alarma y detección para casa de maquinas está ubicado en el nivel 287 msnm del edificio de control y posee las siguientes funciones:

DetECCIÓN y alarma de mecanismos de señales de entrada

La función de este sistema es recibir las señales de alarmas de mecanismos de detección que se encuentran distribuidos en Casa de Maquinas como son, detectores de humo, detectores de temperatura, botones de accionamiento manual, entre otras. Estas señales de alerta se transmiten al panel de control de alarmas contra incendios a través de un bus de transmisión y posteriormente se transmite al sistema SCADA¹.



Figura 1.6 Botonera de accionamiento manual para incendio y emergencia

Fuente: Autor

Control integral para sistemas de extinción de incendios

Este caso aplica para los rociadores de sistema de pulverización de Dióxido de Carbono, FM 200 y agua pulverizada; cuando uno de ellos se activa, se emite únicamente una alerta; cuando dos de ellos se activan simultáneamente, envía una señal de alarma y se activa de forma automática el sistema de rociadores.

Control integral con el sistema de ventiladores y aire acondicionado

Al materializarse un incendio, el sistema envía una alarma al controlador del HVAC para detener o parar los sistemas de aire acondicionado y ventilación.

Cuando ocurre un incendio, el sistema envía una señal de incendio al sistema de video de monitoreo para que pueda mostrar de forma automática el área

¹ Sistema SCADA, por sus siglas en ingles significa Supervisory Control And Data Acquisition; es un sistema para para controlar y supervisar todos los procesos relacionados a la operatividad de las Unidades de Generación y sistemas auxiliares.

donde se encuentra el incendio. El circuito de video se opera desde Sala de Control el cual está bajo el control de un operador las 24 horas.

Señales de entrada al sistema de alarmas contra incendios

Detectores de humo

Están distribuidos en todos los niveles de casa de máquinas, entre los principales lugares están, sala de baterías, caverna de transformadores principales, recinto del generador, edificio de control.

Detectores de temperatura

Refleja la temperatura del área monitoreada. Se encuentran instalados primordialmente en el edificio de control como son sala de operación, central de datos, sala de ingeniería, sala de comunicación.

Detector de gas combustible

Instalados en la sala de baterías para detectar el contenido de gases combustibles.

Detector por radiación infrarroja

Constituyen tres detectores de radiación infrarroja instalados en el piso principal de casa de máquinas y caverna de transformadores, esto debido a que son áreas de extensa longitud donde un detector convencional no podría detectar la ocurrencia de un incendio en su etapa primaria.

Este tipo de detectores posee dos componentes un transmisor/receptor y un espejo. Este transmisor/receptor posee un rayo reflector que se refleja en el espejo ubicado en el otro extremo de la caverna. Cuando el humo bloquea el paso del rayo reflector emite la alarma de incendio.

Detector de llama infrarroja a prueba de explosiones

Detectores instalados dentro de la caverna de transformadores. Este detector posee dos sensores óptico e infrarrojo para detección de llama o humo.

Módulo o controlador de entrada

El módulo de controlador de entrada recepta todas las señales de alarma, supervisión o falla de cualquier señal de entrada como los mecanismos de accionamiento de medios de extinción por agua, CO₂, FM 200 así como sistemas de control HVAC.

Señales de salida del sistema de alarma contra incendio

En caso de activación del sistema de alarma contra incendio aplican de forma simultánea las siguientes actividades:

- Activación de alarmas audiovisuales en sala de control.
- Según donde corresponda se activa el sistema automático de extinción de incendios según agua o agente limpio.
- Detiene los equipos HVAC como son aire acondicionado, ventiladores, entre otros. El único sistema que permanece habilitado es el sistema de extracción.

- Las cámaras del circuito cerrado de televisión se enfocan a la zona de la detección de incendio.
- Se envía la señal de incendio al SCADA para el disparo de las unidades de generación hidroeléctrica.



Figura 1.7 Alarma audiovisual

Fuente: CELEC SUR

1.1.2 Sistema de extinción de incendios por agua

Todos sus niveles en casa de máquinas y en la caverna de transformadores se dispone de un sistema de extinción a base de agua, mediante hidrantes y rociadores automáticos.

Componentes del sistema hídrico.

- Tanque de agua de un volumen efectivo de 500m³, que abastece al sistema de enfriamiento de la central y el sistema de agua potable.
- Tanque regulador
- Bombas, que garantizan el adecuado flujo y presión de agua durante la extinción de incendios.

Sistema de extinción para la caverna de transformadores

La caverna de transformadores se encuentra en la cota 293.91msnm.

Cada transformador está equipado con 42 boquillas de pulverización distribuidas en tres niveles con 14 boquillas por nivel.

El sistema de pulverización tiene como fuente de alimentación un tanque que se abastece del sistema de agua potable y el sistema de agua de enfriamiento ubicado en la cota 283.28 msnm.

Según el comando, el sistema de alarma automático contra incendios comienza automáticamente a extinguir el incendio en el área del transformador principal; en caso de falla automática, el sistema de válvula de diluvio también puede activarse manualmente para extinguir el incendio.



Figura 1.8 Conjunto de Válvulas para pulverizadores de transformadores

Fuente: Autor

Sistema de extinción hídrico para las instalaciones de casa de máquinas

Se dispone de un total de 14 juegos de cajas de hidrantes distribuidos en todos los niveles de casa de máquinas, edificio de control y túnel de acceso al transformador.

1.1.3 Sistema de extinción por agente FM 200

El agente limpio FM-200 (componente base de heptafluoropropano, $\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$) es un agente extintor de tipo gaseoso, incoloro y no conductor de electricidad, diseñado para combatir fuegos de tipo A, B y C manteniendo el oxígeno en el entorno cuando se descarga; esta característica convierte en un agente seguro para descarga son personas en el entorno.

A diferencia de otros medios de extinción, el agente FM 200 no causa daños a los bienes a los cuales está protegiendo.

Este sistema de extinción por agente FM 200 se encuentra en el edificio de control y están instalados en sala de control, sala de control, sala de supervisión de operación, sala de ingeniería, sala de equipos de comunicación.

Su forma de extinción es través de la descarga por pulverización dentro de la habitación, así como bajo suelo o cielo falso.

El sistema de extinción por FM 200 consta de lo siguiente:

1. Panel de control
2. Grupo de cilindros neumáticos
3. Agente FM 200
4. Equipos de control local

La activación de este mecanismo de descarga inicia cuando un detector se activa enviando una señal de alarma al SCADA; si otro detector se activa simultáneamente, el controlador de alarma a través del SCADA envía la señal

de incendio e inicia automáticamente la descarga del agente FM 200 para extinción del incendio.

Los mecanismos de accionamiento son automáticos, remotos y manuales.

1.1.4 Sistema de extinción por CO₂

El generador cuenta con un sistema de extinción por inundación total a base de Dióxido de Carbono CO₂ y está constituido por:

- Sistema de banco de 6 cilindros de CO₂ de 40.5 Kg. Un banco que constituye la descarga inicial (rápida) y otro banco de sostenimiento de la concentración (lenta)
- Rociadores de descarga distribuidos de forma uniforme dentro del generador en una cantidad de 6 unidades.
- Sistema de alarma y detección de incendio y descarga. Dentro del generador se encuentran distribuidos detectores 4 detectores de humo fotoeléctricos y cuatro detectores de temperatura constantes.



Figura 1.9. Conjunto de banco de cilindros de CO₂

Fuente: Autor

Modo de operación

Arranque automático

En caso de que alguno de los sensores de humo o calor dentro del generador detecte un incendio, emite una señal al controlador de extinción y emite una alarma al SCADA para activar las alarmas auditivas. Si un segundo detector recibe una señal de incendio, el controlador de supresión de incendio se activará y se producirá la descarga de CO₂ después que hayan transcurrido 30 segundos para evacuación de personal.

Arranque manual

En la puerta de acceso al generador se encuentra el botón de accionamiento manual de descarga de CO₂. Una vez que se presiona este botón el dispositivo de liberación de neumática se abrirá permitiendo la descarga del CO₂ dentro del generador. En esta modalidad de activación también se inicia una vez transcurridos los 30 segundos de evacuación.



Figura 1.10. Botoneras de accionamiento local de descarga CO₂

Fuente: Autor

Arranque emergencia mecánico

Cuando se presenta una falla en el sistema de control, el operador abrirá manualmente una válvula de liberación la cual controla los contrapesos del banco de cilindros y provocará la liberación mecánica del CO₂.

1.1.5 Extintores portátiles

La distribución de extintores de incendios portátiles se realiza en función de la clasificación de riesgos de incendio y el tipo de fuego, tipo A, tipo B y tipo C.

En casa de máquinas y caverna de transformadores se encuentran un total de 54 extintores entre tipo PQS y CO₂ que son portátiles y tipo carreta.

La filosofía del uso de los extintores manuales es la activación de estos extintores en las instalaciones donde no posee sistemas de extinción automáticos y se ha presentado un fuego incipiente.

1.1.6 Iluminación de los medios de egreso y emergencia

Iluminación del medio de egreso

Casa de máquinas cuenta con iluminación de para medios de egreso en cada uno de los pisos de casa de máquinas, así como en los medios para salida tanto por el edificio de control y túnel de acceso a casa de máquinas.

La fuente de alimentación de los medios de egreso es redundante; está conectada a una fuente de alimentación ininterrumpida para sistemas esenciales como son SCADA y comunicaciones.

En caso de desenergización de la fuente de alimentación principal, el medio de egreso tendrá como fuente de alimentación bancos de baterías con autonomía de 8 horas.

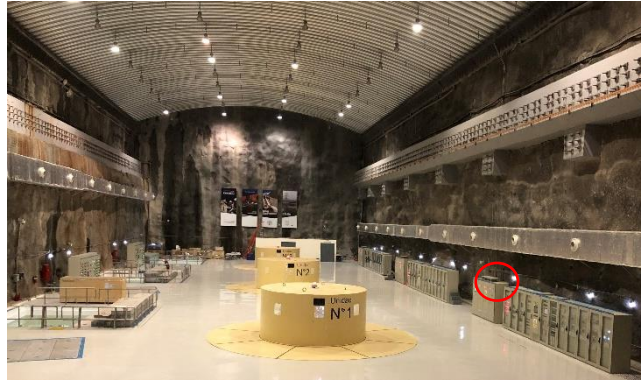


Figura 1.11 Iluminación de medios de egreso en piso principal

Fuente: Autor

Iluminación de emergencia

La iluminación de emergencia está conectada a la fuente de alimentación principal de sistemas auxiliares de la casa de máquinas. Estas luces de emergencia cuentan con una batería para funcionamiento autónomo de mínimo 60 minutos.

Su distribución está emplazada en todos los niveles de casa de máquinas y acceso de salidas.



Figura 1.12 Iluminación de emergencia

Fuente: Autor

Señales de salida fotoluminiscentes

Tanto en casa de máquinas como edificio de control se cuenta con señalización fotoluminiscente cuya faz de la señalización permanece iluminada de forma constante y marca los medios de egreso a la salida de casa de máquinas. La fuente de alimentación será la misma de la señalización de emergencia y de igual manera cuenta con una batería interna autónoma.

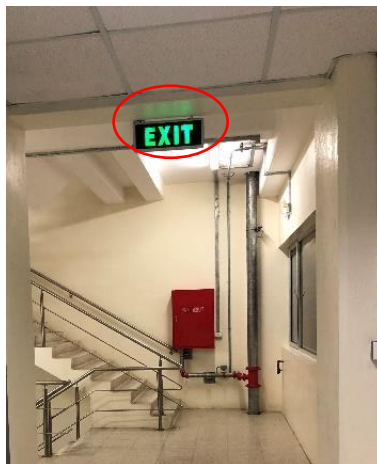


Figura 1.13 Señalización fotoluminiscente

Fuente: Autor

1.1.7 Sistema de control y evacuación de humos

El sistema de ventilación y aire acondicionado para casa de máquinas está compuesto por:

- Dos ventiladores axiales tipo reversible para inyección de aire a casa de máquinas.
- Un sistema de aire acondicionado para edificio de control y sistemas sensibles de casa de máquinas.
- Un sistema de extracción de aire general
- Un sistema de extracción de aire para los cuartos de baterías.

El sistema de ventilación inyecta aire a casa de máquinas y lo distribuye a todos los niveles de casa de máquinas. El suministro de aire funciona a 49400 m³/h.

El sistema de extracción es individual para los cuartos de baterías, y general en los distintos niveles de casa de máquinas.

En caso de incendio donde el sistema de detección y alarma contra incendios envía al SCADA la señal de incendio, el controlador de HVAC detendrá los sistemas de aire acondicionado y ventilación; los ventiladores axiales cambiarán el sentido de giro para la extracción de humo en lugar de inyección de forma automática; en caso de fallo de mecanismo automático se podrá activar de forma remota a través del SCADA.

1.1.8 Sistemas de protección pasiva

Los sistemas de protección pasiva impiden la propagación de fuego, calor y humo de un ambiente a otro para evitar consecuencias de daños materiales y personales.

Protección estructural

Toda la mampostería como losas tanto de casa de máquinas como edificio de control están construidas con hormigón armado de entre 20 y 30 cm de espesor cuya resistencia al fuego según norma NTP 39 (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1983) , varía entre RF180 y 240 minutos; esto permite disponer de una protección pasiva como condición intrínseca de protección estructural para incendios.

Compartimentación

Se considera para compartimentación la sectorización de las instalaciones para evitar la propagación del fuego y humo a las áreas contiguas; en la compartimentación se debe considerar las puertas cortafuegos, cerramientos bajo suelo y cielo falso, así como sellos de pasos de tubería, ductos, bandeja de cables, entre otros que puedan permitir el paso de fuego o humo.

Para el caso del edificio de control, la etapa constructiva de este edificio considero compartimentaciones de mampostería bajo y sobre cielo raso para todas las oficinas, salas de operación, Sala de comunicación entre otras.

Por cada piso o nivel del edificio de control atraviesan verticalmente, bandejas de cables, tuberías, ductos sin que exista un sello entre cada piso; esta condición permite que en caso de incendio la propagación de fuego y humo en todo el edificio de control incluyendo sistemas esenciales como son cuartos de baterías, sala de operación y comunicación.

Respecto a las puertas cortafuegos como otro medio de protección pasiva por compartimentación, se poseen únicamente para caverna de transformadores y generadores.

1.2. Descripción general del área de estudio

El trabajo consiste en desarrollar un proyecto de aplicación práctica de la evaluación de un sistema contra incendios para una Central Hidroeléctrica basado en el estándar las normas NFPA.

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el cumplimiento de las normas NFPA del sistema de protección contra incendios y seguridad humana de una central de generación Hidroeléctrica y proponer una guía (lista de chequeo) de evaluación de conformidad con relación a las normas NFPA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar cuantitativamente el nivel de cumplimiento de las normas NFPA aplicables para centrales de generación hidroeléctrica.
- Proponer una guía de verificación de conformidad relacionadas con las normas NFPA aplicables para cualquier central de generación.
- Proponer medidas de control que conlleven el cumplimiento de las normas de protección contra incendios para centrales hidroeléctricas basados en la norma NFPA.

1.4. Pregunta de investigación

El presente estudio plantea conocer el estado actual del sistema contra incendio de una central hidroeléctrica y evaluar este sistema en función de normativas de sistemas contraincendios propiamente para riesgos asociados a Centrales de generación hidroeléctrica como son las indicadas de las normas de la NFPA.

1.5. Justificación del estudio

Actualmente no existe normativa o legislación nacional respecto a cumplimiento de normativas de protección contra incendio para centrales de generación hidroeléctrica a pesar de que en el país se han impulsado en los últimos 20 años proyectos de construcción de centrales de generación hidroeléctrica.

El disponer de un sistema de protección contra incendio bajo criterios de control basados normativas, sin duda aumentan la confiabilidad de una unidad de generación disminuyendo el riesgo de lesión o pérdida humanas en caso de evento de incendio, la protección de los bienes y continuidad de las actividades de generación para el país incluso fuera de este.

1.6. Estructura de la tesis

Capítulo I, se realiza un breve resumen de los componentes de los sistemas contra incendio y la forma de operatividad de cada uno de ellos. Así mismo se plantean los objetivos particulares y específicos que abordarán este estudio.

Capítulo II, se establece el marco teórico de la teoría del fuego y el sistema de extinción de incendio planteado para las principales instalaciones de casa de máquinas según el riesgo de incendio que presenten cada una de ellas.

Capítulo III, metodología de la investigación

Capítulo IV, contempla la evaluación de cada uno de los componentes del sistema contra incendio basado en las normativas aplicables NFPA.

Capítulo v, en función de las particularidades que presente cada sistema de protección contra incendio se realizará una guía de verificación de conformidad para el sistema de protección contra incendios.

Capítulo VI, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.7. Metodología del proyecto

La metodología de proyecto será por observación y deducción mediante visitas en planta, prueba de los sistemas y análisis de eventos de incidentes ocurridos entre otros.

El estándar para la evaluación será la norma NFPA 851 como base, así como las normas 15, 72, 70, 101, 25 y las que sean de aplicabilidad para el estudio.

Inspección de la planta

Se inspeccionan las diferentes instalaciones para identificar peligros de incendio acorde a la normativa NFPA 851; además se identifican todos los sistemas de protección contra incendio presentes y el tipo de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo que reciben para mantener los sistemas operativos y efectivos.

Contraste con normativas asociadas

Para analizar el estado de funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio se contrastó su estado actual de operatividad de tipo de mantenimiento

recibido según las directrices emitidas por las normas NFPA y otras asociadas como normativa nacional vigente.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes y marco teórico.

La Unidad de Negocio CELEC SUR cuenta con cuatro centrales de generación, Las centrales Mazar, Molino y Sopladora que usan el aporte hídrico del río Paute y la Central Minas San Francisco que usa el aporte hídrico del río Jubones.

La Central hidroeléctrica Minas San Francisco a la fecha ha cumplido dos años de operación comercial; en este periodo de generación no se han presentado eventos de conatos de incendios en los que se hayan probado la efectividad de los sistemas contra incendios, sin embargo, se dispone de registros históricos de eventos de explosiones e incendios en las otras centrales de generación de dan cuenta de las graves consecuencias presentadas.

1. Explosión de uno de los terminales de alta tensión del Transformador Principal de la Central Molino de la Unidad 04 (02 de enero de 2008), ocasionado por una falla en el bushing de la fase A, el diseño del SCI no permitió una adecuada ventilación para el control de humos provocando la contaminación total del ambiente poniendo en riesgo la seguridad y salud del personal.
2. Descarga accidental del agente extintor CO₂ en el Generador de la Unidad 01 de la Central Molino en presencia de personas, provocando asfixia. (16 de julio de 2012).
3. Descarga súbita del Sistema de extinción por Ecaro 25 en la Sala de control de generación de la Central Molino. (octubre 2015).
4. Descarga accidental de algunos bancos de bombonas de CO₂ del sistema contraincendios de la Fase AB, dando como resultado que los Generadores de la Central Molino se encuentren vulnerables ante un conato de incendio que se pueda presentar en los mismos. (23 de febrero de 2017).

