

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### **Desarrollo de Unidad de Control de Alarma contra Incendio para mejorar el Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de Gas Licuado de Petróleo**

Para obtener el Título Profesional de:  
Ingeniero Mecatrónico

Elaborado por:

Waldo Rohtmans Flores Pantoja

 [0000-0001-8672-1234](https://orcid.org/0000-0001-8672-1234)

Asesor:

Ing. José Luis Becerra Felipe

 [0000-0001-5098-611X](https://orcid.org/0000-0001-5098-611X)

LIMA – PERÚ

2023

***Dedicatoria***

***El presente trabajo va dedicado***

***A mis padres Waldo y Soledad, por brindarme todo el apoyo posible  
para alcanzar esta meta, sin ustedes nada de esto sería posible.***

***A mis hermanas, Stacy y Hilary, esperando que este trabajo les sirva de  
Inspiración para alcanzar sus metas***

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mi familia por su motivación constante para alcanzar este objetivo.

A mi asesor, el Ing. José Becerra, por sus consejos y comentarios que permitieron la culminación de este trabajo.

Y a todas las personas que de alguna u otra forma me apoyaron en la realización de trabajo.

## Resumen

El presente trabajo de investigación comprende el desarrollo de una unidad de control de alarma contra incendio para la mejora del sistema de detección de incendio existente en una planta de envasado de gas licuado de petróleo (GLP) con el fin de prevenir la posibilidad de incendio, o reducir la magnitud de los daños.

En primer lugar, se realizó un listado de componentes del sistema contra incendio existente, determinándose que no cumple con la normativa local, representada por OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) e internacional, liderada por la NFPA (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego).

En segundo lugar, se analizó y se planteó el diseño del gabinete de control de sistema de detección, notificación y extinción (FACU), de tal manera que éste cumpla lo exigido por normatividad (Decreto Supremo N° 043-2007-EM Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos, NFPA 72 Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización) en sistemas contra incendio para obtener un sistema eficiente que, al ser requerido en caso de emergencia, consiga una respuesta óptima notificando y activándose en el tiempo adecuado (70 segundos), permitiendo la evacuación del personal de planta, consiguiendo evitar pérdidas humanas y económicas.

En tercer lugar, se analizaron las zonas críticas de la planta, donde se concentran las mayores probabilidades de peligro de incendio, con la finalidad de plantear la mejor ubicación de los instrumentos de detección, así como también las ubicaciones adecuadas de los equipos de activación y notificación de alarma.

Finalmente, se analizó el sistema contra incendio existente y proyectado para comparar la mejora en el beneficio de protección humana y patrimonial que se obtuvo con el nuevo sistema contra incendio, representada por el tiempo de respuesta del gabinete de control de sistema de detección, notificación y extinción.

Palabras claves: Sistema, incendio, gabinete, detector, flama, gas, estación, alarma, gas, petróleo.

## **Abstract**

The present research work includes the development of a fire alarm control unit for the improvement of the existing fire detection system in a liquefied petroleum gas (LPG) bottling plant in order to prevent the possibility of fire, or reduce the magnitude of the damage.

Firstly, a list of components of the existing fire protection system was made, determining that it does not comply with local regulations, represented by OSINERGMIN (Supervisory Body for Investment in Energy and Mining) and international regulations, led by the NFPA (National Association of Protection against the fire).

Secondly, the design of the control cabinet for the detection, notification and extinction system (FACU) was analyzed and proposed, in such a way that it complies with what is required by regulations (Supreme Decree No. 043-2007-EM Safety Regulation for Hydrocarbon Activities, NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code) in fire systems to obtain an efficient system that, when required in case of emergency, achieves an optimal response by notifying and activating in the appropriate time (70 seconds ), allowing the evacuation of plant personnel, avoiding human and economic losses.

Thirdly, the critical areas of the plant were analyzed, where the greatest probability of fire danger is concentrated, in order to propose the best location of the detection instruments, as well as the appropriate locations of the activation equipment and alarm notification.

Finally, the existing and projected fire-fighting system was analyzed to compare the improvement in the benefit of human and property protection that was obtained with the new fire-fighting system, represented by the response time of the detection, notification and system control cabinet. extinction.

Keywords: System, fire, cabinet, detector, flame, gas, station, alarm, gas, petroleum.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Introducción .....	xiii
Capítulo I. Introducción .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Descripción del problema de investigación .....	2
1.3 Objetivo del estudio .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.4 Antecedentes investigativos .....	6
1.4.1 Investigaciones internacionales .....	6
1.4.2 Investigaciones nacionales .....	9
Capítulo II. Marco teórico y conceptual .....	13
2.1 Marco teórico.....	13
2.1.1 Inicios de los Sistemas Contra Incendios.....	13
2.1.2 Objetivo del Diseño con Protección contra Incendios .....	14
2.1.3 Tipos de incendios y explosiones en una planta de envasado de GLP .....	15
2.1.4 Detección y Alarma de Incendio .....	16
2.1.5 Detectores con Sensor de Energía Radiante .....	18
2.1.6 Detectores de Flama .....	21
2.1.7 Detectores de Gas .....	24
2.1.8 Estaciones manuales de alarma .....	26
2.1.9 Unidad de Control de la Alarma de Incendios (FACU) .....	26
2.1.10 Aparatos de notificación .....	29
2.1.11 Red Operativa Local (LON) .....	30
2.1.12 Red Operativa Local (LON) adaptada para el Sistema Eagle Quantum Premier (EQP).....	30
2.1.13 Gas Licuado de Petróleo (GLP).....	31

2.2	Marco conceptual .....	34
	Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables .....	35
3.1	Hipótesis general .....	35
3.2	Operacionalización de variables .....	35
	Capítulo IV. Metodología de la investigación .....	36
4.1	Tipo y diseño de la investigación .....	36
4.1.1	Tipo de investigación .....	36
4.1.2	Diseño de la investigación .....	37
4.2	Unidad de análisis .....	37
4.3	Matriz de consistencia .....	38
	Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación .....	39
5.1	Introducción .....	39
5.2	Estado situacional .....	40
5.3	Recolección de datos para análisis .....	42
5.4	Especificación técnica de sistema de control .....	43
5.5	Especificación técnica de instrumentos de detección .....	45
5.6	Especificación técnica de instrumentos de notificación .....	49
5.7	Estudio de riesgo de sistema contra incendio existente .....	50
5.8	Diseño de la arquitectura y filosofía del sistema contra incendio .....	55
5.9	Cobertura de instrumentos de detección de flama y gas .....	65
5.10	Cobertura de instrumentos de notificación de alarma .....	67
5.11	Mejora en matriz cualitativa de riesgos .....	68
5.12	Tiempo de respuesta del sistema contra incendio .....	69
5.13	Costo de instrumentos para sistema contra incendio .....	71
6.1	Análisis – Mejora en la cobertura del Sistema contra incendios .....	72
6.2	Análisis – Mejora en matriz cualitativa de riesgos .....	73
6.3	Análisis - Mejora en tiempo de respuesta de sistema contra incendio .....	73
6.4	Contrastación de la hipótesis .....	74

Conclusiones .....	75
Recomendaciones .....	76
Referencias.....	77
Anexos.....	79



## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Daños a estimar en consecuencias de siniestros. ....	16
Tabla 2 Propiedades seleccionadas de GNL y GLP. ....	32
Tabla 3 Operacionalización de variables. ....	35
Tabla 4 Matriz de consistencia. ....	38
Tabla 5 Lista de equipos existentes del sistema contra incendio. ....	41
Tabla 6 Distribución de áreas y equipos del sistema contra incendio. ....	43
Tabla 7 Características del controlador del sistema contra incendio. ....	45
Tabla 8 Características del detector de flama del sistema contra incendio. ....	47
Tabla 9 Características del detector de gas del sistema contra incendio. ....	48
Tabla 10 Características de alarma sonora del sistema contra incendio. ....	50
Tabla 11 Características de alarma visual del sistema contra incendio. ....	50
Tabla 12 Índice de severidad. ....	51
Tabla 13 Índice de probabilidad. ....	51
Tabla 14 Matriz de riesgo cualitativo. ....	52
Tabla 15 Nivel de exposición al riesgo. ....	52
Tabla 16 Escenarios de riesgo. ....	53
Tabla 17 Resumen de matriz de evaluación cualitativa de riesgos. ....	55
Tabla 18 Diferencias entre panel de control SCI y PLC. ....	56
Tabla 19 Dispositivos de red de comunicación. ....	57
Tabla 20 Válvulas de diluvio. ....	57
Tabla 21 Niveles de alarmas de gas. ....	58
Tabla 22 Señales de alarma de detección de gas. ....	59
Tabla 23 Activación de válvulas de diluvio por detección de flama. ....	61
Tabla 24 Activación de válvulas de diluvio por estaciones manuales. ....	64
Tabla 25 Implementación de instrumentos por área/zona. ....	66
Tabla 26 Activación de válvulas de diluvio por estaciones manuales. ....	68

Tabla 27	Resumen de matriz de evaluación cualitativa de riesgos mejorada. ....	69
Tabla 28	Tiempos de respuesta de sistema contra incendio existente. ....	69
Tabla 29	Tiempos de respuesta de sistema contra incendio nuevo.....	69
Tabla 30	Costo de equipos de sistema contra incendio.....	71
Tabla 31	Análisis de equipos de detección existentes y proyectados por áreas. .	72
Tabla 32	.....	73
Tabla 33	Cuadro comparativo de tiempos de respuesta de alarma inicial y mejorada. ....	73
Tabla 34	Tiempo de respuesta para las etapas en una emergencia en el sistema contra incendio implementado.....	74

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Principales empresas operadoras de Plantas Envasadoras de GLP en Perú (% de capacidad total a diciembre de 2017). .....	2
Figura 2 Evolución anual de emergencias por incendios industriales período 2008 al 2018. ....	4
Figura 3 Zona afectada por el incendio en Refinería Amuay – Venezuela (agosto del 2012). ....	5
Figura 4 Panel de operador de sistema contra incendio propuesto. ....	7
Figura 5 Diagrama de control motor de diésel. ....	9
Figura 6 Impacto de la propuesta en los niveles de riesgo por áreas. ....	10
Figura 7 Diseño de solución propuesta. ....	11
Figura 8 Panel frontal de visualización con incidente en sector N1. ....	12
Figura 9 Primer rociador automático diseñado por Henry Parmelee - 1864. ....	13
Figura 10 Línea de tiempo para evaluación de tiempo de salida disponible – tiempo requerido. ....	18
Figura 11 Tamaño de incendio normalizado vs distancia al detector. ....	20
Figura 12 Detector de flama infrarrojo multiespectro. ....	22
Figura 13 Detector de gas infrarrojo. ....	25
Figura 14 Disposición típica de un sistema de alarma de incendio local. ....	28
Figura 15 Diagrama de bloque del Sistema Eagle Quantum Premier (EQP). ....	31
Figura 16 Áreas/zonas de planta de envasado de GLP. ....	40
Figura 17 Ubicación de equipos de detección existentes. ....	42
Figura 18 Cobertura de detector de flama. ....	48
Figura 19 Cobertura de detector de gas. ....	49
Figura 20 Secuencia de detección de gas. ....	60
Figura 21 Secuencia de detección de flama en área de bombas y zona de tanques horizontales. ....	62
Figura 22 Secuencia de detección de flama en islas de carga/descarga y zona de carruseles. ....	63
Figura 23 Secuencia de operación por activación de estación manual HS-001 y HS-002. ....	64

Figura 24	Secuencia de operación por activación de estación manual HS-003 y HS-004.....	65
Figura 25	Zonas de cobertura de detectores de flama. ....	67
Figura 26	Zonas de cobertura de alarmas de notificación sonora.....	68
Figura 27	Tiempos de respuesta para evacuación y mitigación. ....	71

## Introducción

El presente trabajo de suficiencia profesional comprende como finalidad mejorar el sistema contra incendio existente en una planta de envasado de gas licuado de petróleo, basándose en un gabinete de control de sistema de detección, notificación y extinción mediante una red operativa local. Este trabajo comprende los siguientes capítulos:

En el **primer capítulo** se presenta la **introducción**, donde se explican generalidades, descripción de la situación actual de la planta, el objetivo del trabajo de investigación y los antecedentes investigativos internacionales y nacionales.

El **segundo capítulo** abarca el **marco teórico y conceptual**, que describen resúmenes de investigaciones y avances importantes relacionados con el tema, también se presentan las definiciones de términos específicos referentes al trabajo de investigación.

El **tercer capítulo** contiene la **hipótesis y operacionalización de variables** dependiente e independiente con los respectivos indicadores desarrollados durante el trabajo de investigación.

El **cuarto capítulo** describe la **metodología de la investigación** a utilizarse en el desarrollo del presente trabajo, explicando el tipo y diseño, la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

El **quinto capítulo** es el **desarrollo del trabajo de investigación** comprendiendo el procesamiento de la información recolectada, así como el planteamiento del sistema contra incendio mejorado contrastándose la hipótesis de investigación.

El **sexto capítulo** corresponde al **análisis y discusión de resultados**, en el cual se realizará la contrastación y validación de la hipótesis propuesta en este presente trabajo de investigación.

Finalmente se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos del presente trabajo de investigación.

# Capítulo I. Introducción

## 1.1 Generalidades

Los sistemas contra incendios son una parte muy importante en la prevención de emergencias, no solo en el sector industrial, sino también en el sector doméstico y residencial. Los sistemas contra incendios se encuentran constituidos por tres componentes principales: la unidad de control, los dispositivos iniciadores de alarma y los aparatos de notificación de alarma.

La unidad de control es el componente responsable de monitorear las señales de entrada y de acuerdo a las condiciones del entorno controla las señales de salida de acuerdo a la configuración del sistema.

Los dispositivos iniciadores de alarma son equipos o componentes encargados de monitorear las condiciones del entorno en donde están ubicados para detectar la presencia de algún componente o inicios de fuego. También son considerados como dispositivos iniciadores de alarmas las estaciones manuales de alarma, que se encuentran ubicadas en sitios estratégicos del lugar para que, en las condiciones de emergencia, ésta sea activada por personal.

Los aparatos de notificación de alarma son los dispositivos que se encargan de avisar, alertar y notificar, ya sea por medio de luz o sonido, la presencia de una situación de emergencia en el área.

En una planta de envasado de GLP se observan muchos puntos críticos, los cuales deben ser monitoreados constantemente para garantizar que, en caso de emergencia, se tomen las medidas adecuadas y minimizar los riesgos.

El presente trabajo de investigación comprende el desarrollo de una propuesta para un nuevo sistema contra incendio que servirá para mejorar la seguridad de las personas y del bien patrimonial de la instalación de la planta de envasado de GLP.

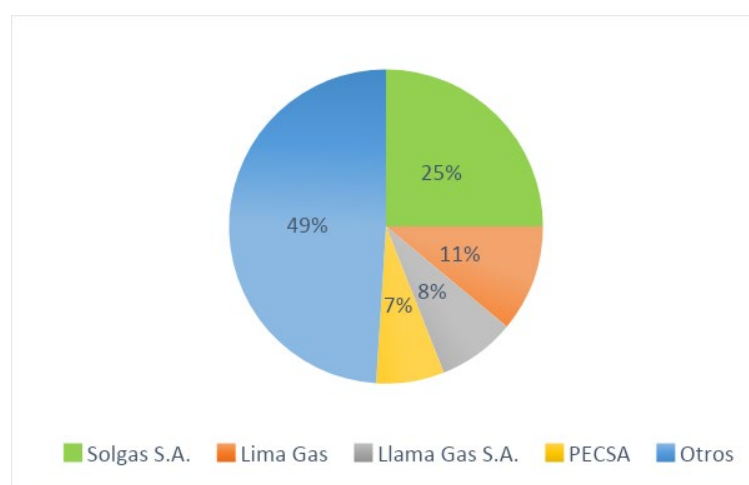
## 1.2 Descripción del problema de investigación

Según (OSINERGMIN - Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2006), en su estudio “La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: La comercialización del GLP envasado”, a pesar que la comercialización de Gas Licuado de Petróleo (GLP) envasado se ha constituido en una de las principales actividades del sector hidrocarburos, no ha sucedido lo mismo con la formalización de las empresas operadoras debido a las pocas barreras existentes para el ingreso a las operaciones. La magnitud de las operaciones, que asciende a aproximadamente US\$ 445 en el año 2003, conlleva a la existencia de grandes oportunidades de negocios para nuevos operadores, así como también en las actividades conexas relacionadas con ella, como el transporte y la distribución, constituyendo una fuente laboral muy importante.

Montesinos, de la Cruz, C., & Banyacán, (2017), mencionan que en el Perú existen 78 Plantas de Envasado de GLP, de las cuales 4 empresas concentran el 41% de la capacidad total del mercado de envasado. Éstas son: Solgas S.A. (25%), Lima Gas (11%), Flama Gas S.A. (8%) y PECSA (7%), mientras que el resto de empresas tienen el 49% de la capacidad total (Figura 1).

### Figura 1

*Principales empresas operadoras de Plantas Envasadoras de GLP en Perú (% de capacidad total a diciembre de 2017).*



*Nota:* fuente OSINERGMIN (2017). Reporte de Análisis Económico Sectorial Sector Hidrocarburos Líquidos.

Las plantas de envasado de GLP requieren de una operación segura en todo momento, debido a la alta peligrosidad de combustión del producto. Sin embargo, implementar un sistema contra incendio que cumpla con la normatividad implica la instalación de detectores de flama, detectores de gas, alarmas de estación manual, alarmas visuales, alarmas sonoras, requiere realizar un gasto cuantioso que muchas de las empresas informales e inclusive algunas formales no están dispuestas a asumir. Esta implementación debe estar alineada a la normatividad local de acuerdo al Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos (Decreto Supremo N° 043-2007-EM, 2007) y las recomendaciones de NFPA 72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización (NFPA - National Fire Protection Association, 2016).

OSINERGMIN (2020), en la “Guía para la verificación del cumplimiento de las Condiciones de Criticidad Alta, aplicable a las Plantas Envasadoras de GLP”, observa que las empresas no cumplen varios artículos del Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transporte de Gas Licuado de Petróleo (MEM - Ministerio de Energía y Minas, 1994), tales como el artículo 72, que menciona que “las Plantas Envasadoras deberán contar con detectores continuos de presencia de gases combustibles o atmósferas explosivas, los mismos que estarán dotados de alarmas sonoras o remotas, ubicadas adecuadamente respecto al equipo o instalación a protegerse”, así como el artículo 76 del mismo reglamento que menciona “toda planta envasadora deberá contar con un sistema de alarma para casos de incendio, mediante el cual se avise de forma efectiva y oportuna a todo el personal, de la iniciación de una emergencia”. Mientras que el artículo 87 complementa requiriendo que “el sistema de rociadores debe de ser diseñado para que actúe automáticamente como respuesta a la señal del detector de temperatura o de presencia de fuego, debiendo contar también con el Sistema de Operación Manual”.

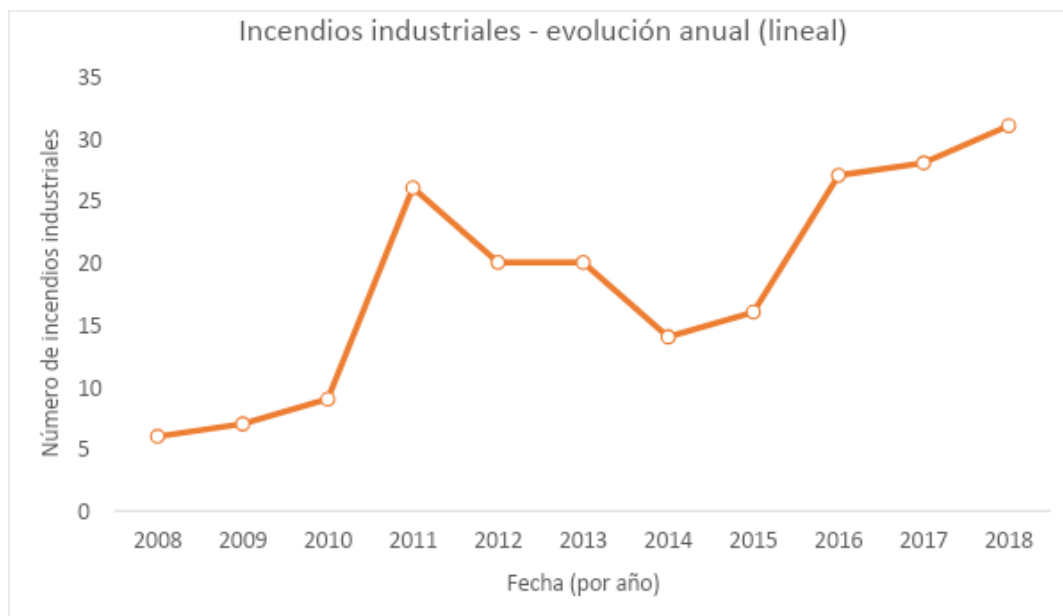
INBP - Intendencia Nacional de Bomberos del Perú (2019) menciona que, el incremento de instalaciones en el sector industrial dificulta la correcta fiscalización de las actividades. Según estadísticas de la Intendencia Nacional de Bomberos del Perú, el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (CGBVP) ha debido atender los



incendios relacionados a la industria, observándose un aumento progresivo desde el año 2008, como se muestra en la figura 2.

## Figura 2

*Evolución anual de emergencias por incendios industriales período 2008 al 2018.*



*Nota:* fuente CGBVP (2019). Incendios Industriales. Emergencias atendidas por el CGVBVP en Lima Metropolitana 2008-2018.

Con la finalidad de comprender el impacto de estos incendios en la comunidad, se cita el incendio en la Refinería de Amuay, en Venezuela, el cual se inició en la madrugada del 25 de agosto del 2012, siendo una de las tragedias de mayor magnitud registrada en las refinerías de petróleo a nivel mundial, evento en la que perdieron la vida 42 personas, 5 desaparecidas y más de 150 resultaron seriamente lesionadas. Este evento también ocasionó daños en instalaciones y locales próximos al área del siniestro, siendo el costo total estimado de los daños ocasionados por la explosión en el orden de 1.835 millones de US\$.

