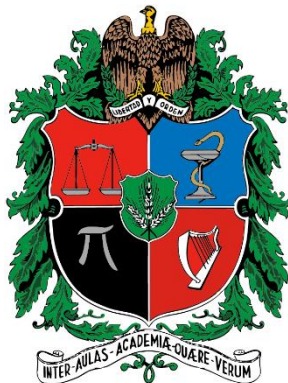




UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE MEDELLÍN  
Facultad de Minas

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
**FACULTAD DE MINAS**  
**Departamento de Ingeniería Mecánica**



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO E IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS  
CONTRAINCENDIOS EN EL PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN  
PLANTAS DE NATURALEZA HIDROELÉCTRICA (CASO DE ESTUDIO: CENTRAL  
DE GENERACIÓN DE 660MW)”.**

**TRABAJO DE MAestrÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA PRESENTADA POR  
Valentina Aguirre Restrepo**

**Medellín, enero 2023**



## Contenido

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Contextualización</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Problema de Investigación</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación y motivación</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3.1. Objetivo General</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Revisión Bibliográfica</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Estructuración de la búsqueda bibliográfica</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.1. Incendios:</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.2. Fuentes de peligro de Incendios:</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.3. Sistemas contraincendios:</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.4. Confiabilidad</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.5. KPI's Estratégicos de gestión:</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.6. Mantenimiento:</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.7. Falla:</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.8. Fuego:</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.9. FTA:</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.10. MIC-MAC:</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.11. FMEA:</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3. Estado del arte</b> .....	<b>15</b>



<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>24</b>
<b>3. Metodología</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1. Caracterización de los SCI:</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2. Definición Interacción de los SCI dentro del proceso de producción energía:</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3. Evaluación de la interacción de los SCI con el proceso de producción de energía:</b> .....	<b>32</b>
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>35</b>
<b>4. Resultados</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1. Caracterización del actual SCI de la central:</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2. Análisis de resultados MIC-MAC:</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3. FMEA:</b> .....	<b>44</b>
<b>4.4. Análisis FTA:</b> .....	<b>47</b>
<b>4.5. Definición de Indicadores (Análisis base de datos):</b> .....	<b>52</b>
<b>4.5.1.1. Análisis de confiabilidad:</b> .....	<b>58</b>
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>66</b>
<b>5. Conclusiones:</b> .....	<b>66</b>
<b>CAPITULO 6</b> .....	<b>69</b>
<b>6. ANEXOS</b> .....	<b>69</b>
<b>7. Bibliografía:</b> .....	<b>92</b>



## TABLAS

Tabla 1. Palabras claves seleccionadas .....	5
Tabla 2. Combinación de palabras claves .....	5
Tabla 3. Estrategia de búsqueda planteada .....	6
Tabla 4. Resultados de las líneas de investigación según las indicaciones del paso 4 en esta sección. .....	6
Tabla 5. Resumen de resultados .....	6
Tabla 6. Indicadores de medida relacionados con la operatividad del sistema. ....	10
Tabla 7. Entidades que regulan la confiabilidad. ....	10
Tabla 8. Simbología análisis de árbol de fallas .....	14
Tabla 9. Bibliografía enfocada a solucionar la pregunta 1 [33].....	16
Tabla 10. Bibliografía enfocada a solucionar la pregunta 2 [36].....	18
Tabla 11. Bibliografía enfocada en solucionar la pregunta 3.....	21
Tabla 12. Descripción del sistema evaluado .....	27
Tabla 13. Modelo de evaluación índice de severidad.....	28
Tabla 14. Modelo de evaluación índice de ocurrencia .....	29
Tabla 15. Resultados y Productos .....	35
Tabla 16. Enfoque metodológico .....	36
Tabla 17. Zonas protegidas dentro de la central hidroeléctrica de estudio. ....	36
Tabla 18. Grupos participante análisis MIC-MAC.....	41
Tabla 19. Listado de variables evaluadas en análisis MIC-MAC.....	41
Tabla 20. Variables relevantes dentro del análisis MIC-MAC .....	43
Tabla 21. Modos de falla con mayor alto riesgo según el subsistema asociado.....	46
Tabla 22. Glosario de eventos reportado desde el sistema OnyxWork.....	52
Tabla 23. Datos registrados por nodo y evento en el 2020 .....	52
Tabla 24. Representación tabular de eventos por componente en el 2020.....	53
Tabla 25. Los equipos dentro del SCI que presentan más eventos de anulación en el 2020. ....	54
Tabla 26. Eventos de supervisión, problemas y anulación asociados a los nodos del sistema asociados al proceso producción energía. ....	56
Tabla 27. Tipos de eventos registrados en el PCIZ-PG .....	56
Tabla 28. Tipos de eventos registrados en el PCIZ-CTCV .....	57
Tabla 29. Calculo indicador definido para los nodos de estudio .....	57
Tabla 30. Determinación de modelo y parámetro por cada componente con anulación, supervisión y problema. ....	61
Tabla 31. Confiabilidad calculada por cada uno de los componentes. [45].....	63
Tabla 32. Fallas funcionales identificadas. ....	69
Tabla 33. Modos de falla identificados .....	70
Tabla 34. Evaluación índice NPR .....	74

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Acumulados de incendios estructurales según el uso de la edificación desde 1998 hasta 2019 en Colombia [8] .....	3
Ilustración 2. Desarrollo de la investigación .....	16
Ilustración 3. Diagrama metodología FMEA.....	20
Ilustración 4. Pasos desarrollo metodología la metodología PSA [38] .....	23
Ilustración 5. Representación gráfica de metodología propuesta.....	25
Ilustración 6. Paso a paso análisis MIC-MAC.....	26
Ilustración 7. Evaluación del NPR según el grado de ocurrencia y severidad.....	29
Ilustración 8. Diagrama funcional sistema contraincendios de estudio .....	30
Ilustración 9. Distribuciones posibles.....	34
Ilustración 10. Representación gráfica SCI central de generación de estudio.....	37
Ilustración 11. Representación gráfica análisis MIC-MAC.....	43
Ilustración 12. Resultados análisis FMEA .....	44
Ilustración 13. Modos de falla ubicados según su nivel de riesgo. ....	46
Ilustración 14. Diagrama de árbol de fallas para el paro del proceso producción energía por SCI ..	48
Ilustración 15. FTA Extinción CO2 .....	49
Ilustración 16. FTA Detección y Notificación.....	49
Ilustración 17. FTA Extinción H2O .....	50
Ilustración 18. FTA sistema de extracción.....	50
Ilustración 19. FTA Seguridad humana.....	50
Ilustración 20. Diagrama de bloque sistema en serie .....	58
Ilustración 21. Diagrama de bloque sistema en paralelo.....	59
Ilustración 22. Diagrama de bloques para cálculo de confiabilidad del SCI.....	62
Ilustración 23. Histograma ALERTA NIVEL.....	84
Ilustración 24. Histograma BATERIAS.....	84
Ilustración 25. Histograma CABEZALES .....	85
Ilustración 26.....	85
Ilustración 27. Histograma CERRAMIENTO CORTAFUEGOS.....	85
Ilustración 28. Histograma CORNETAS.....	86
Ilustración 29. Histograma DAMPERS .....	86
Ilustración 30. Histograma ESTROBO .....	86
Ilustración 31. Histograma FALLO AC.....	87
Ilustración 32. Histograma FUENTE AUXILIAR .....	87
Ilustración 33. Histograma GABINETES .....	87
Ilustración 34. Histograma LAZO DE COMUNICACIÓN .....	88
Ilustración 35. Histograma S. PRESIÓN .....	88
Ilustración 36. Histogramas HAZ DE LUZ RPOYECTADO.....	88
Ilustración 37. Histograma SENSOR HUMO ASPIRACIÓN .....	89
Ilustración 38. Histograma SENSORES DE FLUJO .....	89
Ilustración 39. Histograma SENSOR DE HUMO FOTOELÉCTRICO .....	89



Ilustración 40. Histograma VALVULA MARIPOSA .....	90
Ilustración 41. Histograma VENTILADORES.....	90
Ilustración 42. Histograma CERRAMIENTO TRAFOS .....	90
Ilustración 43. Histograma SENSOR LINEAL TEMPERATURA.....	91
Ilustración 44. Histograma ESTACIÓN MANUAL DE ALARMA.....	91
Ilustración 45. Histograma SENSORES AUDIO EVACUACIÓN .....	91



## IMPACT'S EVALUATION AND IMPORTANCE OF FIRE-FIGHTING SYSTEMS IN THE ENERGY GENERATION PROCESS IN HYDROELECTRIC PLANTS (CASE STUDY: 660MW GENERATION PLANT)

**Key Words:** Fire protection systemz, Generation, Reliability, Plant hidroelectric

---

**Abstract:** The unknowledge of the functional relationship of fire systems in the power generation process on hydroelectric power plants is an obstacle in the way of implementing corporate policies that help prevent fire events. this deficiency begin from the idea that the fire protection system are independent systems to the generation process, which causes a low participation of the plant personal and a low sensitivity of these in relation to the importance of the fire protection system. The present investigation focuses on studying the operation of the Fire protection system on the energy production process in a hydroelectric generation plant through the characterization of the installed fire-fighting systems, the definition of an interaction between these systems and the energy production process and the evaluation of this interaction through strategic indicators like as reliability.

---

**Palabras Claves:** Sistemas contraincendios, Generación, Confiabilidad, Central hidroeléctrica.

---

**Resumen:** La falta de conocimiento de la relación funcional de los sistemas contraincendios en el proceso de generación de energía en centrales hidroeléctricas es un obstáculo en el camino de implementar políticas corporativas que ayuden a prevenir eventos de incendios. Esta deficiencia inicia a partir de la idea de que los sistemas contraincendios son sistemas independientes al proceso de generación, lo que causa una baja participación del personal de la central y una baja sensibilidad de estos con relación a la importancia del sistemas contraincendios. La presente investigación se enfoca en estudiar la operación de los sistemas contraincendios dentro del proceso de producción de energía en una central de generación hidroeléctricas mediante la caracterización de los sistemas contraincendios instalados , la definición de una interacción entre estos sistemas y el proceso de producción energía y la evaluación de esta interacción a través de indicadores estratégicos como la confiabilidad.

---

# CAPITULO 1

## 1. Contextualización

### 1.1. Problema de Investigación

Según Yosti Mendez [1] para el año 2007 Colombia era el mercado industrial en general, más maduro en la región latinoamericana siguiendo las normas NFPA (en español Asociación general de protección contra el fuego) y sus usuarios finales estaban ganando conocimiento con relación a la importancia de instalar sistemas de protección de humo y fuego, sin embargo en los últimos años el desarrollo de la protección contra incendios a nivel mundial ha generado que en Latinoamérica se incremente el interés por este tipo de sistemas. Poco a poco los gobiernos están tomando consciencia y preocupándose por el asunto de la prevención de incendios o por tener reglamentación en el sentido de lograr mejores niveles de seguridad contra incendios. [2]

En Colombia algunas empresas han iniciado la búsqueda de nuevas tecnologías, metodologías y mejoras de los sistemas contraincendios actuales con el fin de proteger sus procesos de grandes pérdidas ocasionadas por incendios, y a su vez optimizar las labores de operación y mantenimiento. Ese es el caso de la Compañía sobre la cual se desarrollará este trabajo, que ha empezado a implementar una política de protección de incendios en sus centrales de generación, a través de un equipo de personas especializado en el campo, esta decisión se toma después de que la Compañía tuviera en menos de dos años, dos eventos que representaron un hito en materia de protección contra incendios.

Algunos antecedentes de incendios en centrales de generación en Colombia son los siguientes: El 5 de febrero de 2016, en medio del fenómeno del niño se presentó un incendio en la central hidroeléctrica de Guatapé, que dejó dicha central inoperativa por un periodo de 4 meses [3], [4] y en el año 2017 se presentó un segundo incendio en la central Playas ubicada en San Rafael-Antioquia. A pesar de que esta última continuó operativa, se realizó una inversión de más de \$110.000 millones de pesos para su normalización y recuperación completa [3], la ocurrencia de estos eventos representaron la base histórica sobre la cual la Compañía comenzó a generar planes de aplicación y desarrollo para nuevas tecnologías, con el fin de generar acciones de mitigación y prevención de estos eventos y potenciando la implantación de nuevas metodologías de protección contra incendios, las cuáles buscan incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas contraincendios. Una de las estrategias planteadas internamente va en dirección al cumplimiento de lineamientos normativos en materia de protección contra incendios entre los que se destacan aquellos dados por la NFPA. Sin embargo, la aplicación óptima de los mismos



dependerá principalmente de factores clave como el conocimiento a profundidad de las características de los SCI (Sistemas contraincendios) en las centrales de generación, conocimiento del proceso que se protege y conocimiento en la interacción funcional (operación y mantenimiento) entre ambos parámetros.

La falta de conocimiento de la relación funcional de los sistemas contraincendios en el proceso de generación de energía en centrales hidroeléctricas es un obstáculo en el camino de implementar políticas corporativas que ayuden a prevenir eventos como los sucedidos en Guatapé y Playas. Esta deficiencia inicia a partir de la idea de que los SCI son sistemas independientes al proceso de generación, lo que causa una baja participación del personal de la central y una baja sensibilidad de estos con relación a la importancia del SCI [5]. La presente investigación se enfocará en estudiar la operación de los SCI dentro del proceso de producción de energía en una central de generación hidroeléctricas de la Compañía en estudio, este análisis es importante porque debido a la naturaleza generadora de la empresa de estudio, esta central de generación constituye un activo vital y una de las principales fuentes de ingresos para la Compañía y con el desarrollo de este trabajo y mediante la definición de indicadores podría determinarse el nivel en el que el proceso de producción energía se encuentra supeditado a los sistemas contraincendios.

## 1.2. Justificación y motivación

En el contexto del estudio de sistemas contra incendios, es importante aclarar la diferencia entre el fuego y el incendio. El fuego se refiere a un hecho controlado y deseado, mientras que el incendio es cuando el fuego se descontrola o no es deseado [6]. Basándonos en esta definición, podemos decir que el fuego ha sido un elemento esencial en el desarrollo de la civilización humana, mientras que los incendios han representado un potencial enemigo para viviendas, lugares de trabajo e industrias [7]. Según la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastre (UNGRD), que recopila un consolidado anual de emergencias por incendio atendidas por las Unidades Bomberiles a nivel nacional entre los años 1998 y 2019, las edificaciones de uso residencial R-1, comercial C-2 y fabril-industrial F-1 son las que reportan la mayoría de los incendios estructurales. Estas dos últimas llegan casi a los 400 casos durante el período, como se muestra en la Ilustración 1. Aunque los incendios en edificaciones e industrias no causan un número significativo de muertes, ya que en promedio se reportan 0.30 y 0.04 heridos y fallecidos por cada cien mil habitantes, respectivamente [8], sí tienen un costo desproporcionadamente alto [9], principalmente porque están asociados a procesos productivos de alto valor. Por lo tanto, es fundamental prestar atención a la protección y prevención de incendios en la industria. Este tema ha ido cobrando relevancia internacionalmente, aunque no es el caso en Latinoamérica [10].

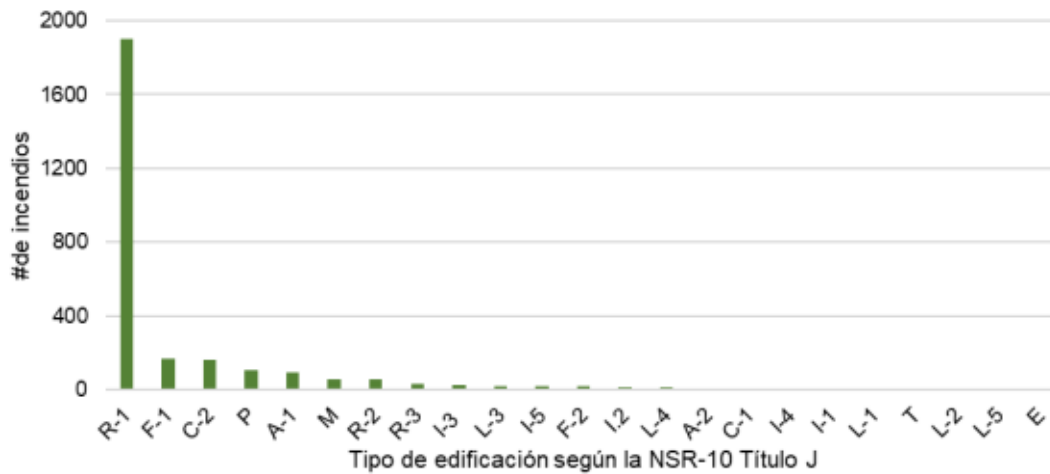


Ilustración 1. Acumulados de incendios estructurales según el uso de la edificación desde 1998 hasta 2019 en Colombia [8]

En Latinoamérica el tema de la protección contra incendio se ha explorado muy poco según [8], la falta de normatividad y profesionales capacitados en el tema ha generado un atraso, comparado con otros países como USA (Estados Unidos de América) que cuenta con instituciones prestigiosas como la asociación nacional de protección contra incendios (NFPA por sus siglas en inglés), que además de tener más de 100 años de experiencia, cuenta con un respaldo investigativo y económico con lo que ha establecido los cimientos de la protección contra incendios a nivel internacional, estos parámetros también son de utilidad para Latinoamérica y han ayudado a dar los primeros pasos en esta materia, el crecimiento de las ciudades y la industria en América Latina han hecho cada vez más urgente alcanzar los niveles de seguridad internacional en protección contra incendios.

En el caso colombiano el desarrollo de todo lo concerniente con los SCI se encuentra en una etapa de desarrollo incipiente, a nivel país contamos únicamente con la NSR-10 como referencia normativa, con la que se abarca todo el espectro de las construcciones residenciales, negocios, almacenamiento y comercio [10], pero no se incluyen sectores industriales de gran impacto en la economía nacional como lo son las centrales de generación [10]. Este contexto es crítico dado que las centrales de generación juegan un papel importante a nivel nacional teniendo en cuenta la naturaleza de la matriz energética colombiana de la cual el 63,9% deriva de recursos hídricos [11], es un sector importante que en materia de protección SCI ha sido descuidado a nivel normativo y gubernamental, por lo que la responsabilidad en ese sentido depende únicamente del interés propio de cada una de las empresas en el sector.

Esta investigación está motivada por el interés en lograr una mejor comprensión del papel que desempeña los sistemas contraincendios dentro de sus parámetros operativos y de mantenimiento en el proceso productivo de las centrales de generación, mediante el caso de estudio de una central de generación de 660MW y la implementación de indicadores propios que nos permitan el cumplimiento de estos objetivo. A partir de allí, poder

determinar el impacto de estos en los indicadores de la central que son de gran importancia en el mercado energético nacional. Aunque los sistemas contraincendios son ahora una tecnología en etapa de maduración, hay una falta de mejores prácticas bien definidas para evaluar el desempeño de estos durante la fase de operación y mantenimiento (O&M); los procesos y herramientas de gestión de activos, como los KPI (Indicadores de gestión), aún no están bien establecidos. Este documento presenta algunos indicadores que podrían ser utilizados en la O&M de sistemas contraincendios, ya que dicha información no está disponible en la literatura hasta el momento según lo registrado en Revisión Bibliográfica de este documento. Los diferentes actores involucrados en la fase de O&M (Operación y Mantenimiento) son identificados y analizados junto con sus intereses. Se hace una sugerencia para las propiedades que deben exhibir los KPI. Se revisan, discuten y verifican los principales indicadores que están actualmente en uso con las propiedades definidas. Finalmente, se propone un KPI adecuado que permitirá a las partes interesadas tener un mejor conocimiento de los sistemas contraincendios y tomar decisiones informadas con una herramienta de análisis de las interacciones presentes entre SCI-operación central y al mismo tiempo se realizará un estudio cualitativo de estas interacciones, teniendo como punto de partida la realidad actual, en la que la gestión de los SCI está orientada exclusivamente a la disminución de las primas de seguros impuestas a grandes empresas o en un caso más desfavorable sigue siendo considerada una opción.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Establecer la relación funcional de los sistemas contra incendios en el proceso de generación de energía en centrales de naturaleza hidroeléctrica mediante la implementación de indicadores obtenidos a partir de un histórico de datos.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- OB\_S\_1 Caracterizar el actual SCI de la central, en el que se incluya mantenimiento, componentes, fronteras operativas y funcionalidad de este.
- OB\_S\_2 Determinar el impacto operacional de un incendio dentro del proceso productivo de la central, mediante una herramienta de análisis de fallas
- OB\_S\_3 Establecer indicadores para el sistema contraincendios de la central hidroeléctrica de estudio, según los históricos.
- OB\_S\_4 Determinar la relación que existe entre los SCI y el proceso de generación de energía mediante herramientas de análisis (de confiabilidad).

# CAPITULO 2

## 2. Revisión Bibliográfica

### 2.1. Estructuración de la búsqueda bibliográfica

Para el desarrollo de la búsqueda bibliográfica se hizo uso de una metodología compuesta por los siguientes pasos:

- Paso 1: Identificar mínimo 5 palabras claves, que se encuentren relacionadas con el tema de investigación.
- Paso 2: De acuerdo con el paso 1, seleccionar mínimos 3 combinaciones de palabras y construir una estrategia de búsqueda, esta estrategia de búsqueda puede estar definida por buscadores electrónicos, bases de datos, revistas, libros según consideración propia.
- Paso 3: De la estrategia planteada hacer una búsqueda en las bases de datos de manera básica (Por cada uno de los términos seleccionados de manera individual) y avanzada (Buscar combinaciones de los términos seleccionados ya sea con condicionales de “AND” o “OR”), donde AND permite hacer búsquedas que incluyan todas las palabras claves que se registren y el conector OR permite realizar búsquedas sin excluir resultados que no necesariamente contengan todas las palabras registradas. La bases de datos que se utilizaron para este ejercicio fueron las disponibles dentro de la plataforma estudiantil SCIENCE DIRECT y IEEE.
- Paso 4: Análisis de los resultados de cada una de estas búsquedas realizadas

A continuación, los resultados de la implementación de la metodología anterior:

- Paso 1: En la tabla 1 se registran las palabras claves seleccionadas para la búsqueda bibliográfica:

*Tabla 1. Palabras claves seleccionadas*

Indicadores	Indicators
Confiabilidad	Reliability
Generación hidroeléctrica.	Hydroelectric generation
Sistemas contraincendios.	Fire protection system
Riesgo.	Risk

- Paso 2: En la tabla 2 se registran las posibles combinaciones de palabras claves para la búsqueda bibliográfica:

*Tabla 2. Combinación de palabras claves*

<b>LINEA 1</b>	Generación hidroeléctrica	FMEA		Riesgo
----------------	---------------------------	------	--	--------

<b>LINEA 2</b>	Indicadores	Confiabilidad	Sistemas contraincendios
<b>LINEA 3</b>	Sistemas contraincendios	Riesgo	Indicadores

- Paso 3: En la tabla 3 se registran las estrategias de búsqueda seleccionada.

Tabla 3. Estrategia de búsqueda planteada

CONCEPTO 1		CONCEPTO 2		CONCEPTO 3
Hydroelectric generation	<b>AND</b>	FMEA	<b>AND</b>	Risk
<b>OR</b>		<b>OR</b>		<b>OR</b>
Indicators	<b>AND</b>	Reliability	<b>AND</b>	Fire protection system
<b>OR</b>		<b>OR</b>		<b>OR</b>
Fire protection system	<b>AND</b>	Risk	<b>AND</b>	Indicators

- Paso 4: En la tabla 4 se registran los resultados obtenidos mediante la búsqueda bibliográfica

Tabla 4. Resultados de las líneas de investigación según las indicaciones del paso 4 en esta sección.

LINEA	CONCEPTO 1	CONCEPTO 2	CONCEPTO 3
<b>LINEA 1</b>	Hydroelectric generation	Indicators	Fire protection system
	9800	10239	269
<b>LINEA 2</b>	Hydroelectric generation	Reliability	FMEA
	9800	541	14
<b>LINEA 3</b>	Hydroelectric generation	FMEA	Risk
	9800	1	0
<b>LINEA 4</b>	Indicators	Reliability	Fire protection system
	810529	22763	9
<b>LINEA 5</b>	Fire protection system	Risk	Indicators
	10732	2,117	0
<b>LINEA 6</b>	FMEA	Reliability	Risk
	4,802	887,176	5,093,450
<b>LINEA 7</b>	Risk	Fire protection system	Indicators
	4,272,106	47,595	50005
<b>LINEA 8</b>	Risk	Reliability	Fire protection system
	4,272,106	64,08	158

En la tabla 5 se registra el resumen de los resultados de la implementación de la metodología descrita en los numerales anteriores:

Tabla 5. Resumen de resultados

LÍNEAS	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	RESULTADOS BÚSQUEDA BÁSICA (SCOPUS)
<b>L1</b>	Hydroelectric generation AND FMEA AND Risk	0

<b>L2</b>	Indicators AND Reliability AND Fire protection system	9
<b>L3</b>	Fire protection system AND Risk AND Indicators	39
<b>L4</b>	Hydroelectric generation OR Indicators OR Fire protection system	269
<b>L5</b>	FMEA OR Reliability OR Risk	5,093,450
<b>L6</b>	Risk OR Fire protection system OR Indicators	50,005
<b>L7</b>	Hydroelectric generation AND Reliability AND Indicators	14
<b>L8</b>	Risk AND Reliability AND Fire protection system	158

La línea 5 y la Línea 6 representan la mayoría de los documentos encontrados, más de 5 millones de resultados, sin embargo, se debe tener en cuenta que los documentos que se utilizaron para la realización del estado del arte fueron aquellos contenidos en los condicionales “AND” ya que podrían garantizar en su contenido todas las palabras claves, en la que enfoca el desarrollo de este trabajo.

## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Incendios:

Un incendio es una reacción química de oxidación - reducción fuertemente exotérmica, siendo los reactivos el oxidante y el reductor. En terminología de incendios, el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente; las reacciones entre ambos se denominan combustiones [12].

Un incendio es la manifestación de una combustión fuera de control. En ella intervienen materiales combustibles, estos materiales son normalmente constituidos por carbono, presentan una gran variedad en cuanto a su estado químico y físico, cuando intervienen en un incendio responden a características comunes, si bien se diferencian en la facilidad con que se inicia éste (ignición), la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama) y la intensidad de este (velocidad de liberación de calor) [12] [13].

### 2.2.2. Fuentes de peligro de Incendios:

Para empezar la ignición puede considerarse el primer paso del proceso de combustión, la facilidad de ignición viene definida por un parámetro empírico, la temperatura de ignición (es decir, la temperatura mínima, determinable mediante ensayo, a la que debe calentarse un material para que se inicie su ignición). Ahora bien, no existe una relación directa entre la cantidad de energía necesaria para la ignición y la temperatura de ignición; en efecto, si bien la composición química de los elementos del sistema de combustión es un factor fundamental de la temperatura de ignición, en ella influyen también en gran medida el tamaño y la forma de los materiales, la presión ambiental, las condiciones del flujo de aire, los parámetros de la fuente de ignición, etc. [13].

Para analizar el mecanismo de ignición de los materiales, hay que diferenciar entre materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La mayor parte de los sólidos toman la energía de una fuente de ignición externa por conducción, convección o radiación (en la mayoría de los casos por una combinación de todas ellas), o se calientan como resultado de procesos internos que inician la descomposición en sus superficies [13].

Para que se produzca la ignición en un líquido, es necesario que se forme un espacio de vapor capaz de arder sobre su superficie. Los vapores liberados y los productos gaseosos de descomposición se mezclan con el aire que se encuentra sobre la superficie del material líquido o sólido. El proceso se va acelerando progresivamente y, cuando se inicia la reacción en cadena, el material entra en ignición y arde [13].

Un principio empírico importante es que las mezclas de gas y aire sólo pueden entrar en ignición dentro de un determinado rango de concentración, lo que también es válido para los vapores de líquidos. Los límites inferior y superior de inflamabilidad de gases y vapores dependen de la temperatura y la presión de la mezcla, la fuente de ignición y la concentración de los gases inertes de la mezcla [13].

### 2.2.3. Sistemas contra incendios:

Los sistemas contra incendios son un grupo de componentes mecánicos, eléctricos y químicos [14], que en conjunto sirven tres propósitos principales: el de apagar, prevenir y contener incendios, sin embargo, más allá de eso, estos sistemas se piensan para la protección de vidas humanas y por su puesto salvaguardar los activos principales que están siendo protegidos [15].

Estos sistemas consisten en la distribución estratégica de equipos de detección de fuego, estos equipos pueden ser detectores de humo, de calor, de flama o medios de activación manual. También se distribuyen dispositivos de notificación audio visual con luces estroboscópicas y sirenas o parlante, de forma tal que toda persona dentro de la edificación sea alertada de la emergencia de incendio. Estos son equipos electrónicos alimentados por cable especial para esta aplicación, por lo que gran parte de su proceso de instalación conlleva canalización y cableado. Siempre hay un panel principal que procesa todas las señales y genera las acciones que se le programen. Para estos sistemas hay muchas tecnologías, así como posibles combinaciones de equipos que dependen de los riesgos en las edificaciones [16].