Marco teórico

En una Central de Generación Hidroeléctrica el principal riesgo que supone daños a las personas, daños a los bienes, daño ambiental e interrupción de los negocios en proporciones importantes son los riesgos de incendio y explosión.

Evaluación de riesgo de incendio: la norma (NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica, 2010) señala que esta evaluación debe tener consideraciones específicas de la planta sobre diseño, disposición y requisitos de operación anticipados. La evaluación debería resultar en una lista de características de prevención de incendio recomendadas para ser provistas con base en medios aceptables para la separación o control de peligros comunes y especiales, el control o eliminación de fuentes de ignición y supresión del fuego.

Los grados aceptables de protección y el enfoque de los objetivos del análisis de la protección contra incendios y el proceso de diseño se resume en las cinco áreas siguientes: (Manual de protección contra incendios, 2012)

1. Protección de la vida
2. Protección de la propiedad
3. Continuidad de operación
4. Protección ambiental
5. Conservación del patrimonio histórico

Determinación del área de incendio

La determinación de delimitar el área de incendios debería basarse en la consideración de lo siguiente: tipos, cantidad, densidad y ubicaciones del material combustible; ubicación y configuración del equipo de planta, consecuencias de perder el equipo de planta, ubicación de los sistemas detección y supresión de incendios y requerimientos de seguridad /salida de personal.

Parámetros de riesgos en los circuitos

Los circuitos pueden presentar diferentes tipos de fallas o pueden generar el riesgo de incendio cuyas consecuencias pueden ser en mayor proporción en un transformador que en el generador por la reacción en cadena que genera una vez generada la falla.

Corriente de falla

La cantidad de corriente entregada en un punto del sistema durante una condición de corto circuito.

Máxima corriente de falla

La mayor cantidad de corriente entregada en un punto del sistema durante en una condición de cortocircuito.

Sobrecarga

Funcionamiento de un equipo en su máxima capacidad nominal de plena carga o de un conductor por encima de su corriente máxima por un periodo de tiempo largo que podría causar daños o un calentamiento peligroso.

Sobretensión

Cualquier corriente que supere la corriente nominal de un equipo o la corriente máxima de un conductor. Puede ser resultado de una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra.

Arco eléctrico

Es un cortocircuito a través del aire entre un conductor activo expuesto a otro conductor o a tierra. (La guía para la seguridad de arco eléctrico en el área de trabajo, 2017) señala que un arco eléctrico “puede crear una liberación peligrosa de energía, incluyendo energía térmica, energía acústica, onda de presión o residuos.”

Eventos que pueden causar un riesgo de arco eléctrico son:

- Deterioro de los aislamientos
- Polvo, corrosión u otras impurezas en la superficie del conductor.
- Descargas parciales
- Sobrecargas
- Sobretensiones
- Aumento de temperatura

Las variables comunes que afectan el tamaño y la energía de un arco eléctrico pueden ser:

- Separación del arco

- Tiempo de cierre o limpieza
- Amperaje
- Voltaje
- Espacio confinado
- No se presentan riesgos por intervención del hombre debido a que ninguna actividad en la que intervenga una persona puede realizarse con el generador operando.

Los componentes de un arco eléctrico son:

Energía incidente

La cantidad de energía térmica expuesta sobre la superficie a una cierta distancia de la fuente generada durante un evento de arco eléctrico. La energía incidente generalmente es expresada en calorías sobre centímetros cuadrado(cal/cm²) (NFPA 70E: Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, 2018).

Relámpago de arco

Cuando se genera un arco eléctrico la temperatura puede llegar a 19426 °C, una exposición a esa temperatura extremas puede causar daños a los trabajadores y daños materiales (NFPA 70E: Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, 2018).

Ráfaga de arco

Las elevadas temperaturas del arco causan la expansión explosiva tanto del aire circundante como del metal que se encuentren en la trayectoria del arco. Por ejemplo, el cobre se expande 67000 veces cuando cambia e solido a vapor. El peligro asociado con esta expansión son las altas presiones, sonido y proyectiles. Los sonidos asociados con esas presiones pueden exceder los 160dB. Finalmente, materiales y metal derretido son lanzados por el arco a velocidades que exceden 1120Km/h (NFPA 70E: Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, 2018).

Evaluación de riesgo de incendio

La norma (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019) indica que se deberá considerar el comportamiento de los estímulos de fuego a los que sería vulnerable el objeto de incendio como son:

- Calor (llama radiante, gases convectivos)
- Humo (obscurecimiento, respirable, aerosoles, corrosivos/conductivo)
- Gases (tóxicos, corrosivos)
- Explosiones (exceso de presión, proyectiles)

Escenario de incendio

Condiciones y eventos que caracterizan el desarrollo del incendio, la propagación de los productos de combustión, reacciones de la personas y efectos de los productos de combustión. (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019).

2.2. Análisis de riesgo de incendio de la planta.

2.2.1. Generadores principales

La central Minas San Francisco dispone de tres generadores verticales cuya capacidad nominal es de 100 MVA cuyo propósito es convertir la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica.

Principales parámetros del generador son:

- Salida nominal: 90MW

- Voltaje nominal: 13.8kV
- Frecuencia nominal: 60Hz
- Velocidad de giro: 360 rpm
- Sobre velocidad de giro: 648rpm
- Corriente nominal: 4183.7 A

Factores que pueden causar un incendio dentro de un generador

- Partes energizadas que pueden generar un cortocircuito y arco eléctrico.
- Elevada temperatura de los mecanismos de movimiento de generador que usan un sistema oleodinámico para su funcionamiento.
- Fallos en las protecciones del generador.
- Eventos de incendios ajenos a arcos eléctricos pueden generar humos cuya consecuencia puede ser un arco eléctrico ya que disminuye la distancia entre componentes energizados.

El generador dispone de varios componentes combustibles como son:

- Aleaciones de acero con silicio, cromo, níquel, oro.
- Aceite mineral para los mecanismos oleodinámicos de los cojinetes.
- Materiales plásticos de alta densidad.

Acorde a la (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019) la evaluación de riesgo de incendio requiere identificar los estímulos de fuego para cada objeto estudiado para cada escenario de incendio:

Ignición que provoca incendio para el generador

Frecuentemente basado en el evento más probable en un entorno en particular. Para el Generador principal un evento de ignición por arco eléctrico dentro del recinto del generador si puede desencadenar en un incendio por la energía incidente, relámpago de arco, ráfaga de arco (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019).

Crecimiento del incendio para el generador

Basados en todos los probables eventos de incendios por combustión sin llama hasta incendios por combustión súbita generalizada. Los sistemas de protección contra incendios, tales como rociadores, compartimentación, muros o puertas corta fuegos pueden contribuir en la contención de estos incendios y reducir los riesgos consecuentes. La reducción del riesgo depende de la confiabilidad y efectividad de los sistemas de control de incendios (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019).

En el caso de generador principal éste posee un sistema de extinción de incendios independiente a base un agente inerte que es el CO₂, cuyo accionamiento es automático, remoto, manual y de emergencia, por tanto, en caso de fuego o posteriores incendios, los mecanismos de protección deberán actuar y suprimir el fuego o incendio.

Propagación del humo

Basado en la propagación de humo hacia las rutas de egreso críticas y otros sectores (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019). Para el caso del generador principal, este posee un sistema automático de extracción de humos en caso de incendio. Se esperaría la generación mínima de humo en las rutas de egreso.

Exposición de los ocupantes

Basado en el bloqueo de las rutas de egreso por humo e incendio. Los sistemas de protección contra incendios tales como alarmas de incendio, comunicaciones por voz, rutas de egreso libres y áreas de refugio pueden contribuir en la emisión de una alerta temprana para los ocupantes y a dirigirlos hacia ya sea la evacuación del edificio o la búsqueda de refugio en determinadas áreas (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019). Para el caso del generador principal, la exposición principal se esperaría en el propio nivel donde está emplazado el generador; con la actuación de los mecanismos de extracción generales y del propio generador se esperaría que el remanente que no pueda ser evacuado por los medios de extracción salgan por las escotillas y medios de egreso.

Atención de organismos de socorro

La actuación de organismos de socorro externo más cercana a las instalaciones de casa de máquinas es el Cuerpo de Bomberos de Pasaje a una distancia aproximada de 24 Km. Por tanto, se puede considerar que no existe atención de organismos de socorro para este tipo de eventos.

Tabla 2
Resumen evaluación riesgo de incendio en generador

<i>Estímulos de fuego</i>	<i>Generador principal</i>
<i>Calor (llama radiante, gases inflamables)</i>	Si
<i>Humo (oscurecimiento, no respirable, aerosoles corrosivos)</i>	No
<i>Gases (tóxicos, corrosivos)</i>	No
<i>Explosiones (exceso de presión, proyectiles)</i>	Si (se espera ráfaga de arco)
<i>Desplazamiento de estímulos por aire</i>	No (posee un sistema de extracción)
Escenario de incendio	
<i>Ignición que provoca un incendio</i>	Si (componentes inflamables)
<i>Crecimiento del incendio</i>	No (en caso de presentarse fuego en primera instancia, accionamiento de sistema contra incendio)
<i>Propagación de humo</i>	No (sistemas de extracción)
<i>Exposición de ocupantes</i>	No
<i>Respuesta organismos de socorro</i>	No

Fuente: Autor

2.2.2. Transformadores

La central Minas San Francisco posee tres transformadores elevadores con una capacidad de 120MVA a una tensión de 230kV. Cada transformador se encuentra dentro de un recinto de mampostería robusta anti-exposición. Este recinto está emplazado a pocos metros del túnel de acceso principal de casa de máquinas.

Las principales características de un transformador son:

- Capacidad: 120MVA
- Relación de transformación: 13.8 kV a 230kV.
- Frecuencia nominal: 60Hz.

Factores que pueden causar un incendio dentro de un transformador

Un arco eléctrico dentro de la cuba del transformador puede causar una explosión y posterior incendio; las causas que generan un arco eléctrico pueden ser:

- Deterioro de su aislamiento interno
- Descargas parciales
- Sobrecargas
- Sobre calentamiento de aceite
- Sobretensiones
- Daños en los conductores debido a la presencia de gases corrosivos.

La energía resultante de un arco eléctrico dentro de la cuba de un transformador provoca la vaporización de aceite dieléctrico, generación de gases explosivos tales como etano, etileno hidrogeno, metano, entre otros. Estos gases en el interior de la cuba se presurizan rápidamente generando presión dinámica dentro de este recinto confinado.

La combinación gases explosivos con el oxígeno presente en los espacios libres de la cuba pueden generar una explosión con una consecuente ignición del aceite e incendio en toda la estructura del transformador (Arévalo & Artero).

Según (Berg & Fritze, 2011) y un análisis realizado a casos de explosiones de incendio y explosiones de transformadores se puede hacerse una, "*distinción entre una explosión como un proceso de combustión rápida (explosión química) y una explosión como proceso físico resultante del aumento repentino de la presión del gas por una falla eléctrica (arco) de alta energía (HEAF).*" (Berg & Fritze, 2011)

Al igual que en el generador se realiza una evaluación cualitativa del riesgo de incendio acorde a la (NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019):

Ignición que provoca incendio para el transformador

Para el transformador principal un evento de ignición en el recinto del transformador por sí solo no posee la capacidad de provocar un incendio, ya que no posee elementos combustibles en su entorno externo; sin embargo, si se puede presentar un incendio como consecuencia de una explosión de éste.

Crecimiento del incendio para el transformador

El transformador posee un sistema de extinción de incendios mediante rociadores, de accionamiento automático que resulta efectivo ante un evento de incendio en el transformador.

Respecto a protección del transformador con sistemas antiexplosión para transformadores embebidos en aceite que es un mecanismo pasivo para despresurizar un transformador en milisegundos después de una falla eléctrica, los transformadores de esta central no poseen este mecanismo de protección.

Propagación del humo para el transformador

Los transformadores se encuentran emplazados dentro de un recinto de mampostería robusta, a pocos metros de la ruta de egreso vehicular y peatonal de casa de máquinas.

En caso de explosión y posterior incendio del cuarto de transformadores, el sistema de ventilación cambia su funcionalidad a extracción, sin embargo, la tasa de extracción podría resultar insuficiente considerando que no existe protección corta fuegos en losa superior del cuarto de transformadores.

En caso de incendio y explosión se presentaría contaminación por la combustión del aceite, que se disiparía por las gradas del pozo de cables y el túnel de acceso principal a casa de máquinas que constituye una vía de egreso.

Exposición de los ocupantes

El transformador dispone de un sistema de detección y alarma del sistema contra incendio además de las alertas de funcionamiento propio del sistema que pueden anticipar sobre algún evento que pueda desencadenar en una explosión o incendio a través del SCADA.

Atención de organismos de socorro

La actuación de organismos de socorro externo más cercana a las instalaciones de casa de máquinas es el Cuerpo de Bomberos de Pasaje a una distancia aproximada de 24 Km.

Tabla 3
Resumen evaluación de riesgo de incendio en transformador

<i>Estímulos de fuego</i>	<i>Transformador principal</i>
<i>Calor (llama radiante, gases inflamables)</i>	Si (arco eléctrico con posterior incendio)
<i>Humo (oscurecimiento, no respirable, aerosoles corrosivos)</i>	Si (combustión de aceite dieléctrico)
<i>Gases (tóxicos, corrosivos)</i>	Si
<i>Explosiones (exceso de presión, proyectiles)</i>	Si
<i>Desplazamiento de estímulos por aire</i>	Si
Escenario de incendio	
<i>Ignición que provoca un incendio</i>	Si
<i>Crecimiento del incendio</i>	No

<i>Propagación de humo</i>	Si
<i>Exposición de ocupantes</i>	Si
<i>Respuesta organismos de socorro</i>	No

Fuente: NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio, 2019

2.2.3. Salas de control

Dentro de esta denominación se incluyen la sala de servidores, sala de control, sala de ingeniería y sala de comunicaciones; cada uno de ellos es una sala independiente dentro del edificio de control de casa de máquinas que se encuentra protegida por un medio de extinción de agente limpio llamado FM 200 independiente para cada uno.

Sala de control, es la sala donde se controla y monitorea 24 horas las unidades de generación, así como sistemas auxiliares de la central de generación, es una sala donde se encuentra personal trabajando de forma ininterrumpida.

Sala de servidores supervisa, controla y adquiere datos de operación para operación y monitoreo remoto de las unidades de generación. En esta sala también se encuentra el sistema de alimentación ininterrumpida para el SCADA. En la sala de ingeniería, tenemos los equipos de cómputo para programación y configuración del SCADA.

La sala de comunicaciones permite establecer la comunicación externa e interna tanto para las unidades de generación como sistema de telefonía y datos la cual recibe información de los parámetros de funcionamiento de cada unidad de generación.

En cada una de estas salas requiere medios de control independientes para un evento de incendio, esto es con sistemas de protección para sistemas electrónicos y climatización adecuada para cada sala.



Figura 2.1. Sala de control de casa de máquinas

Fuente: Autor

2.3. Antecedentes de incidentes y accidentes de incendio y explosión en planta

La central de generación inició su operación comercial en el año 2018, a la fecha no se han presentado eventos de conatos de incendio y tampoco fallas en algún componente del sistema contra incendio, sin embargo, se disponen de

antecedentes de accidentes de incendio y explosiones en otras centrales de características similares, detalladas en el numeral 2.1 de este capítulo.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la metodología de investigación

La metodología de proyecto será por observación y deducción mediante visitas en planta, prueba de los sistemas y análisis de eventos de incidentes ocurridos entre otros.

El estándar para la evaluación será la norma NFPA 851 como base, así como las normas NFPA 850, 15, 72, 70, 101, 25 y las que sean de aplicabilidad para el estudio.

Inspección de la planta

Se inspeccionan las diferentes instalaciones para identificar peligros de incendio acorde a la normativa NFPA 851; además se identifican todos los sistemas de protección contra incendio presentes y el tipo de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo que reciben para mantener los sistemas operativos y efectivos.

Contraste con normativas asociadas

Para analizar el estado de funcionamiento de los sistemas de protección contra incendio se contrastó su estado actual de operatividad de tipo de mantenimiento recibido según las directrices emitidas por las normas NFPA.

3.2. Tipo de Investigación.

La metodología de proyecto será por investigación de campo por observación y deducción mediante visitas en planta, prueba de los sistemas, registros de mantenimientos o eventos donde se hayan probado los sistemas contra incendio.

El estándar para la evaluación será la norma NFPA 851 como base, así como las normas NFPA 850, 15, 72, 70, 101, 25 y las que sean de aplicabilidad para el estudio.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS CONTRAINCENDIO PARA LA CASA DE MÁQUINAS

Los objetivos de contar con un sistema de protección contra incendio en la central de generación, considerando la presencia de equipos con riesgo de incendio y explosiones de gran magnitud con interacción de personal de planta trabajando 24 horas, son:

- *Seguridad humana*, protección de los trabajadores que interactúan con estos sistemas tanto en actividades de mantenimiento como en operación normal.
- *Protección de la propiedad*, equipos de alta inversión económica a nivel de país.
- *Protección de la misión*, provisión de energía eléctrica a nivel país; hay que considerar que un daño en alguno de los equipos como es el generador o transformador podría implicar una para en generación de energía de semanas incluso meses.

El presente estudio implica la evaluación del estado actual de funcionamiento y tipo de mantenimiento de los elementos que constituyen el sistema de contra incendio en función de las normas NFPA aplicables; el alcance del estudio no aplica para la evaluación de los criterios de diseño e instalación; se entiende que los diseños fueron aprobados y validados en campo por personal técnico competente a través de la fiscalización y entidad contratante CELEC EP.

4.1. Evaluación de sistema de alarma y detección

Acorde a la (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, 2016) el propósito de los sistemas de alarma y detección son principalmente *“proveer notificación de condiciones de alarma, de supervisión y problemáticas; alertar a los ocupantes; solicitar ayuda y controlar las funciones de control de emergencias.”*

Para asegurar la continuidad de la calidad, un sistema de alarma y detección de incendio debe probarse y mantenerse de forma periódica.

El objetivo de este numeral será realizar una evaluación del estado actual de la operatividad del sistema de alarma y detección en función de la normativa (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, 2016) .