COENER - Centro de Orientación en Energía (2013), menciona que una de las causas fue el colapso del sello mecánico de una o más bombas encargadas de bombear olefinas hacia la refinería vecina de Cardón, causando una nube de gas que se esparció en un área extensa. En marzo de 2012, la firma RJG Risk Engineering enumeró una larga

lista de fallas de mantenimiento, además de realizar advertencias sobre la inadecuada protección contra incendios en las instalaciones.

Durante el siniestro, no actuó el sistema de detección de hidrocarburos en el área de protección de las esferas, por lo que se mantuvo una operación con fuga de oleofinas, tampoco se activaron las alarmas y sirenas de emergencia, a pesar que la Refinería de Amuay tenía implementada un Sistema de Detección y Alarmas (constituido por detectores de gas, detectores de fuego y alarmas audibles y visuales) instaladas en el área de los tanques, y alguno de ellos debieron activarse desde el inicio de la fuga de gas.

En la figura 3 se observa los daños ocasionados debido al incendio.

### **Figura 3**

*Zona afectada por el incendio en Refinería Amuay – Venezuela (agosto del 2012).*



*Nota:* fuente Centro de Orientación en Energía (2013). Informe de investigación sobre la explosión e incendio ocurrido en la Refinería de Amuay el 25 de agosto de 2012.

Por lo que se plantea la siguiente interrogante:

¿De qué manera se mejora el sistema de detección de incendios en una planta de envasado de GLP con una unidad de control de alarma de incendio?

## **1.3 Objetivo del estudio**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar una Unidad de Control de Alarma contra Incendios (FACU) para mejorar el Sistema de Detección de Incendios en una Planta de Envasado de GLP.

## **1.4 Antecedentes investigativos**

Se han desarrollado trabajos de tesis e investigaciones y artículos relacionados con los sistemas contra incendios, entre los cuales se mencionan los siguientes:

### **1.4.1 Investigaciones internacionales**

Ojeda, C. & Vargas, R. (2021), proponen la utilización de dispositivos Siemens para la implementación de un sistema SCADA, complementándolo con dos arrancadores suaves o softstarters que se utilizan para el arranque de las electrobombas, estos permiten optimizar la corriente de arranque de las electrobombas, anteriormente se utilizaba un tipo de arranque compensado con autotransformador.

Con este cambio se consigue una mejora significativa en el control de la corriente de arranque consumido que ayuda en la protección del motor y las tuberías y eleva el ahorro de energía del actual sistema contra incendio de PETROPAR.

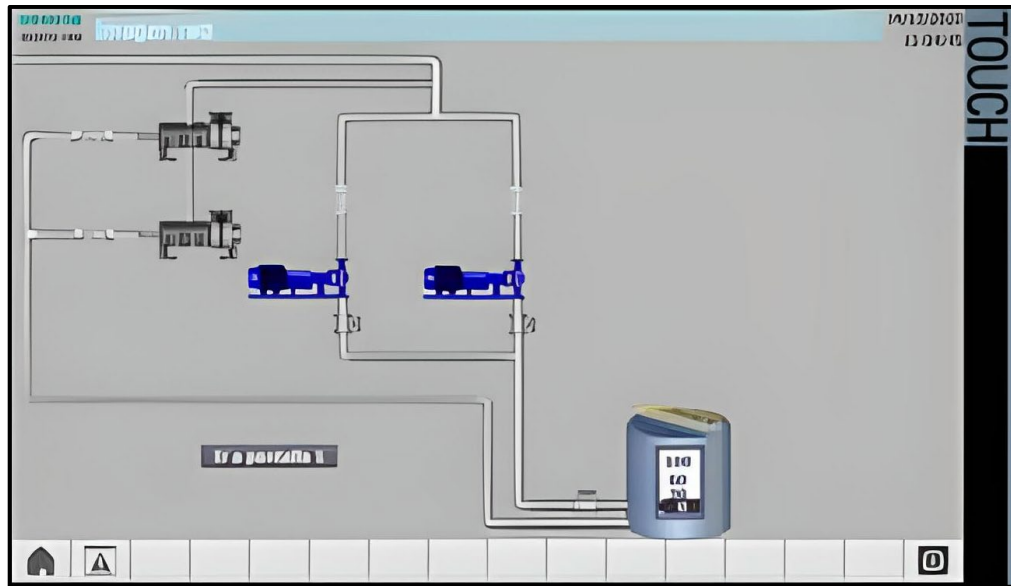
Evaluándose el estudio económico para la implementación que se obtiene como resultado un Valor Actual Neto (VAN) positivo de 793.525.768,2 Gs y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 85.5166%, por lo que el proyecto de inversión es viable.

El sistema de automatización obtiene un mejor control y monitorio del sistema contra incendio a través del PLC con el sistema SCADA.

En la figura 4 se observa la propuesta de solución del panel de operador del sistema contra incendio.

## Figura 4

Panel de operador de sistema contra incendio propuesto.



Nota: fuente Ojeda C. y Vargas R. (2021). Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un SCADA para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos PETROPAR.

Molano, J. & Rodríguez, L. (2017), proponen la mejora del sistema contra incendio actual de la Facultad Tecnológica, debido a que esta incumple con la normatividad en puntos muy importantes, como que la red del sistema contra incendios es compartido con la red hidrosanitaria de la institución, no cuenta con un sistema de alarma para avisar en caso de una emergencia, los accesorios que componen los gabinetes de mangueras contra incendio no están listados por un ente regulador como UL (Underwriters Laboratories) o FM (Factory Mutual), en algunos casos no hay placas para identificar estos gabinetes o están en mal estado, entre otros puntos.

Para obtener esto, se propuso el diseño de un sistema contra incendios que conste de rociadores automáticos, gabinetes contra incendios, detectores de fuego, pulsadores manuales, sirenas y un panel de control para supervisión y monitoreo de los componentes anteriores; todo bajo la norma NFPA 13 (Standard for the Installation of Sprinkler Systems), NFPA 72 (National Fire Alarm Code), NFPA 909 (Code for the Protection of Cultural Resources) y NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente).

Con estas implementaciones, se logrará que la Facultad Tecnológica cuente con una adecuada red contra incendios, cumpliendo la normatividad local e internacional en los siguientes parámetros:

- Red de agua del sistema contra incendio independiente a la red de agua hidrosanitaria de la institución.
- Sistema de detección de incendios mediante detectores de humo, estaciones manuales de alarmas y alarmas sonoras (luces estroboscópicas) para avisar en caso de emergencia. Todos estos los dispositivos del sistema estarán comunicados con el panel de control.
- Equipos normados bajo un ente regulador UL o FM.
- Buen estado de los gabinetes de mangueras del sistema contra incendio.

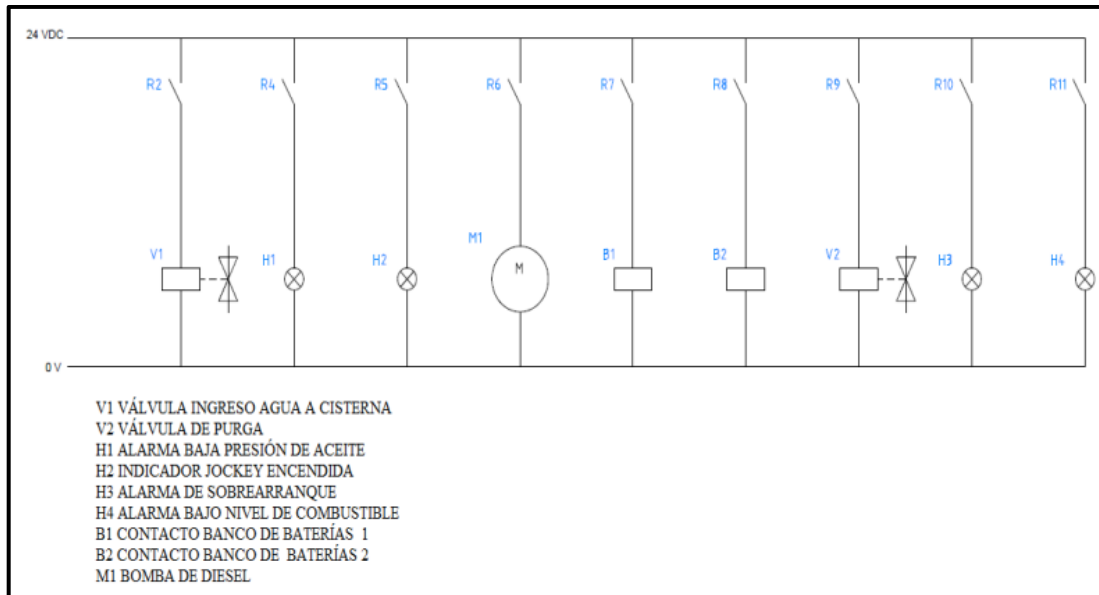
Naranjo, C. & Salazar, C. (2015), plantea la implementación de un Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA), el cual permitirá un control óptimo y un monitoreo adecuado de la bomba del sistema contra incendios.

Esto se consiguió mediante un PLC S7-1200 y un panel de operador Basic Panel MP277, logrando conseguir un 100% de respuestas positivas de las pruebas realizadas al sistema.

En la figura 5 se muestra el diagrama de control del motor de diésel.

**Figura 5**

*Diagrama de control motor de diésel.*



*Nota:* fuente Naranjo C. y Salazar C. (2015). Diseño e Implementación de un SCADA para la supervisión y control automático del sistema contra incendios, en los laboratorios industriales farmacéuticos ecuatorianos Life.

#### **1.4.2 Investigaciones nacionales**

Panduro, R. (2020), propuso una mejora en el diseño del sistema contra incendios actual para optimizar los índices de frecuencia, gravedad y accidentabilidad en la minera Las Bambas.

El sistema existente había presentado fallas de hasta un 25% en la atención de emergencias, ocasionando un aumento de las frecuencias de lesiones con tiempo perdido y accidentes fatales. Esta mejora en el diseño del sistema contra incendio existente permitió cumplir con la tasa de descarga de las tuberías contra incendio y que los rociadores cubran la totalidad de las superficies a proteger, así como una ubicación óptima de los gabinetes contra incendio, esto en conjunto con una estrategia de capacitación al personal consiguió formar un equipo apto para el monitoreo del sistema contra incendio que se implementó y una estrategia de control que contribuyó a conocer el lugar exacto donde se está produciendo un incendio, mientras que las luces estroboscópicas y sirenas de alarma comunican una situación de emergencia.

Con la implementación de estas mejoras se ha logrado reducir los índices asociados a accidentes laborales en casi un 47% (de nivel de riesgo promedio de 24 a 12.8). Esto impactó positivamente en los parámetros de frecuencia de lesiones, horas-hombre perdidas por accidentes y evita accidentes fatales.

En la figura 6 se muestra el impacto en los niveles de riesgo con la propuesta de solución desarrollada.

**Figura 6**

*Impacto de la propuesta en los niveles de riesgo por áreas.*

Áreas	Antes	Nivel de Riesgo	Actual	Reducción del nivel de riesgo en %
Lubricación de Molinos Niveles inf. Molienda	26	Intolerable	18	31%
Planos EDIFIIO, Chancadores de PEBBLES	22	Importante	16	27%
Remolienda	14	Moderado	10	29%
Edificio comedor	30	Intolerable	22	27%
Estación combustible mina	16	Moderado	10	38%
Chancadora primaria	16	Moderado	12	25%
Correa de sacrificio	26	Intolerable	18	31%
Recuperación mineral grueso	14	Moderado	10	29%
Flotación de remolienda	16	Moderado	8	50%
Espesador de concentrado cu-mo	20	Importante	14	30%
Planta molibdeno	20	Importante	14	30%
Planta de cal	24	Importante	18	25%
Planta de reactivos	36	Intolerable	24	33%
Espesador de concentrado cu	30	Intolerable	16	47%
Plata filtrado correa	14	Moderado	10	29%
Espesador de relaves	18	Importante	12	33%
Planta de tratamiento de agua	14	Moderado	8	43%
Sala eléctrica principal gis 220kv	14	Moderado	10	29%
<b>Nivel de riesgo (promedio)</b>	<b>24</b>	<b>Moderado</b>	<b>12.8</b>	

*Nota:* fuente Panduro R. (2020). Sistema contra incendio bajo la norma NFPA para incrementar la seguridad del personal en la minera Las Bambas, Apurímac.

Cerna, R. (2020), elabora un sistema que detecta un incendio dentro de la planta pesquera para después activar las alarmas en las zonas aledañas, de acuerdo a la norma NFPA 72. El diseño más óptimo como solución poseerá como componentes un tablero FACU, detectores de humo, estaciones manuales, sirenas, detectores de flama, tal como se muestra en la figura 7.

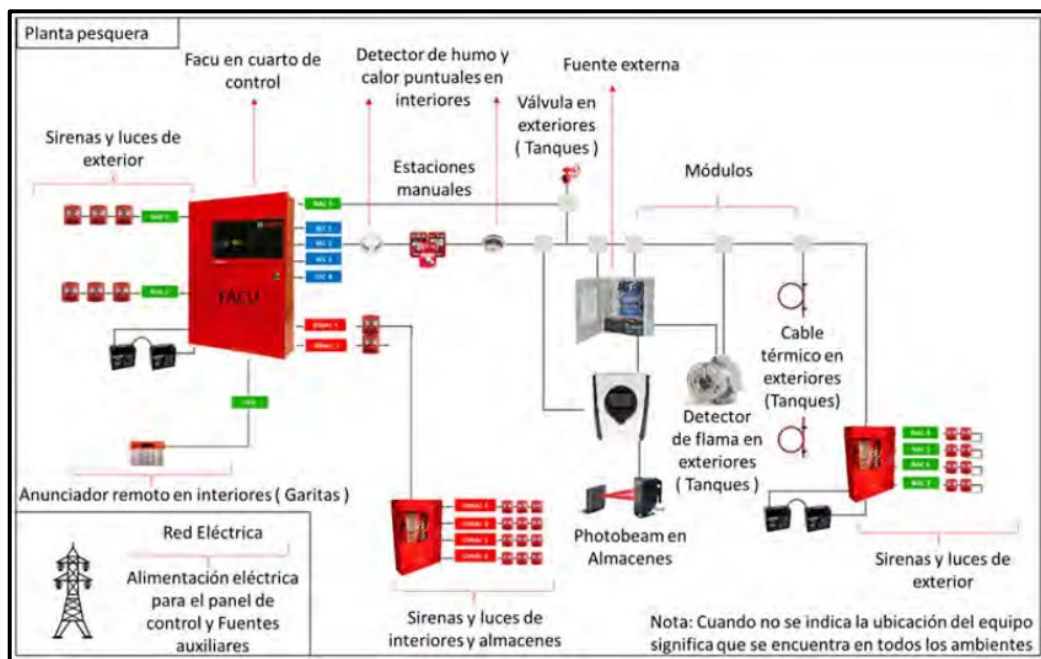
Debido al ambiente corrosivo que prolifera en la planta pesquera, los equipos e instrumentos que estén en zonas exteriores deben ser adecuados para este tipo de

ambiente agresivo y corrosivo, también dispondrán de certificación UL (Underwriters Laboratories) para aplicaciones de detección y alarma de incendios.

Con el equipamiento de estos equipos se logra la protección de la planta pesquera en su totalidad, con un costo proyectado de S/.495,151.14 que es un costo inferior al solicitado por la planta.

### Figura 7

*Diseño de solución propuesta.*



*Nota:* fuente Cerna, R. (2020). Diseño de un sistema de detección y alarma de incendios para una planta pesquera.

Rodríguez, N. (2018), desarrolla un sistema de monitoreo de las alarmas y sensores de humo, las cuales se monitorean y controlan desde una central de control, con esto permite saber al personal, el área donde está aconteciendo la emergencia.

Actualmente el sistema contra incendio posee una buena operatividad, pero lo que se plantea con esta investigación es mejorar el control y el monitoreo. También se incluye un control sobre el caudal de agua que se dirige a los aspersores, siendo la central de control quien activa o desactiva los equipos solenoides instalados en los ingresos a cada bloque de rociadores.



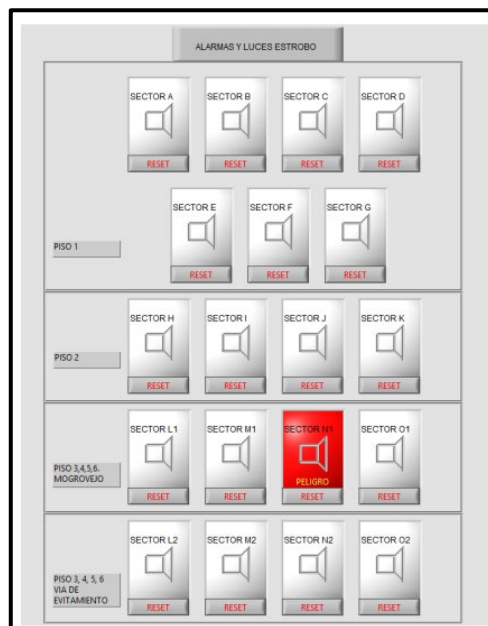
Al desarrollarse esta mejora del sistema contra incendio, se identifica la zona exacta en la que ocurre un incendio, con lo cual se activa eficientemente el sistema de aspersores en la zona requerida. Esto permitirá desarrollar un sistema SCADA mucho más preciso que contendrá instrumentos de medición de caudal y presión, así como también de luces estroboscópicas por sectores.

El gasto económico para la implementación del nuevo sistema contra incendios sería de S/. 177 308.00. No se hizo una evaluación económica que justifique el gasto, ya que la justificación sería por las pérdidas cuantiosas económicas y humanas que conllevarían de ocurrir un siniestro en el hospital regional.

En la figura 8 se observa el panel frontal de visualización con una alarma de incidente en el sector N1.

### Figura 8

*Panel frontal de visualización con incidente en sector N1.*



*Nota:* fuente Rodríguez, N. (2018). Diseño SCADA para monitorear alarmas contra incendio del Hospital Regional de Lambayeque Chiclayo 2017.

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Inicios de los Sistemas Contra Incendios

Beattie, W. (2011), menciona que, en el año 1650, se diseñaron los primeros sistemas contra incendios, que consistía en la utilización de baldes con escaleras y timbres para avisar a la gente en caso de incendio.

En 1723, Ambrose Godfrey diseñó el primer dispositivo para combatir incendios, que consistía en un barril lleno de agua colocado estratégicamente en el lugar que debía ser protegido, estos barriles estaban unidos por fusibles que eran activados por el fuego y así esparcir el agua en la zona afectada.

Wyatt, B. (1812), desarrolla el primer rociador “splinkers”. Ese rociador fue utilizado en el Teatro Royal, Drury Lane que había sido destruido por un incendio en 1809. El primer rociador era muy básico, pero el principio de funcionamiento no ha cambiado.

En el año de 1864, Henry Parmelee diseñó el primer rociador automático (figura 9), que consistía de una boquilla unida a la tubería con un tapón soldado en la orilla, la soldadura se derretía a 71 °C, lo que ocasionaba que el agua caiga sobre el área de incendio.

#### Figura 9

*Primer rociador automático diseñado por Henry Parmelee - 1864.*



*Nota:* fuente Beattie, W. (2011). Evolution of the Fire Sprinkler.

Con el transcurso de los años, los rociadores fueron mejorados en cuanto a diseño y calidad, ofreciendo una mayor sensibilidad y un patrón de descarga más uniforme,

trayendo como resultados que aumentara el número de instalaciones y la eficacia en situaciones de incendio.

Posteriormente, en el año de 1896, en consecuencia, de que las compañías aseguradoras tenían diferentes estándares de instalación ocasionando quejas por instalaciones inadecuadas de sistemas contra incendios, miembros de las aseguradoras y fabricantes se unieron para formar la National Fire Protection Association (NFPA), siendo su principal función estandarizar las instalaciones de sistemas contra incendio. Ese mismo año se publica el primer estándar de NFPA, llamado NFPA 13, siendo implementado por la mayoría de compañías de seguros.

### **2.1.2 Objetivo del Diseño con Protección contra Incendios**

NFPA (2009), en su “Manual de Protección contra Incendios”, menciona que, para definir el objetivo principal de la protección contra incendios, se debe conocer las necesidades específicas del cliente en relación con la función del establecimiento.

Los grados aceptables de protección y el enfoque de los objetivos del análisis de la protección contra incendios se plasman en los siguientes cinco puntos:

#### **1) *Protección de la vida / Seguridad Humana***

El diseño adecuado se relaciona con las características de ocupación del establecimiento, así como las actividades de los ocupantes, por lo que el sistema debe prever la protección necesaria a los ocupantes durante todo el tiempo que van a estar en el establecimiento.

#### **2) *Protección de la Propiedad***

Se deben identificar los elementos del establecimiento que tengan un alto valor monetario o de otro tipo con el fin de ser protegidos en caso de incendio.

#### **3) *Continuidad de Operación***

Se debe establecer el tiempo de interrupción tolerable antes de que la situación económica del establecimiento se vea afectada seriamente. También se debe identificar qué áreas son más sensibles a las operaciones del establecimiento para darle una protección especial que posiblemente no sea requerida en otras áreas.

#### 4) *Protección Ambiental*

Un objetivo importante también es la consideración del impacto ambiental que tiene un incendio, por lo que es necesario realizar un estudio de los productos de la combustión que se producen durante un incendio y tomar las medidas adecuadas para minimizar el daño que pudieran ocasionar estas situaciones.

##### **2.1.3 Tipos de incendios y explosiones en una planta de envasado de GLP**

NFPA (2009), en su "Manual de Protección contra Incendios", menciona que en una planta de envasado de GLP se producen los siguientes tipos de incendio:

- Jet Fire: Incendio en tanques o tuberías que transportan y/o almacenan productos inflamables a presión de 2 bares o más, produciendo un incendio tipo chorro en la dirección del combustible).
- Pool Fire: Incendio como consecuencia de derrame o fuga de líquido inflamable que forma un charco que al contacto con una fuente de ignición produce un incendio.
- Flash Fire: Incendio de fuego de corta duración que se propaga rápidamente por medio de un frente de flama a través de un combustible sin la producción de ondas de presión.

