

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**SELECCIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LOS TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE JET – A1 DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL
ALCANTARI**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO
Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS**

JHOVANA VELASQUEZ FLORES

Sucre – Bolivia

2023

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Jhovana Velasquez Flores

Sucre, 07 diciembre de 2023

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a:

A Dios por permitirme seguir con la lucha de llegar a mis objetivos, por darme sabiduría para poder culminar la presente monografía.

A mi madre Serafina Flores Coronado, quien me a inculcado valores y ha sido mi frente de motivación y motor impulsador para lograr mis objetivos y proyectar mis metas, gracias a su esfuerzo, apoyo y comprensión.

A mis hermanos Fisher, Sandra y Jorge Luis por apoyarme y motivarme a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en todo momento y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

A mi familia, sin ellos este logro quizá no fuera posible, gracias por estar conmigo en todo momento apoyándome para cumplir mis metas y objetivos puestos en mi vida.

A la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca por abrirme sus puertas y haberme acogido dentro de sus aulas durante toda mi etapa universitaria para formarme como un profesional integro.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería de Petróleo y Gas Natural de la Facultad de Tecnología por toda la formación intelectual que me dieron para ser un buen profesional.

A la Ingeniera Zulma por su paciencia, tiempo, apoyo incondicional y desinteresado para la realización de esta monografía.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	2
1.2.1. Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Metodología.....	5
1.5.1. Técnicas de Investigación.....	7
1.5.2. Instrumentos de investigación.....	7
CAPITULO II.....	8
2. Desarrollo.....	8
2.1. Marco teórico.....	8
2.1.1. Marco Conceptual.....	8
2.1.1.1. Fuego y los Incendios.....	8
2.1.1.1.1. Concepto del Fuego.....	8
2.1.1.1.2. Incendio.....	8
2.1.1.2. Teoría del fuego.....	9
2.1.1.2.1. Triangulo y Tetraedro del Fuego.....	10
2.1.1.3. Métodos de propagación de Fuego.....	10
2.1.1.3.1. Conducción.....	10
2.1.1.3.2. Convección.....	11
2.1.1.3.3. Radiación.....	12
2.1.1.4. Mecanismo de extinción.....	12
2.1.1.4.1. Enfriamiento o Refrigeración.....	12

2.1.1.4.2. Dilución o desalimentación del combustible.....	13
2.1.1.4.3. Sofocación	13
2.1.1.5. Normativa y regulación internacional sobre almacenamiento de combustible en aeropuertos.....	13
2.1.1.6. Clasificación y características de los líquidos combustibles e inflamables de acuerdo a la National Fire Protection Association (NFPA).....	15
2.1.1.6.1. Jet Fuel.....	15
2.1.1.6.2. Obtención del Jet Fuel	15
2.1.1.6.3. Propiedades del Jet Fuel	16
2.1.1.7. Almacenamiento de líquidos combustibles	17
2.1.1.7.1.Tanques.....	17
2.1.1.8. Tipos de sistemas contra incendios	18
2.2. Marco contextual	20
2.2.1. Datos generales.....	20
2.2.2. Descripción del sistema de espumas contra incendios en áreas de almacenamiento de combustible líquido según normas NFPA 11	21
2.2.2.1. Sistema de espuma de baja expansión.....	21
2.2.2.2. Tanques exteriores de techo fijo (cónico).....	21
2.2.2.3. Tasa de consumo del concentrado de espuma.....	22
2.2.2.4. Criterios de diseño para aplicación en superficies con salidas fijas de descarga de espuma.....	22
2.2.2.5. Tiempo mínimo de descarga y régimen de aplicación	22
2.2.2.6. Método de generación con espuma de aire comprimido	23
2.2.2.7. Generador de espuma a presión (alta contrapresión o tipo impelente)	23
2.2.2.8. Proporcionado de espuma.....	23
2.2.2.9. Tanques de espuma.....	24