El sistema de alarma y detección está compuesto por:

- Panel de control maestro o inteligente
- Módulos o cajas de control de módulos contra incendios
- Componentes de control de detección y extinción

La lógica de funcionamiento general del sistema de alarma y detección es la siguiente, los mecanismos de detección automática o manual, emiten señales de alarma a los módulos de control, el cual identifica el tipo de señal, problema y ubicación; desde el módulo de control se emite la información de la señal de entrada hacia el panel inteligente, éste procesa la información y emite las señales de salida, las cuales pueden ser alarmas audiovisuales, accionamiento de sistema de extinción, así como la comunicación al SCADA para visualización del operador.

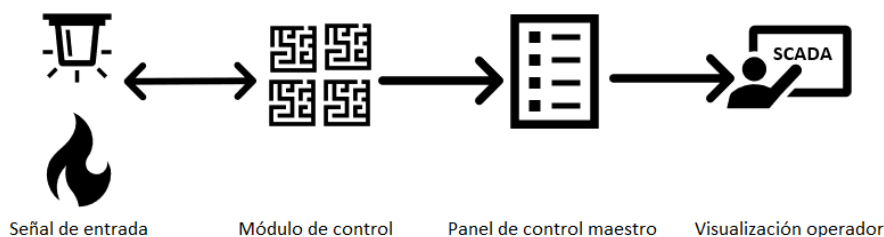


Figura 4.14 Esquema de flujo de información de incendio

Fuente: Autor

Fuentes de alimentación e instalación del sistema de detección alarma

La norma (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización) establece que el sistema de alarma y detección debe disponer de al menos dos fuentes de suministro de energía, uno primario y uno secundario. Respecto al suministro secundario la capacidad de este será tal que se pueda “operar el sistema bajo una carga inactiva por un mínimo de 24 horas”.

La central de generación dispone un sistema redundante para suministro de energía para arranque de las unidades de generación y operación de sistemas auxiliares donde se encuentra el sistema contra incendios; es decir, presenta dos fuentes de alimentación de corriente alterna independientes, como suministro primario.

En caso de ausencia del suministro primario de energía se dispone de dos fuentes de energía secundarias, un banco de baterías y en caso de falla de este, se dispone de un generador de emergencia. Con lo indicado, respecto a las fuentes de alimentación para el sistema de alarma y detección, se cumple y excede los requerimientos.

Tipos de señales de entrada

Según el (Manual de protección contra incendios, 2012) los sistemas de alarma de incendios son de tres tipos:

- a) De alarma: es una advertencia de peligro de incendio que requiere una acción inmediata.
- b) De supervisión: señal que requiere una acción relacionada con el funcionamiento de otros SCI que no están siendo supervisados.
- c) Señal de falla: señal de falla en un circuito o componente supervisado del sistema de alarma de incendio o alguna avería originada por falta de suministro de energía.

Actuación y restauración de señales de alarma, supervisión y falla

La Sala de Control de Generación a más de operar las unidades de generación hidroeléctrica, monitorea de forma permanente todos los sistemas auxiliares de la central de generación entre ellos incluido el Sistema Contra Incendio.

Todas las señales de alarma, supervisión y falla son visualizadas a través del SCADA en las pantallas de monitoreo.

Cada componente de control, detección y extinción está debidamente identificado por tipo y ubicación.

En caso de presentación de un evento como un conato de incendio, o cualquier evento de supervisión o falla del SCI, éste es reflejado en las pantallas del SCADA mediante una señal visual y acústica.

La prioridad de las señales puede ser visualizadas en una pantalla desplegable de señales de alarma con metodología de colores para prelación de atención. Las señales se emiten en color verde, amarillo, y rojo. Cabe indicar que en la pantalla desplegable de señales se emiten todas las señales de los sistemas principales y auxiliares de la central y entre estas se encuentran las señales del Sistema Contra Incendio.

Adicional a esta alarma visual se emiten simultáneamente una alarma sonora dentro de Sala de Control y en el tablero o sistema de control maestro, sin embargo, el sonido para cualquier tipo de señal del SCI de alarma, supervisión y fallo es el mismo para cualquier otra señal de alarma de las unidades de generación, es decir, el operador de sala de control no podrá diferenciar la señal auditiva al escucharla sino al observarla en la pantalla, este modo de funcionalidad actual del sistema, no es concordante con la presente norma estudiada.

La norma establece que las señales de alarma de incendio deben distinguirse de otras señales por su sonido.

En el anexo A, se encuentra el detalle de la evaluación de cumplimiento los medios de actuación y restauración de señales de alarma, supervisión y falla elaborado en función de los requerimientos de la presente norma que de forma general se detallan a continuación:

Tabla 4
Medios de actuación y restauración de señales a evaluar

MEDIOS DE ACTUACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SEÑALES	FILOSOFÍA DE FUNCIONAMIENTO
Prioridad de señales de dispositivos de iniciación de emergencia	Anunciación de las diferentes señales de alarma y supervisión reflejadas en el SCADA deben tener prioridad sobre otras señales para advertir al operador.
Señales distintivas de falla, supervisión y emergencia en sala de control	Las alarmas prioritarias, alarmas de incendio, señales de supervisión y señales de falla deben ser distintas a cualquier otra alarma presente.
Señales de alarmas de incendio en las instalaciones de casa de máquinas	Señales de alarma de incendio activadas posterior de la detección y que sean distintas a cualquier otra alarma que se pueda emitir dentro de las instalaciones
Desactivación de las señales de alarmas de incendio en sala de control y casa de máquinas	Restauración de las señales de alarma por personal autorizado y mediante llaves de acceso
Señales de falla en los módulos de control y tablero principal	Señales visibles y audibles en los módulos y tableros
Anuncios de alarma en el SCADA	Mecanismos o dispositivos de anunciación visibles en sala de control
Anuncios de supervisión y falla	Mecanismos o dispositivos de anunciación visibles en sala de control

Centro de comando de incendios	El anuncio en el centro de comando de incendios debe ser mediante indicadores audibles y visibles
Comunicación de emergencias	Sistema de voceo con anuncios pregrabado o en vivo con alarma antecedente al mensaje.

Fuente: NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, 2016

En forma general, respecto a las señales del SCI no tiene diferenciación visual o acústica respecto a otras señales de recepción en la sala de recepción de señales.

No existe un sistema de señales o mensajes de notificación masiva de emergencias automatizado y un medio dedicado de comunicación de emergencias.

De la evaluación realizada se concluye que el porcentaje de cumplimiento sobre los MEDIOS DE ACTUACIÓN Y RESTAURACIÓN DE SEÑALES respecto a los principales aspectos aplicables evaluados se posee un cumplimiento del 83%. La metodología de evaluación se realiza por el componente cumple y no cumple dando una ponderación igual a cada ítem calificado.

Medios de comunicación de emergencias

De acuerdo con el numeral 24.2.1 de la norma NFPA 72 el propósito de mantener un medio de comunicación de emergencias es,

...la protección de vidas mediante la indicación de la existencia de una situación de emergencia y la comunicación de información necesaria para facilitar una apropiada respuesta y acción.

En las instalaciones de casa de máquinas y edificio de control no existe un sistema de notificación audible y visible masivo de comunicación de emergencia de incendio estándar o evacuación. Acorde a la normativa NFPA 72 contempla la necesidad de disponer señales distintivas de evacuación, para comunicar la necesidad de evacuación (salir del edificio) o reubicarse (desde un área a otra). En Sala de Control al momento se dispone de un sistema de voceo cuyos parlantes se encuentran dispuestos en todos los niveles e instalaciones de casa de máquinas. De igual forma se puede acceder al sistema de voceo a través de los teléfonos convencionales instalados en los diferentes niveles de casa de máquinas, a través de un número de 5 dígitos dedicado exclusivamente para este tipo de comunicación. En caso de requerir emitir cualquier tipo de comunicación de emergencia el operador de Sala de Control lo deberá vocear en ese momento sin existir ningún tono precedente de alerta.

Inspección, pruebas y mantenimiento

En el capítulo de *Inspección, prueba y mantenimiento* de la norma (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización) estudia los parámetros que debe cumplirse para mantener la operatividad permanente de todos los componentes de un sistema de detección y alarma.

El alcance de las inspecciones visuales aplica para identificar cambios o daños manifiestos que podría afectar la operatividad del equipo.

El alcance de las pruebas y mantenimiento aplica para que los componentes del sistema sean inspeccionados y probados bajo un programa basado en

desempeño, así como especificaciones de los manuales de operación y mantenimiento de propiedad de la central de generación.

La excepción para la inspección, prueba y mantenimiento se aplicó para aquellos componentes del sistema cuya accesibilidad sea limitada y por razones de seguridad de los colaboradores, el plan de intervención tenga una periodicidad más amplia que no excederá de los 18 meses.

En la tabla del Anexo B se encontrará el detalle de evaluación bajo la metodología de cumple/no cumple de los elementos que acorde a la norma requiere inspección y la periodicidad recomendada.

La empresa no dispone al momento de un plan de inspección o de mantenimiento para el sistema de detección y alarma. Muchos sistemas de accionamiento, sensores, detección y alarma no pudieron ser probados debido que no existe la garantía de un accionamiento los mecanismos de control o paro de emergencia puedan funcionar correctamente; un mal funcionamiento de estos sistemas puede causar un disparo de las unidades de generación. Con lo indicado lo concerniente de pruebas y mantenimiento se califica como un no cumplimiento.

De esta evaluación del plan de inspección para cumplimiento de la empresa tenemos un cumplimiento del 17%.

4.2. Evaluación de sistema de extinción hidráulica

El sistema de protección contra incendios a base de agua se encuentra instalado en los diferentes niveles de casa de máquinas y edificio de control y comprende la protección de:

- Caverna de transformadores a través del sistema de pulverización que cubre el transformador.
- Instalaciones de casa de máquinas, a través del sistema de bocas equipadas de incendio distribuidas en los diferentes niveles de casa de máquinas y edificio de control.

Ambos sistemas son abastecidos de la misma fuente de suministro de agua, un tanque de 500m³ que se abastece del afluyente externo del río Vivar que se encuentra junto al acceso a casa de máquinas.

El objetivo de este numeral será realizar una evaluación del estado actual de la operatividad y mantenimiento del sistema de extinción a base de agua en función de las normativas NFPA aplicables.

7.2.1 Sistema de abastecimiento de agua

La unidad de bombeo de incendio está constituida por la bomba de alta presión, motores, bomba de regulación y controladores, cuya función es mantener los niveles de caudal, así como los niveles de presión adecuados en la toma de carga y descarga en los puntos de extinción, de tal forma que en caso de un uso a través de los rociadores (automático o manual) así como bocas equipadas de incendio (mangueras), la unidad de bombeo arranca para llevar el agua desde el tanque de abastecimiento hasta el punto de extinción con el caudal y presión requerido así mismo mantener esta presión y caudal por el tiempo de requerido según su diseño de cálculo.

La norma (NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica, 2010) señala que,

...el suministro de agua para la instalación permanente de protección contra incendios debería basarse en la mayor demanda

del sistema fijo de protección contra incendios más una demanda máxima de los chorros de manguera no inferior a 500gpm(1890L/min) para una duración de dos horas.

El diseño de la bomba contra incendio para un transformador y dos mangueras funcionando a la vez es de 250m³/h y la capacidad útil del tanque de almacenamiento es de 500m³ según su diseño.



Figura 4.15 Cuarto de Bombas del Sistema Contra Incendios

Fuente: Autor

Tanto la norma (NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para Protección contra Incendios, 2019) así como la norma (NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua, 2020) establecen la necesidad de implementar prácticas de aceptación, inspección, pruebas y mantenimiento de la Unidad de Bombeo del Sistema contra incendio a base de agua.

El propósito de la inspección, pruebas y mantenimiento debe ser la verificación del conjunto de montaje y que este preste condiciones de operatividad.

La interpretación del desempeño de la prueba de flujo en relación con el desempeño del fabricante deben ser la base para determinar el desempeño del conjunto de montaje de la bomba.

Los datos recabados al momento tanto en inspecciones de campo, así como información perteneciente a la empresa tenemos:

- Tanque de almacenamiento
- Bomba de mantenimiento de presión (jockey) y sus accesorios.
- Tanque regulador
- Filtros de agua
- Controlador
- Equipos de control de flujo de caudal y presión.
- Bomba contra incendio con los siguientes datos.

Tabla 5
Datos técnicos de la bomba contra incendios

Bomba principal contra incendios			
Marca:	US Motors	Serie	Y03 16705740-0001 M 0001
Tipo Bomba	Centrífuga eje vertical		
Caudal nominal	1000 GPM	Velocidad nominal	1760 RPM
Presión nominal	130,12 PSI	Presión a 150% flujo	90,52 PSI

Fuente: CELEC SUR

Conectividad del cuarto de bombas

Un aspecto que se puede evaluar en las condiciones de operatividad actual corresponde a la conectividad de la Unidad de Bombeo y la información de relevancia que puede generarse y almacenarse en el controlador de la bomba y replicarse en el SCADA en Sala de Control, así como generar alarmas de supervisión o falla.

El acceso a la información generada incluye según la norma (NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para Protección contra Incendios, 2019) la “supervisión remota, monitoreo remoto que podría incluir componentes específicos para predicción de fallas/reemplazo de componentes y análisis de confiabilidad”

De igual forma la configuración del tipo de alarmas que deben generarse y cuando deben generarse, ayuda a realizar acciones de respuesta inmediata ya sea de forma automática o manual.

Así, por ejemplo, una señal de bajo nivel de agua requiere el accionamiento automático de ingreso de agua al tanque de almacenamiento, así como una inspección visual en el cuarto de bombas.

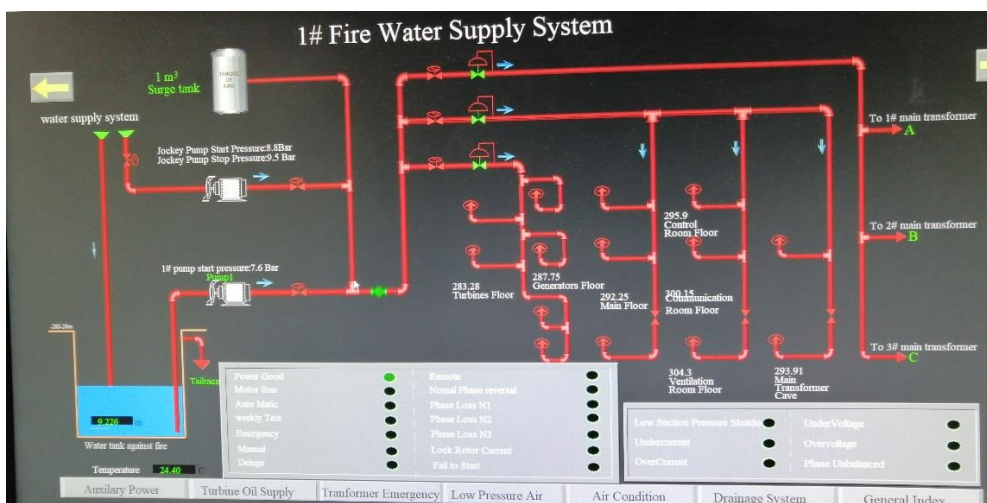


Figura 4.16 Despliegue de lista de alarmas de la Unidad de Bombeo en el SCADA

Fuente: Autor

Al no disponer de un plan de inspección y mantenimiento no existe al momento una base de datos de los registros de eventos generados para cada señal de alarma, supervisión o falla que permita realizar un análisis de cada evento, simplemente se observa el último evento anormal generado ingresando manualmente al controlador de la unidad de bombeo.

La conectividad del controlador y su comunicación hacia el SCADA es el único elemento que se ha podido evaluar bajo las condiciones actuales de operatividad.

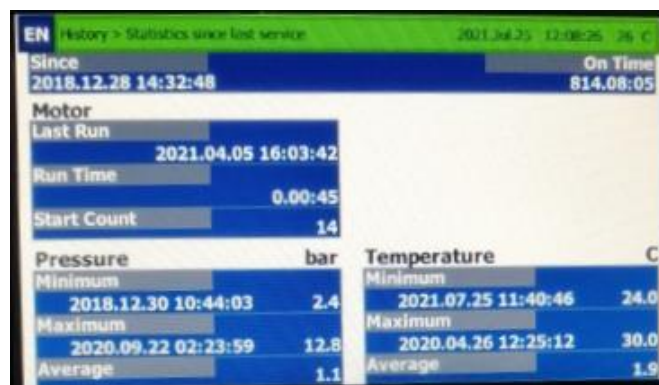


Figura 4.17 Información visual el controlador de la Unidad de Bombeo

Fuente: Autor

En conclusión, este apartado debería evaluar el estado actual y de mantenimiento de la Unidad de Bombeo, sin embargo, la empresa no cuenta con pruebas de funcionamiento y mantenimiento periódico que avalen su operatividad efectiva actual.

Pruebas de operatividad no son factibles para una evaluación de la Unidad de Bombeo ya que el arranque de la unidad sin contar con las condiciones mínimas de mantenimiento podría dañar el sistema.

Las recomendaciones sistema de extinción a base de agua se realizarán para evaluar el desempeño operativo de las bombas contra incendio, tanques de almacenamiento, suficiencia del sistema cumpliendo el requisito mínimo especificado en la norma NFPA 20 y NFPA 25.

La evaluación de la unidad de bombeo se realizó bajo condiciones de uso encontradas y los registros a los que se puede acceder en el controlador, en este sentido, los aspectos que no pudieron ser evaluados, fueron catalogados como de no cumplimiento. En el Anexo C, se encuentra el detalle de la evaluación realizada cuyo cumplimiento es del 30.70%.

7.2.2 Sistemas de tubería vertical y manguera

Las instalaciones de la Central disponen de 14 de Bocas de Incendio Equipada cuyo diseño señala que son mangueras clase II con una capacidad de trabajo de 200GPM a 65-100PSI, cada una de ellas equipada con:

- Manguera de tipo Clase II de 30 metros de longitud
- Una boquilla
- Un extintor de 2Kg de tipo CO₂
- Interruptor de flujo

La distribución de la manguera es de la siguiente forma:

Tabla 6
Distribución BIE en casa de máquinas

No.	LUGAR	CANTIDAD
1	Piso de turbina (283,28 m.s.n.m)	3
2	Piso de generador (287,75 m.s.n.m)	3
3	Piso principal (292,25 m.s.n.m)	3
4	Segundo piso de edificio de control (295,9 m.s.n.m)	1
5	Tercer piso de edificio de control (300,15 m.s.n.m)	1
6	Cuarto piso de edificio de control (304,30 m.s.n.m)	1
7	Túnel de transformador principal	2
	TOTAL	14

Fuente: Autor

La red hídrica contra incendios con mangueras de tipo columna reguladora utilizada para este sistema es de un *sistema seco automático* ya que el conjunto de tuberías está presurizado de aire y al momento de abrir la válvula de paso, el interruptor que se encuentra ubicado antes de la boca de incendio envía la señal al controlador de la Unidad de Bombeo para el arranque de esta unidad y suministrar de agua en el punto requerido.