Los efectos de estos tipos de incendios son quemaduras a las personas y daños estructurales a instalaciones cercanas por radiación térmica.

Mientras que en la planta de envasado de GLP se producen las explosiones de los siguientes tipos:

- UVCE (Explosión de una nube de vapor no confinada): Explosión causada debido a un escape rápido de gran cantidad de gas o vapor inflamable dispersado en el aire que al mezclarse con el aire origina una nube con características inflamables, que al encontrarse con una fuente de ignición genera una deflagración y se produce la explosión.
- BLEVE (Expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición): Explosión expansiva de grandes proporciones que ocurre debido a un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentado.

Provoca la proyección de partículas de distintos tamaños a distancias considerables.

Estas explosiones causan muerte al personal cercano y daño estructural a las instalaciones internas y cercanas por sobrepresión.

En la tabla 1 se observa los efectos de acuerdo al tipo de escenario:

**Tabla 1**

*Daños a estimar en consecuencias de siniestros.*

Tipo de Escenario	Consecuencia del Siniestro	Resultados de las consecuencias
Incendio (jet fire, flash fire)	Radiación, emisión tóxica de gases de combustión	<p><u>Daño a las personas:</u> probabilidad y número de fatalidades y lesionados (quemaduras por radiación y toxicidad).</p> <p><u>Daños económicos:</u> costos en soles por daños materiales, insumos, indemnizaciones sociales y ambientales.</p>
Explosión (UVCE, BLEVE)	Sobrepresión, alcance de proyectiles	<p><u>Daño a las personas:</u> probabilidad y número de fatalidades por hemorragia pulmonar e impactos, además de lesionados por daños a tímpanos y proyectiles.</p> <p><u>Daños económicos:</u> costos en soles por daños materiales, insumos, indemnizaciones sociales y ambientales.</p>

*Nota:* fuente NFPA (2009). Manual de Protección contra Incendios.

#### **2.1.4 Detección y Alarma de Incendio**

NFPA (2009), en su “Manual de Protección contra Incendios”, para que se logre extinguir un incendio, se necesita en primer lugar la detección rápida del incendio, permitiendo la activación del sistema de protección contra incendios y consiguiendo que los ocupantes del establecimiento tengan el tiempo suficiente para trasladarse a un lugar seguro.

Una de las preocupaciones más importantes para el diseño es lograr una rápida detección del incendio, que permitirá tener un mayor tiempo disponible para la evacuación, por lo que se deben diseñar de manera adecuada las provisiones de detección de acuerdo a las características del establecimiento y sus ocupantes.

En la mayoría de situaciones el primer indicador de incendio es el humo, por lo que es lógico que el sistema automático de detección de incendio esté basado en detectores de humo. Sin embargo, de acuerdo al tipo de instalación o área, deberá ser más apropiado los detectores basados en detección de calor o energía radiante, de acuerdo al tipo de

incendio que ocurrirán en las áreas. Cualquiera sea el tipo de sistema de detección, este actuará en un tiempo de respuesta adecuado después de la detección del fuego y antes de que se hayan desarrollado condiciones de alto riesgo en las áreas involucradas.

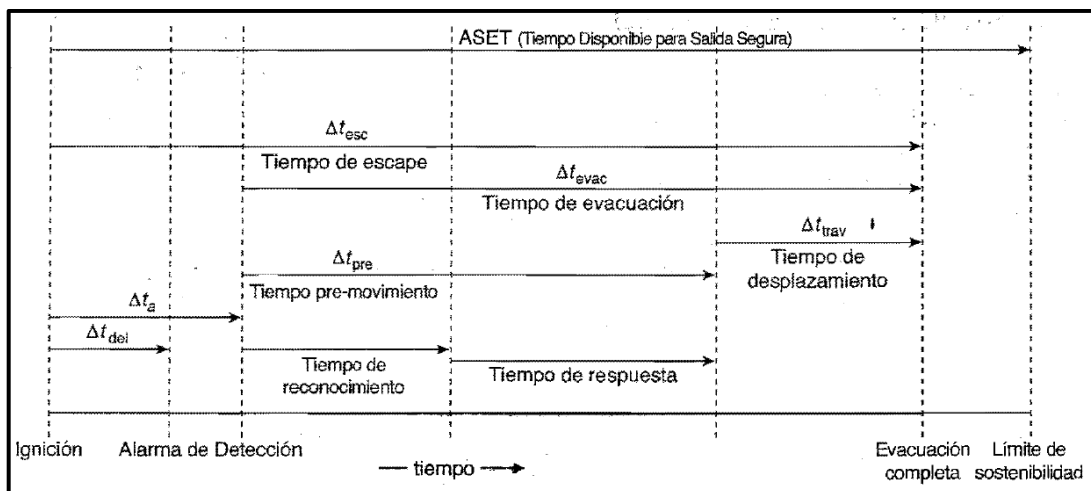
Otra característica importante es que las alarmas no requieren estar vinculadas físicamente con los sensores de detección, pero si estar diseñadas sistemáticamente para avisar a los ocupantes que hay una emergencia.

Para garantizar una buena protección contra incendio, el tiempo disponible para salida segura (ASET) debe ser mayor que el tiempo requerido para salida segura (RSET). El ASET es el tiempo desde que ocurre la ignición hasta que se llega al límite de sostenibilidad del establecimiento o lugar de interés. Mientras que el RSET es el tiempo desde que ocurre la ignición hasta que el establecimiento o lugar ha sido evacuado.

El RSET está compuesto de períodos intermedios, que incluyen el tiempo desde la ignición hasta la detección del sensor, el tiempo desde la detección hasta la notificación de las alarmas, el tiempo de notificación de alarmas hasta el reconocimiento de que existe una emergencia, el tiempo desde el reconocimiento de que hay una emergencia hasta que empieza el movimiento de respuesta y finalmente el tiempo de desplazamiento de los ocupantes hasta un lugar seguro. Esta línea de tiempo se observa en la figura 10.

**Figura 10**

*Línea de tiempo para evaluación de tiempo de salida disponible – tiempo requerido.*



Nota: fuente NFPA (2009). Manual de Protección contra Incendios.

### **2.1.5 Detectores con Sensor de Energía Radiante**

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, se explica que la radiación electromagnética es emitida en un amplio rango de espectro durante la combustión. La porción en la que actúan los detectores con sensor de energía radiante son las siguientes: ultravioleta (UV), visible e infrarroja (IR), siendo definidas de acuerdo a su longitud de onda según las siguientes características:

- Ultravioleta: 0.1 – 0.35 micrones.
- Visible: 0.36 – 0.75 micrones.
- Infrarroja: 0.76 – 220 micrones.

Para la elección del tipo de detección se debe considerar las siguientes posibilidades:

- Efectos del ambiente: La elección debe tener en cuenta la absorción de energía radiante de la atmósfera, fuentes de radiación no relacionadas con un incendio que provocan falsas alarmas, la energía electromagnética de las chispas, la distancia de la fuente hacia el sensor y las características propias del sensor.

- Equipos radiadores: Dentro de las instalaciones, existe la posibilidad de que haya equipos que irradian energía radiante, por lo que se debe realizar una evaluación de equipos que sean fuentes de emisiones infrarrojas, visibles y ultravioletas.
- Contaminación de superficies: Las superficies ópticas de los detectores con sensores de energía radiante no deben estar expuestas a contaminación, ya que influye en la medición y respuesta de estos equipos. Tampoco se debe colocar una ventana o alguna superficie acrílica entre el detector y el área de peligro ya que impedirá que el sistema pueda detectar un incendio en el área de peligro.

Los sensores de tipo energía radiante son principalmente dispositivos de línea de visión, por lo tanto, requieren “ver” la fuente del incendio, además de que funcionan para longitudes de onda específicas.

La respuesta de los detectores con sensores de energía radiante se modela de acuerdo a la ecuación 1:

$$S = \frac{kP^{-e\zeta d}}{d^2} \quad (1)$$

Donde:

S: suficiente energía radiante que alcanza el detector (W o Btu/s) para producir una respuesta de alarma.

k: constante de proporcionalidad para el detector.

P: energía radiante emitida por el incendio (W o Btu/s).

e: base del logaritmo neperiano (2.7183).

$\zeta$ : coeficiente de extinción del aire en el detector que funciona con longitud de onda.

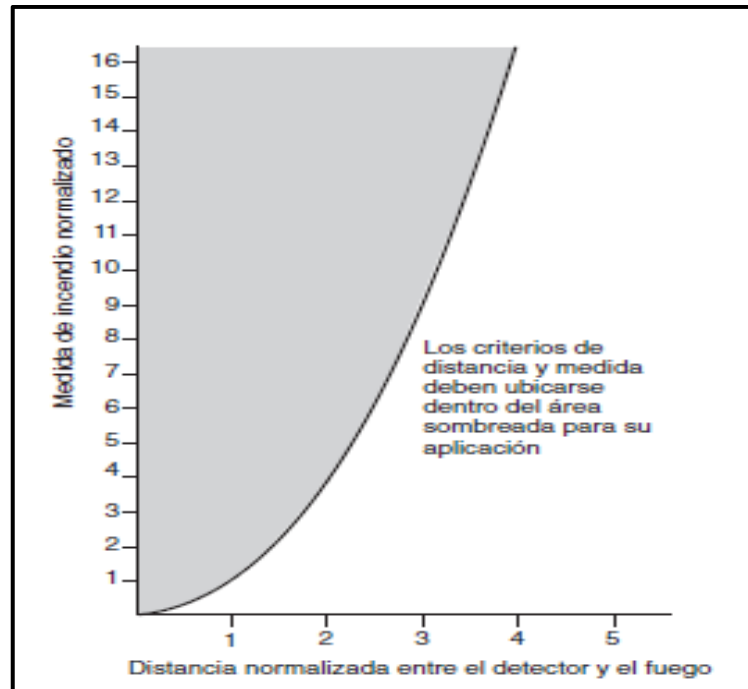
d: distancia entre el incendio y el detector (m o pies).

La sensibilidad del detector (S) se mide normalmente en nanovatios (nW). La ecuación 1 proporciona una serie de curvas similares a la presentada en la figura 11.



## Figura 11

*Tamaño de incendio normalizado vs distancia al detector.*



*Nota:* fuente NFPA 72 (2016). Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización.

De acuerdo a la ecuación 1, en las mejores condiciones y sin absorción atmosférica, la energía radiante que llega al detector se reduce por un factor de cuatro si se duplica la distancia entre el detector y el incendio. La variable  $\zeta$  de la ecuación 1 es una medida de la claridad del aire, siendo afectada por la humedad, el polvo y cualquier otro contaminante en el aire, teniendo un valor para el aire ambiental normal entre -0.001 y -0.1.

Entre las aplicaciones adecuadas para los detectores de flama se encuentra:

- Zonas en las que se produce un rápido incendio, tales como zonas de almacenamiento y transporte de hidrocarburos y gases, talleres de pintura, hangares para aeronaves, zonas de producción.
- Edificios de cielorrasos elevados y espacios abiertos.
- Zonas exteriores o semi-exteriores en donde el viento evitaría que el humo alcance los detectores de humo o de calor.
- Zonas que requieran de maquinarias o instalaciones con alto riesgo de incendio.

Las emisiones externas que interfieren con la eficacia de los detectores de flama, son las siguientes:

- Luz solar.
- Rayos X.
- Rayos gamma.
- Rayos cósmicos.
- Radiación ultravioleta ocasionada por soldaduras.
- Interferencia electromagnética.
- Iluminación artificial.
- Objetos calientes.

#### **2.1.6 Detectores de Flama**

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, se explica que los detectores de flama son un tipo de instrumento que pueden detectar y actuar ante la presencia de fuego, pudiendo activar una alarma, desactivar una línea de abastecimiento de combustible o activar un sistema de extinción de incendios.

La sensibilidad del detector de flama es la cuantificación de la distancia en la cual la unidad puede detectar un incendio de un tamaño determinado.

Los detectores de flama pueden ser de los siguientes tipos según su tecnología:

- Ultravioleta: Este tipo de detectores funciona a través de un tubo vacío fotodiodo Geiger-Muller para detectar la radiación ultravioleta que produce la flama, ocasionando como respuesta una serie de pulsos que son convertidos en una señal de salida de alarma.

La ventaja de este tipo de detección es su rápida respuesta y la capacidad para responder a incendios de hidrocarburos, hidrógenos y metales. Mientras que las desventajas son su alta sensibilidad a soldaduras, rayos o chispas ocasionando falsas activaciones.

- Infrarrojos: Los detectores del tipo infrarrojo utiliza uno de los diversos tipos de celdas fotoeléctricas para detectar las emisiones infrarrojas de que son producidas por la flama.

Generalmente incluyen provisiones para evitar o minimizar alarmas que son ocasionadas por fuentes de emisiones infrarrojas como luz solar, lámparas incandescentes u otros equipos.

- Ultravioleta / Infrarrojo: Es una combinación de los dos tipos anteriores, funcionando individualmente igual que los descritos, con la diferencia de que el circuito combinado tiene una mejor capacidad para rechazar falsas alarmas.

También posee la ventaja de una alta velocidad de respuesta, mientras que entre las desventajas están que no se pueden utilizar para incendios que no son de carbono y solo es capaz de detectar los incendios que emiten ambas radiaciones (ultravioleta e infrarrojo).

En la figura 12 se observa un detector de flama infrarrojo del tipo multiespectro.

**Figura 12**

*Detector de flama infrarrojo multiespectro.*



*Nota:* fuente Det-Tronics (2010). Detector de flama IR multiespectro Protect IR X3301.

Para el cálculo de la respuesta del detector en caso de incendio se utiliza la ecuación 2:

$$S = \frac{kcA_t e^{-\zeta d}}{d^2} \quad (2)$$

Donde:

S: energía radiante que alcanza al detector (W o Btu/s), suficientes para producir una respuesta de alarma.

K: constante de proporcionalidad para el detector.

A<sub>t</sub>: área de radiación del incendio de prueba listado (m<sup>2</sup> o pies<sup>2</sup>).

Z: coeficiente de extinción del aire en las longitudes de onda en que opera el detector.

D: distancia entre el incendio y el detector durante la prueba de incendio listado (metros o pies).

C: función de correlación de potencia emitida por unidad de área radiante de flama.

Como la sensibilidad del detector es constante a través del rango de ambientes para el que se encuentra listado, se obtiene la ecuación 3:

$$S = \frac{kcA_r e^{-\zeta d'}}{d'^2} \quad (3)$$

Donde:

S: energía radiante que alcanza al detector (W o Btu/s), suficientes para producir una respuesta de alarma.

K: constante de proporcionalidad para el detector.

A<sub>r</sub>: área de radiación del incendio de diseño (m<sup>2</sup> o pies<sup>2</sup>).

Z: coeficiente de extinción del aire en las longitudes de onda en que opera el detector.

D': distancia entre el incendio de diseño y el detector (metros o pies).

C: función de correlación de potencia emitida por unidad de área radiante de flama.

Al ser constante la sensibilidad, entonces la ecuación 2 es igual a la ecuación 3, resultando la siguiente ecuación 4:

$$\frac{kcA_t e^{-\zeta d}}{d^2} = \frac{kcA_t e^{-\zeta d'}}{d'^2} \quad (4)$$

Despejando  $d'$  queda la ecuación 2.5:

$$d' = \sqrt{\frac{d^2 A_r e^{-\zeta d'}}{A_t e^{-\zeta d}}} \quad (5)$$

Esta ecuación se soluciona de manera iterativa para  $d'$ , obteniendo la distancia en la que el detector capta un incendio de diseño.

### 2.1.7 Detectores de Gas

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, se menciona que los detectores de gases son un tipo de instrumento que detecta la presencia de gas en un área siendo diseñado especialmente para garantizar un sistema de seguridad. Sirven para detectar a tiempo gases combustibles, inflamables y tóxicos y están configurados para activar una alarma cuando los niveles de oxígeno disminuyen de cierto nivel.

Los detectores de gases se clasifican de acuerdo al tipo de sensor de la siguiente manera:

- Sensores electroquímicos: Permiten conocer la concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>) y gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), cloro (Cl<sub>2</sub>), óxido de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> o NO<sub>x</sub>) o monóxido de carbono (CO), entre otros.

Funciona a través de dos electrodos unidos por una capa de electrolitos, que al estar en contacto con una superficie producen una reacción de oxidación ocasionando una corriente eléctrica de igual magnitud que la concentración de gas.

- Sensores de infrarrojos o IR: Este tipo de sensores son muy eficaces para detectar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) o hidrógeno (H<sub>2</sub>).

Este tipo de sensor funciona con un sistema emisor de infrarrojos y una cédula receptora de luz infrarroja, los gases combustibles interfieren con la luz modificando su longitud de onda por lo que la parte receptora detecta este cambio.

La principal ventaja de este tipo de sensores es la vida útil que tiene, que ronda entre siete a diez años sin perder precisión en el análisis de composición de gases.

- Sensores de semiconductores de óxido metálico (MOS): Son especialmente eficaces para detectar óxidos metálicos como el dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), el óxido de indio ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) o el óxido de wolframio ( $\text{WO}_3$ ).

Estos sensores actúan mediante una película sensible al gas, que se activa cuando los niveles de gases tóxicos en el aire superan cierto límite.

- Sensores catalíticos: Se utilizan principalmente para el azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

El funcionamiento de este sensor es mediante dos bobinas de platino que están recubiertas de un material cerámico, una de ellas está recubierta de un material catalizador ocasionando que en esta superficie haya un proceso de oxidación del gas mediante el aumento de temperatura, provocando una diferencia en un circuito interno que se refleja en el sensor potencial de gas.

Este tipo de sensor son los más asequibles y tienen una vida útil de unos tres años.

En la figura 13 se observa un detector de gas del tipo infrarrojo.

### Figura 13

*Detector de gas infrarrojo.*



*Nota:* fuente Det-Tronics (2013). Detector infrarrojo de gases de hidrocarburos PointWatch Eclipse modelo PIRECL.

Para la selección del detector de gas es fundamental precisar el tipo de gas o vapor específico a ser detectado. También deberán instalarse en todas las áreas que requieran ser protegidos, según lo ordene la autoridad competente.

### **2.1.8 Estaciones manuales de alarma**

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, explica que la estación manual de alarma es un dispositivo iniciador de alarma que es activado en caso de incendio u otra emergencia. Estos dispositivos deben estar montados de manera segura y deben ser claramente visibles, sin obstrucciones y accesibles, siendo preferentemente de un color rojo, a menos que el entorno impida el uso de ese color.

Las estaciones manuales de alarma deben estar instaladas de tal manera que la distancia entre estaciones no debe superar los 61 metros o 200 pies (distancia horizontal al mismo nivel).

Hay estaciones que poseen una llave para rearmarlos en caso sean activados, pero en la mayoría de los casos se vuelve el botón o la palanca a la posición original y se resetea en el panel.

En caso una de las estaciones manuales sea activada, transmitirá una señal al tablero FACU, que de acuerdo a la programación efectuará las maniobras de seguridad, que pueden ser abrir o cerrar válvulas de gas, activas sirenas y luces estroboscópicas, de acuerdo al plan de evacuación de la planta.

La activación de los aparatos de notificación de alarma debe suceder dentro de los diez segundos posteriores a la activación de un dispositivo iniciador.

### **2.1.9 Unidad de Control de la Alarma de Incendios (FACU)**

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, explica que la Unidad de Control de Alarma de Incendio (FACU, por sus siglas en inglés “Fire Alarm Control Unit”), es un gabinete provisto de fuentes de energía primaria y secundaria, en la cual son recibidas todas las señales de los dispositivos iniciadores, procesando tales señales para determinar la función de salida del sistema de alarma de incendio requeridas.

Es importante que el gabinete tenga un suministro de energía secundaria, en caso la red primaria presente alguna falla, pudiendo ser alguna de estas opciones:

- Baterías de almacenamiento específicamente utilizadas para el sistema contra incendio.
- Generador accionado por un motor de encendido automático y baterías de almacenamiento utilizadas específicamente para el sistema contra incendio con una capacidad de funcionamiento de cuatro horas.

Para las condiciones de diseño del suministro de energía secundaria, se debe considerar los siguientes requisitos:

- El sistema debe funcionar por un mínimo de 24 horas y al final de tal período, debe tener la capacidad de activar todos los aparatos de notificación de alarma por lo menos durante cinco minutos.
- De utilizarse baterías para el suministro de la energía secundaria, éstas deben incluir un margen de seguridad mínimo del 20 por ciento por encima de la capacidad en amperios-horas calculada en el diseño.

Los componentes básicos para un sistema de alarma de incendio comprenden lo siguiente:

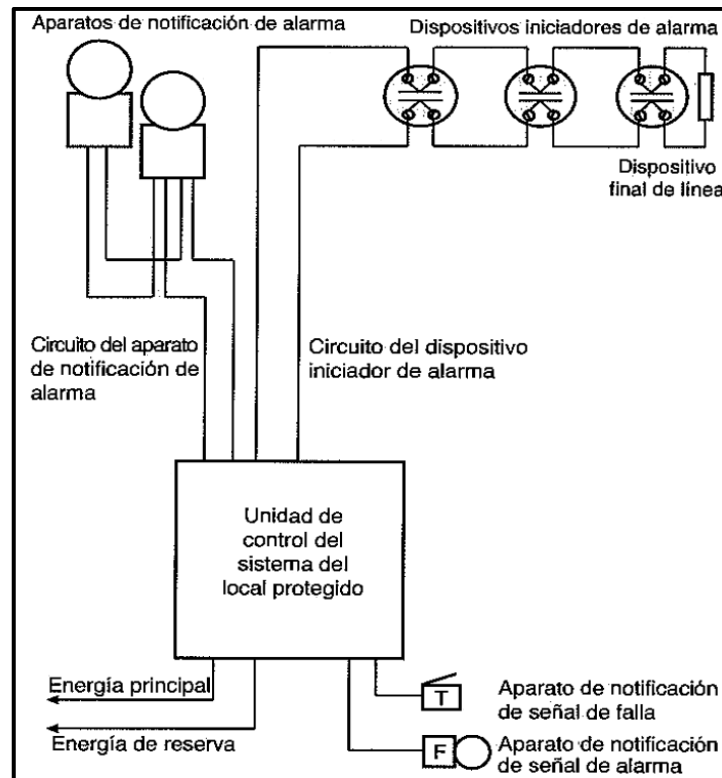
- 1) Unidad de control del sistema (Gabinete FACU).
- 2) Suministro de energía primaria o principal.
- 3) Suministro de energía secundaria o de reserva.
- 4) Dispositivos iniciadores o circuitos de línea de señalización.
- 5) Aparatos de notificación de alarma de incendio.