Un sistema de protección contra incendios es el conjunto de medidas y equipos que se disponen en edificaciones, fábricas, construcciones, y todo tipo de entidades para protegerlos contra la acción del fuego. Generalmente, con ellas se trata de conseguir tres fines: Salvar vidas humanas, Minimizar las pérdidas económicas producidas por el fuego y reanudar en el mayor tiempo posible los procesos que están siendo protegidos.

Para poder determinar las medidas de prevención y protección necesarias para controlar los riesgos de incendio en las instituciones, se debe evaluar el grado de riesgo, para así, tomar las medidas adecuadas según el caso. Para esto se debe considerar lo siguiente [17]:

- El riesgo de que el incendio se inicie: Este riesgo se mitiga con sistema de detección, notificación y alarma de incendios, que permiten identificar el inicio de secuencias en variables como temperatura o humo
- El riesgo de que el incendio se propague: Este riesgo se mitiga con sistema de extinción, cerramientos y compartimentación de áreas protegidas.

#### 2.2.4. Confiabilidad

El concepto de confiabilidad, al igual que muchas técnicas de calidad y productividad, tuvo su origen durante la segunda guerra mundial, pues en ese momento era una meta fundamental lograr alta confiabilidad en el material bélico a fin de disminuir al máximo la probabilidad de falla de cualquier equipo. Este concepto se ha venido depurando vertiginosamente en los últimos años, hasta convertirse en un área importante de investigación en la que se incorpora una gran variedad de conceptos matemáticos y estadísticos [18].

Durante la segunda guerra mundial se hizo evidente que la confiabilidad de las instalaciones técnicas complejas era un problema tal es el caso de los buques de guerra modernos de la época, que fueron sólo operativos para ataque / defensa en aproximadamente el 60%, también se observaron efectos similares en la confiabilidad de sistemas de cohetes, estos eventos fueron los verdaderos iniciadores de la teoría de la confiabilidad en componentes y sistemas técnicos [19].

Para tales sistemas, la probabilidad de una falla del componente puede evaluarse de las siguientes maneras [20]:

- Por tasa de falla observada: número de fallas por componente *con respecto a las horas de operación*
- Por las características del mecanismo de falla, es decir hay un deterioro constante: función de tiempo / uso

La confiabilidad es una de las más importantes características de componentes, productos y sistemas complejos, es la probabilidad de que una unidad se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un periodo de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas [21] [22].

La probabilidad es la medida clásica para valorar la confiabilidad. Sin embargo, existen muchas otras medidas que nos permiten identificar la operatividad de un sistema sin que necesariamente estén relacionadas con la probabilidad. Gran parte de estas medidas corresponden a promedios estadísticos o valores esperados que



se denominan “índices de confiabilidad”. Algunos ejemplos se presentan a continuación [23].

*Tabla 6. Indicadores de medida relacionados con la operatividad del sistema.*

ÍNDICE DE CONFIABILIDAD.	DEFINICIÓN	EJEMPLO
Vida media	Tiempo esperado para que ocurra una falla en un componente no reparable	10000 horas
Frecuencia de fallas por año	Número de fallas esperadas por año	2 fallas/año
Indisponibilidad	Número esperado de horas de indisponibilidad por año	20 horas/año
Pérdida de carga	Valor esperado de carga no atendida por año	180.2 kW
Tiempo medio de reparación	Tiempo medio esperado para cada reparación	4 horas/reparación
LOLE	Número esperado de horas por año en que no se podrá atender la demanda	0.1 horas/año
Endurance	Número de operaciones que puede realizar un equipo antes de entrar en su periodo de obsolescencia	6000 operaciones

A continuación, se describen tres formas básicas mediante las cuales puede garantizar la confiabilidad de un componente o sistema [23]:

- **Calidad:** Se refiere a la calidad de los materiales utilizados y a su fabricación, pruebas, calibración, transporte y puesta en servicio.
- **Redundancia:** Se refiere al uso de elementos de respaldo. Si un componente falla o sale, su función es asumida por un componente secundario que puede llevar a cabo la misma función, existen dos tipos de redundancia: Activa- El componente redundante siempre está conectado en paralelo con el componente al cual da respaldo. Stand-by -El componente redundante se conecta en el momento en que el componente al cual da respaldo falla.
- **Mantenimiento Preventivo:** Se refiere a las actividades de mantenibilidad del sistema, que permiten preservar la vida útil de los equipos y mantener su funcionalidad la mayor parte del tiempo.

A continuación serán detalladas algunas instituciones cuya normatividad técnica tienen aplicación práctica en el sector industrial de los sistemas contraincendios y que cubren diseño, fabricación y operación que a nivel de componentes:

*Tabla 7. Entidades que regulan la confiabilidad.*

ENTIDAD	ALCANCE
<b>IEC</b>	Internacional Electrotechnical Commision
<b>NFPA*</b>	National Fire Protection Association
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers

<b>UL*</b>	Underwriter Laboratories	Equipo eléctrico
<b>ASME</b>	American Association of Mechanical Engineers	Equipos mecánicos
<b>INCONTEC</b>	Instituto Colombiano de Normas Técnica	Materiales, equipos eléctricos, postes de concreto, etc

### 2.2.5. KPI's Estratégicos de gestión:

Los KPI's miden el nivel del desempeño de un proceso, centrándose en el "cómo" e indicando el rendimiento de los procesos, de forma que se pueda alcanzar el objetivo fijado. Los indicadores clave de desempeño son métricas, utilizadas para cuantificar objetivos que reflejan el rendimiento de una organización, y que generalmente se recogen en su plan estratégico. El acto de monitorizar los indicadores clave de desempeño en tiempo real se conoce como monitorización de actividad, los indicadores de rendimiento son frecuentemente utilizados para "valorar" actividades complicadas de medir. Los KPI suelen estar atados a la estrategia de la organización (ejemplificadas en las técnicas como la del cuadro de mando integral). Así los KPI tienen como objetivos principales: medir el nivel de servicio, realizar un diagnóstico de la situación, debiéndose trabajar para el progreso constante de los mismos para beneficio del negocio. [24]

El principio de la gestión del mantenimiento está basado en el seguimiento de una cierta cantidad de cifras-índices, obtenidas por la composición de los índices acumulados en un tablero de instrumentos. La eficacia del mantenimiento puede ser acumulada mediante la comparación de los resultados obtenidos y los resultados propuestos. La determinación de los resultados esperados es principalmente dominio del administrador o gestor de mantenimiento de cada empresa y de su evolución en el tiempo. [24]

La medición del desempeño es fundamental en el principio de gestión. La medida del rendimiento es importante porque identifica las brechas de desempeño actuales entre rendimiento deseado y proporciona una indicación del progreso, por lo que se puede decir que los indicadores de desempeño identifican con precisión dónde actuar para mejorar, del mismo modo los indicadores de desempeño no son solo una función de mantenimiento, estos están afectados por causas externas tales como:

- Capacidad de activos
- Prácticas operativas
- El mantenimiento de condición de los activos

Todos estos contribuyen a la capacidad de cumplir con los requisitos de rendimiento, es decir: medir lo que puedo gestionar [25].

### 2.2.6. Mantenimiento:

Se entiende por Mantenimiento a la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como auxiliares y de servicios [26]. En ese sentido se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. Conforme con la anterior definición se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/o corregir averías
- Cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones
- Cuantificar en términos económicos.

Según Cortiñas en [27] el mantenimiento es la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, para lograr una mayor **disponibilidad y confiabilidad** para cumplir con calidad y eficiencia su función productiva y(o) de servicio, conservando el medio ambiente y la seguridad del personal.

### 2.2.7. Falla:

Entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones correctivas o preventivas. Estas acciones, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de modo que a cada modo de falla le corresponde una tarea. Podemos definir entonces un modo de falla, como “la forma” en que un equipo o activo falla [28].

Es importante para el entendimiento de la falla, poder identificar los dos diferentes estados de falla que se pueden presentar (“fault” y “failure”); primeramente, aquel estado de falla, en el cual un activo simplemente deja de funcionar y otro, en el cual el activo no desempeña su función conforme a un estándar de desempeño deseado o bien, conforme a las necesidades que el usuario tiene, pero no necesariamente deja de funcionar. Es esta última condición, es la que más nos interesa estudiar y la denominamos “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido [28].

### 2.2.8. Fuego:

Es la manifestación visual de un proceso fisicoquímico conocido como combustión. Para que este fenómeno se desarrolle debe existir una fuente de energía química (biomasa combustible), energía térmica (calor desde una fuente de ignición) y O<sub>2</sub> (para que la reacción ocurra).

Durante el desarrollo del fuego, el calor es transmitido al suelo mediante los procesos de radiación, convección, conducción, transporte de masa y vaporización/condensación.

- La radiación es el movimiento del calor mediante ondas electromagnéticas.
- La convección es el proceso de transferencia de calor de un lugar a otro por mezclas de masas de aire.
- La transferencia de calor por conducción ocurre por el contacto físico entre la fuente de calor y el combustible o el cuerpo mineral. Este es el principal mecanismo de transferencia en grandes acumulaciones de combustible o residuos, principalmente cuando son de gran tamaño.
- El transporte de masa ocurre cuando el material en combustión se mueve debido al transporte por columnas de aire o se mueve en pendientes por la gravedad. [29]

El criterio ANSI-UL (2004) define la existencia de cinco tipos distintos de fuego, los cuales se clasifican según el origen de las llamas y están catalogados según letras. A continuación, se muestra el detalle [30]:





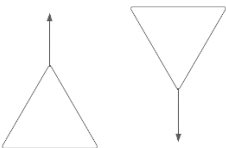

- Fuego Clase A: Son los que se producen al arder los combustibles sólidos comunes, como maderas, papeles, corcho, tejidos, fibras, plásticos, etc. Se queman en la superficie y en profundidades. Dejan residuos.
- Fuego Clase B: Son fuegos de líquidos inflamables, como gasolina, alcohol, disolventes, pinturas, barnices, etc. Se queman solamente en la superficie. No dejan residuos. También se incluyen los gases inflamables como el propano y butano. Los fuegos clase B no incluyen fuegos que involucren grasa ni aceite de cocinar.
- Fuego Clase C: Son fuegos que involucran equipo eléctrico energizado, como motores eléctricos, transformadores y aparatos eléctricos. Al eliminar la corriente eléctrica el fuego clase C se convierte en uno de los otros tipos de fuego.
- Fuego Clase D: Llamados también fuegos metálicos, son los fuegos ocasionados con metales inflamables como sodio, magnesio, aluminio, potasio, circonio, titanio, etc., que alimentan el fuego y sólo pueden combatirse con líquidos especiales.
- Fuego Clase K: Son fuegos de grasas y aceites de cocinar como mantecas vegetales y minerales

### 2.2.9. FTA:

Es una herramienta utilizada para identificar aquellos eventos básicos e intermedios que permitieron dar paso a un evento principal no deseado. El análisis se refiere a todas las combinaciones posibles entre eventos mediante una representación

gráfica que utiliza las ramas de árboles conectadas entre sí con compuertas lógicas que se refiere a los significados registrados en la siguiente tabla [31]:

Tabla 8. Simbología análisis de árbol de fallas

Símbolo	Nombre	Significado
	Compuerta OR	El evento siguiente solo sucede si uno o más de los eventos anteriores suceden.
	Compuerta AND	El evento siguiente solo sucede si todos los eventos anteriores suceden.
	Evento Básico	Ultimo nivel del diagrama desarrollado, a partir de él no se desprende ningún evento adicional.
	Evento no desarrollado	Evento que no tiene contribución al evento principal analizado.
	Evento transferido	Es un link a otro diagrama que hace parte del mismo diagrama que está siendo desarrollado.
	Evento intermedio	Evento que resulta de la combinación de dos eventos a través de una compuerta.

### 2.2.10. MIC-MAC:

El método Mic Mac (Matriz de impactos cruzados y multiplicación aplicada para una clasificación) es una herramienta diseñada por Godet en 2007, cuya función principal es facilitar la estructuración de ideas. En general, posibilita la descripción de un sistema a partir del diligenciamiento de una matriz; orientada verticalmente a la descripción del grado de influencia y horizontalmente a la descripción del grado de dependencia de cada una de las variables dispuestas para el efecto, tanto el grado de influencia como dependencia directa surge de la calificación de cada uno de los expertos [32]:

- 1 si la influencia es débil.
- 2 si la influencia es moderada.
- 3 si la influencia es alta.

En cada una de las matrices diligenciadas individualmente. La suma de las filas como las columnas describen la influencia y dependencia de cada variable en el sistema, permitiendo la identificación de las variables esenciales en la evolución de este [32].

Método de impactos cruzados es el término genérico de una familia de técnicas que intentan evaluar los cambios en las probabilidades de un conjunto de acontecimientos como consecuencia de la realización de uno de ellos [33].

### 2.2.11. FMEA:

El FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) es una técnica bastante conocida para el estudio de confiabilidad de sistemas y permite identificar las consecuencias sobre la condición operacional de un sistema ante la ocurrencia de fallas en sus componentes, este efecto sobre la operación del equipo es definido con un índice de severidad [34]. Cuanto mayor el índice, mayor el grado de degradación de la operacional del equipo.

FMEA es un proceso sistemático destinado al análisis de confiabilidad. Mejora el rendimiento operativo de los ciclos productivos y reduce su nivel de riesgo global. Esta tarea se logra mediante la prevención de fallas potenciales del sistema que han sido identificadas a través del análisis preliminar y la recopilación de datos históricos de la planta [35]

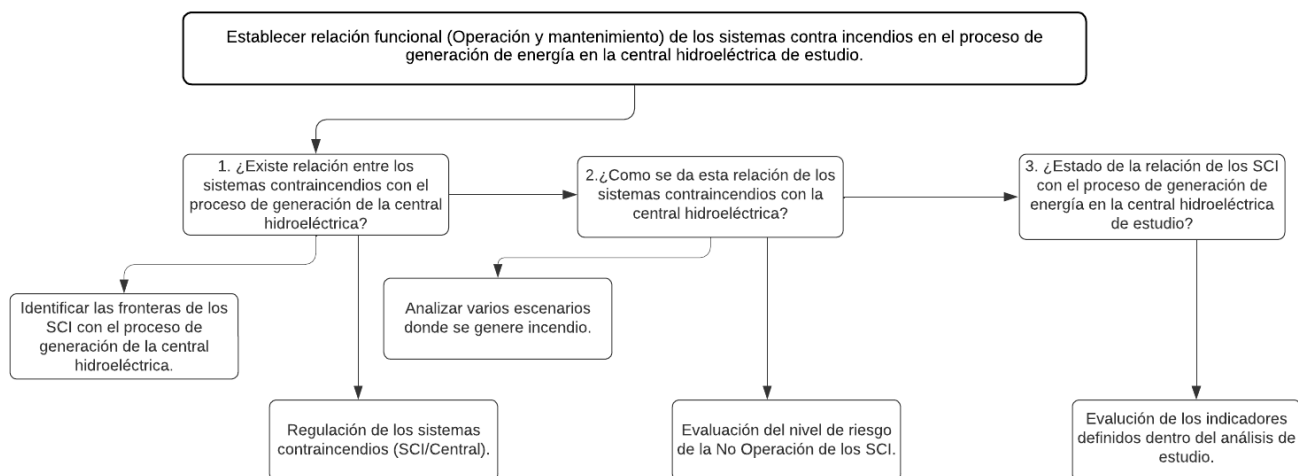
## 2.3. Estado del arte

El desarrollo de esta investigación pretende responder a las siguientes preguntas, enfocadas en determinar la relación entre los sistemas contraincendios y las centrales de generación:

- Pregunta N°1: ¿Existe relación entre los sistemas contraincendios con el proceso de generación de la central hidroeléctrica del caso de estudio?
- Pregunta No 2: ¿Como se da esta relación de los sistemas contraincendios y la central hidroeléctrica de estudio?
- Pregunta N°3: ¿Cuál es el estado de esta relación de los procesos de generación de energía en la central hidroeléctrica de estudio y los sistemas contraincendios?

En la Ilustración 2 se definen las estrategias planteadas para el desarrollo de cada uno de los interrogantes:

Ilustración 2. Desarrollo de la investigación



En la tabla 9 se registra el trabajo de Serap Aksu , en el que se usa un árbol de fallas con atribución de ubicación para la evaluación de daños en los compartimentos de barcos, este desarrollo es una metodología que nos puede permitir dar solución al interrogante uno de nuestro trabajo.

Tabla 9. Bibliografía enfocada a solucionar la pregunta 1 [36].

	TITULO	AÑO	PAÍS	AUTOR	RELACIÓN TRABAJO	METODO
1	"Evaluación de las consecuencias de daños en todo el compartimento en barcos y embarcaciones en altamar utilizando arboles de fallas con atribución de ubicación del sistema"	2019	Australia	Serap Aksu	Define si hay relación	"árboles de fallas con atribución de ubicación del sistema (FTwSLA)"

El análisis mediante un árbol de fallas es un método analítico y deductivo que tiene como finalidad simular las situaciones de causa y efecto que podrían conducir a una falla funcional (evento analizado) además permite establecer el riesgo propio de cada una de las situaciones potenciales de falla. Es una técnica de carácter proactivo pues analiza las fallas o causas con anterioridad a que se manifiesten.

La herramienta de Árbol de Fallas es capaz de proporcionar la probabilidad de ocurrencia de un evento final no deseado. Este evento no deseado es equivalente a una falla funcional del sistema que estamos analizando, la cual es la que se quiere evitar que suceda [30]. También puede describirse como una herramienta que ocupa lógica booleana con

operadores de estructura algebraica que esquematiza las operaciones lógicas Y, O, NO y SI, así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento.

El sistema contra incendios es posible separarlo en varios ejes principales. Estos pueden fallar por motivos inherentes de cada sistema, los cuales pueden representarse a través de un árbol de fallas.

Hay muchas técnicas que se utilizan para determinar el riesgo operativo de los sistemas, entre esas un método conocido como árboles de fallas con atribución de ubicación del sistema (FTwSLA), los modelos FTwSLA se crean utilizando los bloques de construcción fundamentado en la técnica tradicional de Análisis de árbol de fallas (FTA). Sin embargo, a diferencia de los modelos tradicionales de FTA, el método FTwSLA modela la falla de un componente como consecuencia de un efecto local o global de un evento de peligro instantáneo en su compartimiento. Además, un peligro en un compartimiento que contiene múltiples componentes se considera una causa común de falla de todos esos componentes y se modela con una asignación de falla de causa común (CCF) para aumentar la precisión del modelo. Por lo tanto, el método FTwSLA proporciona una identificación precisa de los factores que contribuyen al riesgo, como un punto único de fallas para sistemas, subsistemas y componentes críticos, y una predicción precisa del riesgo para las capacidades operativas. [37]

El método FTwSLA ofrece los siguientes beneficios:

- No requiere modelos de geometría 3D del sistema analizado.
- La capacidad de modelar fallas de causa común, dado que el FTA considera que los eventos de falla modelados son independientes
- Utiliza las propiedades del tradicional análisis de árbol de fallas (FTA) permitiendo a los analistas la libertad de utilizar cualquier herramienta comercialmente disponible.

El método FTwSLA modela una falla de un componente basado en el daño local o global causado por un peligro instantáneo dentro de su compartimiento. Además, si un compartimiento es una ubicación común de varios componentes en un modelo FTwSLA, ese compartimiento se modela como una falla de causa común (CCF). Esto indica que la ocurrencia de peligro en dicho compartimiento sería una causa común de falla para todos los componentes. El enfoque de modelado utilizado en FTwSLA proporciona evaluaciones de daños en todo el compartimiento rápidas y precisas para determinar las debilidades del diseño (es decir, un solo punto de falla, componentes y compartimientos críticos) durante la etapa inicial de diseño o actualizaciones.

El método FTwSLA utiliza árboles lógicos que se desarrollan con los mismos principios utilizados en los métodos tradicionales de FTA. El método FTA utiliza un diagrama de árbol de fallas (FT) que muestra las relaciones entre el evento no deseado y las causas potenciales. El evento no deseado también se denomina Evento principal (TE). La jerarquía de un FT comienza con un TE y se desarrolla con eventos iniciadores (eventos intermedios) hasta que



se determinan las causas raíz (eventos básicos) del TE (Evento principal). Las relaciones entre los eventos en una jerarquía FT se definen con compuertas lógicas que se desarrollan continuamente para mejorar el modelado de la complejidad y el comportamiento dinámico.

Por otro lado, el FTA es un método bien establecido y ampliamente utilizado en muchos campos de la ingeniería para investigar las debilidades del diseño, la importancia de los componentes, la probabilidad de fallas y el efecto del tiempo de inactividad del sistema y también ha sido utilizado para la investigación de la probabilidad de ocurrencia de varios eventos peligrosos como incendios o explosiones. [37]

El análisis del árbol de fallas del sistema es un proceso de evaluación en un nivel más profundo que proporciona información valiosa sobre posibles combinaciones de eventos de falla que pueden resultar en una falla crítica, podría describirse como un conjunto de eventos básicos cuya no ocurrencia asegura que el evento superior no ocurre. [38]

En la tabla 10 se registra una referencia en la que se desarrolla la metodología FMEA (Análisis de modos de efecto falla), esta metodología nos permite dar solución al interrogante dos de nuestro trabajo.

Tabla 10. Bibliografía enfocada a solucionar la pregunta 2 [39]

TÍTULO	AÑO	PAÍS	AUTOR	RELACIÓN TRABAJO	METODO
“FMEA-CM Evaluación cuantitativa basada en procesos industriales (Un estudio de casa de una planta de conversión de carbón en metanol en china)”	2020	China	Lipeng Wanga,b, Fang Yana,b,*, Fang Wanga, Zijun Li	Determina la relación	FMEA-CM

El FMEA es una evaluación de riesgo cualitativa para garantizar que los problemas potenciales se hayan identificado y abordado durante la etapa de diseño de los proyectos de ingeniería [23]. La técnica FMEA descompone los sistemas en subsistemas y componentes, y analiza los posibles modos de falla de un componente individual y el efecto residual de ese componente. Sin embargo, la relación entre diferentes componentes fallidos no se modela con la técnica FMEA. Por lo tanto, puede subestimar las consecuencias de fallas de múltiples componentes.

FMEA es una herramienta de evaluación de confiabilidad utilizada ampliamente para el estudio de sistemas complejas, por lo que existen diferentes versiones y variantes, a continuación, se definen las actividades necesarias para el desarrollo de esta:

#### 1.1 Definición de la intención de diseño [28]:

Esta definición, consiste en conocer y entender la filosofía de operación de la planta o proceso, a fin de poder identificar claramente las condiciones bajo las cuales se

opera, considerando tanto su diseño como las necesidades del usuario. El desarrollo de esta actividad nos permite saber la forma en que se operan los activos, siendo este el nivel de detalle requerido en la descripción. La definición deberá de contener parámetros de operación, los equipos involucrados, rutas de proceso, parámetros de control, entre otros atributos.

Para el análisis de modos de falla y sus efectos, FMEA, la definición de la intención de diseño del sistema o equipo en análisis es muy importante, ya que para poder entender como falla un activo, primero es necesario conocer cómo opera. Cabe mencionar que es en esta etapa inicial donde el personal que participa en la metodología debe asimilar el proceso que se lleva a cabo en la instalación que se está analizando, ya que es común, que tanto la gente del grupo de mantenimiento, como los facilitadores de la metodología, estén poco familiarizados con la instalación en cuestión.

#### 2.1 Análisis funcional [28]:

El análisis funcional es necesario para poder entrar al proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal, como las secundarias.

#### 3.1 Identificación de modos de falla: [28]

Un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de administración del Riesgo estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc., o bien, como en este caso, donde el objetivo del FMEA es diseñar un plan de mantenimiento, a cada modo de falla le corresponderá una tarea de mantenimiento.

#### 4.1 Efectos y consecuencias de la falla: [28]

Los efectos de la falla son considerados como la forma en la que la falla se manifiesta, es decir, como se ve perturbado el sistema ante la falla del equipo o activo, ya sea local o en otra parte del sistema, estas manifestaciones pueden ser: aumento / disminución de nivel, mayor / menor temperatura, activación de señales, alarmas o dispositivos de seguridad, entre otras; similarmente, se considera también la sintomatología de la falla, ruido, aumento de vibración, etc.

Para el caso de las consecuencias, éstas son referidas a los impactos derivados de la falla en los diversos receptores de interés. Se consideran las consecuencias a la seguridad de las personas, medio ambiente y producción.

#### 5.1 Cálculo del NPR:

La aplicación de RCM pretende determinar la criticidad un equipo dentro del proceso productivo, mediante el cálculo del NPR, entendiendo que ese cálculo implica conocer muy bien el funcionamiento y la dinámica del sistema de estudios y de los diferentes subsistemas asociados

A partir del cálculo de los NPR, se pasa a un proceso de toma de decisiones en cuánto a las acciones a tomar, las cuales pueden ir desde Aceptar el riesgo de falla, Rediseñar el sistema o componente [40], este índice se define numéricamente de la siguiente manera:

$$NPR = F * G$$

Donde se defina  $F$  como la frecuencia de la falla y  $G$  la gravedad de la falla.

### 6.1 Jerarquización del riesgo [28]:

El proceso de jerarquización del riesgo de los diferentes modos de falla, resultante de la combinación de la frecuencia de ocurrencia por sus consecuencias, nos permite identificar las mejores áreas de oportunidad para las acciones de recomendación, tanto en la etapa de evaluación como en la aplicación de los recursos económicos y humanos.

En la **Ilustración 3. Diagrama metodología FMEA**, se representa la gestión del mantenimiento aplicando el FMEA.

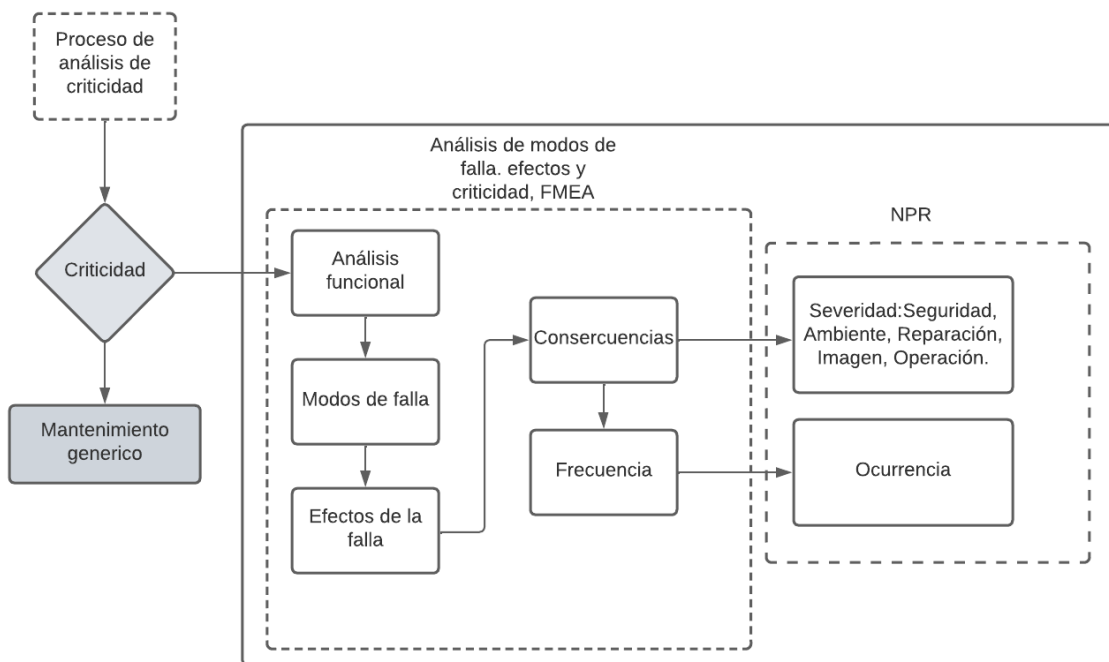


Ilustración 3. Diagrama metodología FMEA.

En la tabla 11 se registran dos referencias en las que se desarrolla el FTA (Fault Tree Analysis) y el PSA (Probabilistic Safety Assessment), estas metodologías son un ejemplo de cómo puede darse solución al interrogante 3 que se desarrolla en este documento:

Tabla 11. Bibliografía enfocada en solucionar la pregunta 3.