Si bien la norma (NFPA 14 Norma para la Instalación de Sistemas de Montantes y Mangueras, 2019) señala que deben existir conexiones para el cuerpo de bomberos, sin embargo, debido al lugar donde se encuentra emplazada la central de generación, el medio de acceso, obstrucción de vías de egreso y el limitado flujo de aire dentro del túnel en un incendio, no es posible el soporte del cuerpo de bomberos para la extinción de un incendio dentro de las instalaciones, sin que esto limite la capacidad de soportar un evento de incendio ya que se dispone de una fuente de agua autónoma con independencia de dos horas y la distribución de las bocas de incendio equipadas cubren todas las instalaciones.

Respecto a las actividades de inspección, prueba y mantenimiento la norma (NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua, 2020) indica que se debe garantizar que *“los componentes estén libres de corrosión, materiales extraños, daños físicos, manipulaciones u otras condiciones que afecten de manera adversa el funcionamiento del sistema”*.

Mantenimiento del sistema

Respecto a las actividades de mantenimiento el sistema de red hídrica no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento a este sistema conservándose tal como se recibió el sistema por la empresa contratista.

En función de los requerimientos de inspección y mantenimiento de la norma (NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua, 2020) se realiza una evaluación visual del estado de las Bocas Equipadas de Incendio sin efectuar pruebas con agua debido a que el estado actual de la unidad de bombeo no permite el arranque de esta.



Figura 4.18 Disposición de dos Bocas Equipadas de Incendio

Fuente: Autor

En el anexo D se detalla la evaluación realizada de los componentes de inspección visual, sin embargo, es importante notar que, debido a la falta de mantenimiento y uso, este sistema no está disponible para su uso en caso de una emergencia real.

Sistemas de rociadores

La norma (NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica, 2010) señala que,

Los transformadores principales cargados de aceite, estaciones de servicio y transformadores de puesta en marcha que no reúnan las recomendaciones de separación o barrera de incendios (...) deberían protegerse con sistemas de aspersión automática de agua o de aire-espuma comprimidos.

Las características del tipo de transformador de tensión de 230kV embebido en aceite más su emplazamiento en la caverna de transformadores, hacen necesario el mantener un sistema de extinción en los transformadores.

El sistema de extinción mediante pulverización de agua es utilizado en el transformador principal de cada unidad de generación, es decir, existen tres sistemas independientes de pulverización de agua.

El diseño e instalación de los sistemas de pulverización en los transformadores fueron desarrollados en función de la (NFPA 15: Norma para sistemas fijos de protección contra incendios de agua pulverizada, 2017).

De acuerdo con el tipo de sistema de detección y alarma aplicado en los transformadores, el objetivo de este sistema de extinción a través de la pulverización a base de agua es el control de la combustión y protección contra exposiciones, es por ello que, según lo indicado por la norma (NFPA 15: Norma para sistemas fijos de protección contra incendios de agua pulverizada, 2017) las *“boquillas deben estar posicionadas de manera que el agua impacte directamente sobre las áreas de la fuente del incendio y donde sea probable que los derrames se propaguen”*, por tanto, la disposición de las boquillas de pulverización están ubicadas en tres niveles con catorce boquillas por nivel para cumplir con el objetivo de control de combustión y exposición.

Mantenimiento del sistema

El sistema de extinción por pulverización no ha sido probado después de su prueba de comisionamiento realizada en una de sus tres unidades.

Así como los otros sistemas de extinción estudiados, este sistema tampoco es parte del plan de mantenimiento anual de la empresa, por tanto, no se puede garantizar su correcto funcionamiento actual de operatividad, ni realizar pruebas de flujo debido a que

la unidad de bombeo tampoco puede ser probada. En este sentido, no fue posible realizar una evaluación a este sistema ya que todos sus componentes son activados una vez que la unidad de bombeo arranca y esta no está operativa.

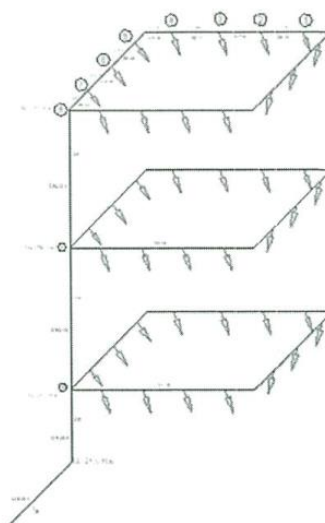


Figura 4.19 Esquema de la distribución de pulverizadores en el transformador

Fuente: CELEC SUR

4.3. EVALUACIÓN DE SISTEMA DE EXTINCIÓN POR MEDIOS NO HIDRÁULICOS

Sistema de extinción por Dióxido de Carbono (CO₂)

La norma (NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica, 2010) señala que,

Mediante un sistema gaseoso de extinción de activación automática o un sistema de aspersión de agua debería proveerse de protección a los fosos de los generadores....

El agente inerte de dióxido de carbono (CO₂) es el más idóneo para uso sobre equipos eléctricos energizados, es decir, puede darse la descarga del CO₂ con la unidad de generación trabajando sin generar riesgos a la unidad.

Para el caso del recinto del generador el tipo de fuego aplicable según la norma (NFPA 12: Norma sobre Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono, 2011) es fuego profundo donde “la concentración de CO₂ requerida debe mantenerse por un tiempo para permitir la extinción del fuego latente y el enfriamiento del material a un punto en el cual la reignición no ocurrirá cuando la atmosfera inerte se haya disipado.”

El método de extinción aplicable para el recinto del generador es conocido por inundación total de descarga extendida, es decir, la distribución de las boquillas de descarga y su aspersión generan una concentración uniforme de CO₂ que cubre todo el volumen del cerramiento.

La descarga se produce en dos etapas, la primera descarga del agente a una tasa elevada para generar la concentración de CO₂ en el recinto y la siguiente, una descarga a tasa reducida para mantener la concentración y así generar sofocación y enfriamiento del material.

Dentro del generador, los rociadores se encuentran distribuidos de forma uniforme en dos niveles, cada uno de los seis rociadores que corresponden a la descarga inicial y otro de descarga extendida. Los mecanismos de accionamiento son automáticos, locales y de emergencia.

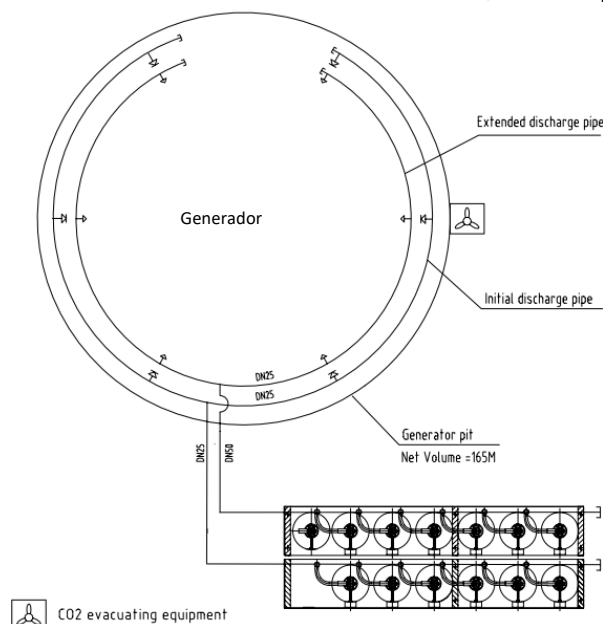


Figura 4.20 Esquema de instalación del sistema de extinción por CO₂

Fuente: CELEC SUR

El sistema se compone de:

- Elementos de alarma y detección como son, detectores de humo, detectores de temperatura, botoneras de accionamiento o paro de emergencia y alarmas visuales y auditivas.
- Controlador de alarma
- Banco de cilindros de CO₂

Este sistema de supresión al contar con un agente inerte cuyo principio de extinción es la sofocación por desplazamiento de oxígeno implica un riesgo a las personas que puedan exponerse a este agente, es por ello, que este sistema cuenta con varios sistemas de alarma visual y acústica, condiciones de retardo de supresión, medios de desconexión para aborto de la descarga, entre otros para advertir a las personas de la descarga del agente.

Inspección y mantenimiento

La norma (NFPA 12: Norma sobre Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono, 2011) describe los elementos de inspección y mantenimiento que se deben considerar dentro de un plan y señala que,

El objetivo de este mantenimiento y prueba deben ser no solo asegurar que el sistema está en condiciones totales de operación, sino también indica la probable continuidad de esa condición hasta una próxima inspección.

De forma general a continuación se describen los requerimientos de inspección y mantenimiento:

- Revisar y probar todo tiempo de retardo para la operación.
- Revisar y probar toda alarma audible para la operación
- Revisar y probar toda señal visual para operación.
- Revisar todas las señales de alerta estén operativas
- Revisión de todos los detectores.
- Pruebas de descarga a criterio de conveniencia.

Tal como se ha mencionado en otros sistemas de extinción no existe ningún tipo de inspección y mantenimiento a este sistema de supresión de incendios, únicamente se mantiene un control del estado de alarmas de supervisión y falla de los elementos de supervisión y falla que se generan en el SCADA.

La evaluación del sistema se realizó por inspección visual y datos recabados por el SCADA.

En el anexo E se encuentra el detalle de la evaluación de las condiciones de operatividad acorde a la inspección visual ya que no fue posible realizar simulaciones de alarma y accionamiento. Esta evaluación tiene un cumplimiento del 63%.

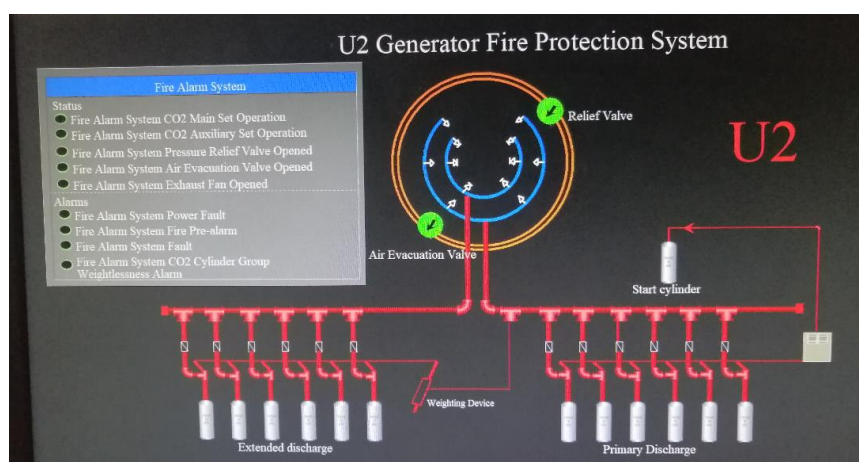


Figura 4.21 Pantalla de visualización de alarmas y estado del SCI del generador

Fuente: Autor

Sistema de extinción por agente limpio FM 200

Las salas de control, servidores, ingeniería y comunicaciones de casa de máquinas se consideran elementos sensibles en la generación eléctrica ya que a través de los equipos de tecnología de información allí dispuestos se realizan tareas de monitoreo, supervisión y control de las unidades de generación y sus sistemas auxiliares, así como comunicación interna y externa. Eventos indeseables que generen la falla en alguno de estos sistemas implicaría la parada inmediata de las unidades de generación y sus sistemas auxiliares.

Con lo indicado, estos equipos cumplen condiciones particulares de seguridad en el lugar donde se encuentran instalados, por ejemplo, se disponen sistemas de ventilación y aire acondicionado independiente, así como, sistemas de extinción de incendios para cada una de estas salas. Al tratarse de equipos electrónicos y comunicación delicados en un espacio de ocupación humana, es necesario el uso de agentes de extinción que no generen daño alguno a los equipos y que pueda ser descargado incluso encontrándose personas en este espacio.

Respecto a cuartos de equipos de tecnología de la información la norma (NFPA 75: Norma para la Protección contra Incendios en Equipos de Tecnología de la Información, 2013) señala que,

En los lugares donde hay una necesidad crítica de proteger datos en proceso, reducir los daños a los equipos y facilitar que ese vuelva a prestar el servicio se debe considerar el uso de sistemas con agente gaseoso.

Por la sensibilidad de los componentes de los sistemas de tecnología de la información emplazados en la sala de control, sala de monitoreo, sala de ingeniería y comunicaciones y por su interacción constante con personal, se dispone en estos lugares de Sistemas de Extinción por agente limpio denominado FM 200.

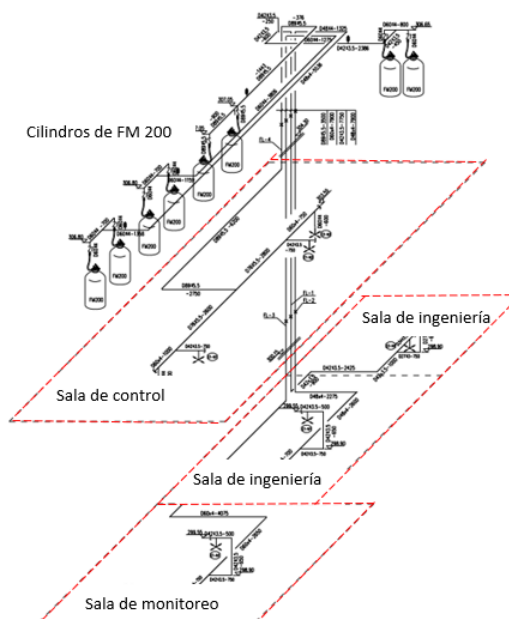


Figura 4.22 Esquema de sistema de extinción FM 200

Fuente: Autor

Cada lugar protegido por el agente FM 200 cuenta con un sistema de extinción independiente cuya capacidad difiere según el cálculo de diseño de cada área y están compuestos de:

- Conjunto de cilindros (principal y reserva)
- Conectores de acero inoxidable
- Electroválvulas
- Boquillas de descarga
- Conjunto de soportes y tuberías.

Inspección, prueba y mantenimiento

La norma (NFPA 75: Norma para la Protección contra Incendios en Equipos de Tecnología de la Información, 2013) establece las directrices generales de inspección y mantenimiento para los sistemas de extinción a base de agentes limpios cuya periodicidad mínima debe ser anual, así también establece las metodologías aplicables para realizar pruebas de laboratorio para pruebas hidrostáticas en cilindros, mangueras u otros según el sistema.

Respecto a las actividades de mantenimiento para el sistema FM 200, al igual que otros sistemas, la empresa no posee un plan de mantenimiento para este sistema sujetándose únicamente a mantenimientos correctivos visuales.

De la inspección visual realizada se observa:

- Condiciones óptimas de condición y sujeción en tanques y boquillas.
- Presión adecuada para cada cilindro según su manómetro.

Las otras actividades de inspección y pruebas no se han realizado, mismas que estarán indicadas en el apartado de recomendaciones.

En el anexo F, se encuentra la evaluación visual realizada a este sistema de extinción, no fue posible realizar una prueba de alarma y accionamiento de los controladores de descarga ya que este sistema tampoco dispone de un plan de mantenimiento.



Figura 4.23 Sala de cilindros de agente FM 200

Fuente: Autor

4.4. Evaluación de sistema de control de humos y ventilación

El sistema HVAC de casa de máquinas se compone de un sistema de ventilación, aire acondicionado y extracción.

La inyección de aire a casa de máquinas se realiza a través de dos ventiladores tipo reversible de 127800m³/h, el aire que se inyecta a cada piso de casa de máquinas y caverna de transformadores.

Así mismo, en lugares de protección de equipos electrónicos, comunicaciones y oficinas de ocupación humana se cuenta con sistemas de aire acondicionado. De forma simultánea a la inyección de aire se dispone de un sistema de extracción por cada nivel de casa de máquinas y de forma independiente se cuenta con sistema de extracción para los cuartos de baterías.

Los materiales que conforman los ductos de inyección y extracción de tienen resistencia al fuego de 2 horas y pueden soportar temperaturas de hasta 250 °C.

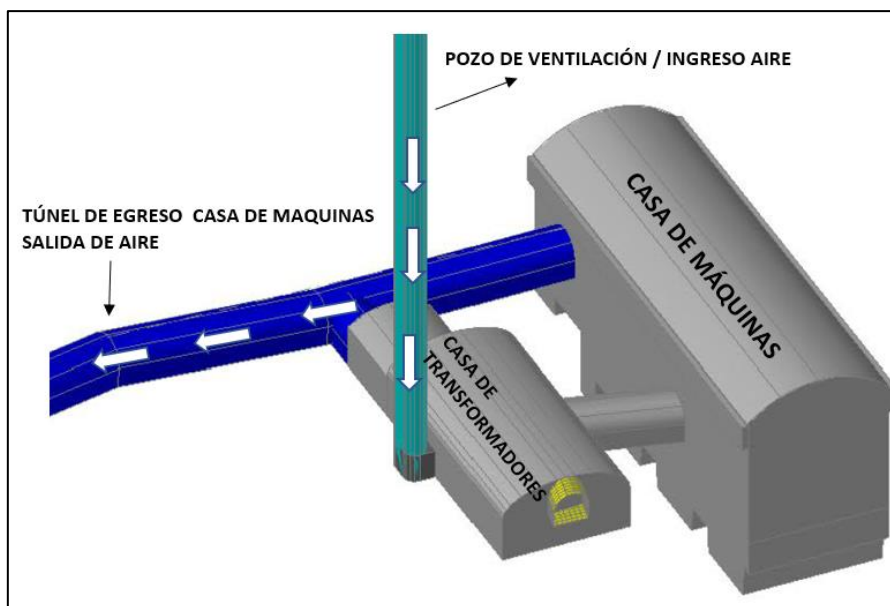


Figura 4.24 Vista general en 3D superior de casa de máquinas
Fuente: Autor



Figura 4.25 Ingreso y extracción de aire a casa de máquinas

Fuente: Autor

La lógica de funcionamiento para eventos no deseados de incendio es que una vez que se detecte el incendio se genera los siguientes eventos:

- Cambio de sentido de giro del ventilador, de tal forma que no inyecta aire sino extrae.
- Apagado de los sistemas de aire acondicionado
- Los sistemas de extracción se detienen.

El operador de sala de control puede verificar en el SCADA el cambio de sentido de giro del ventilador y en caso de que el automatismo no funcione puede realizar esta actividad de forma local en el tablero de control.