2.2.2.9.1. Tanque vejiga de presión balanceada	24
2.2.2.9.2. Tanque proporcionador a presión	25
2.2.2.10. Tipos de concentradores de espuma	25
2.2.2.11. Tubería para sistema de espuma	25
2.2.2.12. Accesorios de tubería	26
2.2.2.13. Operación y control de los sistemas (método de activación)	26
2.2.2.13.1. Sistema de activación automática.....	26
2.2.2.13.2. Sistema de activación manual	27
2.3. Información y datos obtenidos	27
2.3.1. Centralización de resultados y análisis de datos.....	27
2.3.2. Selección del sistema contra incendio basado en la norma NFPA 11	34
2.3.2.1. Selección del tipo de espumógeno y concentración a ser empleada en la espuma	34
2.3.2.2. Tasa de dosificación del espumógeno y el requerimiento de presión	35
2.3.2.3. Tasa de dosificación de agua y el requerimiento de presión	35
2.3.2.4. Escenarios de fuego	35
2.3.2.5. Cámaras de espuma de acuerdo a la norma NFPA 11	35
2.3.2.6. Requerimiento para el sistema de espuma.....	36
2.3.2.7. Pérdida de energía por fricción del sistema y velocidad del flujo.....	39
2.4. Análisis y discusión	39
CAPITULO III	41
3.1. CONCLUSIONES	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación de combustibles e inflación</i>	17
Tabla 2: <i>Características de JET Fuel</i>	23
Tabla 3: <i>Importancia del Jet A-1 como combustible en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales</i>	27
Tabla 4: <i>Riesgos específicos asociados con el almacenamiento de combustible Jet A-1 en un aeropuerto internacional</i>	28
Tabla 5: <i>Elementos clave a considerar al diseñar un sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1</i>	30
Tabla 6: <i>Tecnologías y equipos son fundamentales para la efectiva detección y supresión de incendios en estos tanques de almacenamiento</i>	31
Tabla 7: <i>Situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari</i>	32
Tabla 8: <i>Diferentes tipos de sistemas contra incendios disponibles y sus aplicaciones específicas en el control de incendios en tanques de almacenamiento de Jet A-1</i>	33
Tabla 9: <i>Tasa y tiempo de aplicación de la espuma</i>	35
Tabla 10: <i>Cámara de espuma</i>	36
Tabla 11: <i>valores de coeficiente de Hazen - Williams</i>	39

INDICE DE FIGURA

Figura 1: <i>Triangulo del Fuego</i>	9
Figura 2: <i>Tetraedro del fuego</i>	10
Figura 3: <i>Incendio por conducción.</i>	11
Figura 4: <i>Incendio por Convección.</i>	11
Figura 5: <i>Incendios por Radiación.</i>	12
Figura 6: <i>Ubicación de los tanques de almacenamiento de Ja A1</i>	20
Figura 7: <i>Cisternas para el transporte de combustible de aviación</i>	20
Figura 8: <i>Tanques de almacenamiento del aeropuerto Alacantari</i>	21
Figura 9: <i>Importancia del Jet A-1 como combustible en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales.</i>	28
Figura 10: <i>Riesgos específicos asociados con el almacenamiento de combustible Jet A-1 en un aeropuerto internacional</i>	29
Figura 11: <i>Elementos clave a considerar al diseñar un sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1</i>	30
Figura 12: <i>Tecnologías y equipos son fundamentales para la efectiva detección y supresión de incendios en estos tanques de almacenamiento</i>	31
Figura 13: <i>Situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari.</i>	32
Figura 14: <i>Diferentes tipos de sistemas contra incendios disponibles y sus aplicaciones específicas en el control de incendios en tanques de almacenamiento de Jet A-1</i>	33
Figura 15: <i>Requerimiento de Información.</i>	45
Figura 16: <i>Respuesta a requerimiento de información</i>	46

RESUMEN

Esta monografía aborda la crucial necesidad de implementar un sistema contra incendios eficiente y seguro para salvaguardar los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari. El Jet A-1, como combustible para aeronaves, presenta características específicas que demandan medidas de seguridad rigurosas.

El trabajo comienza con un análisis detallado de las propiedades del Jet A-1 y las regulaciones internacionales que rigen el almacenamiento de combustibles en entornos aeroportuarios. Se examinan los posibles riesgos de incendio y se evalúan las consecuencias potenciales de tales eventos en estos tanques de almacenamiento.

Se desarrolla un diseño integral de un sistema contra incendios, considerando diversas opciones disponibles, sus ventajas y limitaciones, y se establece un diseño específico en base a criterios técnicos, de seguridad y ambientales.