TÍTULO	AÑO	PAÍS	AUTOR	RELACIÓN TRABAJO	METODO
“Evaluación de la confiabilidad de los sistemas de alarma contra incendios utilizando redes bayesianas dinámicas y análisis de árbol de fallas difusos”	2020	Germany	Mohammad Javad Jafari a, Mostafa Pouyakian a, Alireza khanteymooori b, Saber Moradi Hanifi a	Mide el estado de la relación	BN y FTA
“Aplicación de la evaluación probabilística de seguridad (PSA) contra incendios en la definición de criterios de confiabilidad del sistema: sistemas de detección y supresión en la sala de tableros eléctricos”	2018	Brazil	Marcos Coelho Maturanaa, b, Luciano Lucas Brunoa, and Marcelo Ramos Martinsb*	Mide el estado de la relación	Probabilistic Safety Assessment (PSA)

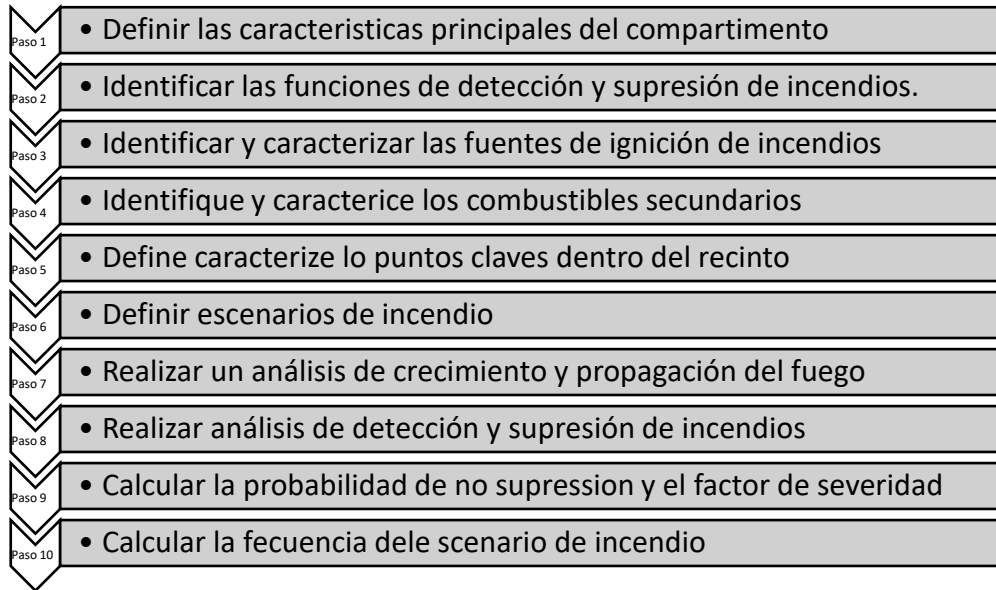
En casi todas las industrias, los sistemas contra incendios juegan un papel vital en la reducción de los riesgos, por lo que Alireza khanteymooori utilizó un FTA para determinar las causas fundamentales involucradas en la falla de los sistemas de alarma contra incendios, utilizando la teoría de conjuntos difusos y la opinión de expertos para determinar las probabilidades relativas y, finalmente, evaluar la confiabilidad de una alarma contra incendios. [41]

La probabilidad de las teorías convencionales no tiene la capacidad suficiente para una variedad de incertidumbres; ya que son incapaces de comprender el modelo humano y crear percepciones que puedan existir en la realidad. En consecuencia, la teoría de conjuntos difusos es una herramienta adecuada para condiciones ambiguas y de incertidumbre y puede convertir posibles expresiones cualitativas en probabilidades numéricas para superar las limitaciones del árbol de fallas y reducir la incertidumbre, se ha utilizado ampliamente en el método FT (árbol de fallas) para determinar la probabilidad de eventos principales y para reducir la incertidumbre en expertos y para determinar la probabilidad de eventos básicos [41]

Aunque el uso de los métodos de la teoría de conjuntos difusos en los estudios antes mencionados ha disminuido la incertidumbre, la estructura de estos estudios es estática y no hay posibilidad de razonamiento deductivo. En los últimos años se han realizado muchos intentos para superar estos problemas, incluido el uso de métodos novedosos y métodos

dinámicos, como la aplicación de redes bayesianas (BN), la teoría de la evidencia y los modelos de Monte Carlo. Entre estos métodos, la aplicación de BN es preferible debido a sus características únicas en la evaluación de riesgos y análisis de incidentes. Por otro lado, los BN tienen ventajas en comparación con otros modelos, incluida la posibilidad de aprender parámetros o la misma probabilidad de los datos existentes, la importancia de la estructura en los BN, que en realidad es una estimación de la función de distribución de probabilidad entre variables aleatorias, la capacidad de determinar la estructura adecuada utilizando los expertos, algoritmos de estructura de conocimiento o aprendizaje o su combinación, la capacidad de interpretar los resultados de este tipo de modelado, la posibilidad de indagación en el modelo que permite estudiar y analizar diferentes escenarios, así como una óptima toma de decisiones [41]

Por otro lado, la evaluación probabilística de la seguridad (PSA) es utilizado en el proceso de concesión de licencias de las centrales nucleares. Considera la elaboración y actualización de modelos probabilísticos que estimen el riesgo asociado a la operación, permitiendo el seguimiento del riesgo desde el diseño hasta el desmantelamiento de la planta, tanto en materia operativa como regulatoria. Hoy en día se considera una metodología lógica, integral y estructurada, enfocada a identificar y evaluar riesgos de sistemas tecnológicos complejos, con el fin último de mejorar sus características de seguridad y desempeño manteniendo una aceptable relación costo-beneficio. La exploración de este potencial depende de la elaboración de procesos y modelos simples, cuantitativos, realistas y prospectivos que puedan alimentar los análisis en la etapa de diseño y que puedan generar resultados que puedan ser interpretados por los profesionales involucrados en el proceso de toma de decisiones de diseño. Además, la presentación de casos en los que se utilizó PSA en la fase de diseño representa un aporte importante a la discusión sobre sus necesidades y limitaciones. En la **Ilustración 4. Pasos desarrollo metodología la** metodología PSA, se presenta un paso a paso para el desarrollo del análisis de evaluación probabilística de la seguridad (PSA) [42].



*Ilustración 4. Pasos desarrollo metodología la metodología PSA [42]*

# CAPITULO 3

## 3. Metodología

En la *Ilustración 5. Representación gráfica de metodología propuesta*. de este documento se registra la representación de la metodología usada para el desarrollo de este trabajo, en el que se desarrollaron las tres preguntas iniciales a resolver de este documento enfocándose en caracterización de los SCI, definición de la interacción y evaluación de la interacción, a continuación la descripción de cada uno de estos puntos:

### 3.1. Caracterización de los SCI:

La caracterización de los SCI se enmarca en el cumplimiento del objetivo 1: “OB S 1. Caracterizar el actual SCI de la central, en el que se incluya mantenimiento, componentes, fronteras operativas y funcionalidad de este”. En el que se usaron las siguientes estrategias:

1. **Visita en las instalaciones:** En esta visita se identificaron los subsistemas asociados al sistema contraincendios y los riesgos protegidos dentro del proceso de producción de energía, que son focos importantes, objetos de la investigación que se desarrolla en este documento.
2. **Implementación del procedimiento MIC MAC:** Con esta metodología se identificaron las variables directas e indirectas del proceso de protección contra incendios y mediante una evaluación se pudo tener un punto de partida de la interacción que tienen estos sistemas con el proceso de producción de energía.

El método MIC MAC parte de dos premisas:

**a. La fuerza del impacto (Nivel de influencia de unas variables con otras):**

Este grado de influencia se determina a partir de niveles de probabilidad de ocurrencia. Así, se dice que existe impacto cruzado entre dos sucesos cuando la probabilidad de que ocurra uno de ellos varía en función de que acontezca o no el otro. [43]

**b. El sentido del impacto (Tipo de influencia de unas variables con otras):**

El sentido del impacto determina el tipo de relación que existe entre dos sucesos (positiva, negativa o neutral). Si la probabilidad de ocurrencia aumenta, se dice que el sentido del impacto es positivo; si la probabilidad disminuye, el sentido del impacto se dice que es negativo; si la probabilidad no varía, se dice que no existe impacto cruzado [43]

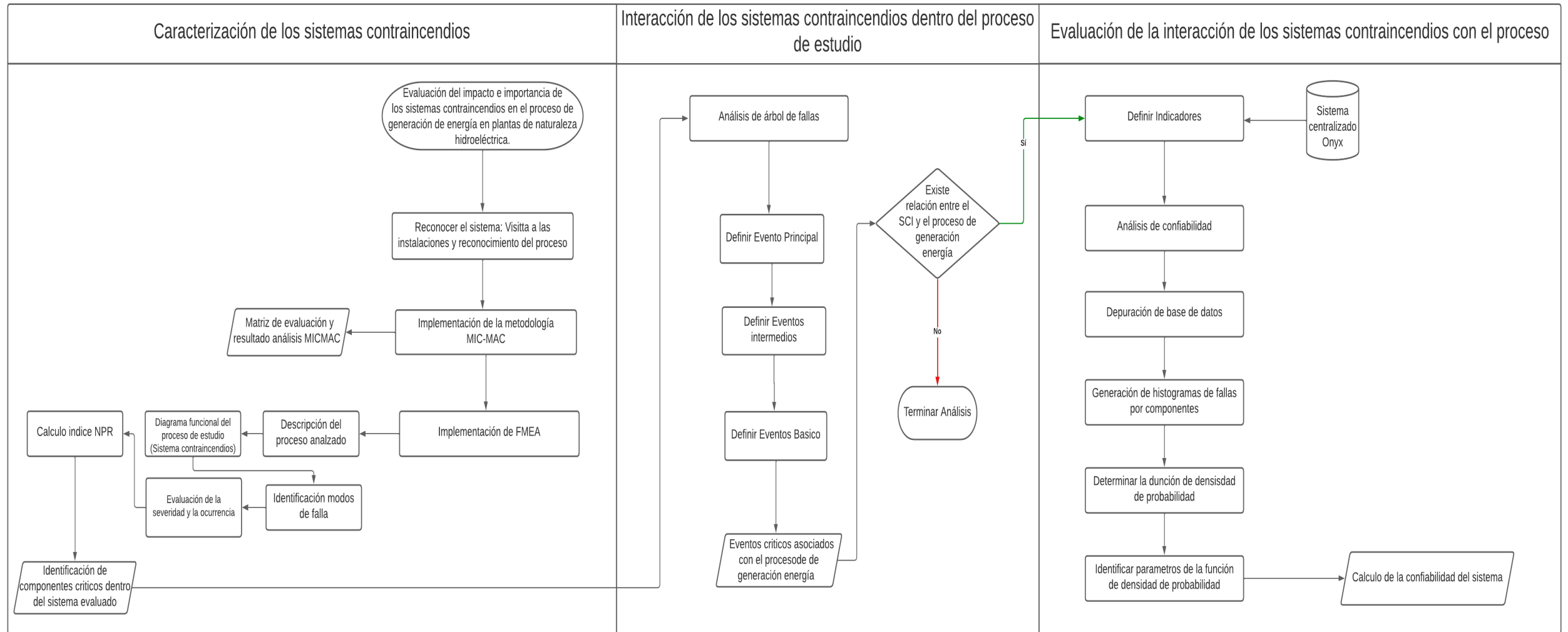


Ilustración 5. Representación gráfica de metodología propuesta.



En la **Ilustración 6. Paso a paso análisis MIC-MAC**, se describe el paso a paso para la implementación de esta metodología, en el desarrollo se realizó en un primer momento una **definición de variables**, en el que se identifican variables externas e internas de los sistemas contraincendios que probablemente tengan una relación de influencia o dependencia con el mismo, esta relación solo podrá evaluarse en un segundo momento en la matriz de influencia en el que algunos participantes seleccionados por su relacionamiento y conocimiento con el SCI podrán evaluar numéricamente en una escala del 0 al 4 este nivel de relación y finalmente mediante el procesamiento de la matriz resultado en el software MIC-MAC se definirán las variables claves según nuestro estudio,

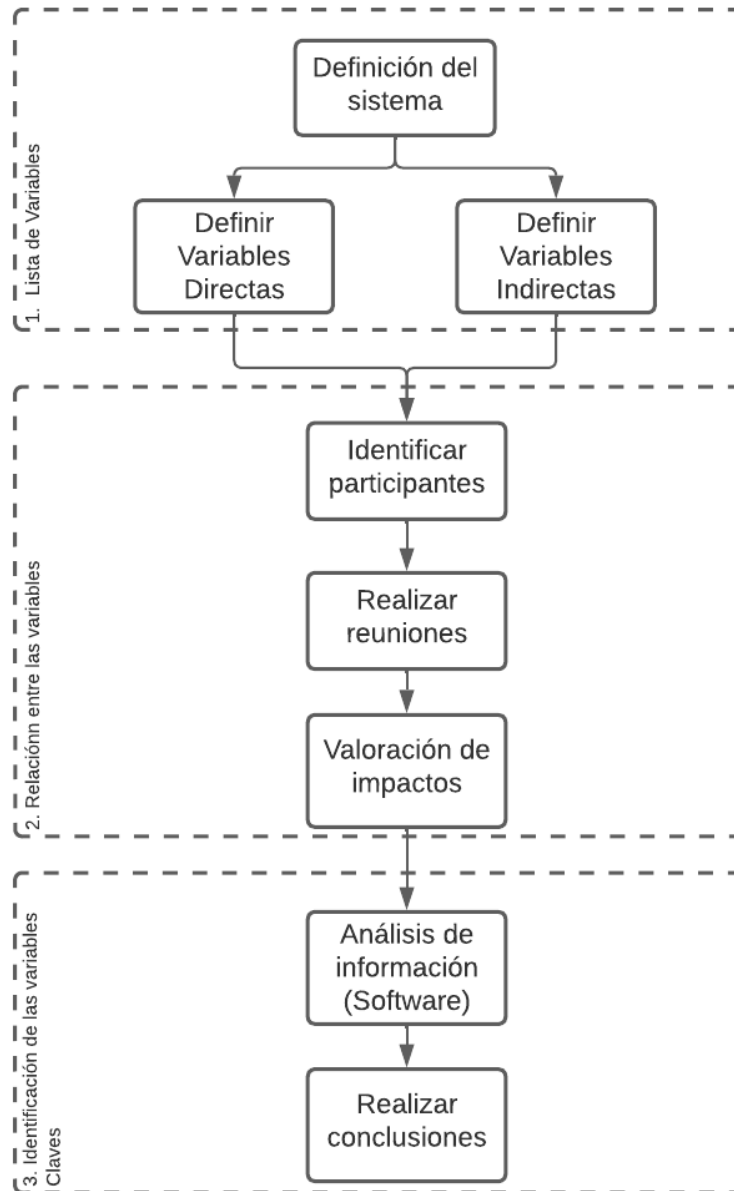


Ilustración 6. Paso a paso análisis MIC-MAC

- **FMEA (Análisis de modos de efectos de falla):** Nos permitió identificar los modos de falla más críticos dentro del sistema de protección contra incendios, a partir de la identificación de cada uno de sus componentes y subsistemas más importantes, a continuación, el desarrollo de la metodología:
  - a) Determine el proceso a Analizar: **En la Ilustración 8. Diagrama funcional sistema contraincendios de estudio** se describen cada uno de los sistemas, subsistemas y funciones principales de los componentes donde se realizará el FMEA.
  
  - b) Describir el proceso analizado: En la siguiente tabla se hace una breve descripción del sistema evaluado:

Tabla 12. Descripción del sistema evaluado

<b>SISTEMA CONTRAINCENDIOS</b>	
¿Para qué se diseñó?	Para la protección de las personas y activos productivos en la ubicación donde se encuentran instalados.
¿Para qué sirve?	El sistema contraincendios tiene como función principal la extinción de incendios, notificación de alarma y supervisión de equipos relacionados con el SCI.
¿Qué tareas cumple?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activar los dispositivos de salida, con las señales de dispositivos de entrada, según la lógica de funcionamiento.</li> <li>• Supervisión y control de los equipos asociados a los SCI.</li> <li>• Extracción de humo y gases tóxicos generados por posible incendio.</li> </ul>
Componentes principales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panel:</li> <li>• Módulos de control:</li> <li>• Módulos de monitoreo:</li> <li>• Sensores de humo:</li> <li>• Sensores de temperatura:</li> <li>• Ventilador de extracción:</li> <li>• Cilindros de CO2:</li> <li>• Mangueras:</li> <li>• Rociadores</li> </ul>
Función principal de cada componente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panel: Procesar las señales de entrada y ordenar las señales de salida del SCI</li> <li>• Módulos de control: Comunicar las señales del panel a los dispositivos de salida.</li> <li>• Módulos de monitoreo: Comunicar las señales de entrada hasta el panel de control</li> <li>• Sensores de humo: Detectar la señal de humo</li> <li>• Sensores de temperatura: Detectar las señales de aumento de temperatura</li> <li>• Ventilador de extracción: Proporcionar la fuerza para realizar la extracción del humo</li> <li>• Cilindros de CO2: Almacenar el suministro de la sustancia a base de agentes gaseoso.</li> <li>• Gabinetes de manguera: Suministrar el agua con la presión y caudal requerido para la extinción de incendios</li> <li>• Rociadores: Permitir la salida direccionada de la sustancia a base de agua al riesgo protegido</li> </ul>

c) Determinar los posibles modos de falla de cada paso o componente:

En el contexto del FMEA, «fallo» significa pérdida de funcionalidad, mientras que «modo de falla» designa la manera como se produce el fallo, partiendo de los modos de falla, podemos llegar a la causa raíz. Sin embargo, el análisis FMEA no se limita a determinar el origen. Esta herramienta se divide en dos partes: primero, la identificación de los modos de falla y luego la evaluación del efecto de ese mismo fallo. Diferentes modos de falla pueden tener diferentes efectos, con consecuencias muy diferentes para el funcionamiento del sistema evaluado en este documento

d) Asignar el grado de severidad de cada efecto: La severidad es la consecuencia de que la falla ocurra y se determina a partir de los siguientes aspectos:

- **Ocultabilidad:** Con este parámetro se evalúa la visibilidad de la falla en el sistema, y la identificación en la operación normal del proceso, es decir puede ser no identificable visualmente, pero por medio de otros parámetros puede ser detectada.
- **Seguridad:** La seguridad se evalúa según el nivel de afectación del modo de falla a cualquier ser vivo. En este tipo de sistema este parámetro debería tener un mayor peso debido a su relación directa con la seguridad de las personas.
- **Medio ambiente:** Nivel de incidencia de la falla respecto a las condiciones ambientales de la zona.
- **Reparación:** Se relaciona con el costo total requerido para realizar las intervenciones que normalmente se hacen para la normalización del sistema.
- **Ocurrencia:** se evalúa de acuerdo con la periodicidad en la que se presenten las fallas funcionales analizadas dentro de la metodología.

La evaluación de cada uno de estos parámetros se realizó en base a la metodología usada en la clase “ estrategias de mantenimiento” y la metodología descrita en [40]

Tabla 13. Modelo de evaluación índice de severidad.

SEVERIDAD						
	OCULTA	SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	OPERACIONAL	REPARACION	IMAGEN
0	NO EXISTE	NO AFECTA	NO AFECTA	SE PIERDEN DE 0 A 1 DIAS DE OPERACIÓN	DE 0 A 500 MIL	NO AFECTA
1	POCO PROBABLE	AFECTA LEVEMENTE 1 PERSONA	AFECTACION LEVE AL MEDIO AMBIENTE AL INTERIOR DE LA EMPRESA Y ES CONTROLABLE	SE PIERDEN DE 2 A 4 DIAS DE OPERACIÓN	DE 500 MIL A 1 MILLON	AFECTA MUY LEVEMENTE LA IMAGEN DE LA COMPAÑÍA
2	MUY PROBABLE Y DE POCAS CONCECUENCIAS	AFECTA LEVEMENTE A MAS DE 1 PERSONA	AFECTACION LEVE AL MEDIO AMBIENTE EN LA	SE PIERDEN DE 5 A 10 DIAS DE OPERACIÓN	DE 1 MILLON A 5 MILLONES	AFECTA LA IMAGEN DE LA COMPAÑÍA

			COMUNIDAD Y ES CONTROLABLE			A NIVEL LOCAL
3	MUY PROBABLE Y DE MUCHAS CONSECUCIAS	AFECTA GRAVEMENTE A 1 PESONA	AFECTACION GRAVE AL MEDIO AMBIENTE	SE PIERDEN DE 11 A 20 DIAS DE OPERACIÓN	DE 5 MILLONES A 15 MILLONES	AFECTA LA IMAGEN DE LA COMPAÑÍA A NIVEL NACIONAL
4	GENERA FALLAS MULTIPLES A GRAN ESCALA	AFECTA GRAVEMENTE A MAS DE 1 PESONA	AFECATACION AL ECOSISTMA	SE PIERDEN MAS DE 290 DIAS DE OPERACIÓN	DE 15 MILLONES EN ADELANTE	AFECTA LA IMAGEN DE LA COMPAÑÍA A NIVEL MUNDIAL

e) Asignar el grado de ocurrencia de cada modo de falla, ocurrencia a la probabilidad de que la falla ocurra

Tabla 14. Modelo de evaluación índice de ocurrencia

VALORACION DE LA OCURRENCIA		
4	FRECUENTE	1 FALLA EN 1 SEMANA
3	OCASIONAL	1 FALLA EN 1 MES
2	REMOTA	1 FALLA EN 1 AÑO
1	POCO PROBABLE	1 FALLA EN 5 AÑOS

f) Calcular el NPR (Número Prioritario de Riesgo) de cada efecto

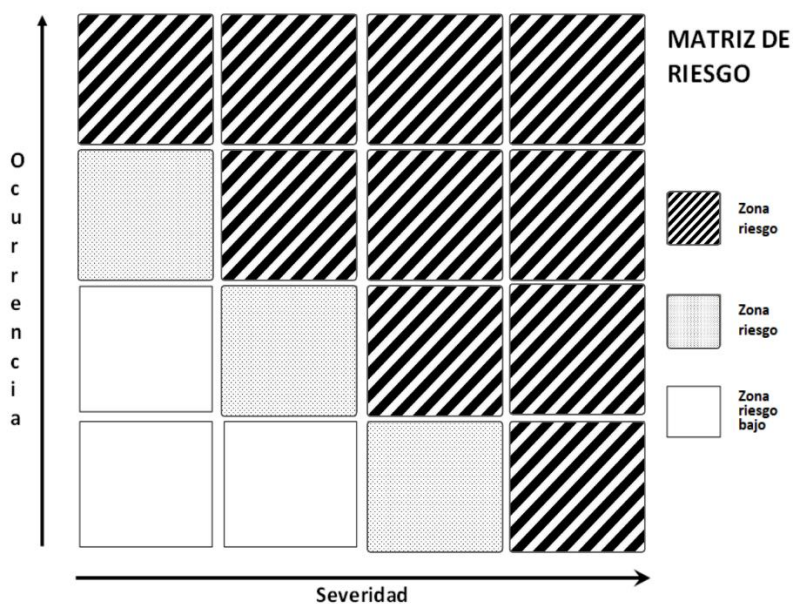


Ilustración 7. Evaluación del NPR según el grado de ocurrencia y severidad.

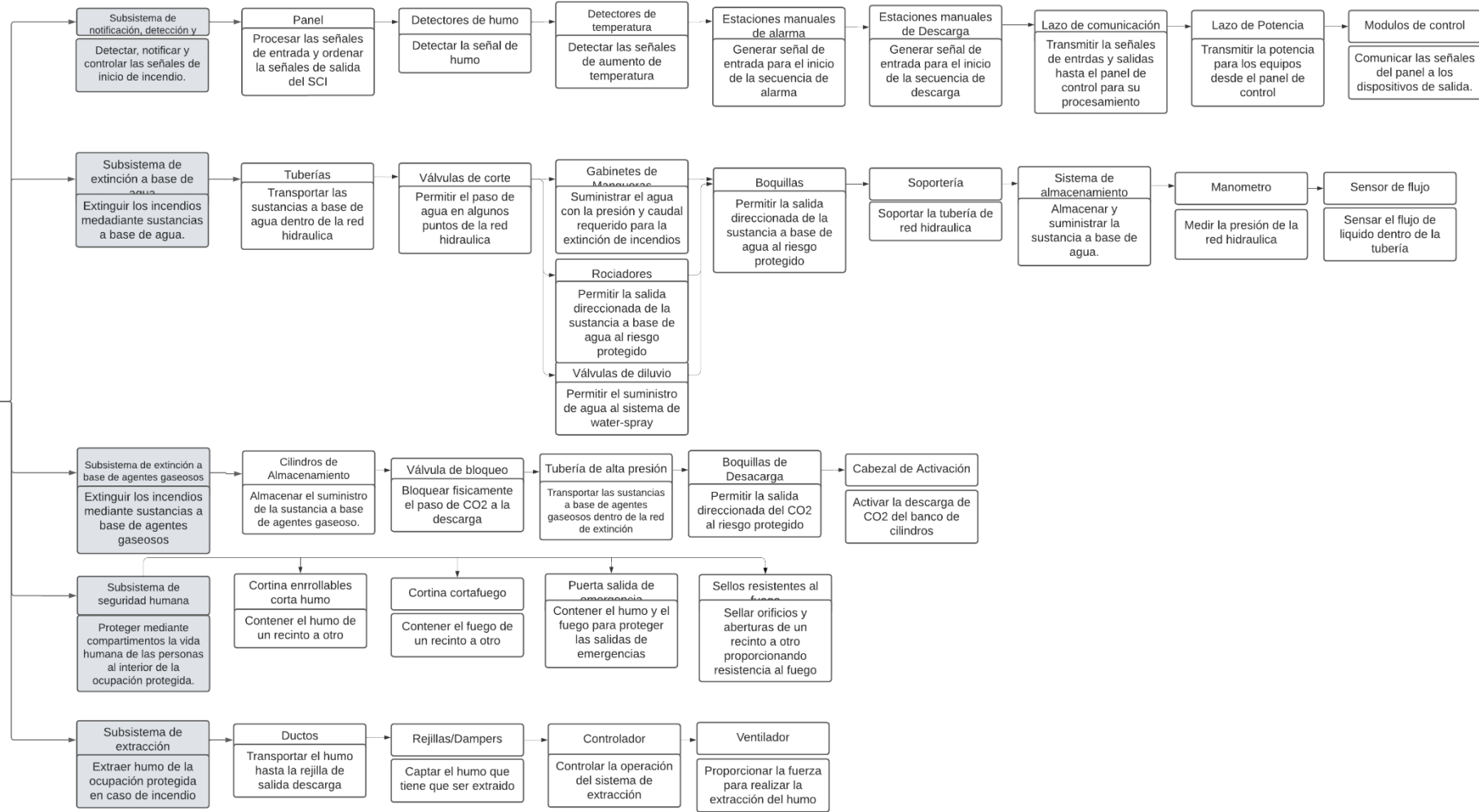


Ilustración 8. Diagrama funcional sistema contraincendios de estudio

### 3.2. Definición Interacción de los SCI dentro del proceso de producción energía:

Para definir la interacción de los SCI dentro del proceso de producción energía enmarcado en el cumplimiento del objetivo 2: “OB S 2. Determinar el impacto de un incendio dentro del proceso productivo de la central, mediante una herramienta de análisis de fallas.” se usaron las siguientes estrategias:

La construcción de un **FTA (Análisis de árbol de fallas)** enfocada en el evento principal definido como: “Paro en el proceso de producción energía por incendio”, en los subsistemas que compone el sistema contraincendios, hasta llegar al punto básico mínimo, donde la falla del componente represente su reemplazo completo y no su reparación [44].

- a. Recopilar información que describa la lógica de funcionamiento del SCI que me permita conocer el sistema. El tipo de información usada corresponde a los reportes encontrados en el sistema de procesamiento de información Onyxwork instalado en la central, donde se identifican los dispositivos asociados a los equipos productivos de la central.
- b. Definir los eventos intermedios a partir de la información anterior: Para el caso de estudio se definieron 5 eventos intermedios, asociados a la no funcionalidad de los subsistemas principales del SCI:
  - No funciona subsistema de extinción CO<sub>2</sub>
  - No funciona subsistema de extinción H<sub>2</sub>O
  - No funciona subsistema de detección y notificación.
  - No funciona subsistema de extracción.
  - No funciona subsistema de seguridad humana.
- c. Definir los eventos básicos dentro del árbol de falla.  
Los eventos básicos definidos para el subsistema de estudio están definidos por los componentes que lo componen, la mayoría de estos en caso de avería no se permite reparación ya que por la naturaleza del sistema, por normatividad y estrategia de la marca para posicionamiento en el mercado, la mayoría de los componentes identificados como críticos dentro del diagrama de árbol solo puede ser reemplazados por equipos de la misma referencias, cumpliendo sus características técnicas y características de listamientos, y no deben ser reparados bajo ningún termino.
- d. Definir la atribución de ubicación entre los eventos.
- e. Examinar las áreas donde puedan hacerse mejoras

- f. Extraer datos que relacionen el SCI con el proceso de generación de energía.