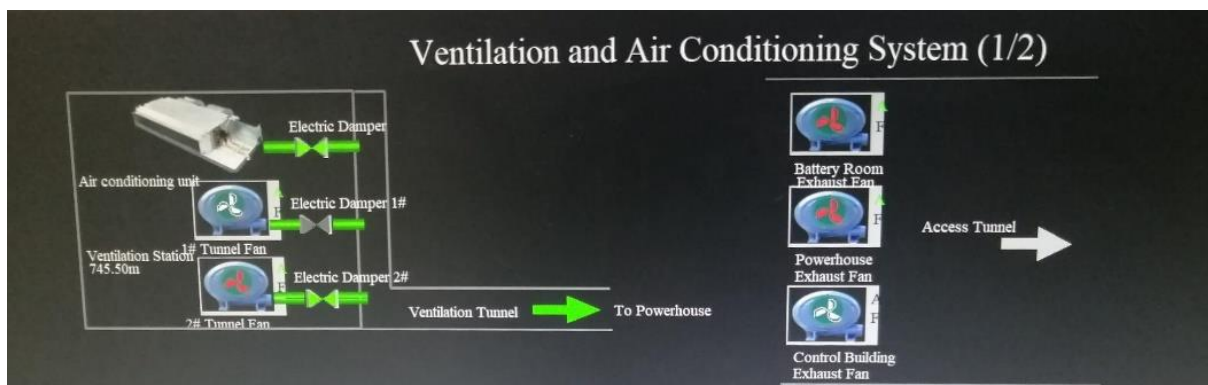


Figura 4.26 Visualización del estado de inyección o extracción en el SCADA

Fuente: Autor

Inspección, prueba y mantenimiento

La norma (NFPA 90A: Norma para la instalación de sistemas de aire acondicionado y ventilación, 2021) señala que,

Los intervalos de pruebas y mantenimiento varían ampliamente dependiendo de la duración de sistema de operación, condiciones de aire fresco, cantidad de polvo y otros factores.

Es decir, no existe un estándar de periodicidad de pruebas de mantenimiento. El sistema HVAC mantiene vigente un plan de mantenimiento preventivo que se ejecuta con normalidad con intervalos semestrales y anuales; sin embargo, no se han establecido las pruebas de detención y extracción en caso de eventos de incendio. Para efectos de este estudio se realizó una prueba de accionamiento remoto y local del cambio de giro del ventilador para confirmar la efectividad de extracción ya que es un accionamiento que no se ha efectuado desde el inicio de operación de la central de generación, comprobando su funcionamiento con normalidad.

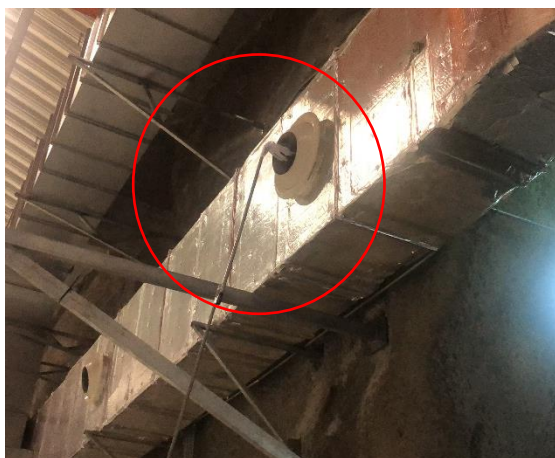


Figura 4.27 Comprobación visual empírica del efecto de extracción de aire

Fuente: Autor

4.5. EVALUACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN HUMANA

Para efectos de seguridad de las personas, la norma (NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica, 2010) establece que la central hidroeléctrica debe ser clasificada como una instalación de uso industrial de propósitos especiales en las áreas generales; para las áreas de control y de oficinas una clasificación de ocupaciones de negocios; y ocupaciones de almacenamiento a los sectores de depósitos como bodegas por ejemplo. Para la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009) esta clasificación se traduce en los requerimientos para determinar los medios de egreso, salidas, medios de iluminación necesarios para proveer protección a los ocupantes que están o no relacionados con el desarrollo inicial del fuego (visitantes o brigadistas) durante el tiempo necesario para ser evacuados, reubicados o protegidos del lugar.

Ocupación

La ocupación de personas promedio en este lugar es de aproximadamente 30 personas entre personal propio y contratista.

Numero de medios de egreso

Los medios de egreso para casa de máquinas están dispuestos por cada unidad de generación desde la primera planta hasta el piso principal, es decir, existen tres medios de egreso a través de escaleras que conducen a la salida vehicular de casa de máquinas. Así mismo el edificio de control también dispone de dos medios de egreso que conducen a la salida vehicular.

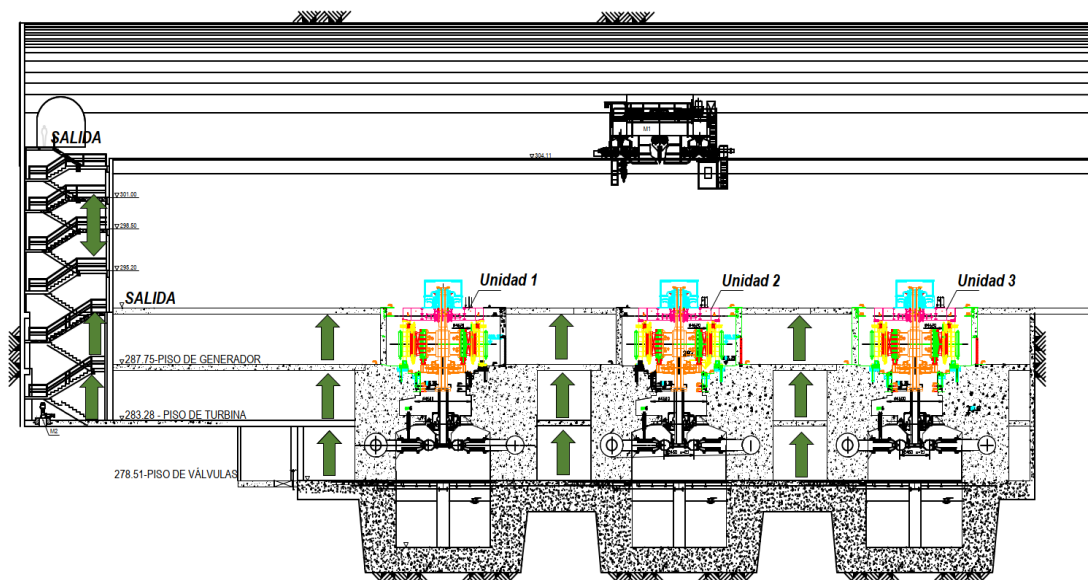


Figura 4.28 Vista longitudinal de casa de máquinas

Fuente: Autor

La norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009) en la sección 7.7.1 señala que *“todas las salidas deben terminar directamente en una vía pública o en una descarga de salida exterior”*, con lo indicado la salida de piso principal o del edificio de control acceden al denominado *“túnel de acceso a casa de máquinas”*.

Distancia máxima por recorrer

Acorde a la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009) la distancia de recorrido hacia una salida debe medirse a lo largo de la línea central del recorrido natural comenzando desde el punto más distante del piso hasta la salida más cercana a dicho punto. Para casa de máquinas la distancia máxima a recorrer desde el punto más lejano hasta la descarga de salida son 155 metros entre escaleras y tramos horizontales.

Iluminación de salidas

La fuente de alimentación de casa de máquinas es redundante, es decir tiene dos fuentes de alimentación principal independientes y dos de emergencias que son baterías y generador de emergencia.

Según la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009) señala que *“la iluminación de los medios de egreso debe ser continua durante el tiempo que las condiciones de ocupación requieran que los medios de egreso se encuentren disponibles para el uso...”*; en concordancia con lo señalado, la iluminación de los lugares de ocupación y medios de egreso cuenta con una fuente de alimentación redundante que garantiza la iluminación permanente de todas las instalaciones de casa de máquinas.

Adicional a lo indicado, las instalaciones cuentan con medios de iluminación de emergencia dispuestos de tal forma que garantizan la iluminación de 10 luxes mínimos en caso de fallo de la iluminación general con excepción de la salida por el último piso del edificio de control, la ruta de salida no está provista de iluminación alguna en un tramo aproximado de 300 metros.

Señalización de salidas

Respecto a la señalización de salidas la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009), la señalización de casa de máquinas está dispuesta de tal forma que es fácilmente visible desde cualquier dirección del acceso a la salida ya sea por escaleras, pasillos o espacios de ocupación industrial.

La señalización es luminosa y fotoluminiscente con autonomía de fuente de alimentación.

4.6. Sistemas de protección pasiva

Acorde a la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009) que señala que *“todos los edificios deben estar divididos en compartimentos para limitar la propagación del fuego y restringir el movimiento del humo”*.

Para la central de generación no es posible establecer compartimentaciones por las escotillas de izaje y gradas existentes en los diferentes niveles de casa de máquinas, sin embargo, esta protección pasiva si aplica para el edificio de control principalmente para protección de equipos sensibles de tecnología de información y cuartos de baterías.

Conforme la norma antes citada, todas las penetraciones de cables, bandejas de cables, tuberías, ductos de ventilación entre otros que atraviesan un muro o sobre suelo y cielo falso deben estar protegidos por un dispositivo de sello cortafuego.

De la inspección realizada en el edificio de control, no existe protecciones con sellos cortafuegos en los pasos de cables y ductos de ventilación que atraviesan todo el edificio.



Figura 4.29 Paso de cables a sala de baterías sin protección corta fuegos

Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

5 PROPUESTA DE GUÍA DE VERIFICACIÓN DE CONFORMIDAD PARA EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

A través de las normas NFPA de los sistemas de detección, alarma y extinción de incendio se establecen prácticas de inspección, prueba y mantenimiento con el objetivo de garantizar su completa operatividad para protección de la vida y propiedad.

Mantener un sistema de inspección, prueba y mantenimiento del Sistema Contra Incendio acorde a los lineamientos de los fabricantes y normas NFPA aplicables es un modo efectivo de mantener estándares de confiabilidad de estos sistemas.

La conformidad de la operatividad de los SCI será satisfactoria si se mantiene la periodicidad de las actividades de inspección, pruebas y mantenimiento acorde a las normativas NFPA aplicables, es por ello, que en el presente capítulo se detallan las pautas de evaluación de conformidad acorde a los parámetros aplicables a los sistemas instalados en casa de máquinas.

En la evaluación diagnóstico presentada en el capítulo 4, se evidenció que la falta de mantenimiento, inspección y pruebas de todos los sistemas, no garantizan la operatividad y desempeño requerido.

El departamento de ingeniería de la empresa deberá incluir dentro del Plan Anual de Mantenimiento, los sistemas de detección, alarma y extinción que han sido estudiados en este trabajo.

La guía de evaluación propuesta comprende el cumplimiento de condiciones de operatividad de los sistemas de alarma y detección independientes y los que trabajan conjuntamente sus respectivos sistemas de extinción; la validación de su desempeño requerirá de lo siguiente:

- Inspección visual y accionamiento de prueba de los equipos en los que sea factible la actividad.
- Revisión de la ejecución de los planes de inspección, mantenimiento y pruebas.
- Revisión de bitácoras de recepción de datos en el SCADA
- Revisión de las señales de entrada y salida tanto en tableros de control local y/o SCADA.

La ejecución de la evaluación de conformidad del sistema contra incendio estará a cargo del responsable del área de Seguridad Laboral en conjunto con personal de las áreas de operación y mantenimiento.

La catalogación de cumplimiento o no cumplimiento deberá estar respaldada con información fidedigna y no enmarcada en subjetividades.

Guías de evaluación propuestas

La evaluación a los SCI propuesto será a las condiciones de inspección, prueba (operatividad), mantenimiento que al momento de realizar la evaluación disponga.

Las guías de evaluación propuestas

Las áreas protegidas por sistemas contra incendios como generadores, transformadores, salas de equipos de tecnología de la información que incorporan sistemas de extinción deben ser evaluadas en conjunto, es decir, probar los sistemas de alarma y detección para accionamiento del sistema de extinción, así como su comunicación con el SCADA.

Otras áreas en general que poseen únicamente sistemas de alarma y detección deberán ser evaluadas independientemente para probar el funcionamiento de equipo detector, su comunicación con el SCADA y su alarma.

Una vez realizada la guía de evaluación de los sistemas contra incendios es necesario priorizar las acciones de intervención en caso de detectarse elementos de no cumplimiento o fuera del estándar.

Para ello es necesario, estratificar el nivel de riesgo que se generaría en caso de materializarse un evento de conato o incendio y a la vez uno de los elementos que conforman el sistema contra incendio no se encuentra operativo o está fuera del estándar.

Por ejemplo, el nivel de riesgo derivado por una falla en el controlador de descarga del CO₂ es mayor en contraste con la falla en uno de los doce sensores del recinto del generador.

Conocer el nivel de riesgo será de utilidad para determinar el nivel de prioridad de intervención en el elemento que esté fuera del estándar.

En el ejemplo anterior, una vez realizada la evaluación de cumplimiento y verificado que el controlador de descarga no funciona, la intervención de mantenimiento correctivo en dicho controlador debe ser inmediata, en contraste con la falla en uno de los doce sensores, cuyo mantenimiento será planificado como un mantenimiento preventivo programado.

Evaluación de riesgo de incendio en los elementos del SCI

Para efectos del presente trabajo se ha realizado una adaptación de la metodología de Evaluación de Riesgos Laborales del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, para la evaluación de riesgos desencadenados por eventos de incendio.

Para ello es necesario identificar el peligro que se puede presentar en el elemento a evaluar y valorar la probabilidad y las consecuencias de se materialice el conato de incendio.

Identificación de peligros

La identificación de peligros será en función de la fuente de daño de los elementos que constituyen el SCI.

Por ejemplo:

- Falla de la fuente de batería
- Falla en los dispositivos electromecánicos de descarga
- Falla en el envío de señal de alarma desde el detector al SCADA.

Severidad del daño

En este punto se realiza una adaptación de la severidad del daño no solo a daños personales sino daños personales.

De la misma forma que la metodología original se maneja una estratificación de la siguiente manera:

- Ligeramente dañino: cortes, irritación ocular, irritación respiratoria, daños materiales leves.
- Dañino: quemaduras de primer grado, daños menores de reparación/reemplazo a corto plazo.
- Extremadamente dañino: muertes, quemaduras graves, daños irreparables de reemplazo a largo plazo.

Probabilidad del que ocurra el daño

La probabilidad de que ocurra el daño cuando existe un peligro en el SCI y se presenta un conato de incendio, que se gradúa de la siguiente manera:

- Probabilidad alta: el daño ocurrirá siempre o casi siempre
- Probabilidad media: el daño ocurrirá en algunas ocasiones
- Probabilidad baja: el daño ocurrirá raras veces.

Acorde a la metodología de Evaluación de Riesgos laborales se presenta este cuadro para estimar el riesgo de acuerdo a la probabilidad estimada y sus consecuencias esperadas.

PROBABILIDAD	CONSECUENCIA		
	LD	DAN	ED
BAJA	TV	TOL	MOD
MEDIA	TOL	MOD	IMP
ALTA	MOD	IMP	INT

Figura 5.30 Cuadro de estimación de riesgo

Fuente: INSHT

Evaluación de criticidad de riesgos

Los niveles de riesgos indicados en el cuadro anterior forman la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implantar

Tabla 7
Valoración de riesgos

Nivel de riesgo	Acción	Temporización
Trivial (TV)	No requiere acción de mantenimiento inmediata ni acciones de monitoreo	En el próximo mantenimiento preventivo programado
Tolerable (TOL)	No requiere acciones de mantenimiento, pero si acciones de monitoreo de condiciones de operatividad que pueda afectar el desempeño del SCI. Revisar registros de mantenimientos preventivos o correctivos anteriores para análisis de causas.	En el próximo mantenimiento preventivo programado

Nivel de riesgo	Acción	Temporización
Moderado (MOD)	Requiere acciones de mantenimiento correctivo programado y acciones de monitoreo de condiciones de operatividad que pueda afectar el desempeño del SCI. Revisar registros de mantenimientos preventivos o correctivos anteriores para análisis de causas.	Mantenimiento correctivo programado
Importante	Requiere acciones de mantenimiento correctivo programado e implementación de acciones de control de fuentes de peligro y/o verificación de elementos redundantes de la funcionalidad del elemento que requiere acciones de mantenimiento. Revisar registros de mantenimientos preventivos o correctivos anteriores para análisis de causas.	Mantenimiento correctivo programado
Intolerable	El SCI no puede continuar operando bajo esta condición. Debe realizarse un mantenimiento inmediato. Revisar registros de mantenimientos preventivos o correctivos anteriores para análisis de causas.	Mantenimiento correctivo inmediato

Fuente: autor

Con lo indicado en cada elemento evaluado se consideró:

- El evento de peligro más desfavorable en el elemento a evaluar. Ejemplo, no se emitan las señales de salida para el comando de descarga de agente de extinción.
- Condiciones de operatividad de seguridad adicionales al SCI que se dispone. Por ejemplo, protecciones de la unidad de generación con disparo y desconexión de la unidad en caso de que se haya detectado un conato o incendio, incluso una precondition de riesgo para incendio.
- Elementos adicionales que pueden suplir la falta de operatividad del sistema a ser evaluado. Suministro primario de energía redundante.

Con lo indicado, la evaluación de la criticidad para operatividad de los elementos que constituyen el SCI debe considerar el peligro presentado, la posible consecuencia en caso de materializarse el riesgo y la probabilidad de que ocurra el daño.

A continuación, un extracto de la matriz de evaluación de riesgos de criticidad para la operatividad del SCI evaluado.

INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
1. Tableros de control las señales de alarma, de supervisión y de falla									
a) fusibles, interfaz, señales luminosas, suministro energía	Falla en el suministro de energía	Alerta tardía de fallos en la señales de alarma, supervisión y falla	1				2		TOLERABLE
b) señales de falla	Tablero no reciba las señales de falla	No percibir de las señales de falla de forma inmediata	1			1			TRIVIAL
c) baterías	Falla en la alimentación secundaria	No recibir las señales de alarma, supervisión y falla en caso de fallo de la alimentación primaria	1			1			TRIVIAL

Figura 5.31 Formato para evaluación de criticidad

Fuente: Autor

Esta evaluación, es de utilidad para determinar qué elementos del sistema son considerados fundamentales para su funcionamiento en caso de requerir su uso. Esta evaluación se realiza una vez por cada SCI y será el elemento determinante para consideraciones de mantenimiento inmediato, preventivo programado o correctivo programado.