Además, se abordan las etapas de implementación del sistema, desde la planificación hasta la ejecución, incluyendo protocolos de mantenimiento preventivo y capacitación del personal. La importancia de simulacros de emergencia periódicos se subraya como una medida fundamental para asegurar la efectividad del sistema.

Este estudio concluye resaltando la relevancia crítica de contar con un sistema contra incendios robusto y bien diseñado para proteger los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en entornos aeroportuarios. Se señalan posibles áreas de mejora y se destaca la necesidad de una constante revisión y actualización de los sistemas para mantener la seguridad en un entorno en constante evolución.

CAPITULO I

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Los sistemas contra incendios juegan un papel crucial en la detección, prevención y mitigación de incendios, por lo que son una adquisición clave dentro de la industria petrolera.

Para evitar estos escenarios, el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés) y la Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego (NFPA, por sus siglas en inglés) desarrollaron estándares de seguridad contra incendios para empresas petroquímicas que están diseñados para minimizar riesgos y garantizar que toda instalación está protegida contra daños en caso de un incendio.

Un evento de esto se suscitó, en septiembre del 2021 en el Campamento de Servicio Departamental de Caminos (Sedcam) en Camargo, provocando un incendio y una posterior explosión de un tanque.

Para el año 2023 se propuso el proyecto de un diseño de sistema de protección contra incendios para los tanques de almacenamiento de Jet Fuel 212 y 214 de la planta de Senkata – YPFB, pertenecientes al Área Logística S. A. de Senkata, ubicado en la ciudad del Alto en Bolivia. Debido a que estos tanques son considerados nuevos y no contaban con un sistema de protección contra incendio (Catari Cahuaya Marco Antonio, 2023).

También se propuso el proyecto de Rediseño del sistema contra incendio de la planta de Qhora Qhora, porque el sistema actual contra incendio no reunía las condiciones necesarias en el área de almacenaje de hidrocarburos YPFB Logística S.A. Planta de Qhora Qhora Sucre. (Babstista Segovia, Ivan Franklin, 2020).

El Jet A-1 es un tipo de combustible especialmente formulado para su uso en aeronaves con motores a reacción y turbinas de turbina de gas. Es un combustible de aviación comúnmente utilizado en aviones comerciales y militares en todo el mundo.

El Jet A-1 es una mezcla de hidrocarburos refinados derivados del petróleo crudo. Está compuesto principalmente por hidrocarburos alifáticos, con un rango de puntos de ebullición que lo hace adecuado para su uso en diferentes condiciones de vuelo y climáticas.

Tiene un punto de inflamación relativamente alto, lo que lo hace menos volátil y más seguro en términos de manipulación y almacenamiento en comparación con otros tipos de combustibles más inflamables.

Se caracteriza por su estabilidad química y bajo contenido de azufre, lo que contribuye a reducir la corrosión y prolongar la vida útil de los motores de aeronaves.

Está diseñado para funcionar eficientemente a altitudes elevadas y bajas temperaturas, manteniendo su fluidez y propiedades de combustión incluso en condiciones extremas.

El Jet A-1 debe cumplir con especificaciones internacionales estrictas, como las establecidas por la ASTM International y la IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo), para garantizar su calidad y compatibilidad con una amplia gama de aeronaves.

Es el combustible estándar utilizado en la mayoría de los aviones comerciales de pasajeros y carga equipados con motores a reacción.

Es ampliamente disponible en aeropuertos alrededor del mundo, lo que facilita la operación de aeronaves en rutas internacionales.

El Jet A-1 es fundamental para la aviación moderna, ya que proporciona una fuente de energía confiable y eficiente para los motores de aeronaves a reacción, permitiendo vuelos seguros, eficientes y de larga distancia en la red de transporte aéreo global. Su formulación específica y sus propiedades han sido clave para el desarrollo y la expansión de la aviación comercial y militar.

1.2. Planteamiento del Problema.

El aeropuerto Juana Azurduy de Padilla dejó de operar el 2016 para dar paso, al nuevo aeropuerto de Alcantari, según el informe de la administración de Aeropuertos y Servicios

Auxiliares de la Navegación de Bolivia (AASANA), los equipos de este aeropuerto fueron trasladados a tres terminales aéreas del país.