### 3.3. Evaluación de la interacción de los SCI con el proceso de producción de energía:

Para realizar la evaluación de la interacción de los SCI con el proceso de producción de energía enmarcadas en el cumplimiento del objetivo 3: “OB\_S\_3. Establecer indicadores para el sistema contraincendios de la central hidroeléctrica De estudio “y el objetivo 4 “OB\_S\_4. Determinar la relación que existe entre los SCI y el proceso de generación de energía “se usaron las siguientes estrategias:

1. **Definir los indicadores**, haciendo uso de la base de datos que ha venido siendo creada con los históricos asociados a los SCI de la central de estudio:
  - a. Definir los objetivos estratégicos que planean lograrse a partir de la implementación de los indicadores: El objetivo principal de la definición de indicadores es aportar a la construcción del relacionamiento del sistema contraincendios con el proceso de generación de energía, en este relacionamiento se definieron los siguientes propósitos:
    - Estudio de puntos críticos según los resultados de los numerales **Caracterización de los SCI:** y la **Definición Interacción de los SCI dentro del proceso de producción energía:**
    - Definir la continuidad del servicio de protección de contraincendios según las condiciones de operación definidas en el numeral **Caracterización de los SCI:**
  - b. Vincular los procesos esenciales en la central a los objetivos.
  - c. Rastrear las tendencias de desempeño y destacar el progreso y los problemas potenciales.
  - d. Definir las actividades que tendrán el mayor impacto en el proceso de producción energía.
  - e. Desarrollar los indicadores del sistema contraincendios.
  - f. Asegurar un continuo mejoramiento al actualizar el sistema
2. **Análisis de confiabilidad:** El análisis de confiabilidad está directamente relacionado con la definición de indicadores expuesto en la sección anterior, ya que se define como el indicador clave para determinar la capacidad del sistema contraincendios para cumplir con cada una de las funciones para la que fue diseñado, a continuación, el paso a paso del análisis realizado para definir la confiabilidad:

- a. **Creación de la base de datos:** Se recopilaron los datos almacenados en el centro de procesamiento del sistema contraincendios llamado Onyxworks de la central , durante los años 2018, 2019, y 2020, adicionalmente se identificaron cada uno de los subsistemas y componentes especificados con la realización del FMEA y el FTA, a continuación las características de la base de datos creada:
  - La información utilizada corresponde a los datos recopilados entre los años 2020, 2019 y 2018.
  - La base de datos en el año 2020 contiene más de 500mil datos, desde enero hasta diciembre de ese mismo año.
  - La herramienta que se utilizó para el análisis de la información fue el Power BI y R estudio, herramientas gratuitas.
  - En los datos reportados dentro de la base de datos solo se encuentran relacionados con los eventos correspondiente con el sistema de detección y notificación, lo que implica una falencia de datos en los otros subsistemas como lo son el sistema de extinción H2O, extinción CO2, seguridad humana y sistema de extracción.
  - Dentro de la base de datos se registran distintos estados de operación por cada uno de los nodos del sistema sin embargo para el análisis inicial se usaron solo los descritos en la Tabla 22. Glosario de eventos reportado desde el sistema OnyxWork de este documento.
- b. Depurar los datos. En esta sección se excluyen los eventos reportados que están relacionados: Mantenimiento preventivo y notificación de normalidad.
- c. Análisis inicial de la base de datos, donde se identifican tendencias y criticidad operativas de alguno de los elementos reportados.
- d. Separar los datos reportados por subsistemas, estos subsistemas deben corresponder a los analizados en el desarrollo del FMEA de este documento.
- e. Identificar dentro los eventos reportados, aquellos que estén directamente relacionados con la pérdida de la funcionalidad del SCI, estos deben estar relacionados con las fallas funcionales definidas en el FMEA desarrollado en este documento.
- f. Definir el rango de tiempo para este análisis que en este caso sería para los 3 años reportados que tenemos reportados dentro de la base de datos, en este paso también es importante agrupar los eventos reportados en rangos de tiempos, para proceder a la realización del histograma.
- g. Generación de histograma: Que nos permite generar la representación gráfica de las distribuciones de frecuencia, agrupados en intervalos representadas en barras.



- h. Determinar la función de densidad de probabilidad de fallas que permita identificar una tendencia según los parámetros de algunas distribuciones básicas.
- i. Generación de función de densidad de probabilidad de fallas: Mediante el ajuste de un modelo estadístico, que nos permite reconocer si los tiempos operativos hasta la falla pueden ajustarse a los siguientes modelos:
  - Log normal:  $\mu, \sigma$   
Donde  $\mu$ : MTTF tiempo medio entre falla ósea tiempo promedio para falla
  - Weibull:  $\beta, \eta$ ,  
El beta (mayor 1 es una etapa de desgaste) me indica si es una etapa de desgaste, la eta es el parámetro de fallas o probabilidad de fallas, y para el caso del  $\eta$  me define el MTTF ósea el tiempo medio entre fallas.
  - Exponencial:  $\mu$   
también conocido como tiempo medio entre falla

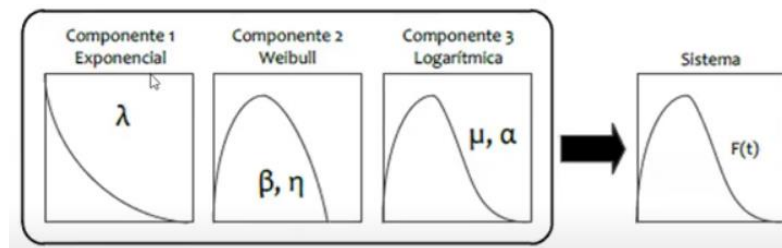


Ilustración 9. Distribuciones posibles.

Gracias a la definición de un modelo, es posible proyectar la confiabilidad de mi equipo o subsistema en un tiempo definido. Para el análisis práctico de este documento se definieron algunos componentes críticos, según el análisis FMEA descrito en el numeral **FMEA**: y se identificaron los respectivos modelos y parámetros críticos para determinar su respectiva confiabilidad.

## CAPITULO 4

### 4. Resultados

Para el cumplimiento del OB\_S\_1 se entrega la descripción de cada uno de los subsistemas con componentes y características técnicas específicas que se encuentran instalados en la central de estudio, adicionalmente se realiza un árbol funcional que permite identificar las funciones de los sistemas, subsistemas y componente, a partir de allí se estimaron las consecuencias de las fallas desde el punto de vista operacional [34].

Para el OB\_S\_2 se desarrollaron dos metodologías, el FMEA que permitió identificar aquellos componentes críticos dentro de la operación del SCI y el FTA con el que se pudo relacionar los componentes críticos resultados del FMEA con un evento principal no deseado como lo es “el paro del proceso de producción por un incendio”.

Para el cumplimiento del OB\_S\_3 y OB\_S\_4 se hizo el análisis de la base de datos recopilada desde el sistema centralizado del SCI ONYXWORK, con este análisis se identificaron tendencias de fallas, y adicionalmente permitió calcular la confiabilidad para cada uno de los componentes involucrados

Como resultado de lo implementado en este trabajo en **la Tabla 15. Resultados y Productos** se reportan los resultados obtenidos en el que se estableció un producto por objetivo y un producto general asociado al objetivo general que corresponde al documento final del trabajo final de Maestría:

Tabla 15. Resultados y Productos

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADO	PRODUCTO
OB_GEN: Establecer la relación funcional (Operación y Mantenimiento) de los sistemas contra incendios en el proceso de generación de energía en centrales de naturaleza	OB_S_1. Caracterizar el actual SCI de la central, en el que se incluya mantenimiento, componentes, fronteras operativas y funcionalidad de este.	Descripción de los sistemas contraincendios presentes en la central	Archivo en PDF y Archivo Excel donde se describan cualitativamente los sistemas y el árbol funcional respectivamente.
	OB_S_2. Determinar el impacto de un incendio dentro del proceso productivo de la central, mediante una herramienta de análisis de fallas.	Descripción la interacción de los SCI con el proceso de generación	Archivo en Excel con la metodología FMEA, y comparativo árbol de fallas y análisis FTA del SCI asociado a un incendio dentro de la casa de máquinas
	OB_S_3. Establecer indicadores para el sistema contraincendios de la central hidroeléctrica De estudio	Indicadores para la operación de los SCI.	Definición de los indicadores propuestos (Variables, formula)

hidroeléctrica(Caso de estudio De estudio).	OB_S_4. Determinar la relación que existe entre los SCI y el proceso de generación de energía	Implementación de los indicadores del SCI	Cálculo de la confiabilidad para el sistema y como se relaciona con el proceso de producción energía.
---	---	---	---

Dado que el objetivo de estudio fue analizar la relación funcional entre los sistema contraincendios y las centrales de generación, se recurrió a un diseño no experimental que se aplicó de manera transversal en una central de generación hidroeléctrica de 600MW, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico y normativo (internacional) suficiente, se realizó una investigación de tipo descriptivo analítico para conocer a detalle la forma en el que la operatividad de los SCI impacta las actividades de generación en una central hidroeléctrica.

La investigación tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo según los parámetros registrados en la Tabla 16. Enfoque metodológico.

Tabla 16. Enfoque metodológico

ENFOQUE	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS	PROPUESTA
Cuantitativo	Pretende medir la realidad que se investiga.	Busca probar la hipótesis Examina la realidad de manera objetiva Utiliza estadística Los resultados pueden generalizarse [45]	Definir Indicadores de operación del SCI, donde se relacionen estas variables con los indicadores de la central, establecer el impacto entre ellos [45].
Cualitativo	Pretende comprender la realidad que se investiga.	No se prueban hipótesis Examina diversas realidades subjetivas No se basa en las estadísticas Los resultados no se generalizan de forma estadística [46]	Realizar un ejercicio de análisis a partir de una matriz MIC-MAC realizado en las centrales de generación hidroeléctrica. [47] [48] Análisis de árbol de problemas de los SCI y FMEA que me permite identificar los puntos críticos del SCI.

#### 4.1. Caracterización del actual SCI de la central:

Las zonas o riesgos que actualmente están siendo protegidas se encuentran registrados en la siguiente tabla, donde además se identifica el método de extinción y de detección respectivo:

Tabla 17. Zonas protegidas dentro de la central hidroeléctrica de estudio.

ZONAS PROTEGIDAS	SISTEMA DE EXTINCIÓN	SISTEMA DETECCIÓN
Tableros de control Caverna	CO2	Detectores por aspiración
Tableros de control edificio	CO2	Detectores por aspiración
Tableros de control plazoleta	CO2	Detectores por aspiración
Transformadores Caverna	H2O	Cable lineal de temperatura
Transformadores Plazoleta	H2O	Cable lineal de temperatura

En la **Ilustración 10. Representación gráfica SCI central de generación de estudio**. Se presentan los 5 subsistemas principales del sistema contra incendios de estudio, en el que se destacan aquellos dispositivos de salida con una flecha hacia el exterior del panel y los dispositivos de entrada con una flecha direccionada hacia el interior del panel, en la representación gráfica el subsistema de detección, notificación y alarma enmarca todos los demás, ya que a partir de él se supervisan el resto de dispositivos, el detalle y funcionalidad de estos equipos se incluyen a continuación:

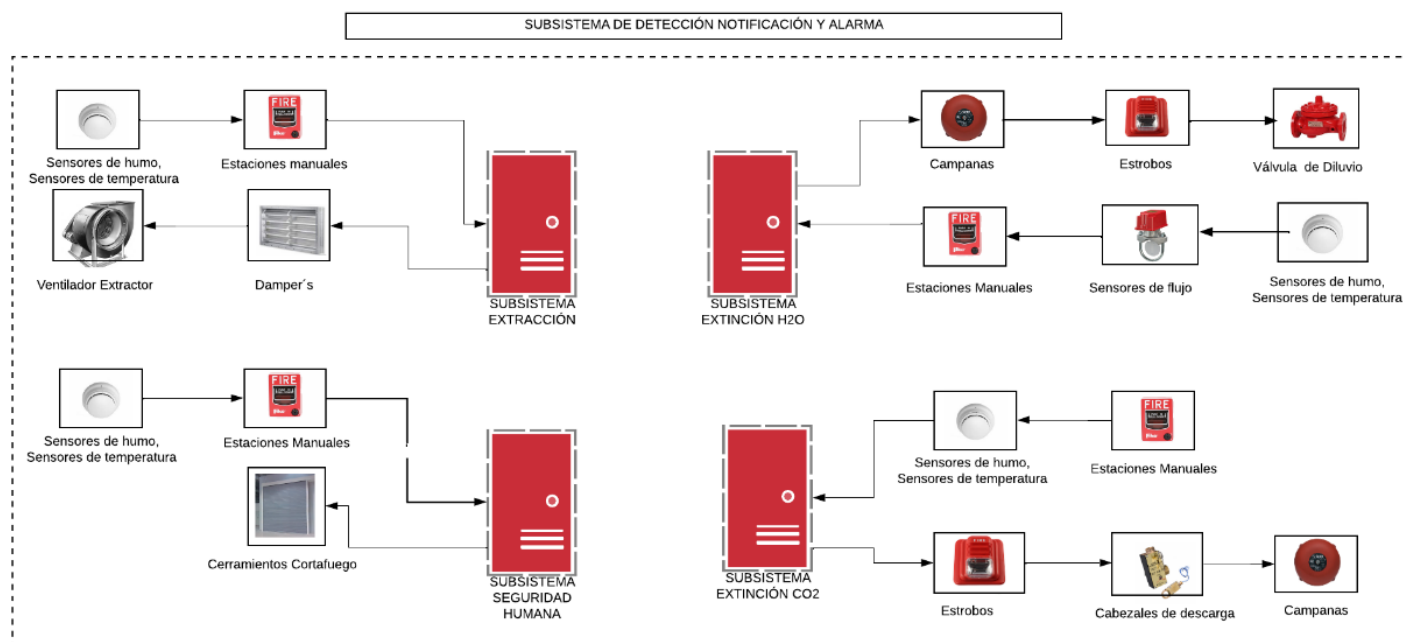


Ilustración 10. Representación gráfica SCI central de generación de estudio.

Subsistema de control, detección y notificación:

El subsistema de control, detección y notificación tiene como función principal: controlar, detectar y notificar las señales de inicio y las señales de salida respectivamente y según la lógica de funcionamiento operar, este subsistema esta a su vez compuesto por varias zonas de supervisión descritas a continuación:

- Control y detección del nivel de agua: es el tablero de control local de nivel de los tanques provistos para el sistema contra incendio, desde este tablero se puede operar cada válvula motorizada y dispone las indicaciones y señalizaciones de control y supervisión para cada elemento relacionado con los tanques, las válvulas se operan solamente para mantenimiento de los

tanques de forma manual desde este tablero. El tablero de control de nivel del tanque está conectado al panel de control de incendio de zona de la plazoleta de acceso PCIZ-PACC y reporta el estado de las válvulas junto con el nivel actual de los tanques. En la posición “Manual” el operador puede comandar cada bomba en forma individual desde el tablero. En la posición “Automático” las bombas arrancaran y pararan en función de los niveles de los tres tanques.

4. Control PCIZ-EC34: Ubicado en el Edificio de Control Piso 3, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero este compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, módulos de relé, mini módulos monitor, fuente de alimentación y baterías de respaldo.
5. Control PCIZ-EC12: Ubicado en el Edificio de Control Piso 1, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, mini módulos monitor, módulo de sincronización, fuente cargadora de baterías y baterías de respaldo.
6. Control PCIZ-PO: Ubicado en el Piso de Operaciones Caverna de Maquinas, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, módulo de relé, mini módulos monitor y baterías de respaldo.
7. Control PCIZ-HUMO: Ubicado en casa de máquinas, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de relé, mini módulos monitor y baterías de respaldo.
8. Control PCIZ-PG: Ubicado en el Piso de Generadores Caverna de Maquinas, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, módulos de relé, mini módulos monitor, módulo de sincronización, fuente de alimentación y baterías de respaldo.
9. Control PCIZ-PT: Ubicado en Piso turbinas Caverna de Maquinas, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, módulo de sincronización, fuente de alimentación y baterías de respaldo.
10. Control PCIZ-PV: ubicado en el Piso de Válvulas Caverna de Maquinas, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulo de relé, módulos de control, módulo de sincronización y baterías de respaldo.
11. Control PCIZ-CTCV: Ubicado en la Caverna de Transformadores, consta de un panel de control de incendios. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de releer,

- módulos de control, mini módulos monitor, módulo de sincronización, fuente de alimentación y baterías de respaldo
12. Control PCIZ-TACC: Ubicado en el Túnel de Acceso, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, módulos de sincronización y baterías de respaldo.
  13. Control PCIZ-PACC: Ubicado en la Plazoleta de Acceso, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulo de control para teléfonos de incendio, módulos de control, mini módulos monitor, módulo de sincronización, fuente de alimentación y baterías de respaldo.
  14. Control PCIZ-PRESA: ubicado en Presa, consta de un panel de control de incendio. En su interior este tablero está compuesto por: módulos de control, módulo de sincronización, mini módulos monitor y baterías de respaldo. Este, diferente a los demás, no se integra directamente a la red de F.O., sino que usa un puerto RS-232 para comunicarse a través de este protocolo por un multiplexor dispuesto cerca a este en la Zona de Presa.

#### Subsistema de extinción de CO2:

Es un sistema fijo operado automáticamente asegurado por una temperatura de detección, en el caso de los sistemas de extinción por CO2 en La central hidroeléctrica de estudio se utiliza un método de inundación total en el que se inyecta una cantidad suficiente de CO2 dentro de los riesgos protegidos, de esta forma crea una atmósfera inerte que combate el fuego. Los cilindros de CO2 están equipados con válvula de descarga de alta rata de flujo, la cual permanece abierta una vez actuada y no puede cerrarse. Una actuación accidental en un cilindro desconectado y no asegurado puede resultar en una descarga capaz de causar daño severo a la propiedad y a la integridad de las personas:

El sistema también cuenta con válvula de bloqueo y switch de mantenimiento que se utiliza al momento de realizar mantenimiento en el recinto de generadores, permitiendo de esta forma el trabajo seguro de descarga accidentales de CO2. En toda la central existen distintos riesgos protegidos por este tipo de accionamiento:

15. Sistema de extinción en generadores.
16. Sistema de extinción en tableros críticos.

#### Subsistema de extinción agua:

El subsistema de extinción agua está compuesto por todos los sistemas que tienen como agente de extinción principal el Agua:

17. Sistema de rociadores automáticos: La caverna de máquinas comprenderá protección en los siguientes puntos: Edificio de control, piso de turbina, piso

de generadores, piso de válvulas. el sistema se alimenta por la tubería principal que viene de la caverna de máquinas y se une con la de galería de barras. Cada uno de los niveles comprenderá un gabinete de manguera tipo III.

18. Sistema de gabinetes de manguera: En el túnel de acceso existen nueve gabinetes contra incendio, mientras que en la galería de cables se encuentran distribuidos otros 11 gabinetes para manguera. Los gabinetes estarán separados cada 60 metros tanto en la galería de cables como en el túnel de acceso.
19. Sistema de Water-Spray: En la caverna de transformadores estarán ubicados 6 transformadores de potencia cada uno de ellos protegidos con un sistema de boquillas rociadores abiertos y gobernadas por un sistema de diluvio para cada transformador. En el momento en que el sistema de detección genera una señal de alarma, el panel de control PCIZ-CTCV le enviará una señal al solenoide haciendo que se active la válvula de diluvio y se permita el paso de fluido a las boquillas del transformador que genere la alarma. La protección para los transformadores será individual ya que cada uno de ellos están separado de los demás por sus respectivos muros corta fuego. Y cada uno tiene su respectiva válvula de diluvio. En la plazoleta de acceso, se encontrará el transformador de la subestación de 44 KV en el cual la extinción se realizará por medio de un sistema de diluvio y dirigiendo la descarga de agua por medio de boquillas abiertas, este mismo sistema será utilizado en la extinción de salida de los cables de 500 KV el cual está ubicado en la plazoleta de acceso.
20. Almacenamiento de Agua: Los tanques 1 y 2 de almacenamiento de agua serán alimentados por medio de dos bombas (principal y de respaldo); las bombas impulsan el agua tratada que se encuentra almacenada en el tanque número 3, hacia los tanques 1 y 2 con el fin de abastecer 400m<sup>3</sup> para cada uno por medio de la tubería de llenado de tanques en acero al carbón, estos tanques disponen de una válvula motorizada de diez pulgadas gobernadas por el panel.  
En este sistema se encuentra una línea de recirculación de agua en acero al carbono, desde los tanques uno y dos hasta el tanque número tres, el fin de este sistema es la renovación del agua almacenada en los tanques.  
Desde los tanques 1 y 2 el agua será conducida por efectos de la gravedad por una tubería hasta la ramificación al túnel de acceso y la galería de cables, y por una tubería de a la plazoleta de acceso

## 4.2. Análisis de resultados MIC-MAC:

Con el análisis MIC-MAC se identificó el nivel de influencia que tienen algunos grupos de interés y equipos en el proceso producción energía al interior de la central, en el sistema

contra incendios, mediante el análisis de la matriz de influencia a través del software de análisis MIC-MAC y el desarrollo metodológico descrito en la sección **Caracterización de los SCI**; los grupos de interés definidos serán expuestos en la tabla 18:

Tabla 18. Grupos participante análisis MIC-MAC

PARTICIPANTES	DESCRIPCIÓN	TIPO DE RELACIÓN CON EL SCI
<b>PERSONAL DE MANTENIMIENTO:</b>	Incluye auxiliares, técnicos, tecnólogos e ingenieros cuyas labores van enfocadas al sostenimiento y mantenimiento de los activos de la central (Todo lo relacionado con el proceso de generación energía)	INDIRECTA
<b>PERSONAL DE OPERACIÓN:</b>	Incluye auxiliares, técnico, tecnólogos e ingenieros cuyas labores van enfocadas a la correcta operación de las unidades y al cumplimiento de la meta en generación de la central (Nada relacionado con el mantenimiento de activos ni el SCI)	INDIRECTA
<b>PERSONAL BRIGADISTA:</b>	Esta categoría es transversal a todos los involucrados y corresponde al grupo de personas responsables en caso de emergencia de la manipulación de equipos de SCI, tareas de evacuación, rescates y coordinación de emergencia cuando sea necesario.	INDIRECTA
<b>PERSONAL ENCARGADO SCI:</b>	Personal a cargo del mantenimiento del sistema contra incendios de la central De estudio y personal a cargo del mantenimiento exclusivo de los sistemas contra incendios, dependiente administrativamente de otra entidad.	DIRECTA

Cada uno de estos grupos de interés tienen una relación ya sea directa o indirecta con el SCI de estudio, en el caso del personal de mantenimiento, operación y brigadista. esta relación es indirecta puesto que solo tienen influencias en actividades específicas como el mantenimiento, operación y emergencia que involucren los equipos protegidos (Transformadores, tableros y generadores) mientras tanto el personal encargado de los SCI si tiene una relación directa ya que se involucran en todas las actividades de operación y mantenimiento que involucren a los sistemas contra incendios.

A continuación, se definen cada una de las variables estudiadas:

Tabla 19. Listado de variables evaluadas en análisis MIC-MAC

VARIABLE	DEFINICIÓN
<b>ESTADO DE VÍAS DE ACCESO A LA CENTRAL (VA):</b>	Estado físico de las vías que comunican a la población con equipo de bomberos más cercana a la central
<b>DISTANCIA ENTRE LA POBLACIÓN MÁS CERCANA (DP):</b>	Distancia a la población más cercana que cuente con equipo de bomberos
<b>CUERPO DE BOMBEROS DE LA POBLACIÓN MÁS CERCANA (CUBO):</b>	Conocimiento, equipamiento y experiencia del equipo de bomberos de la comunidad más cercana
<b>TIEMPO DE RESPUESTA DE ATENCIÓN BOMBEROS (TRB):</b>	Tiempo de respuesta de atención bomberos población más cercana
<b>OPERACIÓN DE LA CENTRAL (OC):</b>	Actividades propias del proceso de generación de energía (Actividad en los generadores, transformadores, y equipos de control)



<b>LABORES DE MTTO DE LA CENTRAL (LMC):</b>	Actividades de Mtto generales dentro de la central de generación (Pruebas, reubicación de equipos, fabricación de piezas, etc.)
<b>VÍAS INTERNAS DE LA CENTRAL (VC) :</b>	Estado físico de las vías que comunican los distintos edificios dentro de la central (campamento, almacén, casa de máquinas, edificio de control etc)
<b>PERSONAL OPERADOR DE LA CENTRAL (PO):</b>	Corresponde a los operadores de la planta.
<b>PERSONAL MTTO DE LA CENTRAL (PMC):</b>	Corresponde al personal encargado de las labores de mantenimiento, inspección y prueba de los equipos de la central. (Técnicos, tecnólogos, ingenieros, líderes)
<b>PERSONAL ADMINISTRATIVO CENTRAL (PAC):</b>	Corresponde al personal encargado de administrar los recursos (Ingenieros, líderes, etc.)
<b>PERSONAL DE SOSTENIMIENTO A LA CENTRAL (PSC):</b>	Corresponde al personal no relacionado directamente con el proceso de generación pero que labora en la planta (Personal de aseo, administración casino, cocina etc.)
<b>UBICACIÓN DEL RIESGO (UR):</b>	Ubicación dentro de la central de las zonas protegidas.
<b>UBICACIÓN DEL TANQUE DE AGUA (UT):</b>	Ubicación dentro de la central del tanque encargado de suministrar agua al SCI.
<b>CAPACIDAD DEL TANQUE (CT):</b>	Capacidad en m3 del tanque destinado para el suministro de agua del SCI
<b>PERSONAL DE MTTO SCI (PMS):</b>	Corresponde al personal encargado de las labores de mantenimiento, inspección y prueba de los equipos del SCI.
<b>BRIGADISTAS (B):</b>	Personal dentro de la central, capacitado para la atención de emergencias incluida la de incendios.
<b>LABORES DE MTTO SCI (LMS):</b>	Actividades de Mtto relacionadas con el SCI (Pruebas, reubicación de equipos, etc.)
<b>RUTAS DE EVACUACIÓN (RE):</b>	Rutas dentro de la central demarcadas destinadas a la evacuación del personal en caso de incendio
<b>OPERACIÓN DE SISTEMA DETECCIÓN (OSD):</b>	Actuación correcta de los sistemas de detección (Sensores], detectores, etc.)
<b>OPERACIÓN SISTEMA EXTINCIÓN (OSE):</b>	Actuación correcta de los Sistemas de extinción (Espuma, H2O, CO2)
<b>OPERACIÓN SISTEMA DE NOTIFICACIÓN (OSN):</b>	Actuación correcta Del Sistemas de Notificaciones (Estrobos, panel, alarmas)
<b>COMPARTIMENTACIÓN (C):</b>	Separación física de los sectores principales de la central
<b>UBICACIÓN DEL BANCO CO2 (UCO2):</b>	Ubicación dentro de la central del banco de CO2
<b>CAPACITACIONES (CAP):</b>	Actividades de formación referente al SCI
<b>UBICACIÓN GABINETES (UG):</b>	Ubicación de gabinetes dentro de la central
<b>CAPACIDAD GABINETES (CG):</b>	Capacidad en rpm de los gabinetes ubicados dentro de la central
<b>ESTADO DE LA RED HIDRÁULICA (ERH):</b>	Condiciones de presión, caudal y componentes externos de la red hidráulica
<b>CALIDAD DE LOS EQUIPOS SCI (CE):</b>	Condiciones técnicas de los equipos dentro del SCI (Listamientos o aprobación)
<b>CUMPLIMIENTO NORMATIVIDAD VIGENTE (CNV):</b>	Evalúa el cumplimiento en la central de normatividad vigente
<b>PLAN MAESTRO DE ATENCIÓN DE INCENDIOS (PM):</b>	Contiene el protocolo de actuación frente una emergencia de incendio
<b>TIEMPO DE RESPUESTA DEL PERSONAL DE LA CENTRAL (TRP)</b>	Evalúa el tiempo de respuesta del personal de la central en casa de emergencia
<b>CONOCIMIENTO DEL PERSONAL (CP)</b>	Conocimiento del SCI del personal de la central

Se realizó la evaluación de las variables de la matriz según la metodología descrita en el numeral **Definición Interacción de los SCI dentro del proceso de producción energía**: de este documento, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 20. Variables relevantes dentro del análisis MIC-MAC

VARIABLES DETERMINANTES	VARIABLES CLAVE	VARIABLES RESULTADO
Cumplimiento normatividad vigente (CNV)	Personal de mantenimiento del sistema contra incendios (PMS)	Labores de mantenimiento sistema
		Brigada (B)
		Capacitaciones (CAP)
		Plan local de emergencia (PM)
Labores de mantenimiento de la central (LMC)	Operación del sistema de extinción (OSE)	Contra incendios (LMS)
		Tiempo de respuesta de bomberos (TRB)
		Tiempo de respuesta del personal (TRP)
		Operación sistema de notificación (OSN)

En la **Ilustración 11. Representación gráfica análisis MIC-MAC**, se representa el plano de influencias y dependencias directas generado desde el software:

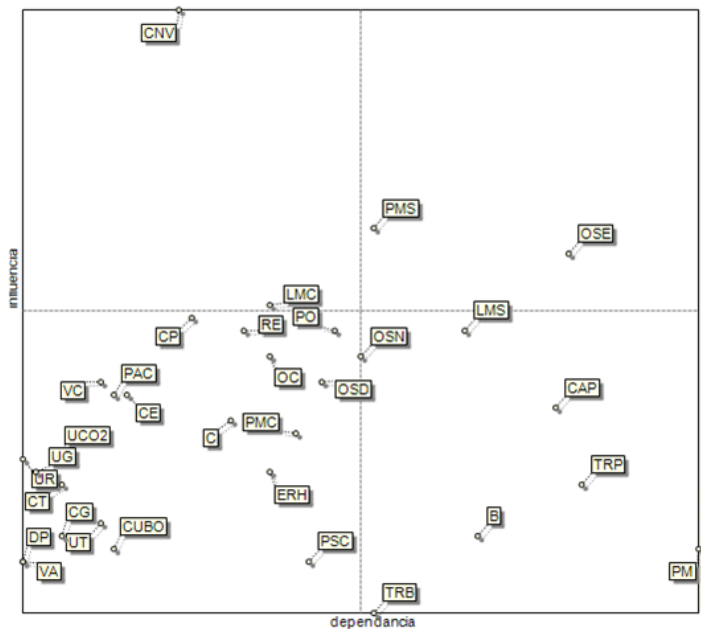


Ilustración 11. Representación gráfica análisis MIC-MAC

- En la Tabla 20. Variables relevantes dentro del análisis MIC-MAC se resaltan en negrita las variables que son de carácter externo a nuestro proceso. Cómo se observa, existen tres variables de carácter externo que influyen o dependen según sea el caso con la operatividad de nuestro sistema. La forma en la que nuestro sistema contra incendio se ve influenciado por esta variables son las siguientes:
  - **Labores de mantenimiento de la central:** Al estar en el grupo de las variables determinante podría decirse que esta influencia es directa, principalmente por la integración de los sistemas contraincendios estudiados con los equipos operativos de producción de energía como lo son transformadores, tableros críticos y generadores.
  - **Tiempo de respuesta de bomberos y tiempo de respuesta personal** son variables resultados y para el alcancé de este estudio que se centra en operatividad no tendrán influencia.
- Las variables claves dentro del análisis MIC MAC son variables claves para el desarrollo del sistema estudiando, en ese sentido es importante resaltar de este estudio que los sistemas de extinción son demarcados como claves entre la relación de influencia de los SCI con el proceso de generación energía, esto se debe a que están directamente relacionados con todos los activos productivos de la central: Transformadores, generadores y tableros críticos. Por lo que se puede decir que por lo menos con enfoque cualitativo los sistemas de extinción son los que relacionan directamente el SCI con el proceso de generación de energía.