De esta forma cuando el evaluador realice la guía de verificación de cumplimiento en cada SCI y detecte un elemento de NO CUMPLIMIENTO podrá conocer de forma inmediata que tipo de intervención para mantenimiento requiere y qué otras medidas de control deben tomar para restablecer la operatividad del elemento evaluado.

En el anexo G se detalla la evaluación de riesgos de criticidad para cada uno de los sistemas contra incendio estudiados.

Componentes de la guía de evaluación de conformidad

El evaluador dispondrá por cada SCI una guía de evaluación de conformidad de desempeño acorde a cada norma NFPA aplicable. Dicha guía contendrá:

- Elementos para evaluar
- La prelación de tipo de mantenimiento diferenciada por un esquema de colores.
- La frecuencia de verificación para inspección, mantenimiento y prueba, según corresponda.
- Evaluación bajo el esquema “Cumple” y “No cumple”
- Observaciones.

INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1. Tableros de control las señales de alarma, de supervisión y de falla			
a) fusibles, interfaz, señales luminosas, suministro energía	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
b) señales de falla	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
c) baterías	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
2. Señales de falla de la unidad de control de alarmas de incendio	Diaria	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
3. Equipos de comunicaciones de emergencia (alta voces)	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
4. Dispositivos iniciadores			
a) Dispositivos electromecánicos de liberación o descarga	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
b) Interruptores de los sistemas de extinción o los sistemas de supresión	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI

Figura 5 32 Formato de guía de evaluación

Fuente: Autor

En el anexo H se detalla se detalla la Guía propuestas de evaluación de conformidad de los SCI.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. Debido a la escasa información que se cuenta respecto al nivel de desempeño de los sistemas contra incendio ya que la empresa no cuenta con un plan de mantenimiento, no fue posible realizar una evaluación cuantitativa sino cualitativa del nivel de cumplimiento respecto las normas NFPA que aplicaron; esto se debe principalmente a que no fue posible realizar ninguna prueba de desempeño y tampoco se tenía registros de pruebas anteriores ni de mantenimiento preventivos o correctivos.
2. Respecto al sistema de protección humana a través de los medios de protección pasiva, para señalización e iluminación de medios de egreso y salida, éstas son satisfactorias y exceden lo requerido por la norma (NFPA 101: Código de Seguridad Humana, 2009). Lo correspondiente a compartimentaciones en para evitar la propagación de fuego y humo, estas no satisfacen lo requerido por la norma, ya que ninguna instalación del edificio de control posee esta protección.
3. Respecto a la evaluación de conformidad de medios de actuación y restauración de señales del sistema de alarma y detección con relación a la norma (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, 2016) se evidenció con pruebas en campo que existe un cumplimiento parcial de las señales de entrada y salida sobre alarmas de emergencia, situación que podría generar que las emergencias no puedan ser atendidas al instante.
4. En función de los requerimientos aplicables de las normas NFPA para los sistemas de detección, alarma y extinción de la central de generación se han establecido las guías de evaluación de conformidad de estado y operatividad.

6.2. Recomendaciones medidas de control y propuestas de mejora para los sistemas de protección control incendios

1. Integrar al plan de mantenimiento de los sistemas auxiliares de la central de generación, la inspección, mantenimiento y ejecución de pruebas de desempeño de los sistemas de protección contra incendios.
2. Se recomienda realizar un nuevo comisionamiento de sistema de extinción hidráulica para verificación de cumplimiento de desempeño según el diseño.
3. Respecto a los sistemas de protección pasiva se recomienda realizar un análisis de los tipos de elementos ignífugos que puedan aplicar para el paso de cables, bandejas de cables y tuberías y ductos que atraviesan los muros y losas en los diferentes niveles del edificio de control.
4. Se recomienda revisar la programación de lógica de funcionamiento para determinar la forma de ingreso de las señales de alarma al SCADA que estén conforme con la norma NFPA (NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización, 2016).
5. Se recomienda aplicar las guías de verificación de conformidad para el sistema de protección contra incendios propuestas y que están sean parte del plan anual de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, W., & Artero, J. (s.f.). Riesgo de explosión e incendio en subestaciones primarias y análisis comparativo de opciones de sistemas contraincendios. El Salvador.
- Berg, H.-P., & Fritze, N. (2011). Reliability of main transformers. *Vol. 2*.
- BRADY. (2017). La guía para la seguridad de arco eléctrico en el área de trabajo.
- BRADY. (2017). LA GUÍA PARA LA SEGURIDAD DE ARCO ELÉCTRICO EN EL ÁREA DE TRABAJO.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1983). Resistencia ante el fuego de elementos constructivos. España.
- National Fire Protection Association. (2012). *Manual de protección contra incendios* (Vol. I). (J. M. Pérez, & J. Moncada, Edits.)
- NFPA. (2009). NFPA 101: Código de Seguridad Humana.
- NFPA. (2010). *NFPA 851: Práctica recomendada para la protección contra incendios para plantas de generación hidroeléctrica*. Quincy.
- NFPA. (2011). NFPA 12: Norma sobre Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono.
- NFPA. (2013). NFPA 75: Norma para la Protección contra Incendios en Equipos de Tecnología de la Información.
- NFPA. (2016). *NFPA72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización*. Quincy.
- NFPA. (2017). *NFPA 15: Norma para sistemas fijos de protección contra incendios de agua pulverizada*.
- NFPA. (2018). *NFPA 70E: Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo*.
- NFPA. (2019). NFPA 14 Norma para la Instalación de Sistemas de Montantes y Mangueras.
- NFPA. (2019). NFPA 20: Norma para la Instalación de Bombas Estacionarias para Protección contra Incendios.
- NFPA. (2019). NFPA 551 Guía para la Evaluación de los Riesgo de Incendio.
- NFPA. (2020). NFPA 25: Norma para la inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua.
- NFPA. (2021). NFPA 90A: Norma para la instalación de sistemas de aire acondicionado y ventilación.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla 8

Evaluación de cumplimiento de medios de actuación y restauración de señales

ACTUACION Y RESTAURACION DE SEÑALES	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1 Prioridad de señales de dispositivos de iniciación de emergencia	<p>1. Debe permitirse que las señales de prioridad de los sistemas de comunicaciones de emergencias (ECS), cuando sean evaluadas por las partes interesadas a través de un análisis de riesgos, tengan prioridad sobre el resto de las señales.</p> <p>2. Deben permitirse que las señales y mensajes de notificación masiva de emergencias tengan prioridad sobre las señales de notificación de alarmas de incendio, supervisión y falla</p> <p>3. Las señales de supervisión deben tener prioridad sobre las señales de falla</p>	<p>No cumple</p> <p>No cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Se puede observar en el SCADA y Aparatos o tableros de control del SCI</p>
2 Señales distintivas de falla, supervisión y emergencia en sala de control	<p>1. Las alarmas prioritarias, alarmas de incendio, señales de supervisión y señales de falla deben ser distintiva y descriptivamente anunciadas.</p> <p>2. Los aparatos de notificación audible de alarmas para un sistema de alarmas de incendio deben emitir señales que se distingan de aquellas de otros aparatos similares que se utilicen con otros fines en la misma área y que no sean parte del sistema de alarmas de incendio ni del sistema de comunicaciones de emergencia.</p> <p>3. Las señales de supervisión deben distinguirse de otras señales por su sonido.</p> <p>4. Las señales de falla requeridas para una indicación en las instalaciones protegidas deben consistir en señales audibles distintivas las que debe ser diferentes de las señales de alarma.</p>	<p>No cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Se puede observar en el SCADA y Aparatos o tableros de control del SCI</p>
3 Señales de alarmas de incendio en las instalaciones de casa de máquinas	<p>1. Las señales de alarma de incendio deben distinguirse de otras señales por su sonido.</p> <p>2. Las alarmas audiovisuales o de comunicaciones de emergencia por voz, funciones de control de emergencias y aviso en las instalaciones protegidas se activan dentro de los 10 segundos posteriores a la activación de un dispositivo</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Se puede observar en el SCADA y Aparatos o tableros de control del SCI</p>
4 Desactivación de las señales de alarmas de incendio en sala de control y casa de máquinas	<p>1. El restablecimiento de las señales de alarma será simultáneamente para alarmas visuales y auditivas</p> <p>2. El restablecimiento debe ser mediante llave o encontrarse dentro de un gabinete de protección para evitar operaciones no autorizadas.</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Sistema de Extinción por CO₂, FM200 y palancas de accionamiento manual</p>

ACTUACION Y RESTAURACION DE SEÑALES		CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
	<p>El medio debe proveer una indicación</p> <p>3. visible de la alarma zonal o el equivalente.</p>	Cumple	
5	<p>Señales de falla en los módulos de control y Tablero principal</p> <p>1. Si se utiliza una señal intermitente debe sonar por lo menos una vez cada 10 segundos con una duración mínima de 1/2 segundo</p> <p>2. Debe permitirse que una única señal de falla audible anuncie múltiples condiciones de falla</p> <p>3. Las señales de falla se ubicarán en una zona donde puedan ser escuchadas</p> <p>4. Las señales visibles y audibles de falla y la indicación visible de su restauración a normal se indicará en las siguientes ubicaciones: --Unidad de control de alarmas de incendio --Sistemas de comunicaciones de emergencia por voz/alarma --Sitio de la estación central</p> <p>5. Las señales de falla y su restauración a normal deben ser indicadas de modo visible y audible en la estación de supervisión de propiedad para los sistemas instalados.</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>	
6	<p>Anuncios de alarma en el SCADA</p> <p>1. El anuncio visible de la ubicación de los dispositivos iniciadores en funcionamiento debe efectuarse mediante una lámpara indicadora, un visualizador alfanumérico, impresiones en papel u otros.</p> <p>2. La anunciación visible de un dispositivo de inicio no debe cancelarse mediante los medios utilizados para desactivar los aparatos de notificación de alarma</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>	<p>Pantalla de alarmas del SCADA y plano de donde se ha activado el dispositivo iniciador</p>
7	<p>Anuncios de supervisión y falla</p> <p>1. El anuncio visible de la ubicación de los dispositivos iniciadores en funcionamiento debe efectuarse mediante una lámpara indicadora, un visualizador alfanumérico, impresiones en papel u otros.</p> <p>2. El anuncio visible de supervisión y/o condiciones de falla no se cancelará con los medios utilizados para desactivar los aparatos de notificación de falla o supervisión</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>	<p>En los tableros del Sistema Contra incendios</p>
8	<p>Centro de comando de incendios</p> <p>1. El anuncio en el centro de comando de incendios debe ser mediante indicadores audibles y visibles</p>	Cumple	En sala de control

ACTUACION Y RESTAURACION DE SEÑALES		CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
9 Comunicación de emergencias	2. Sistema de voceo con anuncios pregrabado o en vivo con alarma antecedente al mensaje.	No cumple	No hay sistema de alarma general y sistema de voceo estandarizado para comunicación de emergencia

Fuente: Autor

ANEXO B

Tabla 9
Evaluación de cumplimiento de inspecciones al sistema de detección y alarma

INSPECCIONES VISUALES	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1 Todos los equipos	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Garantizar que no haya cambios que afecten de desempeño del equipo. ●Inspeccionar modificaciones del edificio, cambio de ocupación, cambio en las condiciones ambientales, ubicación de los dispositivos, obstrucciones físicas, orientación de los dispositivos, daños físicos y grados de limpieza 	No cumple	Todos los sistemas de alarma y detección
2. Equipos de control Sistemas de alarmas de incendio monitoreados para verificar las señales de alarma, de supervisión y de falla a) fusibles b) equipos de interfaz c) lámparas y LED´s d) suministro de energía primario (principal) e) señales de falla	Anual Anual Anual Anual Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ●Verificar una condición normal del sistema 	Cumple	En la SCADA se presentan todas las señales de alarma, supervisión y falla del SCI
3. Baterías Plomo ácido selladas	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ●Inspeccionar para verificar la presencia de corrosión o fugas. Verificar la condición de las conexiones. Verificar la marca del mes/año de fabricación. 	Cumple	Tableros de los Sistemas de extinción para CO ₂ y FM 200
4. Señales de falla de la unidad de control de alarmas de incendio	Diaria		No cumple	

INSPECCIONES VISUALES	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
5. Equipos de comunicaciones de emergencia de incendio por voz/alarma en edificios	Semestral	-	No cumple	
6. Dispositivos iniciadores	-	Verificar ubicación y condición		
a) Dispositivos electromecánicos de liberación o descarga	Semestral	-	No cumple	Aplica para sistemas de extinción por CO ₂ y agente FM 200
b) Interruptores de los sistemas de extinción o los sistemas de supresión	Semestral	-	No cumple	
c) Estaciones manuales de alarma de incendio	Semestral	-	No cumple	Distribuidas en casa de máquinas Para detectores por encima de 3 metros del piso terminado o donde el indicador de alarma o supervisión del detector no es visible para el personal de respuesta, los detectores deberán estar provistos de una indicación remota de alarma.
d) Detectores de calor	Semestral	Tablero de control	No cumple	
e) Detectores de incendio de energía radiante	Trimestral	●Verificar que ningún punto que requiera detección esté obstruido o fuera del campo visual del detector	Cumple	Ubicados en caverna de transformadores
f) Detectores de energía infrarroja	Trimestral		Cumple	Ubicado en el piso principal
h) Detectores de humo De haz proyectado	Semestral	●Verificar que la trayectoria del haz no esté obstruida	No cumple	

INSPECCIONES VISUALES	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Alarmas de humo	Mensual	●Las alarmas de humo deben ser inspeccionadas y reportadas mensualmente	No cumple	Revisar en el Anunciador remoto o equipos de control sala de baterías
i)Dispositivos de señales de supervisión	Trimestral		No cumple	
j) Dispositivos de flujo de agua	Trimestral			
k) detector de gas de hidrogeno	Anual			
7. Aparatos de notificación de alarma-supervisados	Anual			
a) Fuentes de agua para extinción			No cumple	
b) Sistemas de mangueras			No cumple	
c) Sistemas de CO ₂			No cumple	
d) Sistema FM 200			No cumple	
e) Sistema de control HVAC			Cumple	
f) Sistemas de válvulas de diluvio para extinción en CTR			No cumple	
8. Aparatos de notificación audible indicadores de salida	Semestral	Verificar ubicación y condición		
a) Alarmas auditivas de estaciones manuales			No cumple	
b) Alarmas auditivas de sistemas de CO ₂			No cumple	
c) Alarma auditiva de sistema FM 200			No cumple	
d) Alarma auditiva de botón de pánico			No cumple	
e) Alarma del SCADA			No cumple	
f) Controladores de alarma			No cumple	
9. Sistemas de alarma de estaciones de supervisión-transmisores		Verificar ubicación, condición física y condición no		

INSPECCIONES VISUALES	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
a) DACT (transmisores-comunicadores de alarmas digitales)	Anual	-		No aplica
b) DART (radio transmisor de alarma digital)	Anual	-		
c) McCulloh	Anual	-		
d) Radio transmisor de alarma (RAT)	Anual	-		
e) Todos los equipos de comunicadores	Anual			
10. Sistemas de alarma de estaciones de supervisión-receptores	-	-		No aplica
a) Recepción de señal	Diaria	Verificar recepción de señal		
b) Receptores	Anual	Verificar ubicación y condición normal		
11. Equipos de transmisión de sistemas públicos de notificación de alarmas de emergencia		Verificar ubicación y condición		
a) Estación de alarma de acceso público	Semestral	-		No aplica
b) Estación auxiliar	Anual	-		
12. Sistema de notificación masiva	Anual			No aplica
1) equipos de control				
a) fusibles				
b) equipos de interfaz				
c) lámparas y LED´s				
d) Transceptores				
e) suministro de energía primario (principal)				
13) Batería de energía secundaria				No aplica

INSPECCIONES VISUALES	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1) Dispositivos iniciadores	Anual			
2) Aparatos de notificación	Anual			
14. Equipos de comunicaciones de emergencia de incendio por voz/alarma instalados en edificios	Semestral	Verificar inteligibilidad de cada uno de los altoparlantes	No cumple	
15. Extensiones de energía del circuito del aparato de notificación	Anual	Verificar los valores nominales de los fusibles, si hubiera. Verificar que las lámparas y los LED indiquen el estado operativo normal de los equipos		No aplica
16. Suministros de energía remotos	Anual	Verificar los valores nominales de los fusibles, si hubiera. Verificar que las lámparas y los LED indiquen el estado operativo normal de los equipos		No aplica
17. Interfaz de control de alarma de incendio e interfaz de las funciones de control de emergencias	Semestral	Verificar ubicación y condición		No aplica
18. Aparatos de notificación audible		Verificación ubicación y condición		
a) Aparatos audibles	Semestral		No cumple	
b) Aparatos de notificación textual audible	Semestral			no aplica
c) Aparatos visibles	Semestral		No cumple	

Fuente: Autor

PORCENTAJE CUMPLIMIENTO

17%

ANEXO C

Tabla 10
Evaluación de cumplimiento de estado actual de la unidad de bombeo

ASPECTOS DE EVALUACIÓN	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
ASPECTOS MECÁNICOS		
Alineación paralela y angular de bomba e impulsor	No cumple	No se puede verificar en registros de mantenimiento
Movimiento u holgura longitudinal de ejes durante el funcionamiento	No cumple	No se puede verificar en registros de mantenimiento
Piezas de fontanería-en interior y exterior de paneles	Cumple	En buen estado
Rejillas de succión		No aplica
Bomba		
a) Tuberías no presentan fugas	No cumple	
b) Lectura del manómetro de la línea de succión	Cumple	
c) Lectura de manómetro de la línea del sistema	Cumple	
d) Válvulas de succión, descarga y derivación de la bomba	Cumple	
e) Rejillas de succión de pozo		No es posible acceder y no se existen registros de mantenimiento
f) Válvulas de prueba de flujo	No cumple	
g) Reservorio de succión	No cumple	No es posible acceder y no se existen registros de mantenimiento
h) Acoplamientos y cojinetes de bombas y motores	No cumple	
ASPECTOS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS		

ASPECTOS DE EVALUACIÓN	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Sistema eléctrico		
a) Luz piloto del controlador	Cumple	
b) Interruptor de aislamiento cerrada apagada	Cumple	
c) Luz piloto de alarma de fase inversa pagada	Cumple	
d) Nivel de aceite motor de bomba principal	No cumple	Se encuentra bajo el límite permisible
e) Aislamiento de los cables conductores	No cumple	No existen registros de mantenimiento eléctrico/electrónico
f) Placas de circuitos impresos	Cumple	
g) baterías	No cumple	Presenta deterioro a siempre vista
h) Conexiones del cableado de energía y control	Cumple	Controlador funcionando
i) Sistema de motor eléctrico y energía	No cumple	No existen registros de mantenimiento eléctrico/electrónico
j) Aceite lubricante de motores	No cumple	No existen registros de mantenimiento eléctrico/electrónico
Sistema electrónico		
a) manómetros y sensores de presión	No cumple	No existen registros de metrología
REGISTRO EN CONTROLADOR Y SCADA		
a) Registro de presión de succión y descarga.	Cumple	
b) Registro de eventos de presiones altas y bajas.	No cumple	En el SCADA solo se registra la presión actual
c) Registro de velocidad en RPM	No cumple	