En la figura 14 se puede observar los componentes típicos de un sistema de alarma local.



**Figura 14**

*Disposición típica de un sistema de alarma de incendio local.*



*Nota:* fuente NFPA (2009). Manual de Protección contra Incendios.

El gabinete FACU dispondrá de los siguientes equipos en la parte interna del tablero:

- Controlador EQP (Eagle Quantum Premier): Su función principal es el monitoreo y protección de las áreas peligrosas, está basado en un microprocesador que realiza funciones de comunicación y control del sistema de seguridad contra incendios.
- Módulos EDIO (Enhanced Discrete Input/Output Module): Es un módulo diseñado para expandir la cantidad de señales digitales (entradas o salidas) para el sistema de detección de incendio. Posee ocho canales individuales configurables y son integradas en la red LON del sistema contra incendio.
- Módulos AIM (Analog Input Module): Es un módulo de entradas analógicas, diseñada para recibir las señales analógicas de 4-20mA de cualquier dispositivo medidor, detector, transmisor, que no se encuentre habilitado para ser integrado a la red LON directamente.

Las alarmas de notificación visual y sonora tendrán activaciones manuales, pero tendrán que ser desactivadas en el panel principal del EQP.

### **2.1.10 Aparatos de notificación**

NFPA (2016), en el “Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización”, explica que las formas de notificación de un sistema de alarma de incendios comprenden a los aparatos de notificación audible y aparatos de notificación visible.

#### - Señalización audible

Los aparatos de notificación audible es la forma más común de indicación para una condición de alarma de incendio. Estos aparatos emitirán una señal audible de intensidad superior al ruido ambiental.

De acuerdo a esta normativa, el sistema de alarma de incendios debe producir un nivel de presión del sonido de 5 dB por encima de cualquier ruido ambiental que dure 60 segundos o más, o 15 dB por encima del promedio de 24 horas, el valor que sea superior de estos dos.

También se debe considerar que el máximo permitido de nivel de presión es de 120 dBA a la distancia mínima que está al alcance del oído.

#### - Señalización visible

Los aparatos de notificación visible son utilizados en su mayoría para aumentar la eficiencia de los aparatos de notificación audible.

Este tipo de notificación es afectada por dos factores:

- 1) Intensidad de la fuente.
- 2) Iluminación a cierta distancia de la fuente.

Es una medida de la salida de luz del aparato emisor, se mide en candela (cd). A mayor distancia de la fuente luminosa, disminuye la iluminación. La iluminación se mide en lumens (lm) por metro cuadrado (también llamado “lux”).

Los aparatos de notificación visible serán instalados en el trayecto donde se concentra la visión de las personas que frecuentan las instalaciones.

### **2.1.11 Red Operativa Local (LON)**

Det-Tronics (2009), en el “Manual de Instrucciones: Eagle Quantum Premier Sistema de detección/liberación para incendios y gases”, la red LON (de sus siglas en inglés, Local Operating Network) es un tipo de comunicación digital de dos cables con tolerancia a fallas (redundante). El circuito se organiza en un bucle que comienza y termina en el controlador.

La ventaja de una red operativa local es su flexibilidad, permitiendo instrumentos de diferentes fabricantes, facilidad de ampliación y un protocolo estándar.

Es capaz de soportar hasta 246 dispositivos de campo distribuidos en una distancia de hasta 10,000 metros, siempre en cuando se agreguen extensores de red cada 2,000 metros. La distancia no superará esta distancia máxima o el número de nodos debido a las demoras de propagación a lo largo del bucle.

### **2.1.12 Red Operativa Local (LON) adaptada para el Sistema Eagle Quantum Premier (EQP)**

En el presente trabajo de investigación se utiliza una versión de la red LON adaptada para el sistema Eagle Quantum Premier (EQP).

Det-Tronics (2009), en el “Manual de Instrucciones: Eagle Quantum Premier Sistema de detección/liberación para incendios y gases”, esta red tiene las siguientes ventajas:

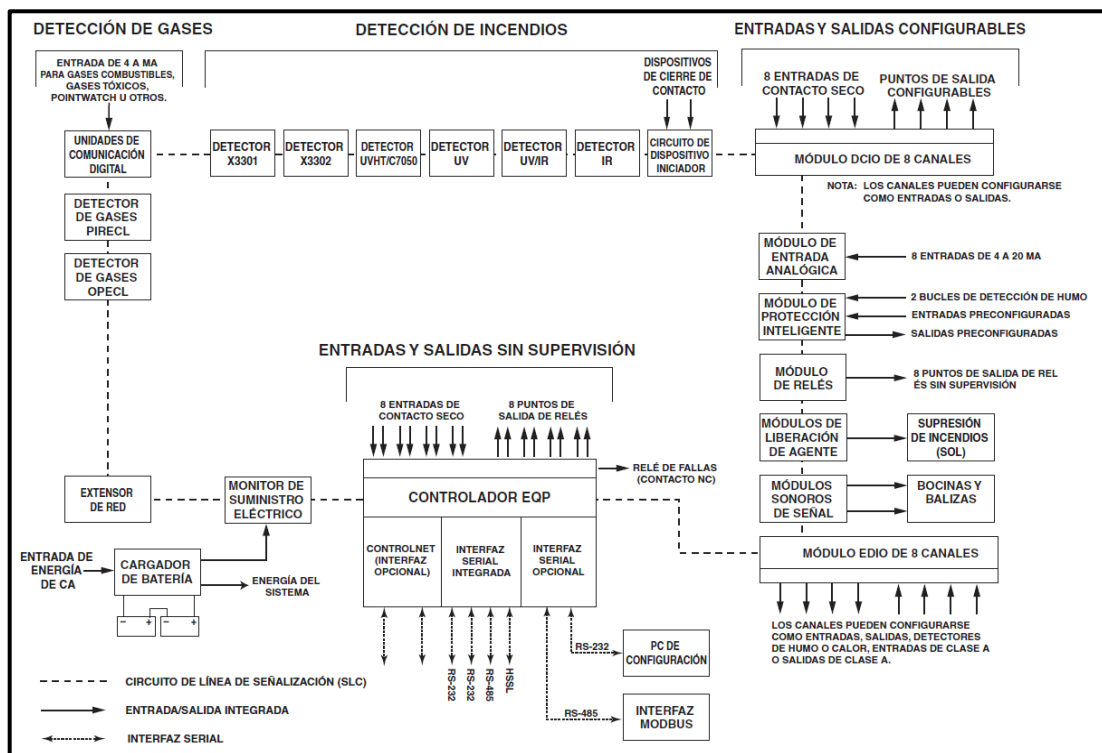
- Rendimiento ANSI/NFPA 72, clase A, estilo 7, de SLC (circuito de línea de señalización).
- Comunicaciones par a par: Cada dispositivo conectado a la red LON se puede comunicar directamente con el controlador en cualquier momento, permitiendo que los mensajes de alarma se envíen de inmediato desde los dispositivos de campo hacia el controlador.
- Formato de mensajes breves: Permite maximizar el rendimiento de la red, no permitiendo una congestión de esta.

- Capacidad de expansión: Es fácilmente adaptable a los cambios de diseño o expansión de la planta, permitiendo agregar, reposicionar o retirar segmentos de red LON del bucle.
- Bucle LON: El controlador emite constantemente una señal de verificación a través de la red LON, probando constantemente su continuidad. Esta señal se envía a través de un puerto LON y se recibe en el otro puerto LON del controlador garantizando que todo funcione correctamente.

Se observa en la figura 15 el diagrama de bloque del sistema Eagle Quantum Premier (EQP).

**Figura 15**

*Diagrama de bloque del Sistema Eagle Quantum Premier (EQP).*



*Nota:* fuente Det-Tronics (2009). Eagle Quantum Premier. Sistema de detección/liberación para incendios y gases.

### 2.1.13 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

NFPA (2009), en el “Manual de Protección contra Incendios”, el GLP es una mezcla de hidrocarburos, comúnmente propano o butano normal, o mezclas de estos con cantidades más pequeñas de etano, etileno, propileno, isobutano y butileno. Aunque los

componentes del GLP son gases a temperatura y presión ambientales, son fáciles de pasar de estado gaseoso a líquido.

Se usa principalmente como gas combustible doméstico, comercial, vehicular, agrícola e industrial. Se almacena en tanques cilíndricos, tanques ASME y tanques con aislamiento API. Estos tanques se encuentran protegidos contra sobrepresión por válvulas de alivio de presión.

En la tabla 2 se muestra las propiedades del GLP y del GNL (gas natural licuado).

**Tabla 2**

*Propiedades seleccionadas de GNL y GLP.*

	<b>Gas Natural Licuado (GNL)</b>	<b>Gas Licuado de Petróleo (GLP)</b>
Peso molecular	16.04	44.1
Punto de ebullición a presión atmosférica	-162 °C	-42 °C
Presión de almacenaje	10-50 psig 70-345 kPa	127 psig (a 21 °C) 876 kPa (a 21 °C)
Estado de almacenaje	Fluido criogénico	Gas licuado comprimido
Densidad de vapor (aire=1)	0.65 (a 20 °C)	1.50 (a 20 °C)
Rango de inflamabilidad en % de aire	5.3-15	2.15-9.60
Temperatura de auto-ignición	539 °C	493-604 °C
Calor neto de combustión	298,500 J/m <sup>3</sup>	364,178 J/m <sup>3</sup>

*Nota:* fuente NFPA (2009). Manual de Protección contra Incendios.

De la tabla se observa que la densidad del GLP es mayor a la del aire, esto significa que, en caso de fuga de combustible de GLP, ésta cae a nivel del suelo y forma nubes de vapor que siguen el contorno superficial sobre un área grande.

Cualquier daño sobre la línea de GLP o el tanque donde se almacena ocasiona una fuga, y si no se incendian rápidamente, forman una nube de gas que se mueve en la dirección del viento. Si esta nube entra en contacto con una fuente de ignición y está dentro del rango e inflamabilidad, tendrá como resultado el retroceso de la flama hasta el punto de fuga, provocando una deflagración e incluso una explosión ocasionando daños a las personas y propiedades dentro del radio de acción.

Uno de los mecanismos que ayudan en la identificación de una fuga de gas es la odorización, debido a que el GLP no tiene olor normalmente, por lo que es odorizado antes de entregarlo a una planta a granel. Esto permite que sea detectable por el olor a

concentraciones en el aire de al menos un quinto del límite inferior de inflamabilidad. Entre los odorizantes típicos utilizados se encuentran el etil mercaptano y tiopano. También se debe tener en cuenta que la odorización no debe ser el sistema utilizado para alertar de una fuga de gas, debido a que en cada persona varía el umbral de detección.

## **2.2 Marco conceptual**

### **ALARMA:**

Existencia de una condición que requiere una respuesta inmediata.

### **CHISPA:**

Partícula móvil de material sólido que emite energía radiante debido ya sea a su temperatura o al proceso de combustión en su superficie.

### **DETECTOR:**

Dispositivo provisto de un sensor que responde a un estímulo físico como gas, humo o flama, adecuado para conectarse a un circuito.

### **FLAMA:**

Cuerpo o flujo de material gaseoso involucrado en el proceso de combustión y que emite energía radiante a bandas de longitud de onda específicas, determinadas por la química de combustión del combustible.

### **RESPUESTA:**

Acciones que se llevan a cabo al recibirse una señal.

### **SEÑAL:**

Indicación de una condición comunicada por medios eléctricos, visibles, audibles, inalámbricos u otros.

### **ZONA:**

Área definida dentro de las instalaciones protegidas. Una zona define un área desde la cual se recibe o envía una señal, o un área en la que se ejecuta una forma de control.

## Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables

### 3.1 Hipótesis general

El desarrollo de una Unidad de Control de Alarma contra Incendios mejora significativamente el Sistema de Detección de Incendios en una Planta de Envasado de GLP.

### 3.2 Operacionalización de variables

**Variable Independiente (V.I):** Unidad de Control de Alarma contra Incendio.

**Variable Dependiente (V.D):** Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de GLP.

En la Tabla 3 se muestra la operacionalización de variables del presente trabajo.

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables.*

Variables	Indicadores
<b>Variable independiente:</b> Unidad de Control de Alarma contra Incendio.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de respuesta de la Unidad de Control de Alarma de Incendio.</li><li>• Nivel de exposición al riesgo.</li></ul>
<b>Variable dependiente:</b> Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de GLP.	



## Capítulo IV. Metodología de la investigación

### 4.1 Tipo y diseño de la investigación

#### 4.1.1 Tipo de investigación

- Enfoque de la investigación

El tipo de investigación según el enfoque, es definido según las características epistemológicas siguientes:

- **Percepción de la realidad:** el trabajo será **objetivo**, porque se recopilarán datos y características de los equipos existentes en el sistema contra incendio.
- **Razonamiento:** el trabajo será **deductivo**, porque se utilizará los valores obtenidos de la recopilación de datos del sistema contra incendio para validar la hipótesis.
- **Finalidad:** el trabajo realizará la **comprobación** de la hipótesis planteada.
- **Orientada:** el trabajo está orientado para mejorar el **proceso**, siendo esta mejora en los tiempos de respuesta del sistema contra incendio ante un caso de emergencia.
- **Principio de verdad:** el trabajo analizará los datos de un sistema contra incendio en **particular**.
- **Perspectiva del investigador:** el trabajo de la investigación analizará los datos desde afuera, porque el investigador interfiere con la operación del sistema contra incendio.
- **Causalidad:** el trabajo se basará en los **antecedentes** de tiempo de respuesta de los equipos existentes.

De acuerdo a las características descritas, se determina que el tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo.

- Alcance de la investigación

La presente investigación es del tipo **explicativa**, debido a que la investigación analiza las variables del tiempo de respuesta del sistema contra incendio y su relación ante una eventual emergencia.

#### **4.1.2 Diseño de la investigación**

El tipo de diseño de la investigación será del tipo **no experimental**, porque se desarrollará el sistema contra incendio según los datos recopilados y mediante los tiempos de respuesta de los equipos se comprobará la hipótesis planteada.

#### **4.2 Unidad de análisis**

El presente trabajo de investigación considerará como unidad de análisis al sistema contra incendio dentro de una planta de envasado de GLP, a un nivel de referencia de 55 m.s.n.m.

La planta de envasado de GLP se ubica en la costa central del Perú, en el departamento de Lima, provincia constitucional del Callao, a 71 m.s.n.m.

El sistema contra incendio existente está compuesto por cinco detectores de flama y cuatro detectores de gas, distribuidos de manera puntual en ciertas zonas de la planta, no cubriendo zonas con alto riesgo de incendio.

La planta de envasado cuenta con cuatro tanques de almacenamiento de GLP, zona de bombas y compresores, dos islas de carga y descarga de GLP, área de envasado de cilindros de 15kg y 45kg y tres carruseles para envasado de cilindros de GLP de 10kg.

### 4.3 Matriz de consistencia

En la tabla 4 se muestra la matriz de consistencia del presente trabajo de investigación.

Título: Desarrollo de Unidad de Control de Alarma contra Incendio (FACU) para mejorar el Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de Gas Licuado de Petróleo (GLP).

**Tabla 4**

*Matriz de consistencia.*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables		Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
			Dependiente	Independiente		
¿De qué manera se mejora el sistema de detección de incendios en una planta de envasado de GLP con una unidad de control de alarma de incendio?	Desarrollar una Unidad de Control de Alarma contra Incendio (FACU) para mejorar el Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de GLP.	El desarrollo de una Unidad de Control de Alarma contra Incendios mejora significativamente el Sistema de Detección de Incendios en una Planta de Envasado de GLP.	V.D.1: Sistema de Detección de Incendios en Planta de Envasado de GLP.	V.I.1: Unidad de Control de Alarma contra Incendio	Tiempo de respuesta (s) de la Unidad de Control de Alarma contra Incendios, Notificación y Extinción. Nivel de exposición al riesgo.	Listado de equipos existentes. Cuadros de proyección de instrumentos. Planos de cobertura de instrumentos. Programación de EQP.

## **Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación**

### **5.1 Introducción**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en tres etapas: recopilación de datos, procesamiento de información y el análisis de resultados.

En la primera etapa, se realizó la recopilación de datos del sistema contra incendio existente, de los instrumentos de detección existentes tanto de flama como de gas. Estos datos se registraron en el formulario del Anexo 1.

En la segunda etapa, se desarrolló el estudio de riesgo del sistema contra incendio existente, luego se realizó el diseño de la arquitectura y filosofía del sistema contra incendio, definiendo el funcionamiento del mismo.

Posteriormente se procedió a realizar la proyección y cobertura de instrumentos de detección de flama y gas, así como también se realizó la proyección de instrumentos de notificación de alarma.

A continuación, se realizó la actualización del estudio de riesgo con los cambios proyectados al sistema contra incendio para verificar la optimización de los índices de riesgo de la planta.

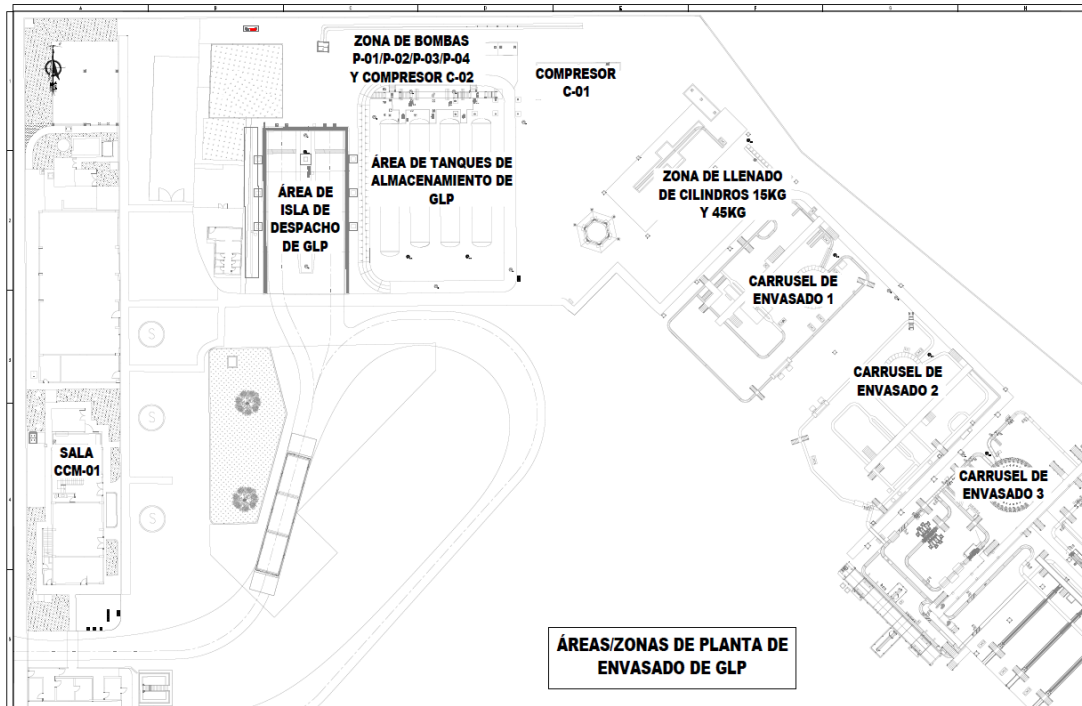
En la tercera etapa, se analizaron los resultados obtenidos de la actualización de la matriz de riesgo, así como las mejoras obtenidas con la implementación del nuevo sistema contra incendio.

## 5.2 Estado situacional

La planta de envasado de GLP cuenta con diferentes áreas/zonas junto a equipos de detección existentes. En la figura 16 se observa las áreas/zonas de la planta de envasado.

**Figura 16**

*Áreas/zonas de planta de envasado de GLP.*



En la sala CCM-01 se encuentra un PLC de la marca GE Fanuc modelo 90-30, que se encarga de controlar y monitorear los procesos de la planta, pero también se encarga del monitoreo y supervisión de los detectores de flama y gas existentes, incumpliendo la norma que menciona que el panel de control del sistema contra incendio debe ser independiente del controlador de procesos.