### 4.3. FMEA:

Con la realización del análisis FMEA se encontraron los siguientes resultados:

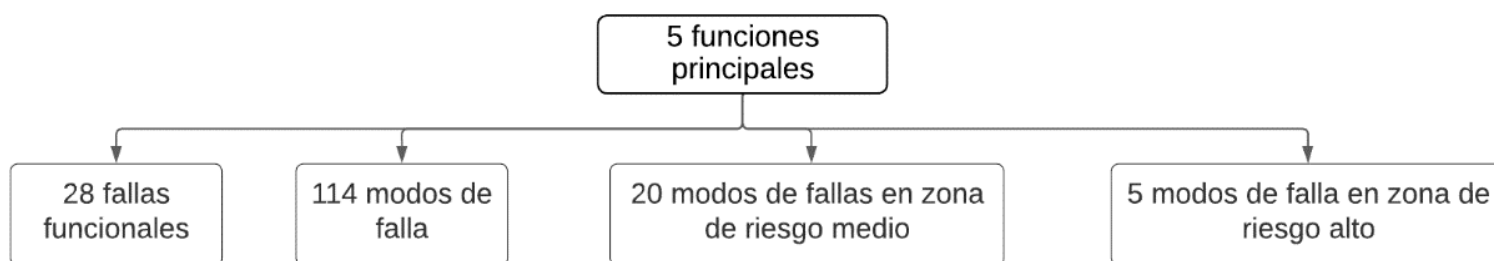


Ilustración 12. Resultados análisis FMEA

El desarrollo detallado de esta metodología se encuentra registrado en el Anexo 1, de este documento.

A continuación, se describen los modos de fallas principales según cada subsistema ubicados en riesgos medio y riesgo alto:

Subsistema de detección, notificación y control:

1. No hay suministro de potencia en el panel
2. No hay comunicación entre los dispositivos de inicio y la C.P.U
3. No hay comunicación entre los dispositivos de salida y la C.P.U
4. El sensor de humo se encuentra inhabilitado.
5. No hay comunicación entre los sensores de humo y el panel-
6. El sensor de humo se encuentra averiado.
7. No hay comunicación entre la estación manual de alarma y el panel.
8. No hay comunicación entre la estación manual de descarga y el panel.
9. El lazo de comunicación está siendo interrumpido por un cortocircuito.
10. El lazo de comunicación está siendo interrumpido por un circuito abierto.
11. Módulo de control averiado.
12. Módulo de monitoreo averiado.

Subsistema de extinción Agua:

13. Desajuste en los dispositivos de salida de la red hidráulica (Aspersores y rociadores automáticos).
14. Avería en las válvulas reguladoras de la red hidráulica
15. Fallas en los soportes de la red hidráulica,

Subsistema de extinción CO2:

16. No hay suministro de CO2 suficiente.
17. No se activa la señal de salida correspondiente
18. Los cilindros de CO2 se encuentran descargados

Subsistema seguridad humana:

19. Fallas en motorreductor de los cerramientos cortafuego.

Subsistema de extracción de humo:

20. Ventilador de la extracción se encuentra averiado

En la **Ilustración 13. Modos de falla ubicados según su nivel de riesgo**. Se representan los modos de fallas descritos anteriormente según su nivel de riesgo. Es importante resaltar que existen 5 modos de falla en nivel de riesgo alto, en la tabla 21 se registran según el subsistema del SCI al que se encuentran asociado.

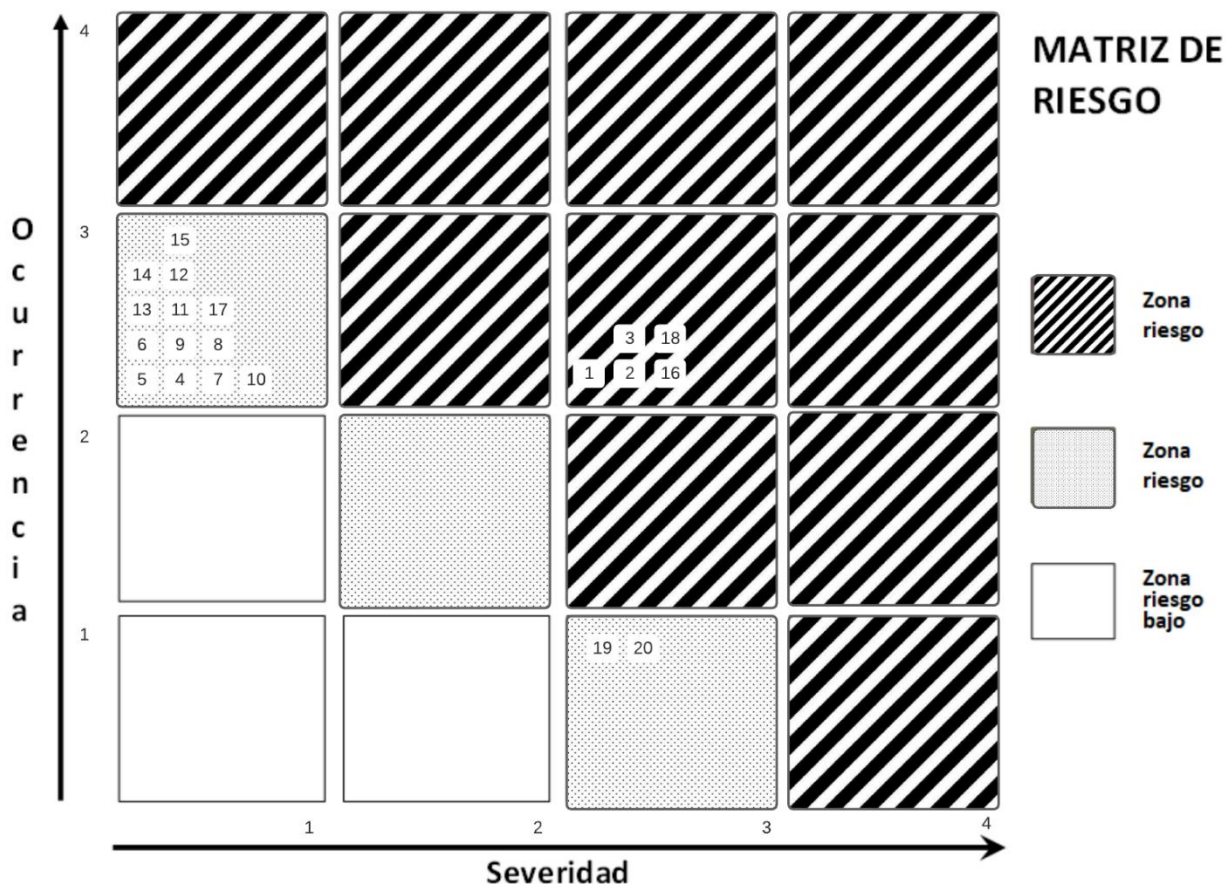


Ilustración 13. Modos de falla ubicados según su nivel de riesgo.

Tabla 21. Modos de falla con mayor alto riesgo según el subsistema asociado

Modo de falla	Subsistema asociado
No hay suministro de potencia en el panel	Subsistema detección, notificación y alarma
No hay comunicación entre los dispositivos de inicio y la C.P.U	Subsistema detección, notificación y alarma
No hay comunicación entre los dispositivos de salida y la C.P.U	Subsistema detección, notificación y alarma
No hay suministro de CO2 suficiente	Subsistema extinción CO2
Los cilindros de CO2 se encuentran descargados	Subsistema extinción CO2

Como se observa en la tabla anterior los modos de falla de alto riesgo se encuentran asociados a los subsistemas de detección, notificación y alarma y a los subsistemas de extinción CO<sub>2</sub>, esto guarda relación con los resultados del análisis MIC.MAC en el que los subsistemas de extinción de CO<sub>2</sub> son variables claves, también es importante destacar que los modos de fallas considerados como riesgo medio también hacen parte de estos dos grandes grupos, a partir de estos resultados podemos concluir que dentro de la operación de los sistemas contraincendios estos dos subsistemas serían los más críticos por su componente de severidad y ocurrencia.

#### 4.4. Análisis FTA:

Para determinar el impacto de los incendios dentro de la central debemos conocer la relación u integración de todos los equipos SCI con los equipos o sectores importante dentro del proceso producción energía, esto se realizará mediante un **FTA** donde nuestra falla principal o evento no deseado lo identificaremos como **El paro de proceso de producción energía por un incendio** adicionalmente identificar la relación entre todos los sistemas y subsistema de los SCI entre sí, mediante un **árbol funcional** podremos identificar todas las funciones básicas y principales del SCI, y como pueden ser sus modos de falla.

En caso de incendio siempre deben preverse 2 escenarios: 1. escenario catastrófico donde nunca funciono el SCI, 2. Escenario donde se dio la funcionalidad del SCI pero el incendio desbordo la capacidad de diseño, en este documento no centramos en estudiar el escenario N°1.

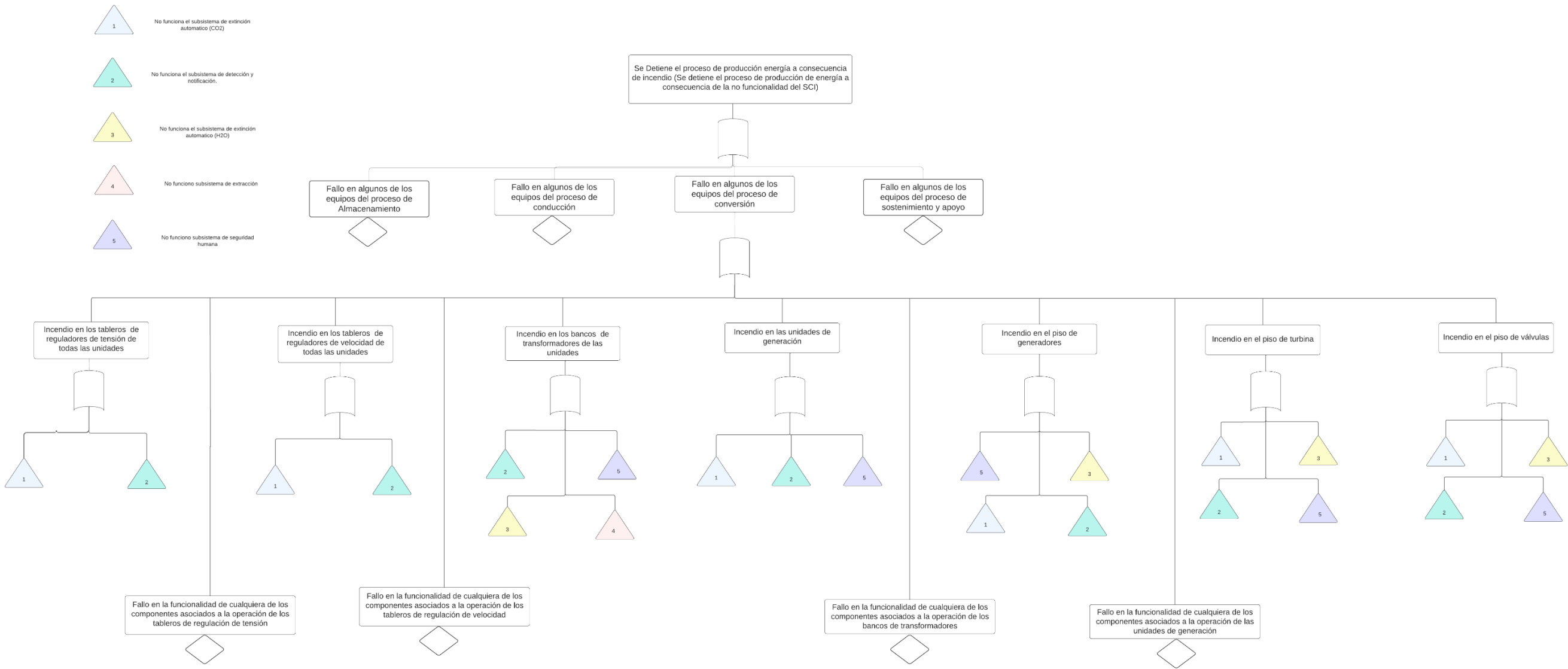


Ilustración 14. Diagrama de árbol de fallas para el paro del proceso producción energía por SCI

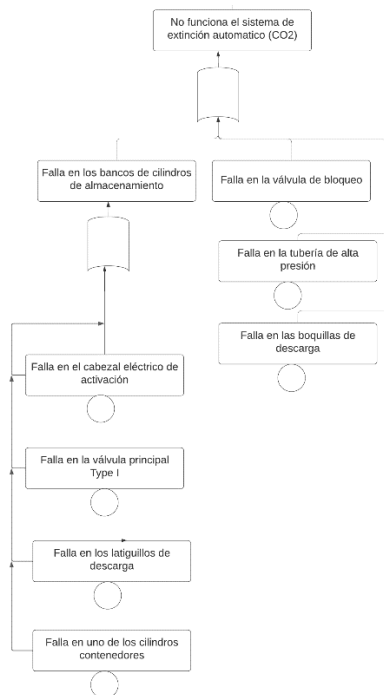


Ilustración 15. FTA Extinción CO2

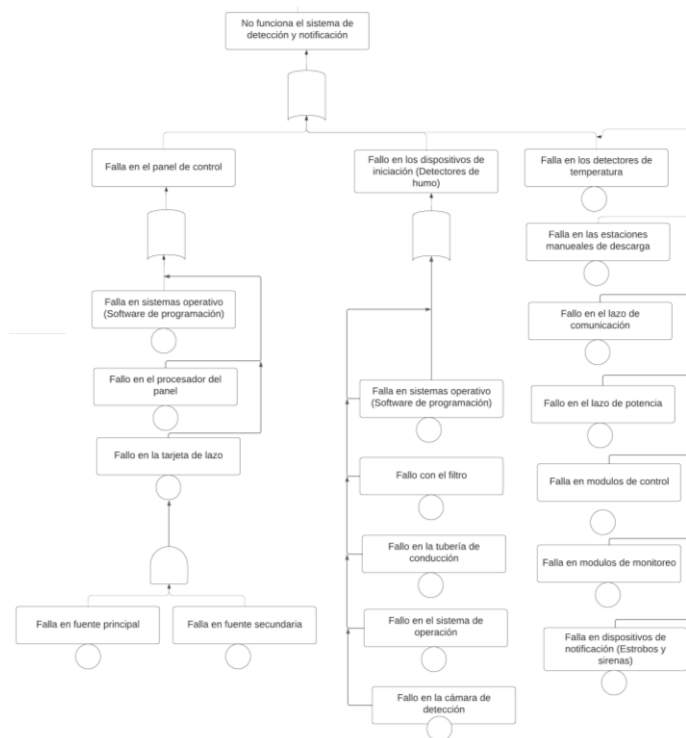


Ilustración 16. FTA Detección y Notificación





Ilustración 17. FTA Extinción H2O



Ilustración 18. FTA sistema de extracción.

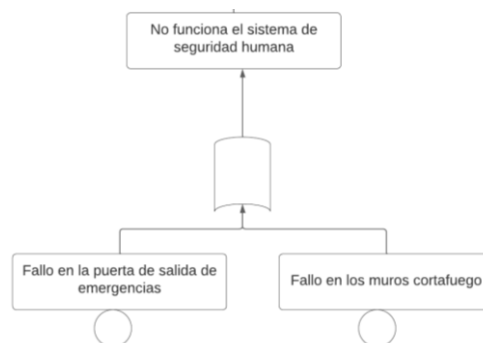


Ilustración 19. FTA Seguridad humana

En la **Ilustración 14. Diagrama de árbol de fallas para el paro del proceso producción energía por SCI** se detalla el diagrama de árbol funcional del Sistema contraincendios en cuestión, dentro del diagrama se evidencia la función básica de cada uno de los componentes y subsistema. El **primer nivel** de FTA está determinado por el evento principal no deseado, fue definido como: “ **El paro del proceso de producción energía por incendio**”, en el **segundo nivel** se determinaron eventos intermedios principalmente dados para cada una de las ubicaciones dentro del proceso de producción energía (Conversión, conducción, sostenimiento y apoyo, almacenamiento), en este nivel no todos los eventos fueron desarrollados ya que la premisa del evento principal se daba por hecho que el paro debía estar dado por un incendio y solo en “conversión” existe una posibilidad de incendio, con capacidad de parar el proceso de producción de energía. En el **tercer nivel** la definición de los eventos está dada por la cantidad de equipos protegidos por actualmente por un sistema contraincendios que tuvieran una incidencia real en el proceso de producción de energía, los eventos no asociados a estos no se desarrollaron. En el **cuarto nivel** se desarrollaron los eventos asociados a todos los subsistemas del sistema contraincendios, ya que en el análisis que se está llevando a cabo en este documento se enfoca en la no funcionalidad de los sistemas contraincendios, ya por último en el **quinto nivel** están determinados todos los eventos básicos.

Se logra identificar dentro del análisis de árbol de fallas, el nivel 5 y 6 del análisis de árbol de fallas se encuentran los últimos componentes reemplazables dentro de los equipos del sistema contraincendios, cualquier falla posterior a ellos siempre implicara el reemplazo completo de todo el dispositivo. Las ilustraciones 14, 15, 16 y 17 representan el árbol de fallas de cada uno de los subsistemas, para cada uno de ellos se hizo un modelo y fueron siendo asignados a los equipos protegidos del cuarto nivel según la instalación en planta. Estos eventos están relacionados entre sí en gran medida con compuertas OR, es decir entre ellos tienen una relación en serie, lo que significa en términos funcionales que la pérdida de funcionalidad de cualquiera de los componentes afecta directamente la funcionalidad del subsistema. Hay 4 componentes importantes dentro de las centrales de generación que pueden causar directamente el paro de máquinas: Generadores, Transformadores, Tableros críticos (Reguladores de tensión y reguladores de Velocidad), Zonas generales (Este último va más direccionado a la protección de las personas), en esto se centró el análisis FTA realizado.

Finalmente y como resultado del análisis realizado se puede concluir que los eventos básicos que determinan que suceda un paro del proceso de producción de energía por incendios están determinados por la falla o pérdida de funcionalidad de los componentes del equipo contraincendios, en ese sentido **la relación entre los dos procesos y por ende el impacto de un fallo de los SCI en el proceso de producción energía es directa.**

## 4.5. Definición de Indicadores (Análisis base de datos):

En esta etapa son estimados los KPI's desde los datos reportados en la Onyxwork, que es el sistema centralizado donde se reportan todos los eventos relacionados con el sistema contraincendios de la central, principalmente aquellos dispositivos que se encuentran monitoreados o supervisados, es posible que algunos componentes sobre todo de carácter hidráulico tales como: Aspersores abiertos del sistema Water spray, rociadores automáticos, puerta contenedores de fuego etc no estén incluidos, por eso se excluyen del análisis realizado a la base de datos.

De todos los eventos reportados solo nos interesan los reportados en la Tabla 22. Glosario de eventos reportado desde el sistema OnyxWork, ya que estos representan la pérdida de la función principal del sistema, o funciones secundarias del mismo.

Tabla 22. Glosario de eventos reportado desde el sistema OnyxWork

TIPO DE EVENTO REPORTADO	DESCRIPCIÓN
Anulado	La anulación corresponde al estado en el que los dispositivos se encuentra fuera de operación en el sistema, es decir no son capaces de recibir señales o emitir señales, según la lógica de funcionamiento para la que se pensó, generalmente cuando los dispositivos se encuentran en este estado correspondes a acciones deliberadas por parte del operador del sistema que responde a la necesidad de actividades de mantenimiento propiamente en el equipo anulado o labores de mantenimiento en los subsistema a los que se encuentra relacionado el equipo.
Problema	En este estado se registra una pérdida de funcionalidad del equipo o subsistema al que se relaciona, por lo general suele presentarse por estos tres eventos: Corto circuito, circuito abierto o pérdida de comunicación. lo eventos identificados en este punto se relacionan con la definición de failure que se describe en esta documento en la sección <b>Análisis FTA:</b>
Supervisión	En este estado se registra una pérdida de normalidad del equipo o subsistema al que se relaciona, es decir el equipo se encuentra operando bajo una condición distinta a la que se planteó en el diseño original, lo eventos identificados en este punto se relacionan con la definición de fault en el numeral I. <b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</b> de este documento.

Para fines ilustrativos de este análisis, se utilizan lo datos más reciente de la base de datos, relacionados con el año de operación del 2020:

Tabla 23. Datos registrados por nodo y evento en el 2020

Clase de estado	PCIZ-CTCV	PCIZ-EC12	PCIZ-HUMOS	PCIZ-PACC	PCIZ-PCIC	PCIZ-PG	PCIZ-PO	PCIZ-PRESA	PCIZ-PT	PCIZ-PV	PCIZ-TACC	Total
Anulado		11	29	294	14	59	24		19	117	91	<b>658</b>
Problema	1703	785	25311	33068	673	2623	137	3768	540	2268	9053	<b>79929</b>
Supervision	554	97722	233	612	21	3651	733	766	5123	35603	155	<b>145173</b>
<b>Total</b>	<b>2257</b>	<b>98518</b>	<b>25573</b>	<b>33974</b>	<b>708</b>	<b>6333</b>	<b>894</b>	<b>4534</b>	<b>5682</b>	<b>37988</b>	<b>9299</b>	<b>225760</b>

En la **Tabla 23. Datos registrados por nodo y evento** se registra el conteo por tipo de evento (Anulado, problema y supervisión) de cada uno de los nodos presentes en el SCI de estudio, es importante que cada uno de estos nodos está definidos por los equipos y ubicaciones que están siendo protegidos dentro de la central de generación. Mas del 90% de estos eventos se encuentran dentro de la clasificación de problema, lo que refleja una pérdida de funcionalidad real en los componentes asociados a cada uno de los nodos.

Grafica 1. Representación gráfica de los datos por tipo de evento en el 2020

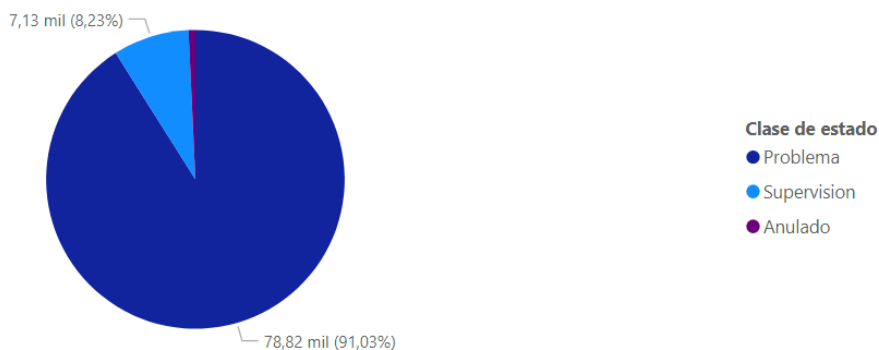


Tabla 24. Representación tabular de eventos por componente en el 2020.

Descripcion del punto	Recuento de No sec
FALLO A TIERRA LAZO 1	24053
BEAM BD-11 2o NIVEL TR6, TR5 BD-11 CRUZ N2	12434
BEAM BD-04 1ER NIVEL PASILLO TR4 BD-04 CRUZ N1	6422
ESTROBOS Z1 TUNEL G. CABLES	2977
PROBLEMA 7PIM3-430DE	1730
4VESDA-9 PROBLEMA BANCO 08 SUPERVISION	1580
SYSTEM INITIALIZATION	1447
UNIDAD 3 PROBLEMA MITSUI Zone 90	1400
4VESDA-6 PROBLEMA BANCO 09 SUPERVISION	875
BEAM BD-12 2o NIVEL TR4,TR3 BD-12 CRUZ N2	860
ALARMA 7PIM3-430DE TUNEL G. CABLES	679
<b>Total</b>	<b>86592</b>

En la Tabla 24. Representación tabular de eventos por componente en el 2020. Están representados todos los eventos que de alguna manera están relacionados con la perdida de funcionalidad por cada uno de los componentes.

Tabla 25. Los equipos dentro del SCI que presentan más eventos de anulación en el 2020.

Descripcion del punto	Recuento de No sec
SENSOR FLUJO SF-01 PLAZOLETA ACCESO	137
SENSOR FLUJO SF-75 PLAZOLETA ACCESO	47
GABINETE G-8	33
SENSOR FLUJO SF-02 ALARMA TUNEL ACCESO	20
SENSOR FLUJO SF-15 TUNEL G. CABLES	19
SENSOR FLUJO SF-71 ALARMA	15
BEAM BD-04 1ER NIVEL PASILLO TR4 BD-04 CRUZ N1	13
GABINETE G-4	11
SENSOR FLUJO SF-28 TANQUE 3 G41 Zone 07	11
SENSOR FLUJO SF-72 ALARMA	11

En la Tabla 25. Los equipos dentro del SCI que presentan más eventos de anulación en el 2020. Están registrados por equipo todos los eventos de anulación reportados en el sistema Onyxwork.

De los datos analizados dentro de la base de datos y según Tabla 23. Datos registrados por nodo y evento y Grafica 1. Representación gráfica de los datos por tipo de evento, podemos destacar que existen 4 puntos del sistema contraincendios que sobresalen en eventos frente a los demás puntos, que corresponden a:

- PCIZ-EC12: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con los riesgos protegidos en el primer y segundo piso del edificio de control.
  - PCIZ-PV: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con los riesgos protegidos en el piso de válvulas de casa de máquinas.
  - PCIZ-PACC: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con los riesgos protegidos en la plazoleta de acceso de casa de máquinas.
  - PCIZ-HUMOS: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con el sistema de extracción de humo de casa de máquinas.
- ✓ En la Grafica 1. Representación gráfica de los datos Se representa la tendencia de los eventos reportados, es posible identificar que los eventos asociados “supervisión” y “anulación” son muy inferior a los eventos reportados bajo el estado de “problemas”
- ✓ En la Tabla 24. Representación tabular de eventos por componente en el 2020. Se puede identificar que los equipos que más reportan señales de supervisión, problema y anulación corresponden a los relacionados a los subsistemas de

detección y notificación, especialmente los dispositivos de inicio y los dispositivos de notificación, esto podría considerarse grave teniendo en cuenta que los equipos asociados a este subsistema fueron considerados críticos en el análisis FMEA.