ASPECTOS DE EVALUACIÓN	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
d) Bomba debe funcionar mínimo 10 minutos	Cumple	
PRUEBAS		
Interruptor de transferencia automática		
a) Simular una condición de falla de la energía.	No cumple	No existen registros de pruebas de operatividad
b) Verificación de transferencia	No cumple	No existen registros de pruebas de operatividad
c) Registro de operación de bomba a su máxima capacidad	No cumple	No existen registros de pruebas de operatividad
Accionamiento bomba contraincendio accionada por motor eléctrico con flujo		
a) Prueba sin flujo a la bomba de succión	No cumple	
b) Interruptor o transductor	No cumple	
c) Manómetro de succión y descarga	No cumple	
d) Prensa estopas de empaquetaduras.	No cumple	
e) Acoples, conexiones, juntas	No cumple	
f) Temperatura	No cumple	
g) Velocidad	No cumple	
Señales de alarma de bomba contraincendios	Cumple	
Manómetros, transductores y otros dispositivos usados para las pruebas.	No cumple	
Válvula de alivio de presión principal	Cumple	
Funcionamiento de la bomba (sin flujo)		
a) Válvula de alivio principal	No cumple	
b) válvula de alivio de circulación	No cumple	
c) Registros de presión de manómetros de succión y descarga	No cumple	
d) Prueba de temporizador	No cumple	

ASPECTOS DE EVALUACIÓN	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
e) funcionamiento de controlador	No cumple	
Desempeño de la bomba (con flujo)	No cumple	
REGISTROS DE LECTURA		
a) Presión de arranque de bomba en el interruptor de presión SCADA.	Cumple	Existen los registros del último evento de arranque
b) Manómetro de succión y descarga.	Cumple	Existen los registros del último evento de arranque
c) Lectura de interruptor de presión o del transductor de presión	Cumple	Existen los registros del último evento de arranque
INSPECCIÓN VISUAL MIENTRAS OPERA		
Prensastopas de empaquetaduras de la bomba.	No cumple	
Ruidos y vibraciones	No cumple	
Cajas de empaquetaduras, cojinetes o carcasa de la bomba	No cumple	
Control de desempeño	No cumple	
Descargas con mangueras	No cumple	
Porcentaje de cumplimiento	30,70%	

Fuente: Autor

ANEXO D

Tabla 11

Evaluación de cumplimiento de inspecciones al sistema de Bocas Equipadas de Incendio

INSPECCIÓN	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1. Gabinete	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Detección de corrosión ●Apertura de puerta ●Contenido de equipos ●Obstrucciones físicas visible ●Mangueras, boquillas, extintores accesibles 	No cumple	Los gabinetes presentan corrosión en sus paredes internas. La disposición de los gabinetes genera una condición de obstrucción permanente.
2. Manguera	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Moho, cortes, abrasiones deterioro ●Acoples ●Empaquetaduras faltantes o deterioradas ●Roscas incompatibles en acople ●Manguera no conectada a válvula. ●Prueba de manguera no actualizada 	No cumple	Acoples con oxido. Manguera enrollada y su acoplarse en la manguera.
3. Conexión de manguera	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Conexión para manguera ●Empaquetaduras de tapas faltantes o dañadas ●Fugas en válvula ●Obstrucciones visibles y físicas en las conexiones de manguera ●Válvula manual de montante seco no funciona correctamente ●Rosca de válvula 	No cumple	Se observa en algunas boquillas falta de empaques
4. Boquilla de manguera	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Boquilla ●Empaquetadura Faltante o deteriorada ●Obstrucciones ●Funcionamiento 	No cumple	En varios gabinetes no se encuentra la boquilla.

INSPECCIÓN	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
5. Dispositivo de almacenamiento de manguera	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Manguera enrollada o colocada incorrectamente en el soporte ●Clip de boquilla 	No cumple	Manguera no enrollada correctamente Clip de boquilla con corrosión
6. Tuberías	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Daños en válvulas o tuberías ●Soportes dañados, faltantes (ejemplo arriostamiento sismorresistente dañado) ●Dispositivo iniciador de señal 	Cumple	Visualmente se observan en buenas condiciones
7. Válvulas de Control	Anual			No es posible efectuar una prueba
8. Dispositivos reguladores de presión	Anual			No aplica
9. Manómetros	Anual	Presión normal, daños físicos, posición de la válvula		No aplica
10. Válvulas de mangueras	Anual			No aplica

PORCENTAJE CUMPLIMIENTO 17%

Fuente: Autor

ANEXO E

Tabla 12

Evaluación de cumplimiento de inspección de sistema de extinción por CO₂

INSPECCIÓN	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Estado de cilindros	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Estado de pintura, corrosión, entre otros. ● Si la pérdida de peso supera el 10% deberá ser rellenado. ● Revisión de fecha de prueba hidrostática 	Cumple	Cilindros en correctas condiciones de operatividad
Estado de válvulas/conectores	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ● Sin obstrucciones o bloqueos mecánicos 	No cumple	
Estado de boquillas	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisión de orientación. ● Limpieza y sellos donde sea necesario. ● Conectadas apropiadamente 	Cumple	
Peso de cilindros	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ● Pesar y cotejar acorde a la última prueba hidrostática 	Cumple	
Tablero de descarga manual	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizar prueba operacional 	No cumple	
Contrapesos de liberación	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección visual, de las pesas y cables del sistema de disparo mecánico 	Cumple	
Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	Anual		No cumple	No es posible identificar el pulsante de descarga o aborto.
Tubería	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisión, ajuste de soporte de tubería Condiciones generales de estado y corrosión 	Cumple	

PORCENTAJE CUMPLIMIENTO

63%

Fuente: Autor

ANEXO F

Tabla 13
Evaluación de cumplimiento de inspección de sistema de extinción por FM 200

INSPECCIONES/ MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Estado de cilindros	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Estado de pintura, corrosión, entre otros. ● Si la pérdida de peso supera el 10% deberá ser rellenado. ● Revisión de fecha de prueba hidrostática 	Cumple	Cilindros en correctas condiciones de operatividad
Estado de válvulas/conectores	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ● Sin obstrucciones o bloqueos mecánicos 	No cumple	
Estado de boquillas	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisión de orientación. ● Limpieza y sellos donde sea necesario. ● Conectadas apropiadamente 	Cumple	
Peso de cilindros	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> ● Pesar y cotejar acorde a la última prueba hidrostática 	Cumple	
Control de indicación electrónica de pérdida de peso.	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisión alarma en SCADA y tablero de control 	No aplica	Este sistema no está enlazado al SCADA.
Tablero de descarga manual	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizar prueba operacional 	No cumple	No se han realizado pruebas

INSPECCIONES/ MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Temporizadores de descarga y retardo	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Probar funciones. ● Revisión de límite de tiempo ● Revisar que el contador de tiempo complete siempre su ciclo si el cableado entre él y el circuito detector es interrumpido. 	No cumple	No han sido probados
Prueba de descarga automática	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Generar y probar las precondiciones de descarga 	No cumple	No han sido probados
Activadores manuales	Semanal	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisar sellos operativos 	Cumple	
Panel de control	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección de señales de supervisión y falla. ● Limpieza, ajuste y prueba de señales 	No cumple	No han tenido mantenimiento alguno
Suministro de energía	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Interruptores automáticos de circuito, fusibles, medios de desconexión. 	Cumple	
Energía de emergencia	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Condiciones de batería, funcionamiento, conmutación 	No cumple	Batería en mal estado
Detectores	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ● Prueba con el método adecuado Limpieza, ajuste y revisión de sensibilidad. 	No cumple	

INSPECCIONES/ MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	MÉTODO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Señales auditivas y visuales	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Prueba de operación. ●Revisión para que las señales de advertencia estén apropiadamente dispuestas. 	No cumple	
Bloqueos	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Revisión de las puertas, inspección de cada una que se haya bloqueado. ●Revisión de mecanismo de bloqueo local 	No cumple	Las puertas de acceso no tienen relación con la descarga del agente extintor
Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	Anual		No cumple	No es posible identificar el pulsante de descarga o aborto.
Tubería	Anual	<ul style="list-style-type: none"> ●Revisión, ajuste de soporte de tubería Condiciones generales de estado y corrosión	Cumple	
Pruebas de descarga	-	Si existen dudas de su funcionamiento o cada descarga total para las pruebas hidrostáticas		

PORCENTAJE CUMPLIMIENTO

38%

Fuente: Autor

ANEXO G

Evaluación de criticidad de los SCI

Tabla 14
Evaluación de criticidad de Sistema de detección y alarma

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA									
Fecha:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Sistema:	<input style="width: 95%;" type="text"/>						
Evaluador:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Evaluado:	<input style="width: 95%;" type="text"/>						
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
1. Tableros de control las señales de alarma, de supervisión y de falla									
a) fusibles, interfaz, señales luminosas, suministro energía	Falla en el suministro de energía	Alerta tardía de fallos en la señales de alarma, supervisión y falla	1				2		TOLERABLE
b) señales de falla	Tablero no reciba las señales de falla	No percibir de las señales de falla de forma inmediata	1			1			TRIVIAL
c) baterías	Falla en la alimentación secundaria	No recibir las señales de alarma, supervisión y falla en caso de fallo de la alimentación primaria	1			1			TRIVIAL
2. Señales de falla de la unidad de control de alarmas de incendio									
	Falla de recepción y envío de señales de falla	No alertar de daños de los mecanismos de señales	1				2		TOLERABLE
3. Equipos de comunicaciones de emergencia (alta voces)									
				2			2		MODERADO
4. Dispositivos iniciadores									
a) Dispositivos electromecánicos de liberación o descarga	Dispositivo dañado	Daños materiales y pérdidas humanas por incendio			3			3	INTOLERABLE
b) Interruptores de los sistemas de extinción o los sistemas de supresión	Interruptor dañado	Daños materiales y pérdidas humanas por incendio		2				3	IMPORTANTE
c) Estaciones manuales de alarma de incendio	Estaciones dañadas	Alertar de forma tardía un incendio	1			1			TRIVIAL
d) Detectores de calor	Detector dañado	Detección tardía de incendio	1				2		TOLERABLE
e) Detectores de incendio de energía radiante	Detector dañado	Detección tardía de incendio	1				2		TOLERABLE
f) Detectores de energía infrarroja	Detector dañado	Detección tardía de incendio	1				2		TOLERABLE
g) Detectores de humo	Detector dañado	Detección tardía de incendio	1			1			TRIVIAL
h) Dispositivos de señales de supervisión	Falla en recepción o envío de señales	Alerta tardía de condiciones supervisión	1			1			TRIVIAL
i) Dispositivos de flujo de agua	Dispositivo dañados o sin calibración	Daños materiales y pérdidas humanas por incendio			3			3	INTOLERABLE
j) detector de gas de hidrogeno	Detector dañado	Daños materiales y pérdidas humanas por incendio		2				3	IMPORTANTE
5. Aparatos de notificación de alarma-supervisados									
a) Sistemas de CO2	Falla de la recepción de señales en el tablero de control	Detección tardía de condiciones de supervisión	1			1			TRIVIAL
b) Sistema FM 200	Falla de la recepción de señales en el tablero de control	Detección tardía de condiciones de supervisión	1			1			TRIVIAL
c) Sistemas de válvulas de diluvio para extinción en CTR	Falla de la recepción de señales en el tablero de control	Detección tardía de condiciones de supervisión	1				2		TOLERABLE
6. Aparatos de notificación audible indicadores de salida									
a) Alarmas auditivas de estaciones manuales	Alarmas dañadas	Comunicación tardía de evento de incendio	1				2		TOLERABLE
b) Alarmas auditivas de sistemas de CO2	Alarmas dañadas	Comunicación tardía de evento de incendio		2			2		MODERADO
c) Alarma auditiva de sistema FM 200	Alarmas dañadas	Comunicación tardía de evento de incendio		2			2		MODERADO
d) Alarma auditiva de botón de pánico	Alarmas dañadas	Comunicación tardía de evento de accidente		2		1			TOLERABLE
e) Alarma del SCADA	Alarmas dañadas	Comunicación tardía de evento de incendio			3			3	INTOLERABLE
f) Controladores de alarma	Controlador dañado	Lesiones o pérdidas humanas por comunicación tardía de evento de accidente			3			3	INTOLERABLE
7. Aparatos de notificación audible									
a) Aparatos audibles	Sistema de vozcoo dañado	Lesiones o pérdidas humanas por comunicación tardía de evento de accidente	1				2		TOLERABLE

Fuente: Autor

Tabla 15
Guía para evaluación de criticidad de SCI por CO₂

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DEL SISTEMA DE EXTINCIÓN POR CO ₂									
Fecha:				Sistema:					
Evaluador:				Evaluado:					
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
Estado de cilindros	Cilindro con óxido, golpes, sin pruebas hidrostáticas	Pérdida de agente extintor	1			1			TRIVIAL
Control de indicación electrónica de pérdida de peso.	Elemento de control dañado. Falla en la recepción de señal de control de peso en el SCADA	Pérdida de agente extintor	1			1			TRIVIAL
Estado de válvulas/conectores	Válvulas/conectores dañados	Descarga de agente extintor sin extir accionamiento automático o manual. No descargar en caso de activación. Daños materiales por incendio.	1				2		TOLERABLE
Estado de boquillas	Boquillas obstruidas, flojas	Descarga deficiente, daños materiales o elementos del generador	1				2		TOLERABLE
Contrapesos de liberación	Contrapesos y sus componentes no operativos	Descarga de agente extintor sin extir accionamiento automático o manual. No descargar en caso de activación.	1					3	MODERADO
Suministro de energía	Fallo en el suministro redundante	No operar en automático y manual	1			1			TRIVIAL
Energía de emergencia	Fallo en el suministro de energía redundante y emergencia de Casa de máquinas así como banco de baterías	No operar en automático y manual	1			1			TRIVIAL
PRUEBA	PELIGRO	RIESGO							
Temporizadores de descarga y retardo	Temporizador dañado	Daños personales por asfixia o quemaduras	1					3	MODERADO
Descarga automática	Falla de los medios de comunicación, o mecanismos para descarga	Daños personales y materiales por incendio. Disparos de la unidad de generación		2				3	IMPORTANTE
Panel de control	Daños en tarjetas para controladores o comunicaciones	Daños personales y materiales por incendio o asfixia		2				3	IMPORTANTE
Detectores	Detector dañado o con falla	No detectar un incendio de forma inmediata		2		1			TOLERABLE
Señales auditivas y visuales	No emitir la señal auditiva o visual	No alertar al personal de un incendio o descarga de CO ₂ en el generador		2				3	IMPORTANTE
Bloqueos	Bloqueo de actuación automática o emergencia	Daños personales por asfixia o quemaduras		2				3	IMPORTANTE
Disparadores eléctricos	Disparadores dañados	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1					3	MODERADO
Descarga manual	Controlador de descarga manual dañado	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1				2		TOLERABLE
Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	Error en accionamiento de algún pulsador de tablero de control	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1					3	MODERADO
Tubería	Arriostamiento de tuberías en mal estado	Daños materiales, personales, descarga deficiente.	1					3	MODERADO
Pruebas de descarga	Fallo en uno de los elementos estudiados	Daños personales y materiales por incendio o asfixia							

Fuente: Autor

Tabla 16
Guía para evaluación de criticidad para la Unidad de bombeo

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE LA UNIDAD DE BOMBEO								
Fecha:			Sistema:					
Evaluador:			Evaluado:					
ASPECTOS MECÁNICOS	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA		ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	
Alineación paralela y angular de bomba e impulsor	Altas vibraciones	Daños en la bomba	1				3	MODERADO
Movimiento u holgura longitudinal de ejes durante el funcionamiento	Altas vibraciones	Daños en la bomba	1				3	MODERADO
Piezas de fontanería-en interior y exterior de paneles	Corrosión	Accesorios deteriorados	1			1		TRIVIAL
Rejillas de succión	Rejillas obstruidas	Daños en la bomba	1			1		TRIVIAL
Bomba								
a) Tuberías no presentan fugas	Fugas	Pérdida de presión		2			2	MODERADO
b) Lectura del manómetro de la línea de succión	Manómetro dañado	Presión inadecuada	1				3	MODERADO
c) Lectura de manómetro de la línea del sistema	Manómetro dañado	Presión inadecuada	1				2	TOLERABLE
d) Válvulas de succión, descarga y derivación de la bomba	Válvulas cerradas	Sin flujo de agua	1				2	TOLERABLE
e) Rejillas de succión de pozo	Rejillas obstruidas	Sin flujo de agua	1				3	MODERADO
f) Válvulas de prueba de flujo	Válvula abierta	Presión inadecuada	1			1		TRIVIAL
g) Reservorio de succión	Bajo nivel de agua	Deficit de agua	1				3	MODERADO
h) Acoplamientos y cojinetes de bombas y motores	Falta de lubricación	Daños en la bomba		2			3	IMPORTANTE
ASPECTOS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS								
Sistema electrico								
a) Luz piloto del controlador	Controlador sin iluminación	Desenergización sistema	1			1		TRIVIAL
b) Interruptor de aislamiento cerrada apagada	Interruptor trabado	Arranque incorrecto	1				3	MODERADO
c) Luz piloto de alarma de fase inversa pagada	controlador sin iluminación	Daños en la bomba	1				3	MODERADO
d) Nivel de aceite motor de bomba principal	Bajo nivel de aceite	Daños en la bomba		2			3	IMPORTANTE
e) Aislamiento de los cables conductores	Presencia de agrietamientos	Contacto eléctrico		2			3	IMPORTANTE
f) Placas de circuitos impresos	ausencia de placa	Determinación inadecuada de operatividad			3		2	IMPORTANTE
g) baterías	Corrosión, terminales deteriorados	Falsas señales	1			1		TRIVIAL
h) Conexiones del cableado de energía y control	Pruebas en todos lo circuitos de señales	Falsas señales		2			3	IMPORTANTE
i) Sistema de motor eléctrico y energía	Sin mantenimiento	Sistema no operativo	1				3	MODERADO
j) Aceite lubricante de motores	Sin lubricante	Funcionamiento no adecuado	1				3	MODERADO
Sistema electrónico								
a) Manómetros y sensores de presión	Calibración	Presión inadecuada		2			3	IMPORTANTE
REGISTRO EN CONTROLADOR Y SCADA								
a) Registro de presión de succión y descarga.	Sin registros en el SCADA y unidad	Operación de presión y caudal inadecuado	1				3	MODERADO
b) Registro de eventos de presiones altas y bajas.	Sin registros en el SCADA y unidad	Operación de presión y caudal inadecuado	1				3	MODERADO
c) Registro de velocidad en RPM	Sin registros en el SCADA y unidad	Operación de presión y caudal inadecuado	1				3	MODERADO
d) Bomba debe funcionar mínimo 10 minutos	Sin registros en el SCADA y unidad	Operación de presión y caudal inadecuado	1				3	MODERADO