La planta de envasado de GLP cuenta actualmente con un sistema de detección contra incendio compuesto por cinco detectores de flama y cuatro detectores de gas, que cubren las siguientes zonas, de acuerdo a la tabla 5:

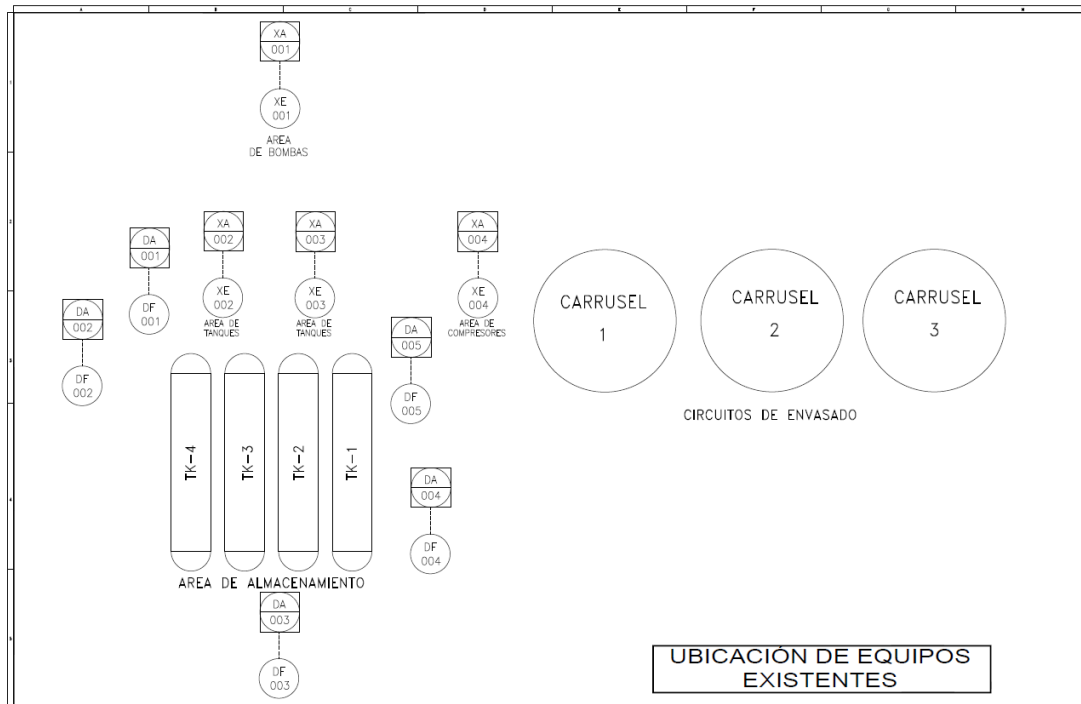
**Tabla 5***Lista de equipos existentes del sistema contra incendio.*

<b>Tag</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Servicio</b>	<b>Ubicación</b>	<b>¿Cumple?</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
DF-001	Honeywell	FSL100-UV	Detector de flama	Área de bombas P-01/02/03/04	No apto para intemperie / generación de falsas alarmas	12 segundos
DF-002	Honeywell	FSL100-UV	Detector de flama	Área de tanques de almacenamiento	No apto para intemperie / generación de falsas alarmas	12 segundos
DF-003	Honeywell	FSL100-UV	Detector de flama	Área de tanques de almacenamiento	No apto para intemperie / generación de falsas alarmas	12 segundos
DF-004	Honeywell	FSL100-UV	Detector de flama	Área de tanques de almacenamiento	No apto para intemperie / generación de falsas alarmas	12 segundos
DF-005	Honeywell	FSL100-UV	Detector de flama	Área de tanques de almacenamiento	No apto para intemperie / generación de falsas alarmas	12 segundos
XE-001	Det-Tronics	Point Watch PIR9400	Detector de gas	Área de bomba P-03	Sí (señal 4-20mA)	7 segundos
XE-002	Det-Tronics	Point Watch PIR9400	Detector de gas	Área de tanques de almacenamiento	Sí (señal 4-20mA)	7 segundos
XE-003	Det-Tronics	Point Watch PIR9400	Detector de gas	Área de tanques de almacenamiento	Sí (señal 4-20mA)	7 segundos
XE-004	Det-Tronics	Point Watch PIR9400	Detector de gas	Área de compresor C-01	Sí (señal 4-20mA)	7 segundos

Estos equipos se encuentran ubicados en la planta de envasado de GLP, de acuerdo a la figura 17.

**Figura 17**

*Ubicación de equipos de detección existentes.*



Sin embargo, se observó que los detectores de flama no son los adecuados para aplicaciones en intemperie, debido a que generan falsas alarmas cuando se refleja los rayos solares en el lente óptico del detector, por lo que se propuso el cambio de tecnología del detector de flama de UV a IR3 que tienen mejor inmunidad a falsas alarmas.

### **5.3 Recolección de datos para análisis**

En la tabla 6, se muestra los equipos de detección existente distribuidos en las áreas/zonas y se observa que varias de las zonas/áreas no cuentan con un sistema de detección para la activación del sistema contra incendio, siendo zonas de alto riesgo.

**Tabla 6***Distribución de áreas y equipos del sistema contra incendio.*

Área / Zona	Equipos de detección existentes	¿Cuenta con detección de flama / gas?
Tanque de almacenamiento TK-01	DF-002 / XE-002	Sí (detector de flama será reemplazado)
Tanque de almacenamiento TK-02	DF-002 / DF-003 / XE-002	Sí (detector de flama será reemplazado)
Tanque de almacenamiento TK-03	DF-003 / DF-004 / XE-003	Sí (detector de flama será reemplazado)
Tanque de almacenamiento TK-04	DF-004 / DF-005 / XE-003	Sí (detector de flama será reemplazado)
Isla de despacho de GLP	-	No
Compresor C-01	XE-004	Sí
Compresor C-02	-	No
Bomba P-01	DF-001	Sí (detector de flama será reemplazado)
Bomba P-02	DF-001	Sí (detector de flama será reemplazado)
Bomba P-03	DF-001 / XE-001	Sí (detector de flama será reemplazado)
Bomba P-04	DF-001	Sí (detector de flama será reemplazado)
Llenado de cilindros de 15kg	-	No
Carrusel de envasado 1 de cilindros 10kg	-	No
Carrusel de envasado 2 de cilindros 10kg	-	No
Carrusel de envasado 3 de cilindros 10kg	-	No

#### 5.4 Especificación técnica de sistema de control

El gabinete de control del sistema contra incendio está conformado por un controlador EQP que se encarga de recoger la información de los diferentes dispositivos de campo recibiendo las señales de los detectores de flama, gas, estaciones manuales y equipos asociados al sistema contra incendio, evaluando y generando alarmas y activación de válvulas de diluvio.

Todos los dispositivos del sistema de control cumplen con las normas NFPA y cuentan con certificación UL/FM.

El controlador EQP del sistema Fire & Gas es de protocolo abierto siendo capaz de compartir la información en diferentes niveles de gestión/control de la planta. Es del tipo analógico o direccionable siendo capaz de reconocer el lugar en donde se produzca la señal de alarma.



La unidad de control cuenta con un suministro de energía secundario capaz de mantener funcionando el sistema durante 24 horas en modo “standby” (equipos de detección activos) y posterior a eso 5 minutos en modo “alarma” (equipos de notificación activados).

La señal de avería (“Trouble”) del panel es distinta a las señales de alarma (“Alarm”). Posee una señal audiovisual con un LED intermitente o constante, de un color distinto del rojo y con un sonido pulsante, con una duración mínima de 0.5 segundos y uno por lo menos cada 10 segundos.

El controlador cuenta con un botón de silenciador de alarma, mediante el cual todos los dispositivos programados regresen a la condición normal después de un estado de alarma. También cuenta con un botón de reset, mediante el cual todos los dispositivos regresen a su condición normal.

El microprocesador del controlador es de velocidad suficiente para el procesamiento de señales de entradas y salidas (comunicación digital LON de 78.5 kbps), con la capacidad para guardar los archivos de programa del sistema, una memoria no volátil para archivo de programas especiales del sistema y un circuito timer watch-dog que detecta y reporta cualquier falla del microprocesador. El sistema deberá ser capaz de registrar como mínimo los 100 últimos eventos. La hora y fecha no debe perderse en caso de falla de fuente de energía primaria o secundaria.

El software para el control del sistema contra incendio posee diferentes niveles de acceso de acuerdo al tipo de personal encargado de la operación.

El lazo de control es del tipo LON, a excepción de los detectores de gas existentes que son de señal de 4-20mA, que son integrados al lazo de control mediante un módulo electrónico que es capaz de recibir la señal 4-20mA y comunicarse con el lazo LON del sistema proyectado. Los instrumentos de campo que no posean señal LON se conectarán a módulos de entradas y salidas, que permiten la conexión de la red LON, mientras que la comunicación del controlador EQP al Tablero PLC será mediante comunicación Modbus, esto se verá plasmado en la arquitectura de control.

El gabinete de control FACU está diseñado para uso en interior, hermético a prueba de polvo, humedad y corrosión (grado de protección IP56), para las cajas de paso o junction box (JB) en exteriores el grado de protección será IP66.

El controlador es de la marca Det-Tronics y el modelo es EQ3001PNNW.

En la tabla 7 se observa las características principales del controlador del sistema contra incendio.

**Tabla 7**

*Características del controlador del sistema contra incendio.*

<b>Controlador del sistema contra incendio</b>	
Tensión de entrada	24 Vcc nominal 18-30 Vcc
Potencia	9W 12W, máximo
Comunicación	LON
Cantidad de dispositivos de campo	Hasta 246 dispositivos en una distancia no mayor a 10,000 metros
Tiempo de respuesta	Menor a 100 dispositivos de campo: < 3.2 segundos Mayor a 100 dispositivos de campo: < 9.1 segundos
Almacenamiento	Hasta 4095 alarmas y eventos
Rango de temperatura	-40 °C a 85 °C
Rango de humedad	5% - 95%
Certificaciones	FM / CSA / ATEX

## **5.5 Especificación técnica de instrumentos de detección**

Los detectores de flama están basados en funcionamiento IR3 multiespectro (triple infrarrojo), con una función de integridad óptica automática que consiste en realizar una prueba de rendimiento calibrada que se ejecuta automáticamente una vez por minuto para verificar la capacidad de funcionamiento del detector sin requerir pruebas con una lámpara externa. También es capaz de ejecutar la prueba magnética para verificación manual del instrumento.

Los detectores de gas están basados en funcionamiento IR (infrarrojo) de tipo puntual, que supervisa de manera continua las concentraciones de gases de hidrocarburo en un rango de 0-100% del nivel mínimo inflamable (LFL), es ideal para exteriores siendo certificado para uso en zonas peligrosas de clase I, división 1.

Los detectores son cableados mediante lazo de comunicación tolerante a fallas hacia el controlador del sistema Fire & Gas. Esto quiere decir que, en caso de una falla en el cableado, los dispositivos de campo que presentan la falla la aíslan abriendo los relés de aislamiento de fallas y una vez realizado esto, se reanuda la comunicación con el controlador, sin perder la comunicación total del sistema.

La señal de alarma de cualquier dispositivo de detección (automático o manual) tiene prioridad en el panel sobre cualquier señal de avería o de monitoreo de algún dispositivo que no sea de detección.

Los dispositivos de detección son capaces de ser configurados en cuanto a sensibilidad desde el controlador principal.

El sistema de detección Fire & Gas cumple con las recomendaciones realizadas por el estudio de riesgo.

Los dispositivos de detección también cumplen con las normas NFPA y cuentan con certificación UL/FM.

El detector de flama es de la marca Det-Tronics y el modelo es X3301A4N14T1, con un tiempo de respuesta menor a 5 segundos.

El detector de gas es de la marca Det-Tronics modelo PIRECLA4D1T1, con un tiempo de respuesta de 3.2 segundos a 50% LEL.

En la tabla 8 se observa las características principales de los detectores de flama del sistema contra incendio.

**Tabla 8**

*Características del detector de flama del sistema contra incendio.*

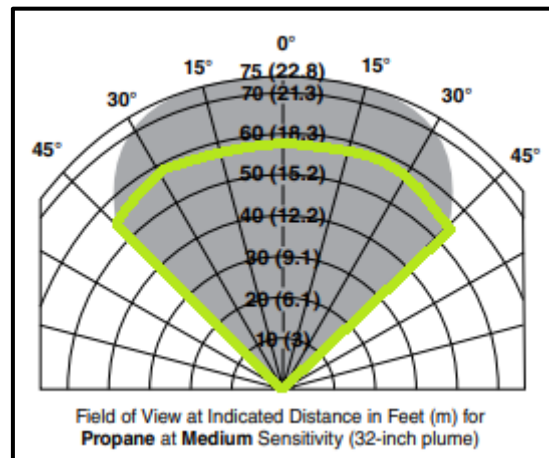
<b>Detector de flama</b>	
Tecnología	IR3 multiespectro
Combustible	Propano / butano
Tensión de entrada	18-30 Vcc
Potencia	4W a 24Vcc nominal 5.2W a 24Vcc en alarma
Comunicación	LON
Tiempo de respuesta	< 5 segundos
Campo de visión	90° horizontal / 75° vertical
Cobertura	17 metros (75% de distancia según catálogo)
Rango de temperatura	-40 °C a 75 °C
Rango de humedad	0% - 95%
Certificaciones	FM / CSA / ATEX
Clasificación	Clase 1 División 2 / Zona Ex d e

La cobertura de los detectores de flama depende de la sensibilidad y del tipo de combustible, para fines de este diseño se ha seleccionado una sensibilidad media que es la recomendada para aplicaciones de Oil & Gas en exteriores. La forma de cobertura tiene un ángulo de visión de 90° (horizontal) y 75° (vertical). La altura para la ubicación de los postes es de 5 a 7 metros de altura, dependiendo de las dimensiones de los equipos a protegerse y el cono de cobertura verticalmente teniendo una inclinación hacia el suelo de 10° a 20°.

En la figura 18 se observa la cobertura del detector de flama.

## Figura 18

*Cobertura de detector de flama.*



*Nota:* fuente Det-Tronics (2010). Detector de flama IR multiespectro Protect IR X3301.

En la tabla 9 se observa las características principales de los detectores de gas del sistema contra incendio.

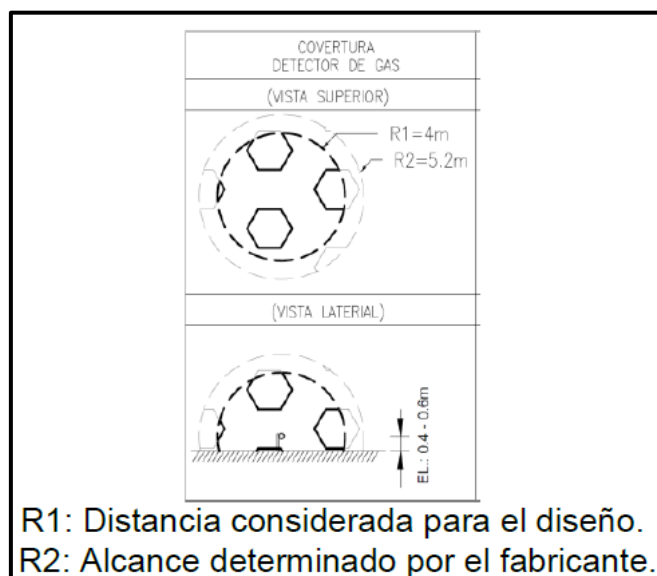
## Tabla 9

*Características del detector de gas del sistema contra incendio.*

Detector de gas	
Tecnología	Infrarrojo
Combustible	Propano / butano
Tensión de entrada	18-30 Vcc
Potencia	4W a 24Vcc nominal 7.5W a 24Vcc en alarma
Comunicación	LON
Tiempo de respuesta	3.2 segundos a 50% LEL (propano) 3.1 segundos a 50% LEL (butano)
Campo de visión	Semiesférica (3 dimensiones)
Cobertura	4 metros (75% de distancia según catálogo)
Rango de temperatura	-55 °C a 75 °C
Rango de humedad	5% - 95%
Certificaciones	FM / CSA / ATEX
Clasificación	Clase 1 División 1,2 / Zona Ex d e

## Figura 19

Cobertura de detector de gas.



*Nota:* fuente Det-Tronics (2013). Detector infrarrojo de gases de hidrocarburos PointWatch Eclipse modelo PIRECL.

### 5.6 Especificación técnica de instrumentos de notificación

Los equipos de notificación están ubicados en las zonas/áreas en las que normalmente haya personal laborando en campo.

Los dispositivos de notificación se encuentran ubicados en soportes a la altura adecuada para proveer la suficiente visibilidad/sonoridad para alertar al personal cercano.

El tipo de señal audible es indiferente, cumpliendo el requisito de no ser utilizado para un propósito diferente al de alarma de incendio.

Los dispositivos de notificación cumplen con las normas NFPA y contar con certificación UL/FM. La alarma sonora debe tener un nivel sonoro de 15 dB por encima del nivel sonoro promedio de la planta y menos de 120 dB para evitar daños auditivos.

Las válvulas de diluvio cuentan con un interruptor de presión para la notificación de apertura de la válvula en el SCADA.

En la tabla 10 se observa las características principales de las alarmas sonoras del sistema contra incendio.

**Tabla 10***Características de alarma sonora del sistema contra incendio.*

<b>Alarma sonora</b>	
Tipo	Sonora de tonos
Intensidad de sonido	108 +/- 3 dbA a 10 ft
Control de volumen	Control integral de volumen para calibración
Voltaje de alimentación	24Vcc
Potencia	10W
Rango de temperatura	-55 °C a 70 °C
Rango de humedad	0% - 95%
Certificaciones	FM / CSA / ATEX
Marca	Selectone
Modelo	300GCX-024

En la tabla 11 se observa las características principales de las alarmas visuales del sistema contra incendio.

**Tabla 11***Características de alarma visual del sistema contra incendio.*

<b>Alarma visual</b>	
Tipo	Baliza estroboscópica
Estilo de lámpara	Estrobo de luz de xenón
Frecuencia de destello	60 fpm
Intensidad efectiva	> 29
Voltaje de alimentación	24 Vcc
Potencia	19 W
Rango de temperatura	-55 °C a 70 °C
Rango de humedad	0% - 95%
Certificaciones	FM / CSA / ATEX
Marca	Protecto Wire Fire Systems
Modelo	SGX-32SK1

## **5.7 Estudio de riesgo de sistema contra incendio existente**

El siguiente paso fue realizar un estudio de riesgos de seguridad según las áreas/zonas para la identificación de peligros y evaluación de los mayores escenarios de riesgo en las instalaciones actuales de la planta de envasado de GLP.

Para realizar una clasificación de las recomendaciones surgidas durante el estudio de riesgo, se utilizó el Análisis Cualitativo de Riesgos, es decir, la aplicación de un Índice de Severidad y un Índice de Probabilidad, que se traducen en un Nivel de Exposición al Riesgo.

En la tabla 12 se observa la tabla de Índice de Severidad:

**Tabla 12**

*Índice de severidad.*

Nivel de severidad	Personas / Medio ambiente / Económico
5 Catastrófico	Muerte, liberación tóxica fuera del sitio con efecto perjudicial, gran pérdida financiera (> S/.2,000,000).
4 Mayor	Lesiones extensas, pérdida de capacidad de producción, liberación fuera del sitio con efectos perjudiciales, pérdida financiera importante (S/.600,000 - S/.2,000,000).
3 Moderado	Lesiones extensas, pérdida de capacidad de producción, liberación fuera del sitio sin efectos perjudiciales, pérdida financiera importante (S/.200,000 – S/.600,000).
2 Menor	Tratamiento de primeros auxilios, liberación in-situ contenida inmediatamente, pérdida económica media (S/.70,000 – S/.200,000).
1 Insignificante	Sin lesiones, baja pérdida financiera (< S/.70,000).

*Nota:* fuente Agus Sutanto, Eva (2019). Risk control analysis of distribution operations in LPG storage using fault tree analysis method.

En la tabla 13 se observa la tabla de Índice de Probabilidad:

**Tabla 13**

*Índice de probabilidad.*

Nivel de probabilidad	Personas / Medio ambiente / Económico
5 Casi seguro	Se espera que ocurra en la mayoría de circunstancias.
4 Probable	Probablemente ocurrirá en la mayoría de circunstancias.
3 Moderado	Puede ocurrir en algún momento.
2 Poco probable	Podría ocurrir en algún momento.
1 Raro	Puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales.

*Nota:* fuente Agus Sutanto, Eva (2019). Risk control analysis of distribution operations in LPG storage using fault tree analysis method.

Con el Índice de Severidad que se obtiene de la tabla 12 y el Índice de Probabilidad que se obtiene de la tabla 13, se determina el Nivel de Exposición al Riesgo de cada situación analizada en la Matriz de Riesgo Cualitativo, de acuerdo a la tabla 14.



**Tabla 14**

*Matriz de riesgo cualitativo.*

Matriz de riesgo cualitativo		Índice de severidad	1	2	3	4	5
		Severidad	Insignificante <S/.70,000	Menor <S/.70,000- S/200,000]	Moderado <S/.200,000- S/600,000]	Mayor <S/.600,000- S/2,000,000]	Catastrófico > S/.2,000,000
Índice de probabilidad	Probabilidad						
CS	Casi seguro		Moderado	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
P	Probable		Bajo	Moderado	Alto	Alto	Muy alto
M	Moderado		Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
PP	Poco probable		Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
R	Raro		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado

*Nota:* fuente Agus Sutanto, Eva (2019). Risk control analysis of distribution operations in LPG storage using fault tree analysis method.

Además, cada uno de los Niveles de Exposición al Riesgo tienen acciones y estrategias de respuesta, las cuales son descritas en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Nivel de exposición al riesgo.*

Nivel de exposición al riesgo	
Nivel	Acción / estrategia de respuesta
Muy alto	Riesgo extremo, implementación inmediata de medidas de control adicionales.
Alto	Riesgo alto, implementación de medidas de control adicionales como requisito para inicio de actividades, que garanticen la disminución del riesgo residual y el mantenimiento del proceso bajo condiciones seguras de operación.
Moderado	Riesgo medio, se evalúa la necesidad de controles adicionales, con el objetivo de mejora continua y mantenimiento de proceso bajo condiciones seguras de operación.
Bajo	Riesgo aceptable, no se requieren controles adicionales a los existentes. Monitoreo permanente del riesgo, evaluando controles existentes.

*Nota:* fuente Agus Sutanto, Eva (2019). Risk control analysis of distribution operations in LPG storage using fault tree analysis method.

Después de realizar la evaluación cualitativa de riesgos dio como resultado los siguientes escenarios de riesgos críticos, mostrados en la tabla 16. Posteriormente estos escenarios serán evaluados nuevamente, después de la implementación de la mejora del Sistema contra incendio.