- ✓ También se debe hacer un especial análisis de los nodos que están directamente relacionados con los riesgos definidos en este documento, ya que representan aquellos equipos que tienen una relación directa con el proceso de producción de energía según los resultados del **Ilustración 14. Diagrama de árbol de fallas para el paro del proceso producción energía por SCI**, A continuación se registran:
  - PCIZ-PG: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con los riesgos protegidos en el piso de generadores de casa de máquinas. Incluido el sistema de extinción CO2 asociados a los generadores.
  - PCIZ-CTCV: Controla y supervisa todos los sistemas contraincendios relacionados con los riesgos protegidos en la caverna de transformadores de casa de máquinas. Incluido el sistema de extinción CO2 asociados a las unidades de transformación.

#### 4.5.1. Cálculo de indicadores:

Para el diseño de los indicadores propuestos, se tienen en cuenta el cumplimiento de los siguientes objetivos estratégicos:

- Identificar el estado actual de los sistemas contraincendios con relación a las actividades de operación de estos, también teniendo en cuenta su influencia en el proceso productivo para el cual se cumple la función de protección contra incendios, para este caso puntual la producción de energía en una central de generación hidroeléctrica de 660MW.
- A partir de la definición del estado del SCI en una central de generación hidroeléctrica de 660MW, plantear estrategias que me permitan mejorar o mantener estados óptimos de operación y mantenimiento de los mismo, apuntando siempre a tener un impacto positivo en el proceso de generación energía.
- Propiciar en las actividades de mantenimiento y operación de los sistemas contraincendios una documentación adecuada, que permita la trazabilidad de todos los eventos y labores para ayudar a la toma de decisiones en pro de la mejora de los sistemas contraincendios y la continuidad del proceso productivo que en este caso es la generación de energía.

Rastrear las tendencias de desempeño y destacar el progreso y los problemas potenciales:

- Es posible identificar tres tendencias que son importantes para la evaluación del proceso:

- Los eventos de problema y supervisión asociados a la emisión de señales de inicio de secuencia
- Los eventos de problema y supervisión asociado a la comunicación o envío de señales
- Lo eventos de problema y supervisión asociados a los dispositivos de salida.

Desarrollar un modelo de desempeño que ubique en su contexto metas, objetivos, estrategias, factores de éxito decisivos e indicadores, orientando la estrategia en esta dirección:

- Información de los 2 puntos del sistema contraincendios que tienen integración directa con los equipos del proceso producción energía:

*Tabla 26. Eventos de supervisión, problemas y anulación asociados a los nodos del sistema asociados al proceso producción energía.*

Alias del nodo	Anulado	Problema	Supervision	Total
PCIZ-PG	59	2623	3651	6333
PCIZ-CTCV		1703	554	2257
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>4326</b>	<b>4205</b>	<b>8590</b>

Estos dos puntos fueron seleccionados porque están asociados directamente con la protección contra incendios de los 3 activos mas importantes para el proceso de producción energía (Transformadores, tableros críticos y unidades de generación). A continuación, se registran los tipos de eventos identificados en los nodos registrados en la Tabla 26. Eventos de supervisión, problemas y anulación asociados a los nodos del sistema asociados al proceso producción energía.

*Tabla 27. Tipos de eventos registrados en el PCIZ-PG*

Alias del nodo	Problema	Supervision	Total
PCIZ-PG	223	2002	2225
UNIDAD 3 PROBLEMA MITSUI Zone 90	21	1379	1400
UNIDAD 4 PROBLEMA MITSUI Zone 90	1	326	327
UNIDAD 2 PROBLEMA MITSUI Zone 90	18	126	144
UNIDAD 1 PROBLEMA MITSUI Zone 90	20	105	125
UNIDAD 4 PREALARMA MITSUI Zone 90	21	25	46
UNIDAD 3 PREALARMA MITSUI Zone 90	21	19	40
UNIDAD 1 PREALARMA MITSUI Zone 90	18	13	31
UNIDAD 2 PREALARMA MITSUI Zone 90	17	9	26
UNIDAD 2 ALARMA MITSUI General Alarm	24		24
UNIDAD 3 ALARMA MITSUI General Alarm	21		21
UNIDAD 4 ALARMA MITSUI General Alarm	21		21
UNIDAD 1 ALARMA MITSUI General Alarm	20		20
<b>Total</b>	<b>223</b>	<b>2002</b>	<b>2225</b>

Tabla 28. Tipos de eventos registrados en el PCIZ-CTCV

Alias del nodo	Problema	Total
☐ <b>PCIZ-CTCV</b>	<b>565</b>	<b>565</b>
SENSOR FLUJO SF-83 ALARMA TRAFOS	36	<b>36</b>
CORNETAS CAVERNA TRANSFOS ALARMA TRAFOS	34	<b>34</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-2 ZONA TERMICO TRAF0 2	30	<b>30</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-4 ZONA TERMICO TRAF0 4	29	<b>29</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-1 ZONA TERMICO TRAF0 1	28	<b>28</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-6 ZONA TERMICO TRAF0 6	27	<b>27</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-3 ZONA TERMICO TRAF0 3	25	<b>25</b>
VALVULA DILUVIO VD-6 TRAF0 1 ZONA TERMICO TRAF0 1	25	<b>25</b>
CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0-5 ZONA TERMICO TRAF0 5	23	<b>23</b>
SENSOR FLUFO SF-66 TRAF0 5 ALARMA TRAFOS	20	<b>20</b>
SENSOR FLUFO SF-65 TRAF0 6 ALARMA TRAFOS	19	<b>19</b>
ESMAN ALARMA 5EA-01 ALARMA TRAFOS	18	<b>18</b>
SENSOR FLUFO SF-67 TRAF0 4 ALARMA TRAFOS	18	<b>18</b>
VALVULA DILUVIO VD-3 TRAF0 4 ZONA TERMICO TRAF0 4	18	<b>18</b>
SENSOR FLUJO SF-62 ALARMA TRAFOS	16	<b>16</b>
SENSOR FLUJO SF-82 ALARMA TRAFOS	15	<b>15</b>
VALVULA DILUVIO VD-1 TRAF0 6 ZONA TERMICO TRAF0 6	15	<b>15</b>

Como en la base de datos registradas no se permite realizar un cálculo del MTTR y el MTBF se proponen los siguientes indicadores para asociar los datos del sistema a la Confiabilidad:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Confiabilidad} \\ \left| \frac{\text{Eventos}}{\text{horas de Operación}} = \frac{\sum E. Sprv. + \sum E. Prb.}{\text{Operación en 1 año}} \right| \end{array} \right|$$

A continuación el cálculo de este indicador para los dos nodos evaluados:

Tabla 29. Calculo indicador definido para los nodos de estudio

Nodo	Indicador
PCIZ – PG (Tableros críticos y generadores)	0,25 $evt/h$
PCIZ – CTCV (Transformadores)	0,06 $evt/h$

De la **Tabla 29. Calculo indicador definido para los nodos de estudio podemos concluir** que para el caso del nodo PCIZ-PG por lo menos cada 4 horas se está reportando una señal de problema o supervisión asociada con la pérdida de funcionalidad de alguno de sus dispositivos y para el nodo PCIZ-CTCV estas señales se están reportando por lo menos cada 16 horas, es decir los sistemas asociados no conservan su funcionalidad por más de un día, sin embargo, este parámetro no es indicativo a no ser que se tenga una referencia que tenga en cuenta la totalidad de los componentes del SCI y una medida global de la confiabilidad, a continuación, se describe el procedimiento para el cálculo de confiabilidad del SCI en estudio:



#### 4.5.1.1. Análisis de confiabilidad:

Los sistemas contraincendios requieren de niveles altos de confiabilidad, principalmente porque son los encargados de proteger la vida de personas y activos importantes para el proceso de producción de energía eléctrica, esta última vital para procesos industriales y actividades cotidianas de las personas. Existe distintos subsistemas dentro de la funcionalidad total de los sistemas contraincendios, sin embargo, la confiabilidad en ellos depende de la configuración en los equipos que la conforman. Estos equipos pueden estar organizados de la siguiente manera:

✓ **Cálculo de confiabilidad para un sistema en serie:**

En los sistemas en serie cada componente o subsistema, cumple con una función que depende directamente del funcionamiento de su predecesor o antecesor, tal como se representa en **la Ilustración 20. Diagrama de bloque sistema en serie** es decir si uno de los componentes falla, falla todo el sistema [49]:



Ilustración 20. Diagrama de bloque sistema en serie

$$R = CB_1 \times CB_2 \times CB_3 \times CB_4$$

Donde  $CB_1, CB_2, CB_3, CB_4$  son las confiabilidades de cada ítem, por lo tanto, la confiabilidad total de un sistema en serie es el producto de las confiabilidades individuales de sus componentes

✓ **Cálculo de confiabilidad para sistema en paralelo:**

En este tipo de sistema, si existe un subsistema que tenga en un periodo de tiempo establecido la confiabilidad de 100% , hace 1 la confiabilidad de todo el sistema. Ocurrida la falla, si la conmutación es inmediata, la confiabilidad se mantendrá en el 100% hasta la siguiente falla de este elemento, tal como se representa en la **Ilustración 21. Diagrama de bloque sistema en paralelo.**



Ilustración 21. Diagrama de bloque sistema en paralelo.

$$R = 1 - [(1 - CB_1)x(1 - CB_2)x(1 - CB_3)]$$

Donde  $CB_1, CB_2, CB_3, CB_4$  son las confiabilidades de cada bloque.

Para nuestro caso de estudio tenemos subsistemas con una configuración de bloques en serie y una distribución de bloques en paralelo, esto último debido a la filosofía de diseño de los SCI según la NFPA en que se debe garantizar el cumplimiento de su función principal de manera rigurosa.

Desde el histórico recopilado del sistema durante los años, permitió conocer los tiempos operativos hasta la falla no solo del sistema contraincendios en su totalidad si no de cada uno de los subsistemas, para el cálculo de la confiabilidad a partir de los históricos se asume para cada uno de los componentes una distribución Weibull y se procede de la siguiente manera:

$$R(t) = 1 - f(t) \quad (1)$$

$$R(t) = e^{\left(-\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Los parámetros calculados van a estar directamente relacionados con la distribución que se defina para la función de densidad de probabilidad de cada uno de los componentes, tal cual se definió en el numeral **Evaluación de la interacción de los SCI con el proceso de producción de energía;** en la **Tabla 30. Determinación de modelo y parámetro por cada componente con anulación, supervisión y problema.** se registran cada uno de los componentes que fueron identificados dentro del histórico de la base de datos, donde se identificó la función de densidad de probabilidad para cada uno de ellos y adicionalmente se calculó la confiabilidad, según la ecuación 2. En el anexo se reportan los histogramas para cada uno de los dispositivos para los que se calculó la función de densidad de probabilidad.

El análisis que se hizo para cada uno de los componentes fue un análisis global, es decir se calcularon los parámetros para todos los componentes de todos los subsistemas de manera general, por esta razón el diagrama de bloques para el sistema contraincendios

no es específico, por lo que se definieron dos funciones principales para el sistema contraincendios general y poder generar una agrupación:

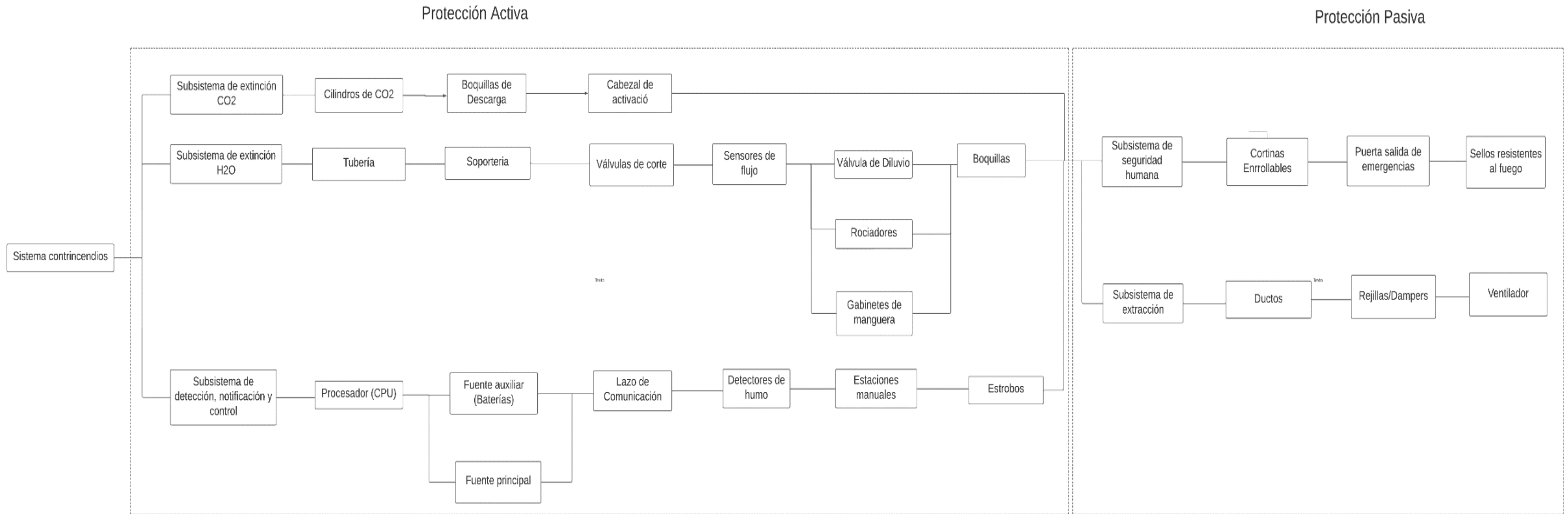
- Protección activa de los SCI: Son todos aquellos métodos, materiales, equipos e instalaciones que se incorporan en un recinto con el fin de evitar un colapso de la estructura para luchar contra el fuego con el fin de controlarlo y extinguirlo, para el caso de estudio este tipo de protección está involucrada con todos los subsistemas asociados directamente a los equipos críticos para el proceso de producción energética. (Transformadores generadores y Tableros críticos) [50].
- Protección pasiva de los SCI: Son todos aquellos métodos, materiales, equipos e instalaciones que se incorporan en un recinto para evitar el inicio de un incendio , evitar que se propague, evitar que afecte gravemente al edificio y facilitar la evacuación de las personas [50] para el caso de estudio este tipo de protección está involucrada con todos los subsistemas que no están asociados directamente a los equipos críticos para el proceso de producción energética. (Transformadores generadores y Tableros críticos).

Como cada grupo de protección pasiva y activa cumplen con una función específica, según esta función se agruparon los subsistemas en la Ilustración 22

Tabla 30. Determinación de modelo y parámetro por cada componente con anulación, supervisión y problema.

Punto	Distribución	Shape	Scale	Intervalo confianza 95% (Shape)		Intervalo confianza 95% (Scale)		Tiempo	Exponencial	Confiabilidad
BATERIAS	mlweibull	3,61	802,66	3,41	3,83	785,32	819,81	365,00	0,06	0,94
CAMPANA CO2	mlweibull	0,89	369,18	0,87	0,92	353,79	386,51	365,00	0,99	0,37
CORNETAS	mlweibull	1,52	633,50	1,49	1,56	622,07	646,33	365,00	0,43	0,65
DAMPERS	mlweibull	3,44	920,50	3,23	3,69	896,60	943,05	365,00	0,04	0,96
ESTROBO DISPOSITIVOS DE NOTIFICACION	mlweibull	1,58	574,30	1,57	1,59	570,71	577,81	365,00	0,49	0,61
FUENTE AUXILIAR	mlweibull	1,36	395,64	1,35	1,38	390,58	401,48	365,00	0,90	0,41
GABINETES DE MANGUERAS	mlweibull	1,16	509,10	1,14	1,18	498,31	520,49	365,00	0,68	0,51
LAZO DE COMUNICACIÓN	mlweibull	2,45	738,40	2,44	2,46	736,52	740,19	365,00	0,18	0,84
SENSOR DE HUMO HAZ DE LUZ PROYECTADO	mlweibull	3,91	820,17	3,89	3,93	818,85	821,57	365,00	0,04	0,96
SENSOR LINEAL TEMPERATURA	mlweibull	1,60	713,22	1,58	1,61	707,35	719,49	365,00	0,34	0,71
SENSORES DE FLUJO	mlweibull	1,10	482,88	1,08	1,11	474,85	490,42	365,00	0,74	0,48
SENSORES DE HUMO FOTOELECTRICO	mlweibull	1,70	741,97	1,63	1,80	712,05	770,03	365,00	0,30	0,74
SISTEMA AUDIO EVACUACION	mlweibull	2,73	576,36	2,62	2,85	564,38	588,29	365,00	0,29	0,75
VALVULAS MARIPOSA	mlweibull	1,10	498,51	1,09	1,11	492,44	504,30	365,00	0,71	0,49
VENTILADORES	mlweibull	3,67	922,45	3,52	3,85	906,28	937,58	365,00	0,03	0,97
ESTACION MANUAL DE ALARMA	mlweibull	1,08	512,48	1,06	1,10	501,22	523,39	365,00	0,69	0,50
CERRAMIENTO CORTA FUEGOS	mlweibull	1,13	320,62	1,09	1,18	305,76	334,19	365,00	1,16	0,31
CERRAMIENTO TRAFOS	mlweibull	1,11	254,94	1,08	1,15	244,77	265,18	365,00	1,49	0,23
SENSOR HUMO ASPIRACION	mlweibull	2,35	685,50	2,35	2,36	684,91	686,30	365,00	0,23	0,80
CABEZALES ELECTRICOS DE DESCARGA	mlweibull	3,72	477,30	3,60	3,88	471,07	483,89	365,00	0,37	0,69

Ilustración 22. Diagrama de bloques para cálculo de confiabilidad del SCI.



En **la Tabla 31. Confiabilidad calculada por cada uno de los componentes.** Se reporta la confiabilidad por subsistema y componentes, en lo anexos se registra el detalle de este cálculo.

Durante el desarrollo de esta trabajo, existieron algunos problemas con la recolección de datos y para algunos componentes no se tenían reporte de fallas en el sistema central, debido a que no están siendo supervisados por el sistema de detección, supervisión y alarma, por lo que estos no son considerados en el estudio con un valor de confiabilidad real, dada la ausencia de evidencia de falla durante el período de recolección de datos, pero para futuros estudios podrán ser desarrollados y el cálculo de confiabilidad podrá actualizarse, una vez se obtengan más datos. Estos componentes corresponden a los resaltados en rojo en la siguiente tabla:

Tabla 31. Confiabilidad calculada por cada uno de los componentes. [51]

	<b>Descripción</b>	<b>Confiabilidad total (1 año)</b>
1	Sistema contraincendios	0,79
2	Subsistema de seguridad humana	<b>0,31</b>
2.1	Cortina Enrollables	0,31
2.2	Puerta salida de emergencia	1,00
2.3	Sellos resistentes al fuego	1,00
3	Subsistema de extracción	0,93
3.1	Ductos	1,00
3.2	Rejillas/Dampers	0,96
3.3	Ventilador	0,97
4	Subsistema de notificación, detección y control	<b>0,24</b>
4.1	CPU (Panel)	1,00
4.2	Baterías	0,94
4.3	Fuente principal	0,41
4.4	Lazos de comunicación	0,84
4.5	Detectores de humo beam	0,96
4.6	Detectores de humo Aspiración	0,74
4.7	Detectores de humo foto eléctrico	0,80
4.8	Estaciones manuales	0,50
4.9	Estrobo	0,61
4.10	Campana CO2	0,37
5	Subsistema de extinción a base de agua	<b>0,24</b>
5.1	Tubería	1,00
5.2	Sopotería	1,00
5.3	Válvulas de corte	0,49
5.4	Sensores de flujo	0,48
5.5	Válvula de diluvio	1,00
5.6	Rociadores	0,99
5.7	Gabinetes	0,51

5.8	Boquillas de descarga	1,00
6	Subsistema de extinción CO2	<b>0,69</b>
6.1	Cilindros de CO2	1,00
6.2	Boquillas de descarga	1,00
6.3	Cabezal de activación	0,69

Se evidencia que los subsistemas tienen confiabilidades muy bajas, por debajo del 50% esto se debe principalmente a que los componentes están relacionados entre sí de manera serial, tal como se evidencia en el FTA realizado, adicionalmente existen problemas que no se han subsanado y por la funcionalidad de la OnyxWork esto se reporta de manera periódica entre los eventos, otro asunto importante que está relacionado con la calidad de la información reportada en el sistema centralizado, son las señales de anulación, la mayoría de ellas asociadas al subsistema de extinción hidráulico, estas señales corresponden a deshabilitación realizadas manualmente por el personal operativo y que afectan la confiabilidad del sistema directamente.

Los módulos de monitoreo y control que son componentes importantes dentro del sistema contraincendios no están registrados puntualmente dentro de los eventos en la base de datos, dado que cada uno de los dispositivos se encuentra monitoreados por cada uno de ellos, es decir el índice de fallas de los módulos de monitoreo y de los módulos de control se encuentra implícito en cada uno de los dispositivos estudiados en este documento.

En general la confiabilidad del sistema contraincendios es baja, si se observa no solamente la confiabilidad total sino también la confiabilidad calculada en cada uno de los subsistemas, principalmente porque se tienen equipos reportando problemas en largos periodos de tiempos, esto es posible observarlos en los histogramas y en el análisis previo realizado a la base de datos, con una confiabilidad de 0,60 y suponiendo una confiabilidad del proceso de producción de energía de 1, la confiabilidad del SCI estaría reduciendo en un 40% la confiabilidad de la planta del estudio.

En el subsistema de seguridad humana todos los componentes tienen una confiabilidad considerada buena, sin embargo las cortinas enrollables están por debajo del 50%, esto afecta directamente la confiabilidad total del subsistema.

En el subsistema de detección, notificación y alarma el componente más crítico es la fuente principal, sin embargo este no afecta en gran medida la confiabilidad del sistema porque tiene una configuración en paralelo con la fuente de respaldo que son las baterías, por otro lado las estaciones manuales y estrobos si están afectando el cálculo total de la confiabilidad.

En el subsistema de extinción agua las válvulas de corte y los sensores de flujo son los componentes que están definiendo la confiabilidad del sistema por debajo del 50%, aquí es



importante hacer claridad que una falla en los módulos de control o módulos de monitoreo podría afectar directamente la percepción de falla de estos equipos hidráulicos.



## CAPITULO 5

### 5. Conclusiones:

- ✓ No siempre un incendio implica la no funcionalidad o la pérdida de generación de la central hidroeléctrica, sin embargo, es difícil calcular este porcentaje de incidencia entre el funcionamiento de SCI y las centrales de generación, porque existen múltiples causas por las que se puede generar el paro de máquinas no necesariamente involucradas a incendio o a la operación del sistema contra incendios.
- ✓ La incidencia del proceso de protección de incendio en los procesos productivos en este caso la generación, siempre va a depender del grado de integración que tengas los SCI con el proceso, es decir equipos requieran protección contra incendios esta relación será de mayor magnitud, para el caso de estudio esta integración es altamente visible cuando se estudia el paro del proceso de producción energía en caso de un incendio, solo en este caso esta relación es directa y podría representarse como un sistema en bloque serial en el que la confiabilidad de la generación este superpuesta a la confiabilidad calculada del SCI.
- ✓ Hay una estrecha relación del árbol funcional de los SCI, con el árbol de problemas relacionado al evento principal: “Se Detiene el proceso de producción energía a consecuencia de incendio”, ya que los componentes identificados como críticos dentro en el FMEA coinciden con los eventos básicos que deben darse según el árbol de problema para que ocurra el evento no deseado.
- ✓ Este tipo de análisis es interesante porque nos permitió abordar la relación de los SCI con el proceso generación energía de una manera global, abordándolo desde parámetros cualitativos y cuantitativos, normalmente para estos sistemas que son más enfocados a la normatividad no se acostumbra a tener cálculo de indicadores, el resultado de este documento nos permite tener un acercamiento más real a su estado de operatividad.
- ✓ Se debe considerar que las consecuencias de un incendio pueden ser devastadoras para una central de generación de energía, por muy buenos que sean los seguros contratados, siempre habrá pérdidas financieras que no estarán cubiertas, eso sin contar el impacto a nivel nacional y a la imagen empresarial, es así como los sistemas contra incendios son pensados para la protección de 4 ítems:
  - La vida de las personas involucradas en el proceso.

- Los activos principales del proceso (Protección completa y recuperación rápida, esto último relacionado con la disminución de los valores de lucro cesante).
- El medio ambiente.
- La imagen corporativa.

La importancia que se le da a los SCI en el sector de generación de energía colombiano debe ser mayor. Así, el presente trabajo permitiría conocer a profundidad y evaluar el impacto e influencia de estos SCI en el proceso productivo de la central de generación, teniendo en cuenta no solo parámetros cualitativos como la percepción e interacción del personal de la central con los SCI, si no también permitirá profundizar los conocimientos teóricos y normativos sobre los procesos de operación y mantenimiento de los SCI, ofreciendo una mirada integral y parcial de los SCI desde el proceso de generación, para distinguir más de cerca y con claridad las potencialidades de los SCI en la central de generación involucrada en estudio.

- ✓ Inicialmente se puede concluir que la metodología utilizada en este trabajo es aplicable a cualquier integración entre dos sistemas complejos no solamente para el caso de este estudio que se centra en analizar sistemas contraincendios con el proceso de una central de generación.
- ✓ Se destaca el uso del árbol funcional como base y punto de partida para el estudio de confiabilidad de sistemas complejos. Se resalta la gran importancia de la ejecución de un análisis funcional detallada del sistema en estudio, especialmente a través de la elaboración de árbol funcional, que permitirá relacionar las funciones de los diferentes componentes del sistema y sirve como base para la ejecución de FMEA.
- ✓ Los sistemas de detección, notificación y alarma, al ser un sistema transversal a todos los subsistemas del sistema contraincendios, juegan un papel crucial en el cálculo de la confiabilidad de este, por lo que las actividades de mantenimiento debieran centrarse en él, ya que por tener una relación directa, la confiabilidad de todo el sistema varía según la condición de este.
- ✓ Entre los componentes más críticos del sistema se encuentran las estaciones manuales, algunos dispositivos de salida como campanas y dispositivos de seguridad humana como los cerramientos, es importante reconocer que la probabilidad de falla de estos equipos depende directamente de la funcionalidad y operación de algunos módulos que están estrictamente relacionados con el sistema de detección, supervisión y alarma, por lo que esta confiabilidad calculada es solo una aproximación al valor real. Por otro lado los componentes



que logran dar más estabilidad al sistema son los relacionados al subsistema de extracción, manteniendo una confiabilidad por encima del 90%, teniendo en cuenta la configuración dispuesta para todo el SCI este subsistema ayuda al valor de la confiabilidad final.

## CAPITULO 6

### 6. ANEXOS

#### 6.1. ANEXO 1:

A continuación se registra el desarrollo del análisis FMEA:

Tabla 32. Fallas funcionales identificadas.