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE LA UNIDAD DE BOMBEO

Fecha:	<input type="text"/>	Sistema:	<input type="text"/>
Evaluador:	<input type="text"/>	Evaluado:	<input type="text"/>

ASPECTOS MECÁNICOS	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
Interruptor de transferencia automática									
a) Simular una condición de falla de la energía.	No registre señales de falla	Indisponibilidad de la unidad de bombeo	1					3	MODERADO
b) Verificación de transferencia	No realice la transferencia	Unidad inhabilitada	1					3	MODERADO
c) Registro de operación de bomba a su máxima capacidad	Sin registros de arranque	Operación de presión y caudal inadecuado	1					3	MODERADO
INSPECCIÓN VISUAL MIENTRAS OPERA	PELIGRO	RIESGO							
Prensastopas de empaquetaduras de la bomba.	Fugas	Perdida de presión		2				3	IMPORTANTE
Ruidos y vibraciones	Vibraciones excesivas	Daños en motor y bomba	1					3	MODERADO
Cajas de empaquetaduras, cojinetes o carcasa de la bomba	Detectar sobrecalentamiento.	Daños en motor y bomba	1					3	MODERADO

Fuente: Autor

Tabla 17
Guía para evaluación de criticidad para FM 200

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE SISTEMA DE EXTINCIÓN POR FM 200									
Fecha:				Sistema:					
Evaluador:				Evaluado:					
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
Estado de cilindros	Cilindro con óxido, golpes, sin pruebas hidrostáticas	Pérdida de agente extintor	1			1			TRIVIAL
Control de presión	Control de presión dañado	Pérdida de agente extintor	1			1			TRIVIAL
Estado de válvulas/conectores	Válvulas/conectores dañados	Descarga de agente extintor sin exitir accionamiento automático o manual. No descargar en caso de activación.	1				2		TOLERABLE
Estado de boquillas	Boquillas obstruidas, flojas	Descarga deficiente, daños materiales	1				2		TOLERABLE
Suministro de energía	Fallo en el suministro redundante	No operar en automático y manual	1			1			TRIVIAL
Energía de emergencia	Fallo en el suministro de energía redundante y emergencia de Casa de máquinas así como banco de baterías	No operar en automático y manual	1			1			TRIVIAL
PRUEBA	PELIGRO	RIESGO							
Temporizadores de descarga y retardo	Temporizador dañado	Daños personales por asfixia.	1					3	MODERADO
Prueba de descarga automática	Falla de los medios de comunicación, o mecanismos para descarga	Daños personales y materiales por incendio. Disparos de la unidad de generación		2				2	MODERADO
Panel de control	Daños en tarjetas para controladores o comunicaciones	Daños personales y materiales por incendio o asfixia		2				2	MODERADO
Detectores	Detector dañado o con falla	No detectar un incendio de forma inmediata		2		1			TOLERABLE
Señales auditivas y visuales	No emitir la señal auditiva o visual	No alertar al personal de un incendio o descarga		2				2	MODERADO
Disparadores eléctricos	Disparadores dañados	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1					3	MODERADO
Descarga manual	Controlador de descarga manual dañado	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1					2	TOLERABLE
Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	Error en accionamiento de algún pulsador de tablero de control	Daños personales y materiales por incendio o asfixia	1					3	MODERADO
Tubería	Arriostamiento de tuberías en mal estado	Daños materiales, personales, descarga deficiente.	1					3	MODERADO
Mangueras	Manguera deteriorada	Descarga deficiente, daños materiales							

Fuente: Autor

Tabla 18
Evaluación de criticidad de extinción por pulverización

EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE SISTEMA DE EXTINCIÓN POR PULVERIZACIÓN									
Fecha:	<input type="text"/>			Sistema:	<input type="text"/>				
Evaluador:	<input type="text"/>			Evaluado:	<input type="text"/>				
MANTENIMIENTO/PRUEBA	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA			ESTIMACIÓN DE RIESGO
			B	M	A	LD	D	ED	
Dispositivo de interrupción de contraflujo	Dispositivo defectuoso	Descarga insuficiente o nula	1					3	MODERADO
Válvula de retención	Dispositivo defectuoso	Descarga insuficiente o nula	1				2		TOLERABLE
Válvula de control	Dispositivo defectuoso	Descarga insuficiente o nula	1				2		TOLERABLE
Válvula de diluvio	Dispositivo defectuoso	Descarga insuficiente o nula	1					3	MODERADO
Válvula de retención de detector	Dispositivo defectuoso	Descarga insuficiente o nula	1					3	MODERADO
Liberación manual	Dispositivo defectuoso	Descarga nula	1			1			TRIVIAL
Boquillas	Boquillas obstruidas	Descarga insuficiente o nula	1				2		TOLERABLE
Alarma de flujo de agua	Alarma defectuosa	Descarga sin anunciación	1			1			TRIVIAL
Prueba de flujo de suministro de agua	Perdida de caudal	Descarga insuficiente o nula	1					3	MODERADO
Drenaje	Trampas, sumideros obstruidos o bloqueados	Evacuación inadecuada de agua	1					3	MODERADO
Soportes colgantes, arriostamientos y otros soportes	Fijación floja. Presenta corrosión	Proyección inadecuada de agua, daños materiales	1				2		TOLERABLE

Fuente: Autor

ANEXO H

Tabla 19 Evaluación de conformidad del detección y alarma

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA			
Fecha:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Sistema:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Evaluador:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	Evaluado:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
1. Tableros de control las señales de alarma, de supervisión y de falla	Anual		
a) fusibles, interfaz, señales luminosas, suministro energía ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
b) señales de falla ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
c) baterías ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
2. Señales de falla de la unidad de control de alarmas de incendio ■	Diaria	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
3. Equipos de comunicaciones de emergencia (alta voces) ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	-
4. Dispositivos iniciadores			
a) Dispositivos electromecánicos de liberación o descarga ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
b) Interruptores de los sistemas de extinción o los sistemas de supresión ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
c) Estaciones manuales de alarma de incendio ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Mantenimiento
d) Detectores de calor ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Mantenimiento
e) Detectores de incendio de energía radiante ■	Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Mantenimiento
f) Detectores de energía infrarroja ■	Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Mantenimiento
g) Detectores de humo ■	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Prueba y mantenimiento
h) Dispositivos de señales de supervisión ■	Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
i) Dispositivos de flujo de agua ■	Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con la Unidad de bombeo
j) detector de gas de hidrogeno ■	Anual	<input type="checkbox"/> cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Mantenimiento
5. Aparatos de notificación de alarma-supervisados			
a) Sistemas de CO2 ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
b) Sistema FM 200 ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
c) Sistemas de válvulas de diluvio para extinción en CTR ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con cada SCI
6. Aparatos de notificación audible indicadores de salida			
a) Alarmas auditivas de estaciones manuales ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con el SCADA
b) Alarmas auditivas de sistemas de CO2 ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con el SCI y SCADA
c) Alarma auditiva de sistema FM 200 ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con el SCI y SCADA
d) Alarma auditiva de botón de pánico ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas conjuntas con el SCI y SCADA
e) Alarma del SCADA ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas en el SCADA
f) Controladores de alarma ■	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas en el SCADA

7. Aparatos de notificación audible			
a) Aparatos audibles	<input checked="" type="checkbox"/>	Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple Pruebas conjuntas con cada SCI
Parámetros de evaluación:			
<input type="checkbox"/> Trivial: próximo mantenimiento preventivo programado <input checked="" type="checkbox"/> Tolerable: próximo mantenimiento preventivo programado acciones de control en el SCI (revisar) <input type="checkbox"/> Moderado: mantenimiento correctivo programado y acciones de control en el SCI (revisar) <input type="checkbox"/> Importante: mantenimiento correctivo programado, acciones de control en el SCI y de los sistemas de control propios de los sistemas a proteger (revisar) <input type="checkbox"/> Intolerable: mantenimiento correctivo inmediato.			
Observaciones:			

Fuente: Autor

















Tabla 20
Propuesta de guía de evaluación del sistema de extinción de CO₂

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD DE SISTEMA CONTRA INCENDIO POR CO ₂			
Fecha:	<input type="text"/>	Sistema:	<input type="text"/>
Evaluador:	<input type="text"/>	Evaluado:	<input type="text"/>
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Estado de cilindros	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Estado de pintura, corrosión, entre otros. •Revisión de fecha de prueba
Control de indicación electrónica de pérdida de peso.	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Presión adecuada de forma visual y sensores digitales
Estado de válvulas/conectores	 Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Sin obstrucciones o bloqueos mecánicos
Estado de boquillas	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Revisión de orientación. •Limpieza y sellos donde sea necesario.
Contrapesos de liberación	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual, de las pesas y cables del sistema de disparo mecánico
Panel de control	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Inspección de señales de supervisión y falla.
Suministro de energía	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Interruptores automáticos de circuito, fusibles, medios de desconexión.
Energía de emergencia	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Condiciones de batería, funcionamiento, conmutación
PRUEBA	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Temporizadores de descarga y retardo	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Probar funciones. •Revisión de límite de tiempo •Revisar que el contador de tiempo
Prueba de descarga automática	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Generar y probar las precondiciones de descarga
Panel de control	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Limpieza, ajuste y prueba de señales
Detectores	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Prueba con el método adecuado Limpieza, ajuste y revisión de sensibilidad.
Señales auditivas y visuales	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Prueba de operación.
Bloqueos	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Revisión de las puertas, inspección de cada una que se haya bloqueado. •Revisión de mecanismo de bloqueo local
Disparadores eléctricos	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Prueba de disparo manual •Revisión de que las cubiertas estén en su lugar
Tablero de descarga manual	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	<ul style="list-style-type: none"> •Realizar prueba operacional

Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	<input checked="" type="checkbox"/>	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Tubería	<input checked="" type="checkbox"/>	Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Revisión, ajuste de soporte de tubería. Condiciones generales de estado y corrosión
Pruebas de descarga		-	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Si existen dudas de su funcionamiento o cada descarga total para las pruebas hidrostáticas
Parámetros de evaluación:				
<input type="checkbox"/> Trivial: próximo mantenimiento preventivo programado <input type="checkbox"/> Tolerable: próximo mantenimiento preventivo programado acciones de control en el SCI (revisar) <input checked="" type="checkbox"/> Moderado: mantenimiento correctivo programado y acciones de control en el SCI (revisar) <input type="checkbox"/> Importante: mantenimiento correctivo programado, acciones de control en el SCI y de los sistemas de control propios de los sistemas a proteger (revisar) <input checked="" type="checkbox"/> Intolerable: mantenimiento correctivo inmediato.				
Observaciones:				

Fuente: Autor













Tabla 21
Propuesta de guía de evaluación de la unidad de bombeo

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD DE SISTEMA DE UNIDAD DE BOMBEO			
Fecha:	<input type="text"/>	Sistema:	<input type="text"/>
Evaluador:	<input type="text"/>	Evaluado:	<input type="text"/>
ASPECTOS MECÁNICOS	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Alineación paralela y angular de bomba e impulsor	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Movimiento u holgura longitudinal de ejes durante el funcionamiento	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Piezas de fontanería-en interior y exterior de paneles	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Rejillas de succión	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	No tengan restos u obstrucciones
Bomba		<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
a) Tuberías no presentan fugas	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
b) Lectura del manómetro de la línea de succión	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Dentro de rango aceptable
c) Lectura de manómetro de la línea del sistema	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Dentro de rango aceptable
d) Válvulas de succión, descarga y derivación de la bomba	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Totalmente abiertas
e) Rejillas de succión de pozo	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Sin obstrucciones y en su posición
f) Válvulas de prueba de flujo	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Posición cerrada
g) Reservorio de succión	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Nivel requerido
h) Acoplamientos y cojinetes de bombas y motores	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Engrasados
ASPECTOS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Sistema eléctrico		<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
a) Luz piloto del controlador	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Iluminada (encendida)
b) Interruptor de aislamiento cerrada apagada	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
c) Luz piloto de alarma de fase inversa pagada	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
d) Nivel de aceite motor de bomba principal	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Dentro de niveles aceptables
e) Aislamiento de los cables conductores	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Presencia de agrietamientos
f) Placas de circuitos impresos	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Presencia de corrosión
g) baterías	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Carga, terminales, alimentación
h) Conexiones del cableado de energía y control	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas en todos lo circuitos de señales
i) Sistema de motor eléctrico y energía	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
j) Aceite lubricante de motores	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Cambio cada 50 horas de funcionamiento o anual.
Sistema electrónico		<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
a) Manómetros y sensores de presión	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Calibración

REGISTRO EN CONTROLADOR Y SCADA	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
a) Registro de presión de succión y descarga.	■	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Registrar novedades. Arranque de la bomba automático
b) Registro de eventos de presiones altas y bajas.	■	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
c) Registro de velocidad en RPM	■	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
d) Bomba debe funcionar mínimo 10 minutos	■	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
PRUEBAS	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Interruptor de transferencia automática		<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
a) Simular una condición de falla de la energía.	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Bomba operando a su carga máxima.
b) Verificación de transferencia	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Transferencia a la fuente alternativa
c) Registro de operación de bomba a su máxima capacidad	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Operar al menos 2 min; registrar (voltaje, amperaje, RPM, presión de succión, presión descarga.)
INSPECCIÓN VISUAL MIENTRAS OPERA	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Prensastopas de empaquetaduras de la bomba.	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Detectar fugas.
Ruidos y vibraciones	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Dentro lo permisible
Cajas de empaquetaduras, cojinetes o carcasa de la bomba	■ Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Detectar sobrecalentamiento.
Parámetros de evaluación:			
<input type="checkbox"/> Trivial: próximo mantenimiento preventivo programado <input type="checkbox"/> Tolerable: próximo mantenimiento preventivo programado acciones de control en el SCI (revisar) <input type="checkbox"/> Moderado: mantenimiento correctivo programado y acciones de control en el SCI (revisar) <input type="checkbox"/> Importante: mantenimiento correctivo programado, acciones <input type="checkbox"/> Intolerable: mantenimiento correctivo inmediato.			
Observaciones:			

















Fuente: Autor

Tabla 22
Propuesta de guía de evaluación del sistema FM 200

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD DE SISTEMA CONTRA INCENDIO FM 200			
Fecha:	<input type="text"/>	Sistema:	<input type="text"/>
Evaluador:	<input type="text"/>	Evaluado:	<input type="text"/>
INSPECCIÓN/MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	MÉTODO/OBSERVACIÓN
Estado de cilindros	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Estado de pintura, corrosión, entre otros.
Control de presión	 Semanal	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Revisión alarma en SCADA y tablero de control.
Estado de válvulas/conectores	 Semestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Sin obstrucciones o bloqueos mecánicos
Estado de boquillas	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Revisión de orientación. ●Limpieza y sellos donde sea necesario.
Suministro de energía	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Interruptores automáticos de circuito, fusibles, medios de desconexión.
Energía de emergencia	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Condiciones de batería, funcionamiento, conmutación
PRUEBA	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Temporizadores de descarga y retardo	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Probar funciones. ●Revisión de límite de tiempo ●Revisar que el contador de tiempo complete siempre su ciclo si el cableado entre él y el circuito detector es interrumpido.
Prueba de descarga automática	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Generar y probar las condiciones de descarga
Panel de control	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Limpieza, ajuste y prueba de señales
Detectores	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Prueba con el método adecuado Limpieza, ajuste y revisión de sensibilidad.
Señales auditivas y visuales	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Prueba de operación.
Disparadores eléctricos	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Prueba de disparo manual ●Revisión de que las cubiertas estén en su lugar
Tablero de descarga manual	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Realizar prueba operacional
Marcación clara e identificación de todos los disparadores manuales.	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Tubería	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Revisión, ajuste de soporte de tubería. Condiciones generales de estado y corrosión
Mangueras	Cada 5 años	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	●Pruebas hidrostáticas
Parámetros de evaluación:			
 Trivial: próximo mantenimiento preventivo programado  Tolerable: próximo mantenimiento preventivo programado acciones de control en el SCI (revisar)  Moderado: mantenimiento correctivo programado y acciones de control en el SCI (revisar)  Importante: mantenimiento correctivo programado, acciones de control en el SCI y de los sistemas de control propios de los sistemas a  Intolerable: mantenimiento correctivo inmediato.			
Observaciones:			

Fuente: Autor

Tabla 23
Propuesta de guía de evaluación del sistema de pulverización

EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD DE SISTEMA CONTRA INCENDIO POR PULVERIZACIÓN			
Fecha:	<input type="text"/>	Sistema:	<input type="text"/>
Evaluador:	<input type="text"/>	Evaluado:	<input type="text"/>
MANTENIMIENTO/PRUEBA	FRECUENCIA	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIÓN
Dispositivo de interrupción de contraflujo	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Prueba de flujo directo a una tasa de flujo mínimo del sistema
Válvula de retención	 Cada 5 años	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Operatividad en la prueba
Válvula de control	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Operatividad en la prueba
Válvula de diluvio	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Pruebas con activación automática y manual. Pruebas con flujo completo .
Válvula de retención de detector	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Liberación manual	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Accionamiento manual para su validación de funcionamiento
Boquillas	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Debidamente instaladas, verificar si continúan orientadas a donde ese requiere extinguir.
Alarma de flujo de agua	 Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Operatividad
Prueba de flujo de suministro de agua	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	
Drenaje	 Trimestral	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Inspección y mantenimiento de las tramps, zanjas, sumideros para drenaje no estén obstruidos o
Soportes colgantes, arriostamientos y otros soportes	 Anual	<input type="checkbox"/> Cumple <input type="checkbox"/> No cumple	Revisión de corrosión. Fijación, soportes, etc.
Parámetros de evaluación:			
 Trivial: próximo mantenimiento preventivo programado  Tolerable: próximo mantenimiento preventivo programado acciones de control en el SCI (revisar)  Moderado: mantenimiento correctivo programado y acciones de control en el SCI (revisar)  Importante: mantenimiento correctivo programado, acciones de control en el SCI y de los sistemas de control propios de los sistemas a  Intolerable: mantenimiento correctivo inmediato.			
Observaciones:			

Fuente: Autor