**Tabla 16**

*Escenarios de riesgo.*

Escenario	Caso	Descripción	Casos de escenarios de riesgos
1	1	Tanque de almacenamiento TK-1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-1.
2	1	Tanque de almacenamiento TK-2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-2.
3	1	Tanque de almacenamiento TK-3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-3.
4	1	Tanque de almacenamiento TK-4	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-4.
5	1	Cisterna en isla de despacho N° 1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 1.
6	1	Cisterna en isla de despacho N° 2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 2.
7	1	Bomba P-1	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.
8	1	Bomba P-2	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.

Escenario	Caso	Descripción	Casos de escenarios de riesgos
9	2	Bomba P-3	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.
10	1	Bomba P-4	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.
11	1	Compresor C-1	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.
12	1	Compresor C-2	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.
13	1	Manifold de envasado de cilindros de 15 y 45 kg	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.
14	1	Carrusel 1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.
15	1	Carrusel 2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.
	3		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.
	5		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.
16	1	Carrusel 3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.
17	1	Carrusel 1/2/3	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en el acople del envasado de cilindros.
18	1	Islas de despacho N° 1 y 2	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en la conexión de descarga de cisternas de GLP a granel.

Una vez identificado los escenarios de riesgo, se procedió a analizar las consecuencias de los siniestros que se tiene en cada uno de ellos. Esto se muestra en la tabla del anexo 3.

En la tabla 17 se observa el resumen de la matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema contra incendio existente en la cual se observa que hay 36 casos en los cuales el nivel de exposición al riesgo es bajo y 20 casos en los cuales el nivel de exposición al riesgo es moderado, serán estos últimos las que se disminuyeron después de la implementación del nuevo sistema contra incendio.

**Tabla 17**

*Resumen de matriz de evaluación cualitativa de riesgos.*

<b>Matriz de evaluación cualitativa de riesgos</b>		
N° de Escenarios	N° de Casos	Nivel de exposición al riesgo
18	56	Bajo = 36
		Moderado = 20
		Alto = 0
		Muy alto = 0

### **5.8 Diseño de la arquitectura y filosofía del sistema contra incendio**

Como se mencionó inicialmente, el sistema contra incendio existente contaba con un PLC que se encargaba del área de procesos y del monitoreo y supervisión de los instrumentos de detección de flama y gas, pero por norma no está permitido que un controlador se encargue del área de procesos y del sistema contra incendio, por lo que se implementará un controlador encargado de monitorear y supervisar solamente el sistema contra incendio, tal como se describe en este sub capítulo.

El sistema de detección de fuego y notificación de alarma es un sistema autónomo, capaz de mantener su integridad, fiabilidad y disponibilidad. El sistema basa su operación en el controlador Eagle Quantum Premier (EQP) de Det-Tronics, el cual está diseñado específicamente para monitorear con la máxima seguridad todos los componentes del sistema contra incendio, activando las alarmas de notificación, todo esto siendo requerido por NFPA 72. En la tabla 18 se puede observar las principales diferencias con un PLC.

**Tabla 18**

*Diferencias entre panel de control SCI y PLC.*

<b>Unidad o Panel de Control SCI</b>	<b>Controlador Lógico Programable (PLC)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lectura de instrumentos encargados de detección de flama, gas, humo, etc.</li><li>- Se activa puntualmente en caso de emergencia.</li><li>- Posee botones para restablecimiento, reconocimiento y silenciamiento de alarmas.</li><li>- Controla entradas y salidas del solamente del sistema contra incendio.</li><li>- Alimentación de respaldo obligatorio.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lectura de señales de instrumentos distribuidos en campo.</li><li>- Interfaz que permite el uso y diálogo con operarios.</li><li>- Ejecutan órdenes por tiempos prolongados.</li><li>- Controlan entradas y salidas de un determinado proceso.</li><li>- Alimentación de respaldo opcional.</li></ul>

Este es un sistema combinado de detección de flama y gas, integrado a una red tolerante a fallas clase X (circuito redundante en dos sentidos), teniendo como objetivo la activación del sistema de extinción (válvulas de diluvio), estaciones manuales y alarmas sonoras/visuales en la Planta de Envasado de GLP.

El sistema de detección de fuego y gas envía señal general de falla por cableado duro o red LON al gabinete FACU para alertar en caso de alarma en alguna zona, adicionalmente se comunica mediante Modbus TCP al tablero PLC auxiliar con el fin de integrarlo al sistema SCADA.

En el anexo N° 2 se observa la arquitectura de control del sistema contra incendio proyectado.

Según la arquitectura de control se observa que el lazo de control está compuesto según lo mostrado en la tabla 20 que se detalla a continuación.

En la tabla 19 se observa la cantidad de dispositivos de red de comunicación por tipo.

**Tabla 19***Dispositivos de red de comunicación.*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo de dispositivo</b>
01	Controlador EQP
01	Módulo AIM (detectores de gas existentes)
04	Módulo EDIO (03 válvulas de diluvio, 03 interruptores de presión, 04 estaciones manuales, 02 alarmas sonoras y 02 alarmas visuales)
12	Detector de flama
12	Detector de gas
04	Detector de gas existentes 4-20mA

Los tanques horizontales de almacenamiento de GLP y la nueva isla de carga/descarga cuentan con un sistema de aspersores para enfriamiento en caso de incendio.

Esta aplicación de agua de enfriamiento es a través de válvulas de diluvio que son activadas de manera automática por medio del accionamiento de los detectores de fuego ubicados en las diferentes áreas/zonas de la planta. Adicionalmente, el sistema de enfriamiento cuenta con las facilidades para la activación manual en caso de emergencia.

En la tabla 20 se muestran las válvulas de diluvio que forman parte de la arquitectura de control.

**Tabla 20***Válvulas de diluvio.*

<b>Tag</b>	<b>Equipo / zona a proteger</b>	<b>Interruptor manual</b>	<b>Switch de presión</b>	<b>Alarma de presión</b>
VD-001	Tanques 03 y 04	HS-001	PSH-001	PAH-001
VD-002	Tanques 01 y 02	HS-002	PSH-002	PAH-002
VD-003	Islas de carga/descarga GLP	HS-003	PSH-003	PAH-003

Además de las estaciones de activación manual de las válvulas de diluvio, éstas cuentan con activación manual mediante una válvula de purga ubicado en el trim. Estas válvulas no deben ser cerradas remotamente, siendo reestablecidas y cerradas en sitio, de acuerdo al manual del fabricante.

El switch de presión de cada válvula de diluvio es un elemento de monitoreo de presión, siendo un elemento de confirmación de activación. Se encargará de activar una alarma cuando se detecte una presión en la descarga de 15 psig, teniendo como objetivo

notificar la apertura de la válvula de diluvio correspondiente enviando una señal a la sala de control.

La lógica para la activación del sistema contra incendio es como sigue:

- Detectores de gas:

La activación de al menos un detector de gas al 20% de LEL (límite inferior de explosividad), emite automáticamente una alarma de indicación visual/sonora en el panel de operador (SCADA). Cuando la alarma es del 40% de LEL de al menos un detector de gas, se activan alarmas en el panel de operados y se activan las alarmas sonoras/visuales en la Planta.

En la tabla 21 se observa los niveles de alarma de gas:

**Tabla 21**

*Niveles de alarmas de gas.*

<b>Alarma</b>	<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje de LEL (%)</b>
XAH	Alarma de alta concentración	20
XAHH	Alarma de muy alta concentración	40

En la tabla 22 se muestra las señales de alarma por cada detector de gas.

**Tabla 22***Señales de alarma de detección de gas.*

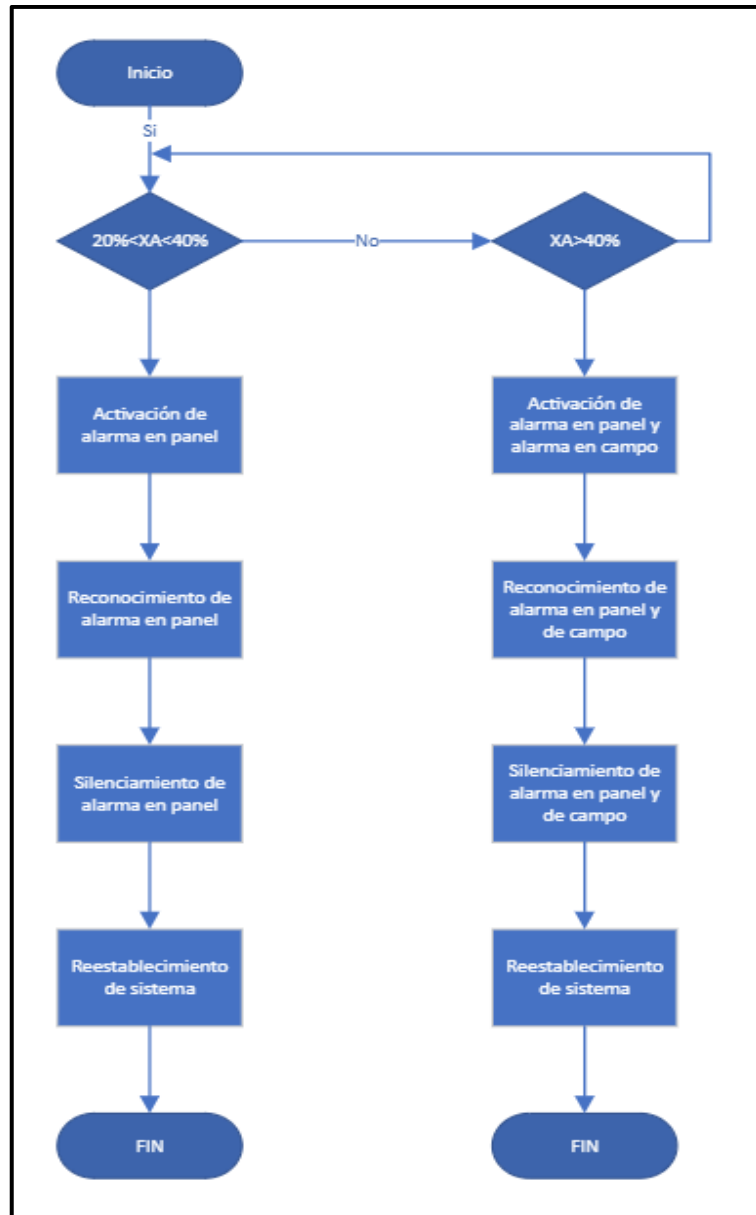
<b>Activación</b>	<b>Servicio</b>	<b>Alarma en panel</b>	<b>Alarma en campo</b>
XE-001	Detección de gas en zona de bombas de GLP	XAHH-001	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-001	-
XE-002	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-002	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-002	-
XE-003	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-003	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-003	-
XE-004	Detección de gas en zona de compresor C-01	XAHH-004	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-004	-
XE-005	Detección de gas en isla de carga/descarga	XAHH-005	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-005	-
XE-006	Detección de gas en zona de compresor C-15	XAHH-006	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-006	-
XE-007	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-007	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-007	-
XE-008	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-008	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-008	-
XE-009	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-009	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-009	-
XE-010	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-010	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-010	-
XE-011	Detección de gas en zona de tanques horizontales	XAHH-011	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-011	-
XE-012	Detección de gas en zona de llenado de cilindros de 45kg	XAHH-012	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-012	-
XE-013	Detección de gas en zona de llenado de cilindros de 45kg	XAHH-013	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-013	-
XE-014	Detección de gas en zona de carrusel K-1	XAHH-014	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-014	-
XE-015	Detección de gas en zona de carrusel K-2	XAHH-015	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-015	-
XE-016	Detección de gas en zona de carrusel K-3	XAHH-016	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
		XAH-016	-

En la figura 20 se indica la secuencia de activación en caso se detecten niveles de gas por encima de los establecidos.



**Figura 20**

*Secuencia de detección de gas.*



- Detectores de flama:

La activación de un detector de flama activará los sistemas de aplicación de agua de enfriamiento asociados a dicho detector (solo en el caso de detectores de flama ubicados en la zona de tanques horizontales e isla de carga/descarga de GLP).

Los detectores de flama se agrupan en 04 zonas:

- En la isla de carga/descarga de GLP, la activación de cualquiera de los dos detectores de flama activará el sistema de extinción en la isla de carga/descarga y

el sistema de enfriamiento de los tanques horizontales TK-03 y TK-04, así como las alarmas sonoras/visuales de la planta.

- En la zona de tanques horizontales, la activación de cualquier detector de flama activará el sistema de enfriamiento de todos los tanques horizontales, así como las alarmas sonoras/visuales de la planta.
- En la zona de bombas y compresores, la activación del detector de flama activará las alarmas sonoras/visuales de la planta.
- En la zona de carruseles, la activación de cualquiera de los tres detectores de flama activará las alarmas sonoras/visuales de la planta.

En la tabla 24 se observa la activación de las válvulas de diluvio por detección de fuego:

**Tabla 23**

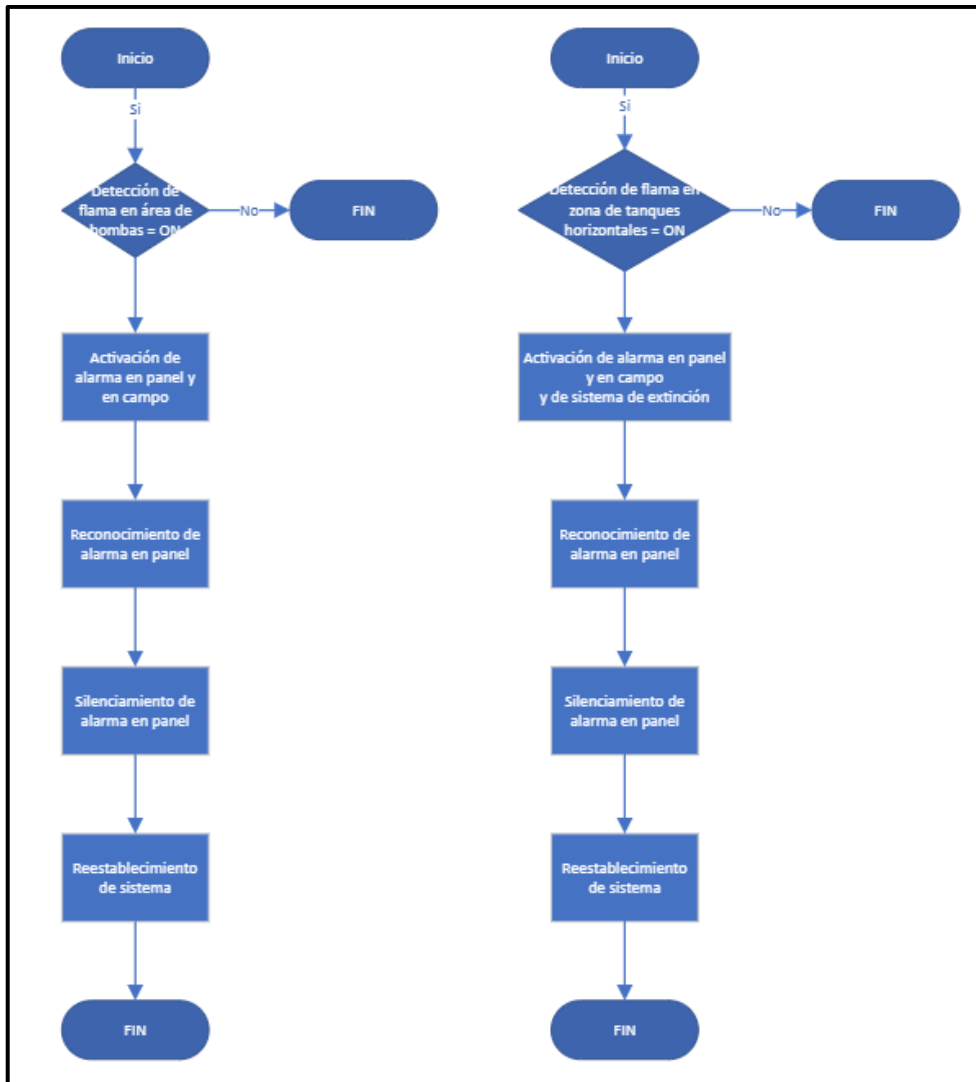
*Activación de válvulas de diluvio por detección de flama.*

Activación	Servicio	Sistema de extinción	Alarma en panel	Alarma en campo
DF-001	Detección de flama en área de bombas	-	AF-001	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-002	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-002	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-003	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-003	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-004	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-004	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-005	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-005	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-006	Detección de flama en isla de carga/descarga de GLP	VD-001/ VD-003	AF-006	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-007	Detección de flama en isla de carga/descarga de GLP	VD-001/ VD-003	AF-007	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-008	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-008	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-009	Detección de flama en zona de tanques horizontales	VD-001 / VD-002	AF-009	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-010	Detección de flama en zona de carrusel K-1	-	AF-010	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-011	Detección de flama en zona de carrusel K-2	-	AF-011	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
DF-012	Detección de flama en zona de carrusel K-3	-	AF-012	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004

En las figuras 21 y 22 se indica la secuencia de activación en caso se detecte fuego en alguna de las zonas/áreas de la planta.

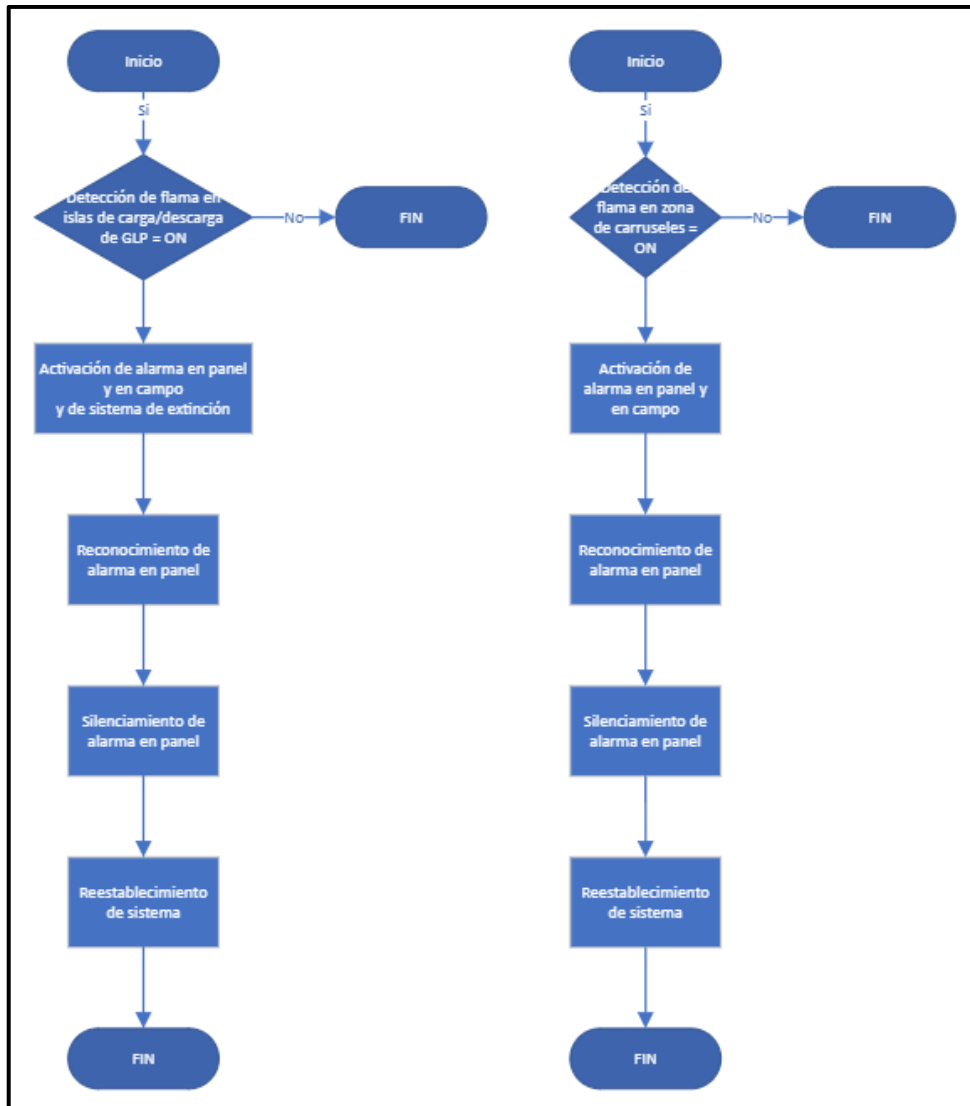
**Figura 21**

*Secuencia de detección de flama en área de bombas y zona de tanques horizontales.*



**Figura 22**

*Secuencia de detección de flama en islas de carga/descarga y zona de carruseles.*



- Estaciones manuales

Las estaciones manuales quedarán enclavadas luego de su activación hasta que sean reconocidas y silenciadas desde el panel en el FACU, posterior a eso, se cerrará la estación manual por medio de la llave de seguridad a cargo del operador o supervisor asignado, después se realizará un reset general al estado de alarmas.

En la tabla 24 se muestran las estaciones de activación manual.