F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL
1	Detectar, notificar y controlar las señales de inicio de incendio	1.1	El panel principal no está procesando las señales de entrada, ni las señales de salida
		1.2	No se detectan las señales de humo
		1.3	No se detectan las señales de temperatura
		1.4	Las estaciones manuales de alarma no están generando la señal
		1.5	Las estaciones manuales de descarga no están generando la señal
		1.6	No se están transmitiendo las señales de comunicación entre los dispositivos y el panel
		1.7	No se está transmitiendo la señal de potencia a los dispositivos
		1.8	La señales de salida no están siendo comunicadas
		1.9	Las señales de entradas no están siendo comunicadas
		1.10	No se está notificando el inicio de secuencia de alarma
2	Extinguir los incendios mediante sustancias a base de agua	2.1	El agua no llega a la descarga principal del sistema de extinción
		2.2	El sistema Water-spray no tiene suministro de agua
		2.3	Hay fuga del agua dentro de la red
		2.4	No hay paso del agua en algunos puntos de la red
		2.5	El agua no llega con la presión y el caudal requerido
		2.6	La tubería de la red no se cuenta bien sostenida
		2.7	No hay suficiente suministro de agua dentro de la red
3	Extinguir los incendios mediante sustancias a base de agentes gaseosos	3.1	No hay cantidad suficiente de agentes gaseosos para la extinción de incendios.
		3.2	Hay fugas del agente gaseoso dentro de la red
		3.3	No hay salida del agente gaseoso en el área protegida
		3.4	El agente gaseoso no tiene la concentración suficiente para la extinción
		3.5	No se da la descarga del sistema de extinción del agente gaseoso
4	Proteger mediante compartimentos la vida humana de las personas al interior de la ocupación protegida	4.1	El humo no se contiene de un recinto a otro
		4.2	El fuego no se contiene de un recinto a otro
		4.3	Las cortinas cortafuego y corta humo no abren o cierran
5		5.1	Hay fugas de humo en su recorrido a la salida
		5.2	La extracción es insuficiente para la cantidad de humo generada por el incendio

	Extraer humo de la ocupación protegida en caso de incendio	5.3	El sistema de extracción no enciende en caso de incendio
--	--	-----	--

Tabla 33. Modos de falla identificados

F	FF	MF	MODO DE FALLA (CAUSA DE FALLA)
1	1	1	El panel se encuentre apagado
		2	Hay una falla en la C.P.U del panel
		3	No hay suministro de potencia en el panel.
		4	No hay comunicación entre los dispositivos de inicio y la C.P.U
		5	No hay comunicación entre la C.P.U y los dispositivos de salida del panel.
	2	1	El sensor de humo se encuentra inhabilitado
		2	El sensor de humo se encuentra desconfigurado
		3	No hay comunicación entre el sensor de humo y el panel
		4	La señal de humo no está llegando hasta el sensor de humo.
		5	El sensor de humo esta averiado
		6	La tubería que conduce la muestra de aire se encuentra bloqueada
		7	La tubería que conduce la muestra de aire se encuentra abierta
		8	La muestra de aire no llega a la cámara de muestreo
		9	El filtro asociado al sensor de humo se encuentra colmatado
		10	El sistema de aspiración se encuentra apagado
		11	La cámara de detección del sensor de humo esta no está funcional
	3	1	El sensor de temperatura se encuentra inhabilitado
		2	El sensor de temperatura se encuentra desconfigurado
		3	No hay comunicación entre el sensor de temperatura y el panel
		4	El sensor de temperatura se encuentra mal ubicado
		5	El sensor de temperatura esta averiado
	4	1	La estación manual de alarma se encuentra inhabilitada
		2	La estación manual de alarma se encuentra desconfigurada
		3	No hay comunicación entre la estación manual de alarma y el panel
		4	La estación manual de alarma esta averiada
	5	1	La estación manual de descarga se encuentra inhabilitada
		2	La estación manual de descarga se encuentra desconfigurada
		3	No hay comunicación entre la estación manual de descarga y el panel
		4	La estación manual de descarga esta averiada
	6	1	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel
		2	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto
		3	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito

<b>7</b>	<b>1</b>	Hubo un fallo en la alimentación AC y también un fallo en las baterías.
	<b>2</b>	El lazo de potencia está siendo interrumpido con un circuito abierto
	<b>3</b>	El lazo de potencia está siendo interrumpido con un corto circuito
<b>8</b>	<b>1</b>	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel
	<b>2</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto
	<b>3</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito
	<b>4</b>	Hay un error en la programación del panel
	<b>5</b>	Hay problemas con los módulos de control
<b>9</b>	<b>1</b>	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel
	<b>2</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto
	<b>3</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito
	<b>4</b>	Hay problemas con los módulos de monitoreos
<b>10</b>	<b>1</b>	Hay un error en la programación del panel
	<b>2</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto
	<b>3</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito
	<b>4</b>	Hay problemas con los módulos de control
<b>2</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas
	<b>2</b>	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación
	<b>3</b>	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua
	<b>4</b>	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)
<b>2</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas
	<b>2</b>	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación
	<b>3</b>	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua
	<b>4</b>	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)
	<b>5</b>	Hay una fuga dentro del arreglo de tubería del sistema hidráulico
<b>3</b>	<b>1</b>	Se desprendió el acople de una de las tuberías
	<b>2</b>	Se desajusto uno de los dispositivos de salida de la red hidráulica
	<b>3</b>	Una de las válvulas de drenaje se encuentra en posición abierta
<b>4</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en posición cerrada.
	<b>2</b>	La tubería se encuentra bloqueada
<b>5</b>	<b>1</b>	Las válvulas reguladoras de la red se encuentran averiadas
	<b>2</b>	Las válvulas reguladoras de la red están descalibradas
	<b>3</b>	Hay un bloqueo en alguno de los puntos de la red.
<b>6</b>	<b>1</b>	Hay fallas en los soportes de la red hidráulica
<b>7</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas
	<b>2</b>	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación
	<b>3</b>	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua
<b>3</b>	<b>1</b>	Las válvulas de bloqueo se encuentran en su posición cerradas
	<b>2</b>	Hay un bloqueo en la configuración de la tubería del sistema extinción de CO2
	<b>3</b>	No hay suministro de CO2 suficiente desde la fuente principal de almacenamiento

		<b>4</b>	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)
		<b>5</b>	Hay una falla en los latiguillos de descarga
		<b>6</b>	Hay fuga en la válvula mide del cilindro
<b>2</b>	<b>1</b>		Hay una falla en los latiguillos de descarga
		<b>2</b>	Hay fuga en la válvula kidde del cilindro
		<b>3</b>	Hay un bloqueo que hace que ciertos puntos de la red se sobren presuricen, ocasionando fallas.
		<b>4</b>	Se desprendió el acople de uno de los accesorios de la tuberías
		<b>5</b>	Se desajusto uno de los dispositivos de salida de la red de extinción de CO2
<b>3</b>	<b>1</b>		Las válvula de bloqueo se encuentra en posición cerrada
		<b>2</b>	Hay una fuga total antes de las boquillas de salida
		<b>3</b>	Hay un bloqueo en el arreglo de tubería de CO2
		<b>4</b>	Las boquillas de salida se encuentran bloqueada
		<b>5</b>	Los cilindros de CO2 se encuentras descargados.
<b>4</b>	<b>1</b>		Hay fugas dentro del recinto protegido
		<b>2</b>	La cantidad de CO2 dentro de lo cilindros no es suficiente
		<b>3</b>	Hay fugas dentro de la red de extinción de incendios
		<b>4</b>	El sistema de cerramientos no se encuentra sellado
<b>5</b>	<b>1</b>		Las válvula de bloqueo se encuentra en posición cerrada
		<b>2</b>	Hay una fuga total antes de las boquillas de salida
		<b>3</b>	Hay un bloqueo en el arreglo de tubería de CO2
		<b>4</b>	Las boquillas de salida se encuentran bloqueada
		<b>5</b>	Los cilindros de CO2 se encuentras descargados.
		<b>6</b>	No hay activación mediante el módulo de control
<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	Hay aberturas en las paredes corta humo dentro del sistema de cerramientos
		<b>2</b>	El sistema de extracción es insuficiente
<b>2</b>	<b>1</b>		Hay aberturas en las paredes corta humo dentro del sistema de cerramientos
		<b>2</b>	Hay fallas en los muros compartimentados.
		<b>3</b>	El sistema de extinción es insuficiente
<b>3</b>	<b>1</b>		Hay problemas en dispositivo de activación de la señal de encendido de motor.
		<b>2</b>	Las cortinas se encuentran bloqueadas
		<b>3</b>	Hay fallas en el motor de la puerta
		<b>4</b>	La cadena de tracción se encuentra averiada.
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	Hay aberturas en las puertas corta humo dentro del sistema de cerramientos
		<b>2</b>	Una de las puertas se encuentra abiertas
		<b>3</b>	El sistema de cerrado automático de las puertas se encuentra averiado
<b>2</b>	<b>1</b>		El motor de la extracción se encuentra averiado
		<b>2</b>	Las rejillas de succión se encuentran bloqueadas
		<b>3</b>	Hay bloqueo dentro de la red de ductos
		<b>4</b>	No se activó la señal de salida para la activación del sistema de extracción



<b>3</b>	<b>1</b>	No se activó la señal de salida para la activación del sistema de extracción
	<b>2</b>	La señal de humo no está llegando hasta el panel
	<b>3</b>	Hay una avería en el lazo de comunicación



Tabla 34. Evaluación índice NPR

F	F	M	MODO DE FALLA	O	Kfo (oculto)		Ksf (seguridad)		Kma (ambiente)		Kic (operacional)		Kor (reparacion)		Koc (imagen)		S	R = O x S
					0,15		0,2		0,15		0,2		0,3		O	Koc x OC		
					F	Kfo x FO	SF	Ksf x SF	MA	Kma x MA	IC	Kic x IC	OR	Kor x OR				
					O										C			
1	1	1	El panel se encuentra averiado	1	1	0,15	1	0,2	0	0	3	0,6	3	0,9	1	0	1,85	1,85
		2	Hay una falla en la C.P.U del panel	1	1	0,15	0	0	0	0	3	0,6	3	0,9	1	0	1,65	1,65
		3	No hay suministro de potencia en el panel.	2	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	2	0,6	1	0	0,95	1,9
		4	No hay comunicación entre los dispositivos de inicio y la C.P.U	2	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,3
		5	No hay comunicación entre la C.P.U y los dispositivos de salida del panel.	2	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	1	0	0,65	1,3
2	1	1	El sensor de humo se encuentra inhabilitado	2	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	0,9
		2	El sensor de humo se encuentra desconfigurado	1	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	0,45
		3	No hay comunicación entre el sensor de humo y el panel	2	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	0	0	1	0	0,35	0,7
		4	La señal de humo no está llegando hasta el sensor de humo.	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
		5	El sensor de humo esta averiado	3	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,45
3	1	1	El sensor de temperatura se encuentra inhabilitado	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
		2	El sensor de temperatura se encuentra desconfigurado	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
		3	No hay comunicación entre el sensor de temperatura y el panel	1	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	1	0	0,65	0,65
		4	El sensor de temperatura se encuentra mal ubicado	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

	5	El sensor de temperatura esta averiado	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
4	1	La estación manual de alarma se encuentra inhabilitada	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	2	La estación manual de alarma se encuentra desconfigurada	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	3	No hay comunicación entre la estación manual de alarma y el panel	2	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	1	0	0,65	1,3
	4	La estación manual de alarma esta averiada	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
5	1	La estación manual de descarga se encuentra inhabilitada	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	2	La estación manual de descarga se encuentra desconfigurada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	3	No hay comunicación entre la estación manual de descarga y el panel	2	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	1	0	0,65	1,3
	4	La estación manual de descarga esta averiada	1	2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,3	0,3
6	1	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel	1	1	0,15	0	0	0	0	2	0,4	1	0,3	1	0	0,85	0,85
	2	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto	2	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,3
	3	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito	2	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	0,9
7	1	Hubo un fallo en la alimentación AC y también un fallo en las baterías.	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	2	El lazo de potencia está siendo interrumpido con un circuito abierto	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	3	El lazo de potencia está siendo interrumpido con un corto circuito	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
8	1	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel	1	1	0,15	0	0	0	0	2	0,4	1	0,3	1	0	0,85	0,85
	2	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	3	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito	2	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,3
	4	Hay un error en la programación del panel	1	1	0,15	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	1	0	0,65	0,65
	5	Hay problemas con los módulos de control	3	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	1,35
9	1	Hay un problema con la tarjeta de lazo del panel	1	1	0,15	0	0	0	0	2	0,4	3	0,9	1	0	1,45	1,45

		<b>2</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>3</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito	2	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>
		<b>4</b>	Hay problemas con los módulos de monitoreos	3	3	<b>0,45</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,45</b>	<b>1,35</b>
	<b>10</b>	<b>1</b>	Hay un error en la programación del panel	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0,2</b>	1	<b>0,3</b>	1	<b>0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,65</b>
		<b>2</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un circuito abierto	2	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>
		<b>3</b>	El lazo de comunicación está siendo interrumpido con un corto circuito	2	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>
		<b>4</b>	Hay problemas con los módulos de control	3	3	<b>0,45</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,45</b>	<b>1,35</b>
<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>2</b>	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>3</b>	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>4</b>	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)	1	3	<b>0,45</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,45</b>	<b>0,45</b>
	<b>2</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>2</b>	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>3</b>	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>4</b>	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)	1	3	<b>0,45</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,45</b>	<b>0,45</b>
		<b>5</b>	Hay una fuga dentro del arreglo de tubería del sistema hidráulico	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	2	<b>0,6</b>	1	<b>0</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>
	<b>3</b>	<b>1</b>	Se desprendió el acople de una de las tuberías	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>2</b>	Se desajusto uno de los dispositivos de salida de la red hidráulica	2	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>
		<b>3</b>	Una de las válvulas de drenaje se encuentra en posición abierta	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
	<b>4</b>	<b>1</b>	Las válvulas de corte se encuentran en posición cerrada.	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>

	2	La tubería se encuentra bloqueada	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
5	1	Las válvulas reguladoras de la red se encuentran averiadas	2	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,3
	2	Las válvulas reguladoras de la red están descalibradas	1	2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,3	0,3
	3	Hay un bloqueo en alguno de los puntos de la red.	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
6	1	Hay fallas en los soportes de la red hidráulica	2	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	0,9
7	1	Las válvulas de corte se encuentran en su posición cerradas	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	2	Hay un bloqueo en la tubería de alimentación	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	3	No hay suministro de agua desde la fuente principal de agua	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
3	1	1 Las válvulas de bloqueo se encuentran en su posición cerradas	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	2	Hay un bloqueo en la configuración de la tubería del sistema extinción de CO2	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	3	No hay suministro de CO2 suficiente desde la fuente principal de agua	2	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,3
	4	No se activa la señal de salida correspondiente (módulo de control)	2	3	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,45	0,9
	5	Hay una falla en los latiguillos de descarga	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	6	Hay fuga en la válvula kidde del cilindro	1	1	0,15	2	0,4	1	0,15	0	0	3	0,9	1	0	1,6	1,6
2	1	Hay una falla en los latiguillos de descarga	1	1	0,15	2	0,4	1	0,15	0	0	0	0	1	0	0,7	0,7
	2	Hay fuga en la válvula kidde del cilindro	1	1	0,15	2	0,4	1	0,15	0	0	3	0,9	1	0	1,6	1,6
	3	Hay un bloqueo que hace que ciertos puntos de la red se sobre presuricen, ocasionando fallas.	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15
	4	Se desprendió el acople de uno de los accesorios de la tuberías	1	1	0,15	2	0,4	1	0,15	0	0	0	0	1	0	0,7	0,7
	5	Se desajusto uno de los dispositivos de salida de la red de extinción de CO2	1	1	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,15	0,15



	<b>3</b>	<b>1</b>	Las válvula de bloqueo se encuentra en posición cerrada	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>2</b>	Hay una fuga total antes de las boquillas de salida	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	2	<b>0,6</b>	1	<b>0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
		<b>3</b>	Hay un bloqueo en el arreglo de tubería de CO2	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>4</b>	Las boquillas de salida se encuentran bloqueada	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>5</b>	Los cilindros de CO2 se encuentran descargados.	2	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,3</b>
	<b>4</b>	<b>1</b>	Hay fugas dentro del recinto protegido	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0,3</b>	1	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
		<b>2</b>	La cantidad de CO2 dentro de lo cilindros no es suficiente	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>3</b>	Hay fugas dentro de la red de extinción de incendios	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	2	<b>0,6</b>	1	<b>0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
	<b>5</b>	<b>1</b>	Las válvula de bloqueo se encuentra en posición cerrada	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>2</b>	Hay una fuga total antes de las boquillas de salida	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	2	<b>0,6</b>	1	<b>0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
		<b>3</b>	Hay un bloqueo en el arreglo de tubería de CO2	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>4</b>	Las boquillas de salida se encuentran bloqueada	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>5</b>	Los cilindros de CO2 se encuentran descargados.	1	1	<b>0,15</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
		<b>6</b>	No hay activación mediante el módulo de control	1	3	<b>0,45</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,45</b>	<b>0,45</b>
	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b> Hay aberturas en las paredes corta humo dentro del sistema de cerramientos	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
		<b>2</b>	El sistema de extracción es insuficiente	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>2</b>	<b>1</b>	Hay aberturas en las paredes corta humo dentro del sistema de cerramientos	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
		<b>2</b>	Hay fallas en los muros compartimentados.	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
		<b>3</b>	El sistema de extinción es insuficiente	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>3</b>	<b>1</b>	Hay problemas en dispositivo de activación de la señal de encendido de motor.	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>

	<b>2</b>	Las cortinas se encuentran bloqueadas	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>3</b>	Hay fallas en el motor de la puerta	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	4	<b>0,8</b>	4	<b>1,2</b>	1	<b>0</b>	<b>2,55</b>	<b>2,55</b>
	<b>4</b>	La cadena de tracción se encuentra averiada.	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	4	<b>0,8</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>1,35</b>	<b>1,35</b>
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b> Hay aberturas en las puertas corta humo dentro del sistema de cerramientos	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	4	<b>0,8</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>1,35</b>	<b>1,35</b>
	<b>2</b>	Una de las puertas se encuentra abiertas	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>3</b>	El sistema de cerrado automático de las puertas se encuentra averiado	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0,2</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>
	<b>2</b>	<b>1</b> El motor de la extracción se encuentra averiado	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	4	<b>0,8</b>	4	<b>1,2</b>	1	<b>0</b>	<b>2,55</b>	<b>2,55</b>
	<b>2</b>	Las rejillas de succión se encuentran bloqueadas	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>3</b>	Hay bloqueo dentro de la red de ductos	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>4</b>	No se activó la señal de salida para la activación del sistema de extracción	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>3</b>	<b>1</b> No se activó la señal de salida para la activación del sistema de extracción	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>
	<b>2</b>	La señal de humo no está llegando hasta el panel	1	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0,3</b>	1	<b>0</b>	<b>0,85</b>	<b>0,85</b>
	<b>3</b>	Hay una avería en el lazo de comunicación	2	1	<b>0,15</b>	2	<b>0,4</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0,2</b>	0	<b>0</b>	1	<b>0</b>	<b>0,75</b>	<b>1,5</b>

## 6.2. ANEXO 2:

En el anexo 2 se reporta el código utilizado para el cálculo de la función de densidad de probabilidad para cada uno de los componentes:

### # Carga de librerías

```
library(pacman)
pacman::p_load(MASS, sparklyr, dplyr, DBI, stringi, stringr,
               lubridate, univariateML, ggplot2,
               data.table, tidydatatutor, purrr, glue)
```

### # Seleccionamos atributos de interés

```
confiabilidad_select <- spark_compendio %>%
  filter(Clase_de_estado %in% c("Problema", "Anulado", "Supervision")) %>%
  filter(Estado %!in% c("Reconocido Disp Deshabilit", "*Problema", "*Reconocido
Problema", "Reconocido Problema",
                      "*Alarma de Supervision", "*Reconocido Alarma de Supervision",
                      "Reconocido Alarma de Supervision")) %>%
  mutate(Fecha = str_sub(Hora_local_real, 1, 10)) %>%
  sparklyr::select(Fecha, Descripcion_del_punto, Estado, Clase_de_estado) %>%
  mutate(Fecha = to_date(Fecha, "dd/MM/yyyy")) %>%
  filter(Fecha >= '2018-01-01') %>%
  filter(Fecha < '2021-01-01') %>%
  group_by(Fecha, Descripcion_del_punto, Estado, Clase_de_estado) %>%
  summarise(Conteo = n()) %>%
  mutate(Descripcion_del_punto = str_to_upper(Descripcion_del_punto)) %>%
  arrange(Fecha)
```

```
head(confiabilidad_select) # Para inspeccionar primeras filas
```

### # Pipeline reemplazos en puntos

#### ## Establecemos vectores de patrones y reemplazos

```
patron <- c(".*VESDA.*", ".*DAMPER.*", ".*PIM.*", ".*SPK.*", "FALLO AC.*",
           ".*AMPS.*", ".*Battery.*", ".*BEAM BD.*", ".*CAMPANA CO2.*",
           ".*CIERRE PUERTA ENROL. TRAF0.*", ".*CORNETA.*", ".*CORNETAS.*",
           ".*CORTINA HUMO #.*", ".*DESCARGA.*",
           ".*ESMAN ALARMA.*", ".*EST MAN .*", ".*ESTROBO.*", ".*EXTRACTOR VE.*",
           ".*FALLA VARIADOR.*", ".*LAZO .*", ".*HUMO FOTOELECTRICO.*", ".*FOTO
PISO.*",
           ".*GABINETE G.*", ".*MARIPOSA VM.*", ".*PUERTA ABIERTA REFUGIO.*",
```



```
".*PUERTA REFUGIO RG.*", ".*SENSOR FLUJO.*", ".*ALARMA CAMARA.*",  
".*ALERTA NIVEL SN.*", ".*S PRESION.*")
```

```
reemplazo <- c("SENSOR HUMO ASPIRACION", "DAMPERS", "SENSOR LINEAL  
TEMPERATURA",  
"SISTEMA AUDIO EVACUACION", "FALLO AC", "FUENTE AUXILIAR",  
"BATERIAS", "SENSOR DE HUMO HAZ DE LUZ PROYECTADO",  
"CAMPANA CO2", "CERRAMIENTO TRAFOS", "CORNETAS", "CORNETAS",  
"CERRAMIENTO CORTA FUEGOS", "CABEZALES ELECTRICOS DE DESCARGA",  
"ESTACION MANUAL", "ESTACION MANUAL",  
"ESTROBO DISPOSITIVOS DE NOTIFICACION", "VENTILADORES",  
"VENTILADORES", "LAZO DE COMUNICACION", "SENSORES DE HUMO  
FOTOELECTRICO",  
"SENSORES DE HUMO FOTOELECTRICO", "GABINETES DE MANGUERAS",  
"VALVULAS MARIPOSA", "PUERTA REFUGIO", "PUERTA REFUGIO",  
"SENSORES DE FLUJO", "CAMARA REFUGIO", "ALERTA NIVEL SN", "S PRESIÓN")
```

**##### Análisis #####**

**# Representación por histogramas de los datos de fallas**

```
information_criterion %>%  
  unnest(data) %>%  
  tidyr::uncount(Cantidad) %>%  
  filter(Punto == punto) %>%  
  ggplot(aes(x = Dias)) +  
    geom_histogram(fill = "chartreuse3", color = 1) +  
    scale_x_continuous(breaks = scales::pretty_breaks(n = 8)) +  
    scale_y_continuous(breaks = scales::pretty_breaks(n = 8)) +  
    labs(title = "Distribución de fallas diarias",  
         x = "Días",  
         y = "Frecuencia") +  
    #geom_density(lwd = 1.2, color = 2) +  
    theme_bw() +  
    theme(plot.title = element_text(face = "bold", hjust = 0.5, size = 14),  
          text = element_text(size = 16),  
          axis.title.x = element_text(face = "bold"),  
          axis.title.y = element_text(face = "bold"),  
          strip.text = element_text(size = 14),  
          axis.ticks.length = unit(.30, "cm"),  
          strip.background = element_rect(fill = "darkolivegreen2"))
```

**# Comparación mediante criterios de información**

**# Se emplean AIC y BIC**

**# Se comparan distribuciones con dominio [0, +inf]**



### # Función para evaluar el AIC de varios modelos

```
function_aic <- function(x){try(tibble::rownames_to_column(AIC(
  mlbetapr(x),
  mlexp(x),
  mlinvgamma(x),
  mlgamma(x),
  mllnorm(x),
  mlrayleigh(x),
  mlinvgauss(x),
  mlweibull(x),
  mlinvweibull(x)
```

### # Función para evaluar el BIC de varios modelos

```
function_bic <- function(x){try(tibble::rownames_to_column(BIC(
  mlbetapr(x),
  mlexp(x),
  mlinvgamma(x),
  mlgamma(x),
  mllnorm(x),
  mlrayleigh(x),
  mlinvgauss(x),
  mlweibull(x),
  mlinvweibull(x))))
```

```
# Función para obtener el nombre de modelo con segundo mejor puntaje
minn <- function(x) which(x == sort(x, decreasing = F)[2])
```

### # Mejores ajustes empleando AIC y BIC

```
information_criterion <- confiabilidad_nest %>%
  filter(Punto %!in% "CAMARA REFUGIO") %>%
  unnest(data) %>%
  tidyr::uncount(Cantidad) %>%
  group_by(Punto) %>%
  nest() %>%
  mutate(AIC_test = map(.x = data,
    .f = ~function_aic(.x$Dias),
    na.rm = T),
    BIC_test = map(.x = data,
    .f = ~function_bic(.x$Dias),
    na.rm = T)) %>%
  mutate(Max_AIC = map(.x = AIC_test,
    .f = ~sub("\\s*\\(.*", "", .x$rowname[which.min(.x$AIC)])),
    Max_BIC = map(.x = BIC_test,
    .f = ~sub("\\s*\\(.*", "", .x$rowname[which.min(.x$BIC)])),
```

```
Max2_AIC = map(.x = AIC_test,
               .f = ~sub("\\s*\\(.*", "", .x$rowname[minn(.x$AIC)])),
Max2_BIC = map(.x = BIC_test,
               .f = ~sub("\\s*\\(.*", "", .x$rowname[minn(.x$BIC)]))
```

**#####Mapeo iterativo de imágenes #####**

```
confiabilidad_plots <-
confiabilidad_replace %>%
filter(Punto %in% reemplazo) %>%
tidyr::uncount(Cantidad) %>%
group_by(Punto) %>%
nest() %>%
mutate(plot = purrr::map2(
  data, Punto,
  ~ ggplot(data = .x, aes(x = Dias)) +
  geom_histogram(fill = "chartreuse3", color = 1) +
  scale_x_continuous(breaks = scales::pretty_breaks(n = 8)) +
  scale_y_continuous(breaks = scales::pretty_breaks(n = 8)) +
  #ggtitle(glue("Histograma: {.y}")) +
  labs(title = glue("Distribución de fallas diarias: {.y}"),
       x = "Días",
       y = "Frecuencia") +
  #geom_density(lwd = 1.2, color = 2) +
  theme_bw() +
  theme(plot.title = element_text(face = "bold", hjust = 0.5, size = 14),
        text = element_text(size = 16),
        axis.title.x = element_text(face = "bold"),
        axis.title.y = element_text(face = "bold"),
        strip.text = element_text(size = 14),
        axis.ticks.length = unit(.30, "cm"),
        strip.background = element_rect(fill = "darkolivegreen2"))
```

**# Para obtener parámetros de distribución**

```
mlweibull(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlweibull(criterio_filter$Dias)
mlrayleigh(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlrayleigh(criterio_filter$Dias)
mlgamma(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlgamma(criterio_filter$Dias)
mlexp(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlexp(criterio_filter$Dias)
mlnorm(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlnorm(criterio_filter$Dias)
mlbetapr(criterio_filter$Dias)
```

```
distribucion <- mlbetapr(criterio_filter$Dias)
mlinvgauss(criterio_filter$Dias)
distribucion <- mlinvgauss(criterio_filter$Dias)
```

### 6.3. ANEXO 3.

A continuación se registran los histogramas realizados para cada uno de los componentes analizados en el documento:

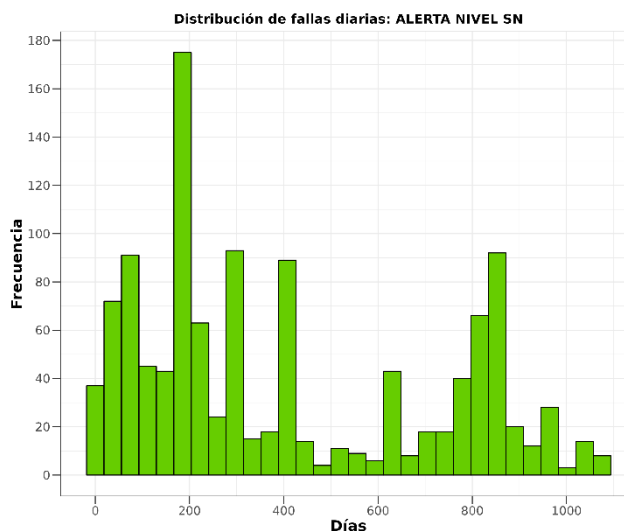


Ilustración 23. Histograma ALERTA NIVEL

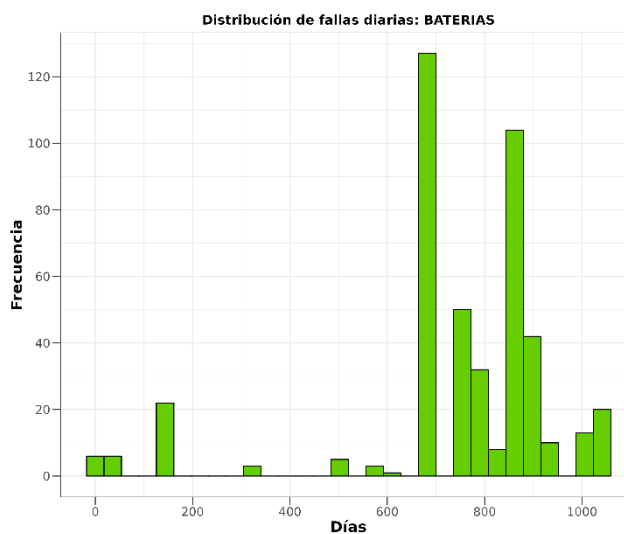


Ilustración 24. Histograma BATERIAS

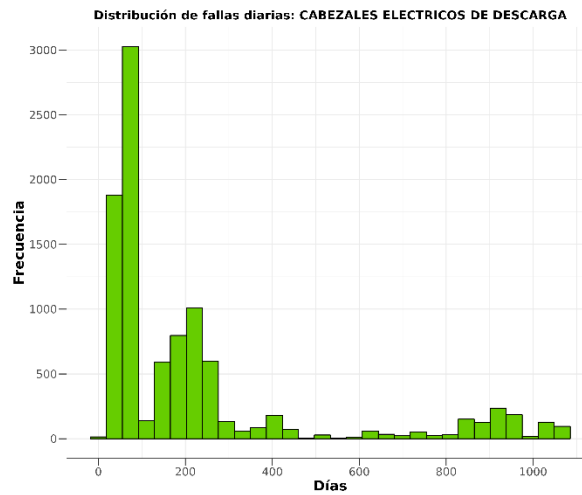


Ilustración 25. Histograma CABEZALES

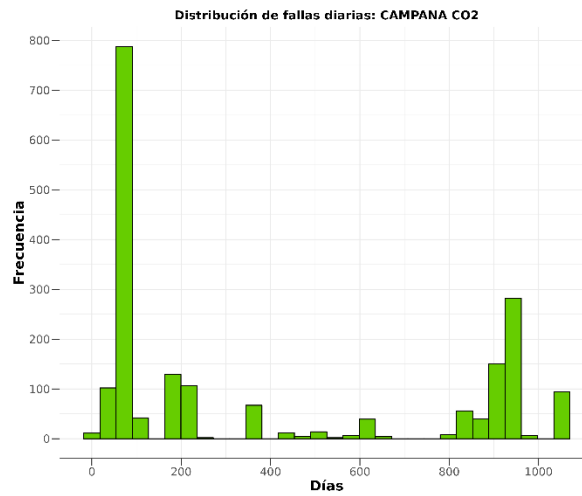


Ilustración 26

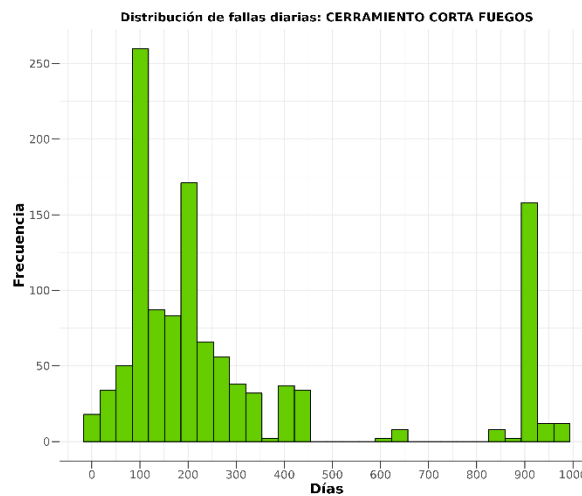


Ilustración 27. Histograma CERRAMIENTO CORTAFUEGOS

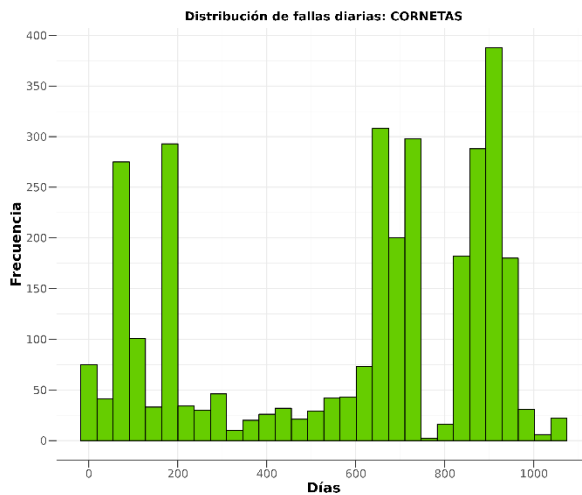


Ilustración 28. Histograma CORNETAS

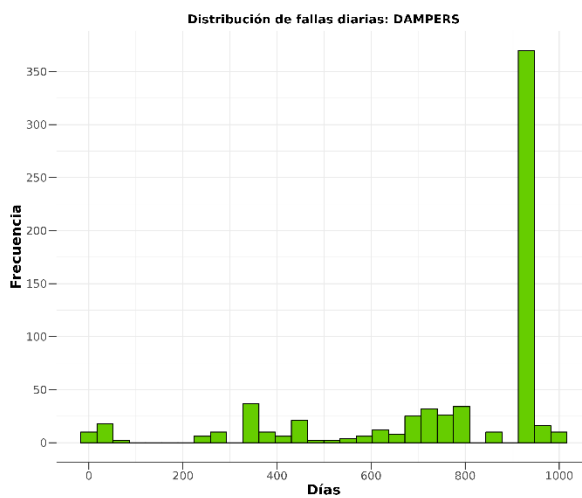


Ilustración 29. Histograma DAMPERS

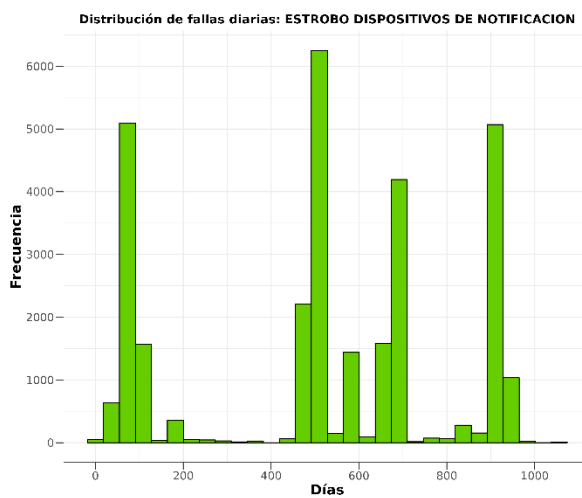


Ilustración 30. Histograma ESTROBO

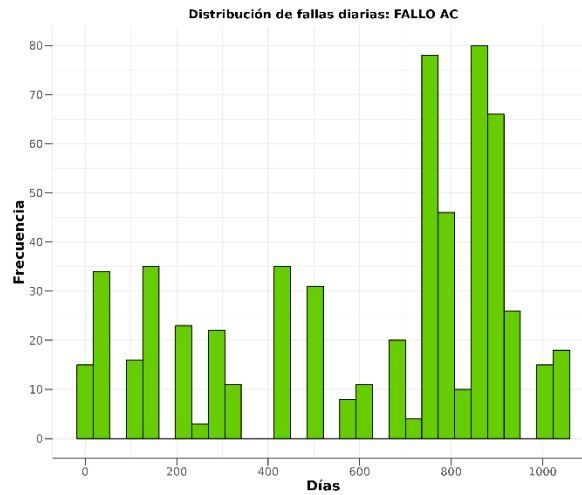


Ilustración 31. Histograma FALLO AC

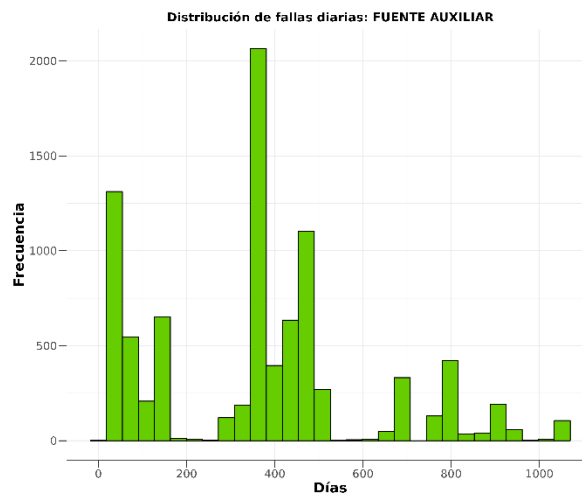


Ilustración 32. Histograma FUENTE AUXILIAR

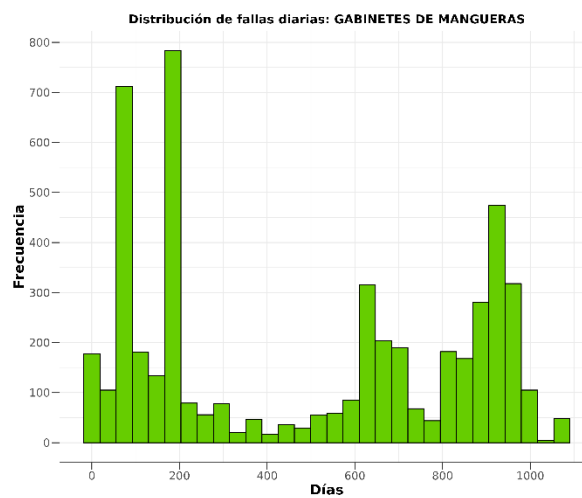


Ilustración 33. Histograma GABINETES

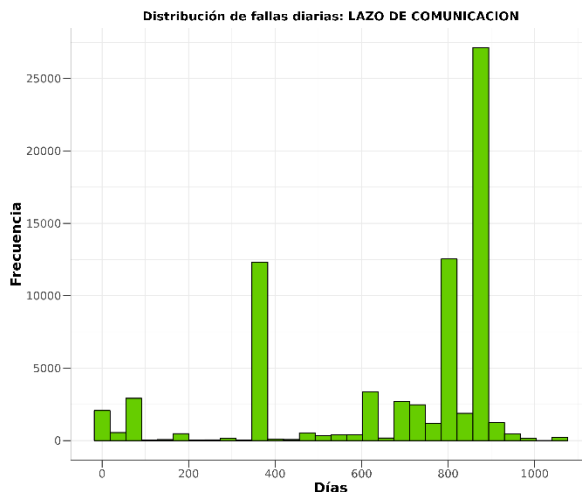


Ilustración 34. Histograma LAZO DE COMUNICACIÓN

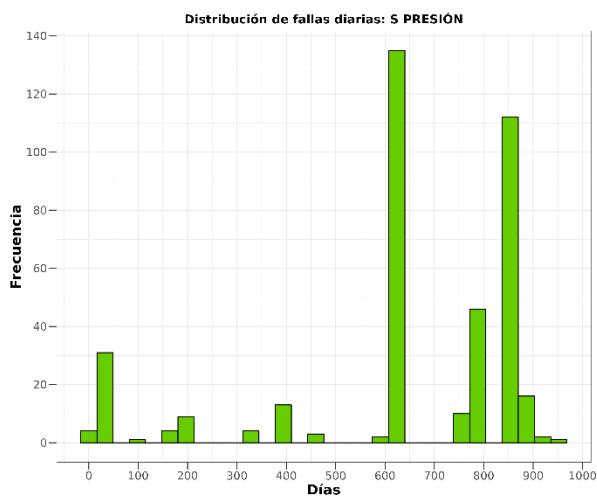


Ilustración 35. Histograma S. PRESIÓN

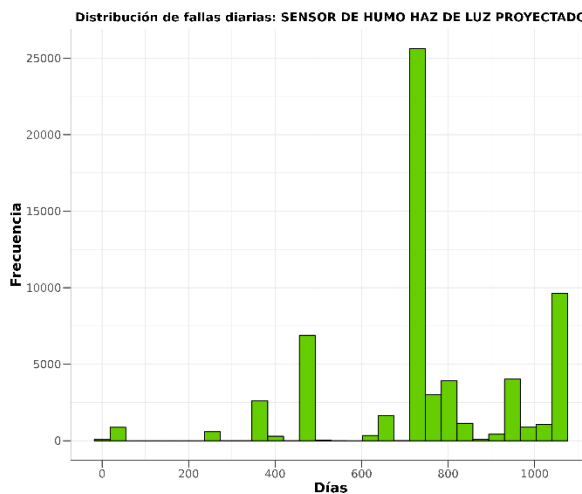


Ilustración 36. Histogramas HAZ DE LUZ RPOYECTADO

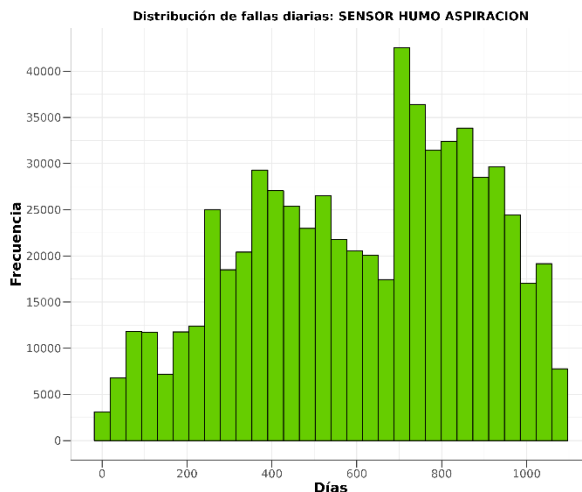


Ilustración 37. Histograma SENSOR HUMO ASPIRACIÓN

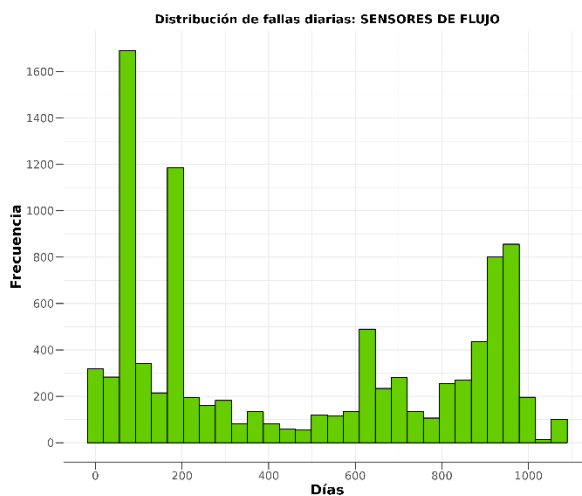


Ilustración 38. Histograma SENSORES DE FLUJO

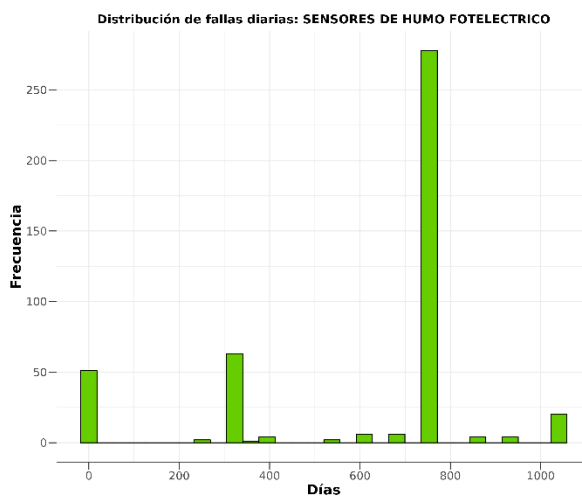


Ilustración 39. Histograma SENSOR DE HUMO FOTOELÉCTRICO



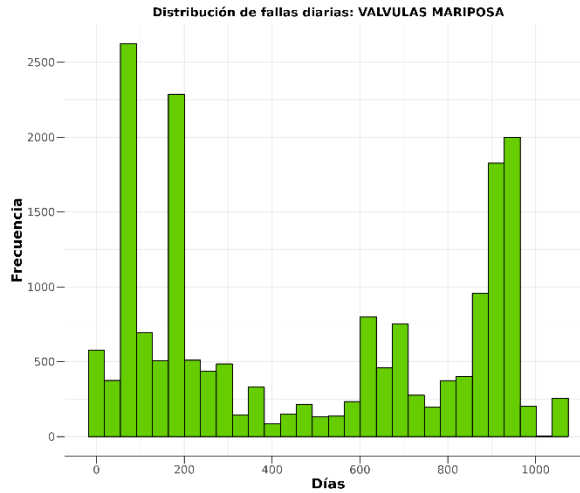


Ilustración 40. Histograma VALVULA MARIPOSA

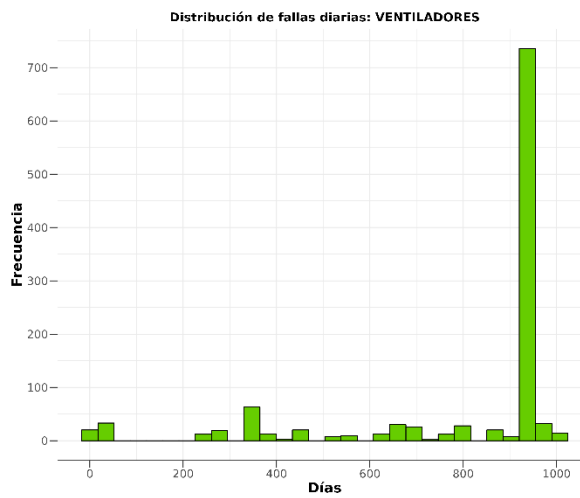


Ilustración 41. Histograma VENTILADORES

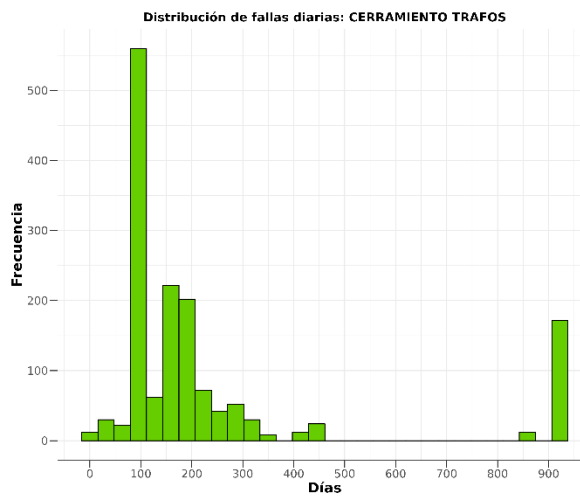


Ilustración 42. Histograma CERRAMIENTO TRAFOS

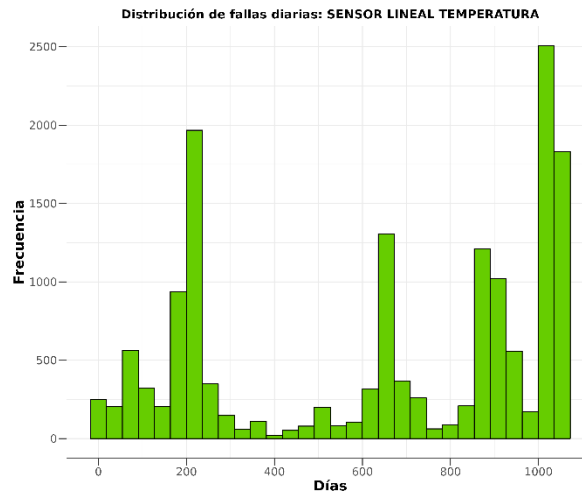


Ilustración 43. Histograma SENSOR LINEAL TEMPERATURA

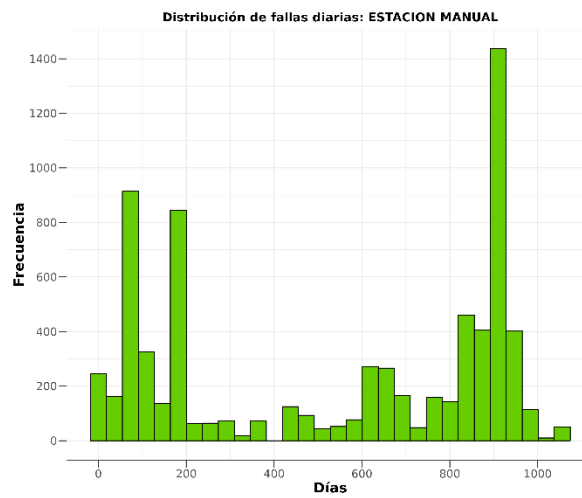


Ilustración 44. Histograma ESTACIÓN MANUAL DE ALARMA

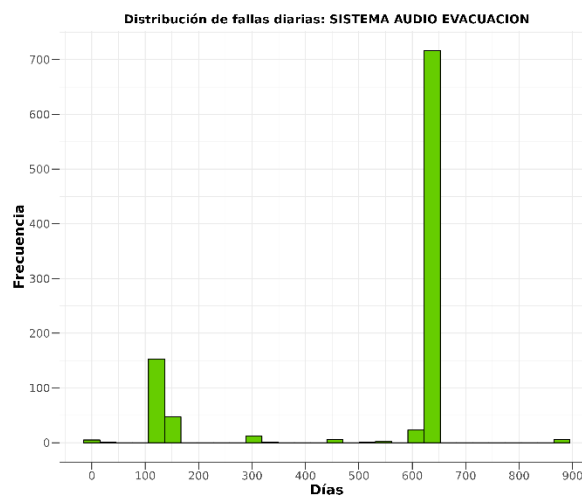


Ilustración 45. Histograma SENSORES AUDIO EVACUACIÓN

## 7. Bibliografía:

- [1] Y. Mendez, *SITUACIÓN ACTUAL DEL MERCADO LARINOAMERICANO DE SISTEMAS DE DETECCIÓN CONTRA INCENDIOS*, NFPA JOURNAL, 2007.
- [2] A. Macias, «El proceso de adopción en América Latina,» NFPA JOURNAL, 2015.
- [3] D. A. MERCADO, «Las tres hidroeléctricas que pusieron a sufrir a EPM este cuatrienio,» EL TIEMPO, 2019.
- [4] Contraloría general de Medellín, *Boletín N° 20*, Medellín, 2016.
- [5] J. J. C. Estrada, «Plan Maestro de un sistema contra incendios de la casa de maquinas en la Central Hidroeléctrica Baba,» Universidad Guayaquil, Guayaquil, 2020.
- [6] M. A. CÁRCAMO, «TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN DE INCENDIOS,» BARCELONA, 2007.
- [7] A. G. Jaramillo Bustamante, «PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE DE LA PROVINCIA DE LOJA,» LOJA-ECUADOR, 2012.
- [8] J. C. O. J. P. L. Julian Cariilo, «Evaluación de las estadísticas de incendios estructurales en Colombia,» *REVISTA EIA*, vol. 19, nº 38, pp. 1-18, 2022.
- [9] J. MONCADA, «Documentación y estadísticas de incendios,» *NFPA JOURNAL*, 2014.
- [10] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTA,» 2010.
- [11] UPME, «PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGETICO,» BOGOTA, 2015.
- [12] D. Drysdale, *Introduction to fire Dynamics*, 1985.
- [13] C. Grant, *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*.
- [14] P. E. Eyenga, *SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE UN PARQUE DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS PETROLIFEROS*, 2015.
- [15] A. R. L. NIÑO, *DESARROLLAR MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIO PARA LA EMPRESA ING FIRE SAS., PAMPLONA*, 2021.

- [16] V. E. R. GUERRERO, «PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS CONTRAINCENDIO EN LA EMPRESA CONSTRUCTORA,» San José, Costa rica, Febrero 2020.
- [17] B. Y. F. MARÍA, «DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS EN BASE A LA NORMATIVA NFPA, PARA LA EMPRESA METALURGICA ECUATORIANA ADELCA S.A,» FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, RIOBAMBA – ECUADOR, 2013.
- [18] M. S, The reliability and availability of heating, ventilation and air condition, 2004.
- [19] E. A. Elsayed, Reliability Engineering.
- [20] A. G. A. MASS, «Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución,» Santiago de Chile, 1994.
- [21] C. S. E. E. L. James E Breneman, «INTRODUCTION TO RELIABILITY ENGINEERING».
- [22] J. A. Acuña, Ingeniería de la confiabilidad, 2003.
- [23] C. J. Zapata, «Confiabilidad en Ingeniería,» Universidad tecnología de Pereira, Pereira, 2011.
- [24] I. E. H. C. -. I. E. Navarrete, «Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento,» Cuba, 2001.
- [25] R. T. Al Weber, «KEY PERFORMANCE,» 2005.
- [26] M. H. A. J. C. ,. L. D. ,. R. J. A. ,. T. O. NAVARRETE, «Gestión y Calidad del Mantenimiento,» 1998.
- [27] J. D. P. Cortiñas, «Propuesta de Indicadores de Mantenimiento para el Control del mantenimiento en el Hotel Dhawa,» 2017.
- [28] R. T.-A. D. M.-J. José R. Aguilar-Otero\*, «Análisis de modos de falla, efectos y criticidad para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad,» 2010.
- [29] A. M. Lupi, «UNA HERRAMIENTA DE MANEJO O UN ARMA CONTRA EL SUELO.».
- [30] J. P. P. RIED, «GENERAR ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS CONTRA INCENDIO EN CAMPUS SAN JOAQUÍN,» 2017.
- [31] M. Jishkariani, «Fault Tree Analysis(FTA) For Energy Enterprises».
- [32] H. A. V. Rafael Ignacio Perez Uribe, «El uso del método MICMAC, para la definición de procesos de intervención en las organizaciones,» *Revista Científica de la escuela de posgrados de la fuerza aerea colombiana*.
- [33] R. M. F. M. F. R. Michel Godet, «La caja de herramientas de la perspectiva estrategica,» *Centre national de l'entrepreneuriat*, p. 102, 2000.

- [34] G. M. d. S. Fernando Guevara, «RCM Application for Availability Improvement of Gas Turbines Used in Combined Cycle Power Stations,» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. Vol 6, nº 5, 2008.
- [35] A. Scipioni, «FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company,» *FOOD CONTROL*, vol. 13, nº 8, pp. 495-501, 2002.
- [36] S. Aksu, «Evaluación de las consecuencias de daños en todo el compartimento en barcos y embarcaciones en altamar utilizando árboles de fallas con atribución de ubicación del sistema,» Australia, 2019.
- [37] S. Aksu, «Assessing compartment-wide damage consequences in ships and offshore vessels using Fault Trees with System Location Attribution,» China, 2019.
- [38] W. Limin, *Fault Tree Analysis for Oil Tank Fire and Explosion*, Langfang, Hebei Province, China: Department of fire fighting command academy, 2010.
- [39] F. Y. F. W. Lipeng Wang, «“FMEA-CM Evaluación cuantitativa basada en procesos industriales (Un estudio de casa de una planta de conversión de carbón en metanol en china,» China, 2020.
- [40] C. E. S. Juan Felipe Arroyave, «Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo,» *Scientia et technica Año XIII*, nº 37, 2007.
- [41] M. P. u. ., A. k. s. ., S. M. H. u. Mohammad Javad Jafari un, «Evaluación de la confiabilidad de los sistemas de alarma contra incendios mediante redes dinámicas bayesianas y análisis de árbol de fallas difusas,» Germany, 2020.
- [42] b. L. L. B. a. M. R. M. Marcos Coelho Maturanaa, «Application of Fire PSA in Defining System Reliability Criteria: Detection and Suppression Systems in I&C Electrical Panel Room,» Sao Paulo, Brazil.
- [43] N. L. E. C. Mirna de los Angeles Trigueros Gutierrez, «Propuesta para un plan estrategico de las empresas AlertSys seguridad electronica ubicada en la ciudad de Managua,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (FACULTAD DE CIENCIAS Y SISTEMAS), MANAGUA, 2019-2022.
- [44] D. M. Y. J. Zhen Zhou, «Constructing Bayesian Network by Integrating FMEA With FTA,» Harbin, China, 2014.
- [45] F. M. P. Santa Palella Stracuzzi, *Metodología de la investigación Cuantitativa*, Caracas: FEDUPEL, 2012.
- [46] P. J. SALINAS, «METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTIFICA,» UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, MERIDA. VENEZUELA.



- [47] G. T. G. Karla Saenz Lopez, Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales., MEXICO DF: TIRANT HUMANIDADES MEXICO, 2014.
- [48] G. D. C. Delgado, «ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE IMPACTOS CRUZADOS MIC MAC APLICADO A MANTENIMIENTO,» UNIVERSIDAD EAFIT, MEDELLÍN, 2014.
- [49] E. J, *Reliability Modeling in electrical power system*, 1980.
- [50] J. A. N. Rodriguez, Protección Contra incendios, Madrid -España: FC EDITORIAL.
- [51] C. A. V. SANCHEZ, «TÉCNICAS DE CONFIABILIDAD Y ANÁLISIS DE RIESGOS PARA SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS S/E,» MEDELLIN, 2021.
- [52] J. MONCADA, «¿Que tan grave es el problema de seguridad contra incendios en Latino america?,» *NFPA LATINO AMERICA*.
- [53] M. Godet, Manual de perspectiva estratégica, Tomo 2 , edición 2002, 2001.