**Tabla 24**

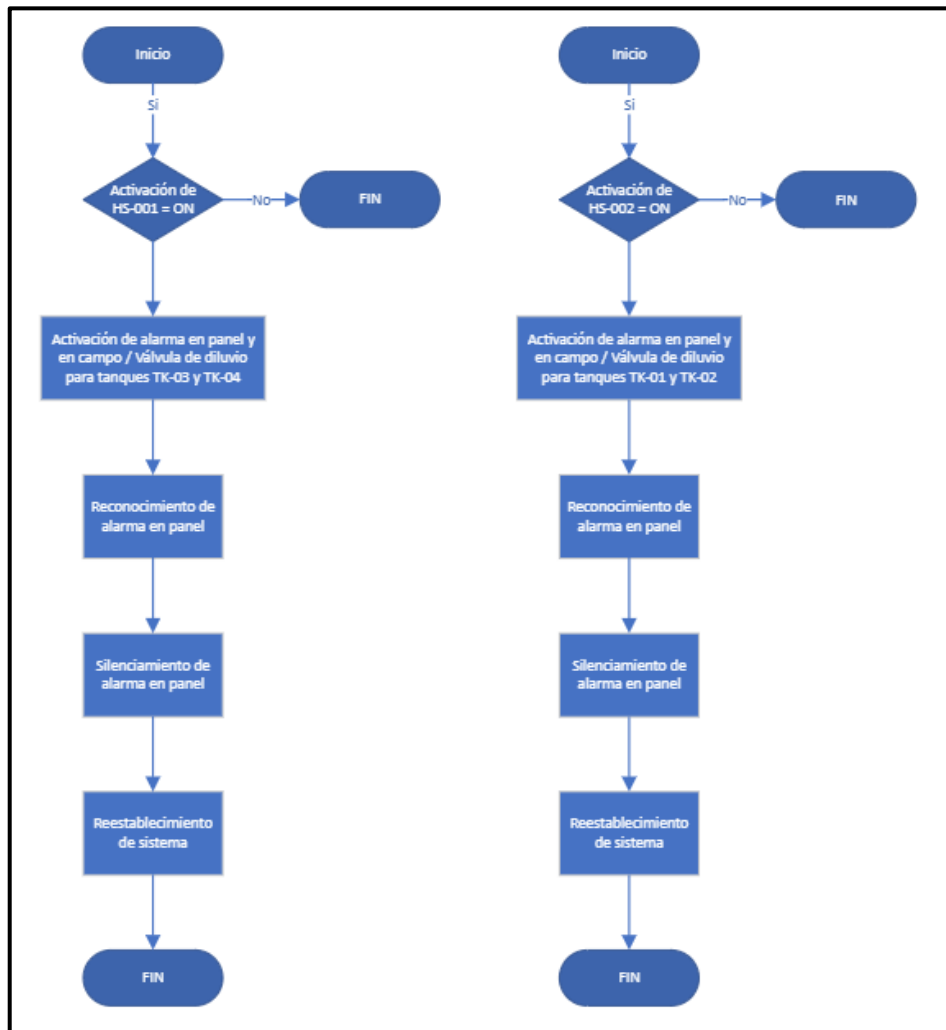
*Activación de válvulas de diluvio por estaciones manuales.*

Activación	Servicio	Sistema de extinción	Alarma en panel	Alarma en campo
HS-001	Activación de válvula de diluvio VD-001 para tanques horizontales TK-03 y TK-04	VD-001	HA-001	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
HS-002	Activación de válvula de diluvio VD-002 para tanques horizontales TK-01 y TK-02	VD-002	HA-002	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
HS-003	Activación de válvula de diluvio VD-003 para isla de carga/descarga de GLP	VD-003	HA-003	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004
HS-004	Activación de alarmas sonoras/visuales YA-001, YA-002, YA-003 y YA-004	-	HA-004	YA-001, YA-002, YA-003, YA-004

En las figuras 23 y 24 se indica la secuencia de operación en caso se active alguna de las estaciones manuales ubicadas en la planta.

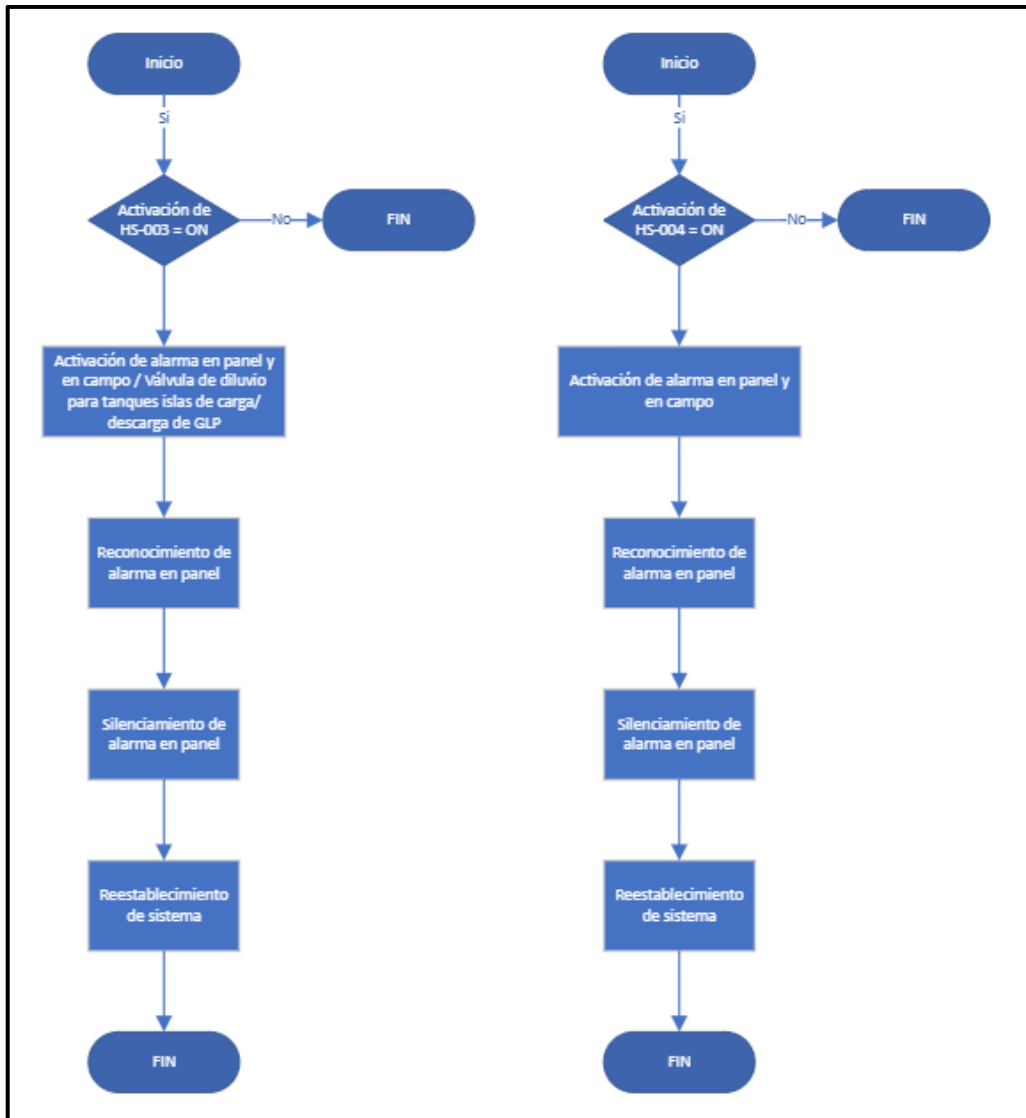
**Figura 23**

*Secuencia de operación por activación de estación manual HS-001 y HS-002.*



**Figura 24**

*Secuencia de operación por activación de estación manual HS-003 y HS-004.*



### 5.9 Cobertura de instrumentos de detección de flama y gas

Como se observa en la matriz de evaluación cualitativa de riesgos, se requiere minimizar el índice de probabilidad en las diferentes zonas/áreas para obtener un rango aceptable de riesgo, por lo que se procedió a adicionar instrumentos de detección de fuego y gas para tal fin.

En la tabla 25 se observa los instrumentos por área/zona que se implementaron para la mejora en la detección del sistema contra incendios.

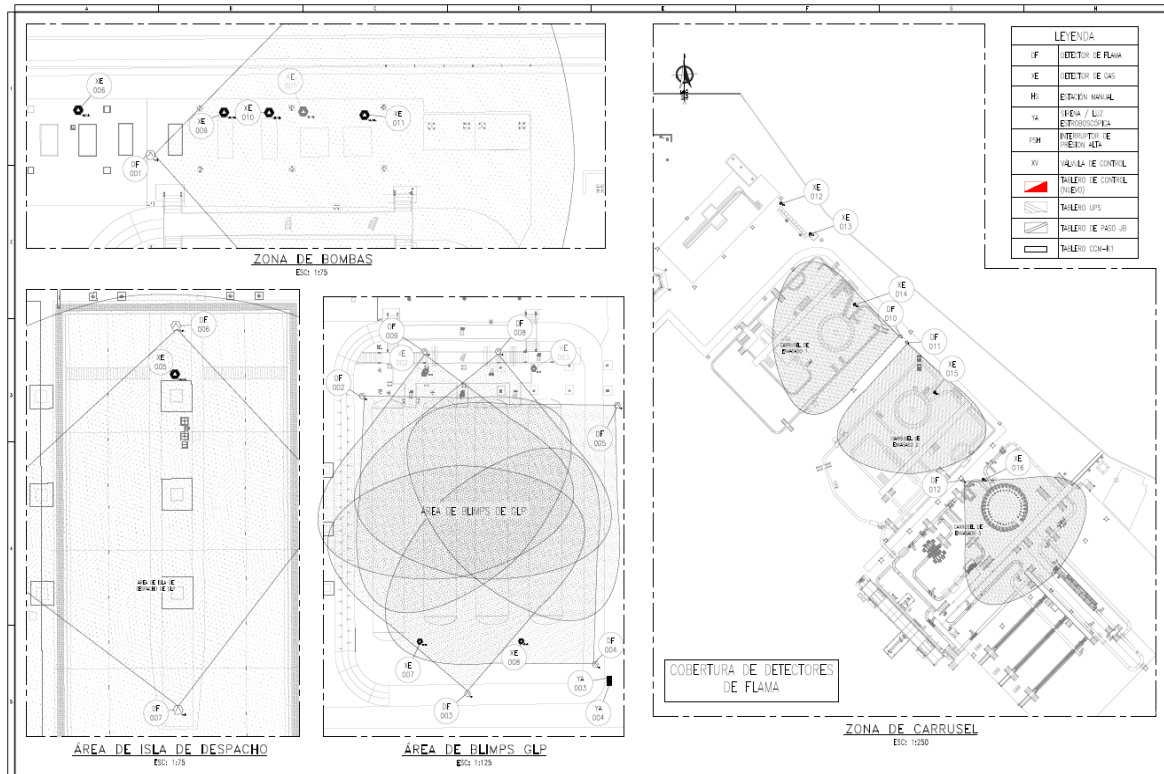
**Tabla 25***Implementación de instrumentos por área/zona.*

Área/Zona	Equipos de detección
Tanque de almacenamiento TK-01	DF-002 / DF-003 / DF-009 / XE-002 / XE-007
Tanque de almacenamiento TK-02	DF-002 / DF-003 / DF-004 / DF-008 / DF-009 / XE-002
Tanque de almacenamiento TK-03	DF-002 / DF-003 / DF-004 / DF-008 / DF-009 / XE-003 / XE-008
Tanque de almacenamiento TK-04	DF-003 / DF-004 / DF-005 / DF-008 / XE-003
Isla de despacho de GLP N°1 y N°2	DF-006 / DF-007 / XE-005
Compresor C-01	XE-004
Compresor C-02	XE-006
Bomba P-01	DF-001 / XE-009
Bomba P-02	DF-001 / XE-010
Bomba P-03	DF-001 / XE-001
Bomba P-04	DF-001 / XE-011
Llenado de cilindros de 15kg y 45kg	XE-012 / XE-013
Carrusel de envasado 1 de cilindros 10kg	DF-010 / XE-014
Carrusel de envasado 2 de cilindros 10kg	DF-011 / XE-015
Carrusel de envasado 3 de cilindros 10kg	DF-012 / XE-016

En la figura 25 se detalla las zonas de cobertura alcanzadas con la implementación de los detectores de flama.

**Figura 25**

*Zonas de cobertura de detectores de flama.*



### 5.10 Cobertura de instrumentos de notificación de alarma

El sistema contra incendio existente comprendía un sistema de notificación solo en el sistema SCADA, por lo que las notificaciones de alarma eran a través de altavoces de manera manual, por lo que en caso de incendio no se cumplían los requisitos en cuanto a un óptimo aviso para el personal que labora en la planta de envasado de GLP.

Con la implementación de las alarmas sonoras y visuales, se logra una distribución en dos puntos en campo, cubriendo zonas con mucha actividad de personal como son el área de oficina/patio de maniobras y la zona operativa de tanques horizontales, pesaje de camiones y carruseles.

Cada alarma sonora, según su ubicación, asegura un nivel audible de 15db sobre el nivel de ruido equivalente (d<sub>beq</sub> medido con ponderación A), generado en la planta de envasado de acuerdo a su ubicación.

En la tabla 27 se observa los equipos de notificación visual y sonora proyectadas.



**Tabla 26**

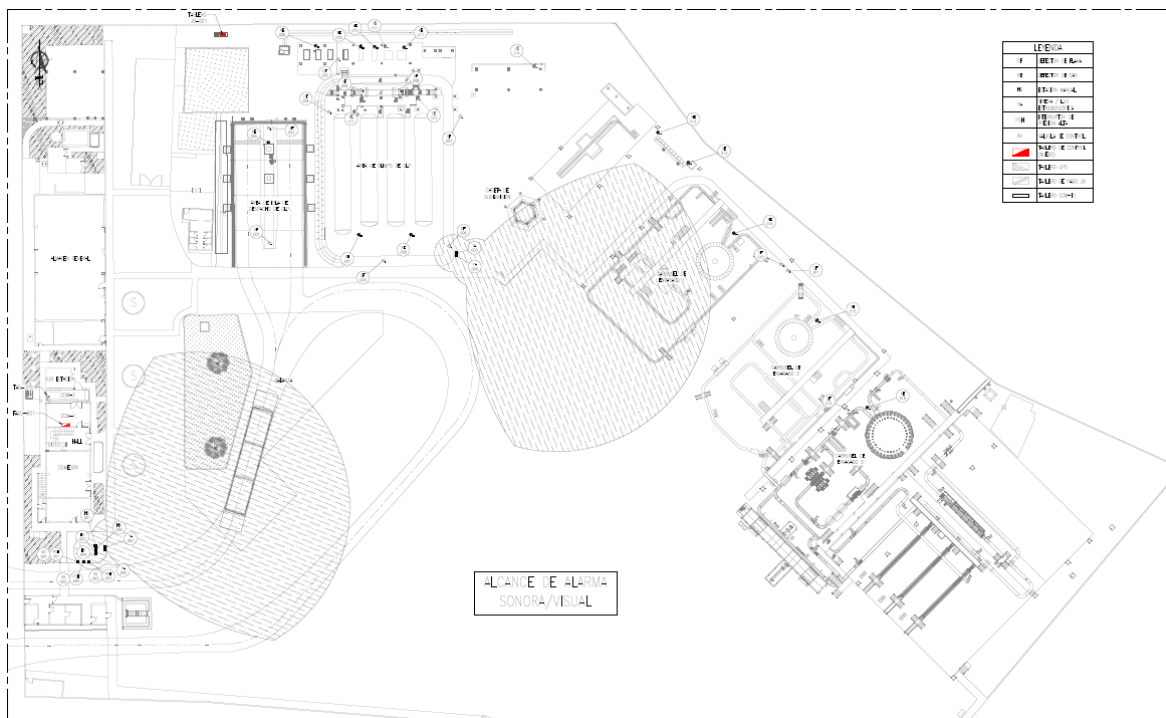
*Activación de válvulas de diluvio por estaciones manuales.*

Tag	Tipo	Zona de notificación de alarma	Activación manual	Desactivación manual
YA-001	Alarma sonora	Edificio administrativo / garita de seguridad	HA-001	Panel EQP
YA-002	Alarma visual	Edificio administrativo / garita de seguridad	HA-002	Panel EQP
YA-003	Alarma sonora	Isla de carga/descarga / tanques horizontales / zona de bombas / llenado de cilindros de 45 kg / zona de carruseles K1, K2 y K3	HA-003	Panel EQP
YA-004	Alarma visual	Isla de carga/descarga / tanques horizontales / zona de bombas / llenado de cilindros de 45 kg / zona de carruseles K1, K2 y K3	HA-004	Panel EQP

En la figura 26 se observa las zonas de cobertura alcanzadas con la implementación de las luces estroboscópicas y alarmas sonoras.

**Figura 26**

*Zonas de cobertura de alarmas de notificación sonora.*



### 5.11 Mejora en matriz cualitativa de riesgos

Con la mejora en el sistema contra incendio, se consigue mejorar los índices de la matriz de riesgos los cuales disminuyen a niveles óptimos.

En el anexo 4 se muestra la tabla que permite observar la mejora que se obtiene con la implementación de la mejora del sistema contra incendio.

En la tabla 27 se observa el resumen de la matriz de evaluación cualitativa de riesgos después de la mejora del sistema contra incendio.

**Tabla 27**

*Resumen de matriz de evaluación cualitativa de riesgos mejorada.*

<b>Matriz de evaluación cualitativa de riesgos</b>		
N° de Escenarios	N° de Casos	Nivel de exposición al riesgo
18	56	Bajo = 56
		Moderado = 0
		Alto = 0
		Muy alto = 0

### 5.12 Tiempo de respuesta del sistema contra incendio

En la tabla 28 se muestra el tiempo de respuesta del sistema contra incendio inicial:

**Tabla 28**

*Tiempos de respuesta de sistema contra incendio existente.*

<b>Equipo / instrumento</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
Detector de flama existente	12
PLC existente	< 2 segundos
Total	14 segundos

Por lo que el tiempo de alarma máxima vendría dado por la suma del detector de respuesta más lenta con el tiempo de respuesta del PLC, que sería en total de 14 segundos.

Ahora, en el caso del sistema contra incendio implementado, el tiempo de detección está dado por la respuesta de los instrumentos en campo encargados de supervisar y monitorear en campo los niveles de gas y flama.

En la tabla 29 se observa los tiempos de respuesta de los instrumentos en campo implementados.

**Tabla 29**

*Tiempos de respuesta de sistema contra incendio nuevo.*

<b>Equipo / instrumento</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
Detector de gas existente	7 segundos (50% LEL)
Controlador EQP	< 3.2 segundos
Total	10.2 segundos

Como se puede observar el tiempo más largo de detección viene dado por los detectores de gas existentes, con un tiempo estimado de 7 segundos de respuesta para llegar a un 50% del límite inferior de explosividad o LEL. Cabe mencionar que los detectores de gas están configurados para emitir una alarma de nivel alto al 20% LEL y una alarma de nivel muy alto de gas al 40% LEL.

En el caso del sistema contra incendio implementado, el tiempo de alarma máxima vendría dado por la suma del detector de respuesta más lenta con el tiempo de respuesta del PLC, que sería en total de 10.2 segundos.

En el artículo 99 del D.S. N° 052-93-EM menciona que “el sistema contra incendio para tanques de GLP, se proyectará para suministrar agua dentro de los 60 segundos de su activación”, siendo considerado este tiempo para el diseño.

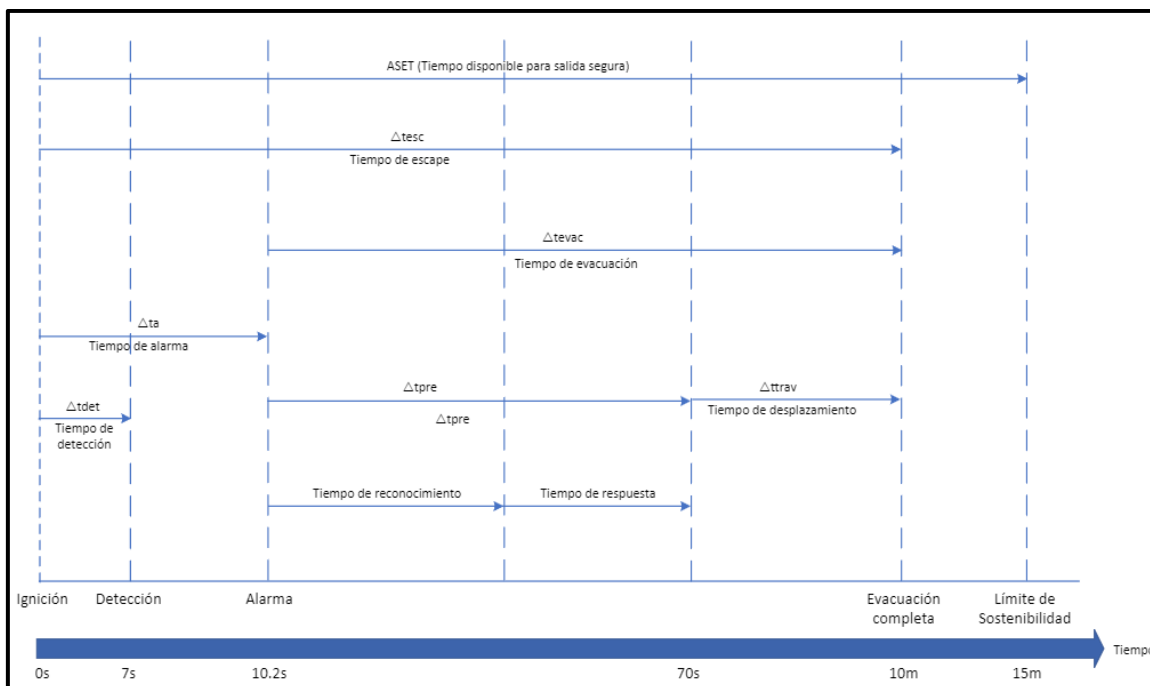
El tiempo de evacuación total de la planta de envasado es de aproximadamente 10 minutos, teniendo en cuenta las zonas de evacuación internas más alejadas.

El tiempo de llegada de la compañía más cercana a la planta de envasado será como máximo de 15 minutos, por lo que se considera este tiempo para el límite de sostenibilidad.

En la figura 27 se observa el tiempo de respuesta según las diferentes etapas de evacuación.

**Figura 27**

*Tiempos de respuesta para evacuación y mitigación.*



### 5.13 Costo de instrumentos para sistema contra incendio

El costo para implementar el sistema contra incendio con los equipos seleccionados en este trabajo está dado en la tabla 30, acotar que no se está considerando los costos de materiales (tableros, detectores de gas existentes, cables, canalizaciones, soportes, otros equipos complementarios al sistema contra incendio).

**Tabla 30**

*Costo de equipos de sistema contra incendio.*

Equipo	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Controlador EQP	\$ 1,899.00	1	\$ 1,899.00
Detector de gas	\$ 6,040.00	12	\$ 72,480.00
Detector de flama	\$ 5,999.40	12	\$ 71,992.80
Alarma sonora	\$ 1,430.50	2	\$ 2,861.00
Alarma visual	\$ 550,50	2	\$ 1,101.00
Estación manual	\$ 399,99	4	\$ 1,599.96
Total			\$ 151,933.76

Como se observa, el costo de procura de los equipos e instrumentos utilizados en el proyecto conlleva un costo de \$ 151,933.76, fuera de los costos de tableros, canalizaciones, entre otros.

## Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados

### 6.1 Análisis – Mejora en la cobertura del Sistema contra incendios

El sistema contra incendio inicial se encontraba en una situación muy limitada en cuanto a cobertura de zonas de riesgo, encontrándose varias de ellas sin un sistema de detección apropiado.

En la tabla 31 se observa un resumen de las modificaciones en cuanto a la mejora de la instrumentación encargada de la detección del sistema contra incendios. No se consideraron los detectores de flama existentes debido a que generaban muchas falsas alarmas porque no eran de tecnología adecuada para un lugar a la intemperie, por lo que fueron reemplazados por detectores de flama adecuados.

**Tabla 31**

*Análisis de equipos de detección existentes y proyectados por áreas.*

Área/zona	Equipos de detección existentes	Equipos de detección proyectados
Tanque de almacenamiento TK-01	XE-002	DF-002 / DF-003 / DF-009 / XE-002 / XE-007
Tanque de almacenamiento TK-02	XE-002	DF-002 / DF-003 / DF-004 / DF-008 / DF-009 / XE-002
Tanque de almacenamiento TK-03	XE-003	DF-002 / DF-003 / DF-004 / DF-008 / DF-009 / XE-003 / XE-008
Tanque de almacenamiento TK-04	XE-003	DF-003 / DF-004 / DF-005 / DF-008 / XE-003
Isla de despacho de GLP N°1 y N°2	-	DF-006 / DF-007 / XE-005
Compresor C-01	XE-004	XE-004
Compresor C-02	-	XE-006
Bomba P-01	-	DF-001 / XE-009
Bomba P-02	-	DF-001 / XE-010
Bomba P-03	XE-001	DF-001 / XE-001
Bomba P-04	-	DF-001 / XE-011
Llenado de cilindros de 15kg y 45kg	-	XE-012 / XE-013
Carrusel de envasado 1 de cilindros 10kg	-	DF-010 / XE-014
Carrusel de envasado 2 de cilindros 10kg	-	DF-011 / XE-015
Carrusel de envasado 3 de cilindros 10kg	-	DF-012 / XE-016

Con la implementación de detectores de flama y gas, se logra mejorar la capacidad de detección mediante instrumentación, una reducción de los peligros y se cubre las zonas de mayor posibilidad en la generación de incendios.

## 6.2 Análisis – Mejora en matriz cualitativa de riesgos

Con la implementación de los instrumentos en campo para la detección de flama y gas, que permiten monitorear y supervisar las áreas/zonas con mayor riesgo, se logra una mejora en la matriz cualitativa de riesgos disminuyendo los casos de nivel de exposición al riesgo de 20 a 0.

Esto queda evidenciado en la tabla 32, que permite observar la mejora que se obtiene con la implementación de la mejora del sistema contra incendio.

**Tabla 32**

*Cuadro comparativo de matriz de evaluación cualitativa de riesgos inicial y mejorada.*

Nivel de exposición	Matriz inicial	Matriz mejorada
Muy alto	0	0
Alto	0	0
Moderado	20	0
Bajo	36	56

## 6.3 Análisis - Mejora en tiempo de respuesta de sistema contra incendio

El sistema contra incendio existente no cumplía requisitos normativos (el PLC existente cumplía la función tanto para procesos y sistema F&G, así como detectores de flama que generaban muchas falsas alarmas y no eran adecuadas para instalación en zonas abiertas).

En la tabla 33 se muestra los tiempos de respuesta del sistema inicial y luego de la implementación de las mejoras.

**Tabla 33**

*Cuadro comparativo de tiempos de respuesta de alarma inicial y mejorada.*

Tiempo de respuesta	Inicial (s)	Mejorado (s)	Diferencia (s)
Instrumentos	12	7	5
Controlador	2	3.2	-1.2
Total	14	10.2	3.8

Se logra observar una mejora de 3.8 segundos en el tiempo de respuesta de alarma, eso quiere decir una mejora del 27% en el tiempo de respuesta.

En la tabla 34 se observa los diferentes tiempos para las etapas en un caso de emergencia en el sistema implementado. Estos son tiempos adecuados de respuesta en caso de una emergencia.

**Tabla 34**

*Tiempo de respuesta para las etapas en una emergencia en el sistema contra incendio implementado.*

<b>Etapas</b>	<b>Tiempo de respuesta total</b>
Detección	7 segundos
Alarma	10.2 segundos
Activación de sistema contra incendio	70 segundos
Evacuación completa	10 minutos
Límite de sostenibilidad	15 minutos

#### **6.4 Contrastación de la hipótesis**

$H_i$ : El desarrollo de una Unidad de Control de Alarma contra Incendios mejora significativamente el Sistema de Detección de Incendios en una Planta de Envasado de GLP.

$H_0$ : El desarrollo de una Unidad de Control de Alarma contra Incendios no mejora significativamente el Sistema de Detección de Incendios en una Planta de Envasado de GLP.

Decisión: Según los resultados de las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 que dan como resultado la visualización de todas las zonas de alto riesgo para la prevención de incendios, se mejoró la matriz de evaluación cualitativa de riesgos disminuyendo los casos moderados de 20 a 0 y se mejoró el tiempo de respuesta del sistema contra incendio existente en 3.8 segundos, por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación ( $H_i$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## Conclusiones

- Las mejoras del Sistema contra incendio existente implementado en el presente trabajo de investigación generaron el cumplimiento de la normatividad local e internacional establecida. Las zonas de riesgo críticos fueron determinados de acuerdo al estudio de riesgo realizado y con la implementación de las medidas de control se consigue una mejora significativa en la matriz de evaluación cualitativa de riesgos. También se consiguió obtener un tiempo de respuesta adecuado con la implementación del nuevo sistema contra incendio.
- El diseño de un gabinete de control de sistema de detección, notificación y extinción (FACU) basado en una red LON permite conseguir un sistema confiable, que garantiza el cumplimiento de la norma NFPA 72, facilidad de extensión en la adición de nodos, redundancia en la comunicación que permite monitorear constantemente el estado de la red y la comunicación en cualquier momento con cada instrumento de detección en campo.
- La ubicación de las luces estroboscópicas y alarmas sonoras se distribuyen en dos puntos en campo, cubriendo zonas con mucha actividad de personal como son el área de oficina y patio de maniobras y la zona operativa de tanques horizontales y pesaje de camiones, influyendo significativamente en el tiempo de evacuación del personal en caso de incendio. Las alarmas sonoras asegurarán un nivel audible de 15dB por encima del nivel de ruido equivalente, generado en la planta de acuerdo a su ubicación.
- Los instrumentos de detección y los equipos del tablero FACU cumplirán con la aprobación FM/UL, que es requisito indispensable para sistemas contra incendios. Se consideró cambiar los detectores de flama existentes porque estos no cuentan con la aprobación UL y no eran aptos para trabajar en área clasificada.



## Recomendaciones

- Para mejorar el tiempo de respuesta del sistema contra incendio se recomienda intercambiar los detectores de gases de 4-20mA por instrumentos que tengan comunicación LON, con este cambio se mejoraría hasta en 4 segundos el tiempo de respuesta del sistema contra incendio.
- Se recomienda diseñar e implementar un tablero UPS que permita garantizar el suministro automático en un lapso menor a 30 segundos en caso el suministro de energía principal no se encuentre disponible. También deberá garantizar 24 horas de energía de reserva y cinco minutos en estado de alarma a pleno funcionamiento.
- Se recomienda complementar el sistema contra incendio proyectado con un sistema de voceo (altavoces) mediante el cual, personal capacitado brindará instrucciones específicas en caso de incendio.
- Para garantizar una comunicación óptima de los instrumentos de campo con el controlador EQP, se recomienda utilizar el cable sugerido por el fabricante del controlador, esto permitirá que las distancias seas las máximas recomendadas y la comunicación no falle. También se recomienda seguir las instrucciones del fabricante respetando las distancias máximas admisibles y la utilización de extensores de red en caso de ser requerido en una próxima expansión de la planta.

## Referencias

- Beattie, W. (2011). *Evolution of the Fire Sprinkler*. EEUU.
- Cerna, R. (2020). *Diseño de un sistema de detección y alarma de incendios para una planta pesquera*. Perú.
- COENER - Centro de Orientación en Energía. (2013). *Informe de investigación sobre la explosión en incendio ocurrido en la Refinería de Amuay el 25 de agosto de 2012*.
- Decreto Supremo N° 043-2007-EM. (2007). *Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos y modifican diversas disposiciones*. Perú.
- Det-Tronics. (2009). *Manual de Instrucciones: Eagle Quantum Premier Sistema de detección/liberación para incendios y gases*.
- INBP - Intendencia Nacional de Bomberos del Perú. (2019). *Incendios Industriales. Emergencias atendidas por el CGBVP en Lima Metropolitana 2008-2018*.
- MEM - Ministerio de Energía y Minas. (1994). *Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transporte de Gas Licuado de Petróleo*. Perú.
- Molano, J., & Rodríguez, L. (2017). *Diseño del sistema contra incendios de extinción y detección para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, conforme a la norma NFPA y la NSR-10*. Colombia.
- Montesinos, J., de la Cruz, R., Coello, F., & Banyacán, C. (2017). *Reporte de Análisis Económico Sectorial - Sector Hidrocarburos, Año 6 - Número 10*. Lima.
- Naranjo, C., & Salazar, C. (2015). *Diseño e Implementación de un Scada para la supervisión y control automático del Sistema contra incendios, en los laboratorios industriales farmacéuticos ecuatorianos Life*. Ecuador.
- NFPA - National Fire Protection Association. (2009). *Manual de Protección contra Incendios*.
- NFPA - National Fire Protection Association. (2016). *NFPA 72: Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización*.

- Ojeda, C., & Vargas, R. (2021). *Reingeniería del sistema de bombeo e implementación de un SCADA para la supervisión y control automático del sistema contra incendio, en la planta industrial Petróleos Paraguayos PETROPAR*. Paraguay.
- OSINERGMIN - Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2006). *La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: La Comercialización del GLP envasado*. Lima.
- OSINERGMIN - Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2020). *Guía para la verificación del cumplimiento de las Condiciones de Criticidad Alta, aplicable a las Plantas Envasadoras de GLP*.
- Panduro, R. (2020). *Sistema contra incendio bajo la norma NFPA para incrementar la seguridad del personal en la minera Las Bambas, Apurímac*. Apurímac, Perú.
- Rodríguez, N. (2018). *Diseño Scada para monitorear alarmas contra incendio del Hospital Regional de Lambayeque Chiclayo 2017*. Chiclayo, Lambayeque, Perú.
- Wyatt, B. (1812). *Observations on the Design for the Theatre Royal, Drury Lane, as executed in 1812: Accompanied by Plans, Elevation & Sections*.

## **Anexos**

Anexo 1. Listado de equipos existentes del sistema contra incendio .....	1
Anexo 2. Arquitectura de control del sistema contra incendio .....	2
Anexo 3. Matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios existente .....	4
Anexo 4. Matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios mejorada.....	10

## Anexo 1. Listado de equipos existentes del sistema contra incendio

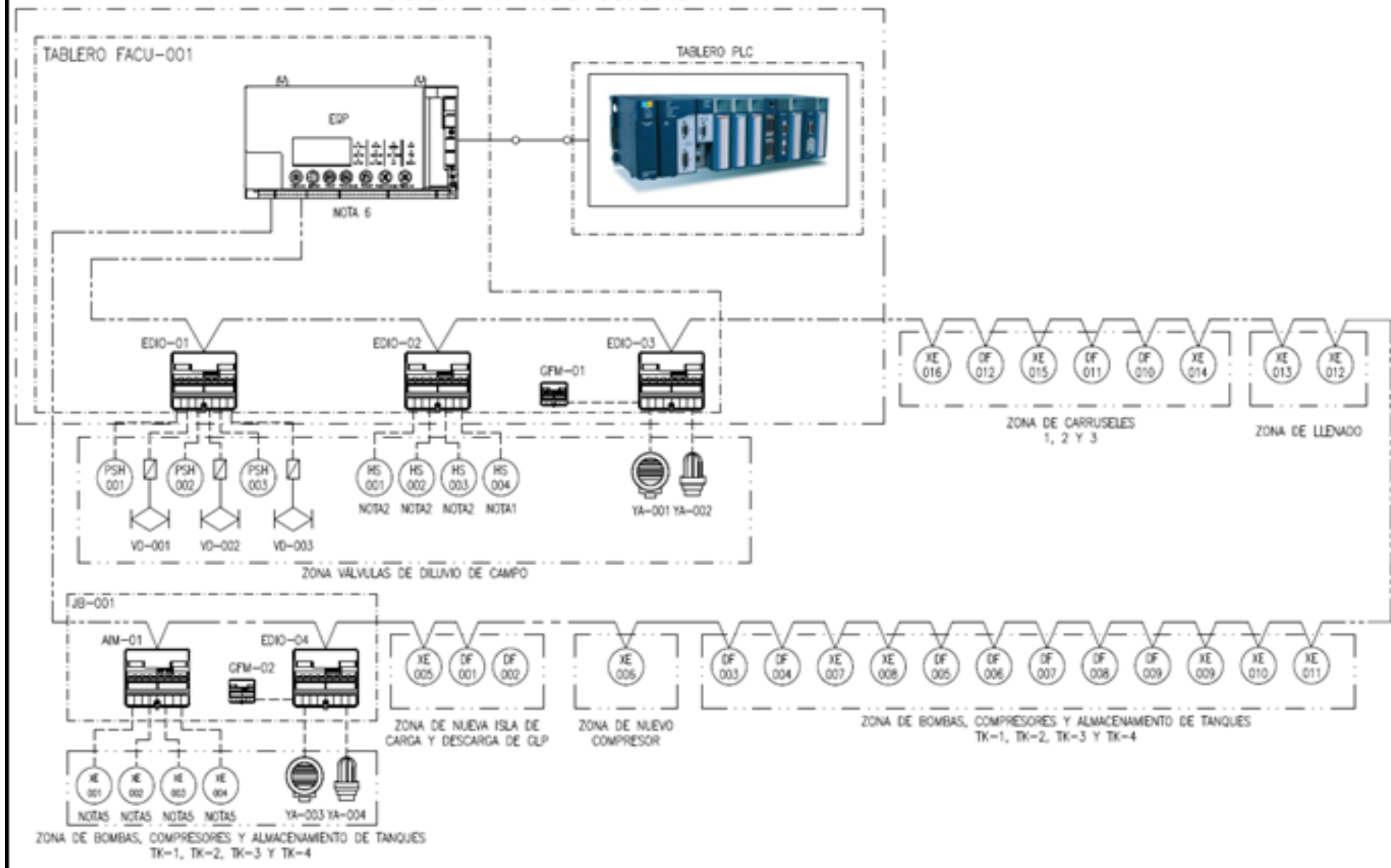
En la tabla del Anexo 1 se detalla el formato de recolección de datos de los equipos existentes del sistema contra incendio para el desarrollo del trabajo de investigación.

<b>Listado de equipos existentes de sistema contra incendio</b>								
Fecha: -				Lugar: Planta de envasado de GLP				
Ítem	Tag de equipo	Servicio	Ubicación	Conexionado		Modelo	Tipo	Observaciones
				Desde	Hacia			
1	XE-001	Detección de gas en zona de bomba P-03.	Bomba P-03	XE-001	GE-FANUC	Point Watch PIR 9400	Infrarrojo de tipo punto	Señal 4-20mA
2	XE-002	Detección de gas en tanque de almacenamiento TK-3.	Tanque TK-3	XE-002	GE-FANUC	Point Watch PIR 9400	Infrarrojo de tipo punto	Señal 4-20mA
3	XE-003	Detección de gas en tanque de almacenamiento TK-2.	Tanque TK-2	XE-003	GE-FANUC	Point Watch PIR 9400	Infrarrojo de tipo punto	Señal 4-20mA
4	XE-004	Detección de gas en zona de compresor C-01.	Compresor C-01	XE-004	GE-FANUC	Point Watch PIR 9400	Infrarrojo de tipo punto	Señal 4-20mA
5	DF-001	Detector de flama en zona de bombas.	Bombas P-01 / P-02 / P-03 / P04	DF-001	GE-FANUC	Honeywell FSL100-UV	Ultravioleta	Generación de falsas alarmas / No apto para intemperie
6	DF-002	Detector de flama en área de tanques de almacenamiento	Al norte de tanque TK-4	DF-002	GE-FANUC	Honeywell FSL100-UV	Ultravioleta	Generación de falsas alarmas / No apto para intemperie
7	DF-003	Detector de flama en área de tanques de almacenamiento	Al sur de tanques TK-2 y TK-3	DF-003	GE-FANUC	Honeywell FSL100-UV	Ultravioleta	Generación de falsas alarmas / No apto para intemperie
8	DF-004	Detector de flama en área de tanques de almacenamiento	Al sureste de tanque TK-1	DF-004	GE-FANUC	Honeywell FSL100-UV	Ultravioleta	Generación de falsas alarmas / No apto para intemperie
9	DF-005	Detector de flama en área de tanques de almacenamiento	Al noreste de tanque TK-1	DF-005	GE-FANUC	Honeywell FSL100-UV	Ultravioleta	Generación de falsas alarmas / No apto para intemperie

## **Anexo 2. Arquitectura de control del sistema contra incendio**

En el siguiente esquema se observa la arquitectura de control planteada para el sistema contra incendio, donde se observa los equipos e instrumentos ubicados en los tableros FACU-001, JB-001 e instrumentos en campo.

SALA COM - PLANTA DE ENVASADO DE GLP



### **Anexo 3. Matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios existente**

En la tabla del Anexo 3 se muestra la matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios existente.



**Tabla: Matriz de evaluación cualitativa de riesgos de sistema de detección de incendios existente.**

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
1	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
2	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
3	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-3.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
4	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-4	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-4.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
5	1	Liberación de GLP en Cisterna en isla de despacho N° 1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 1.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
6	1	Cisterna en isla de despacho N° 2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 2.	POCO PROBABLE	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	MODERADO
7	1	Liberación de GLP en línea de	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
	2	descarga de Bomba P-1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
8	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
9	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-3	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
10	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-4	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
11	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Compresor C-1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
12	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Compresor C-2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Liberación de GLP en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
13	2	cilindros de 15 y 45 kg	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	1		Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 1.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
14	2	Carrusel 1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 2.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
15	2	Carrusel 2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
16	1	Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
17	1	Liberación no confinada debido a fuga de GLP en el acople de Carrusel 1/2/3	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en el acople del envasado de cilindros.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
18	1	Liberación no confinada debido a la fuga de GLP en la conexión de descarga de Islas de despacho N° 1 y 2	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en la conexión de descarga de cisternas de GLP a granel.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO

Nota: fuente Elaboración propia.

## **Anexo 4. Matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios mejorada**

En la tabla del Anexo 4 se muestra la matriz de evaluación cualitativa de riesgos del sistema de detección de incendios existente.

**Tabla: Matriz de evaluación cualitativa de riesgos de sistema de detección de incendios mejorada.**

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
1	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
2	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
3	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-3.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-3.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
4	1	Liberación de GLP en Tanque de almacenamiento TK-4	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en el tanque de almacenamiento TK-4.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en el tanque de almacenamiento TK-4.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
5	1	Liberación de GLP en Cisterna en isla de despacho N° 1	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35 en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm/ 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 1.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
6	1	Cisterna en isla de despacho N° 2	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35 en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MODERADO <S/.200,000 - S/.600,000]	3	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm/ 6.35mm en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
	4		Explosión tipo BLEVE en la cisterna en isla de despacho N° 2.	RARO	MAYOR <S/.600,000 - S/.2,000,000]	4	BAJO
7	1	Liberación de GLP en línea de	Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO



Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
	2	descarga de Bomba P-1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
8	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
9	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-3	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo pool fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
10	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Bomba P-4	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de bomba P-4.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
11	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Compresor C-1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
12	2	Liberación de GLP en línea de descarga de Compresor C-2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga de compresor C-2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Liberación de GLP en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
13	2	cilindros de 15 y 45 kg	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la línea de descarga del manifold de envasado de cilindros de 15 y 45kg.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	1		Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 1.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
14	2	Carrusel 1	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 1.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
	1		Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 2.	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1
15	2	Carrusel 2	Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 2.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO

Escenario	Caso	Descripción	Casos	Índice de probabilidad	Consecuencia del escenario (S/.)	Índice de severidad	Categoría de riesgo
16	1	Liberación de GLP en la tubería de alimentación del Carrusel 3	Incendio tipo jet fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	2		Incendio tipo flash fire debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
	3		Explosión tipo UVCE debido a fuga continua de GLP a través de un agujero de 10mm / 6.35mm en la tubería de alimentación de carrusel 3.	RARO	MENOR <S/.70,000 - S/.200,000]	2	BAJO
17	1	Liberación no confinada debido a fuga de GLP en el acople de Carrusel 1/2/3	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en el acople del envasado de cilindros.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO
18	1	Liberación no confinada debido a la fuga de GLP en la conexión de descarga de Islas de despacho N° 1 y 2	Incendio tipo pool fire no confinado debido a la fuga de GLP en la conexión de descarga de cisternas de GLP a granel.	RARO	INSIGNIFICANTE <S/.70,000	1	BAJO