Dejando al Aeropuerto de Alcantari vulnerable y sin un sistema adecuado contra incendios para los tanques de almacenamiento de Jet A1, presentando un riesgo significativo para la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente.

El Aeropuerto Internacional Alcantari almacena volúmenes considerables de Jet A-1, un combustible crítico para la aviación comercial. Sin embargo, el riesgo potencial de incendios en los tanques de almacenamiento representa una preocupación significativa en términos de seguridad y continuidad de operaciones.

La ausencia o insuficiencia de un sistema contra incendios específicamente diseñado para los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari plantea una serie de desafíos y riesgos.

Vulnerabilidad ante Incidentes de Incendio: La falta de un sistema adecuado aumenta la posibilidad de incidentes de incendio que podrían causar daños graves a la infraestructura, interrupciones en las operaciones y riesgos para la seguridad.

Impacto Ambiental y de Seguridad: Un incendio en los tanques de almacenamiento de combustible representa una amenaza para el entorno circundante y podría tener consecuencias ambientales y de seguridad significativas.

Cumplimiento Normativo y Regulatorio: La inexistencia de un sistema contra incendios adaptado a las normativas y estándares internacionales aumenta el riesgo de incumplimiento de regulaciones de seguridad específicas para este tipo de instalaciones.

1.2.1. Formulación del problema

¿Cuál sería la selección un sistema que garantice la prevención, detección y extinción eficaz de incendios en estas instalaciones sin afectar la operatividad aeroportuaria?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Seleccionar un sistema contra incendio adecuado para los tanques de almacenamiento de Jet-A1 del aeropuerto Alcantari

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir el sistema de espuma contra incendios en áreas de almacenamiento de combustible líquidos según normas NFP 11.
- Evaluar los posibles riesgos asociados con el almacenamiento de Jet A-1 en los tanques del Aeropuerto Internacional Alcantari, considerando escenarios potenciales de incendio.
- Seleccionar un sistema contra incendios adaptado a las características y necesidades de los tanques de almacenamiento de Jet A-1, considerando métodos de detección, prevención y extinción.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Práctica

La implementación de un sistema contra incendios adecuado es esencial para la seguridad, la continuidad operativa y el cumplimiento normativo en el Aeropuerto Internacional Alcantari. Esto permitirá mitigar los riesgos de incendio, proteger la infraestructura crítica y asegurar la integridad de las operaciones aeroportuarias.

Los tanques de almacenamiento de Jet A1 son esenciales para la industria de la aviación, ya que almacenan el combustible necesario para abastecer a las aeronaves. Sin embargo, estos tanques pueden representar un alto riesgo de incendio debido a la inflamabilidad del combustible. Por esta razón, es fundamental contar con un sistema de protección contra incendios adecuado para garantizar la seguridad de las instalaciones y evitar posibles tragedias.

Para que la seguridad de los sistemas contra incendio este correctamente regulado se recurre a las NFPA, que es el organismo que dicta normas y estándares mínimos para la prevención,

capacitación e instalación de sistemas contra incendios. Existen varias normas NFPA, las mismas que establecen criterio para la operación y uso específico de materiales combustibles.

El diseño de un sistema de protección contra incendios para los tanques de almacenamiento de Jet A1 se convierte en una propuesta indispensable.

1.4.2. Justificación Teórica

En esta monografía, se abordarán los principales aspectos de un sistema de protección contra incendios según la norma NFPA 11 para tanques Jet A1, que se encuentran en el aeropuerto internacional de Alcantari.

Si bien los tanques de almacenamiento de combustible de aviación tendrían que contar con un sistema de protección contra incendio para el funcionamiento de estos, mientras que los tanques de almacenamiento de Jet A1 que se encuentran en el aeropuerto de internacional de Alcantari no cuenta con un sistema de protección contra incendio adecuado para evitar cualquier ocurrencia de incendio, como tenía el anterior aeropuerto de Juana Azurduy

1.5. Metodología

El enfoque para el presente trabajo de investigación ha de ser cualitativo y cuantitativo, el enfoque cualitativo busca principalmente. "dispersión o expansión" de los datos o información; mientras que el cuantitativo pretende intencionalmente "acotar" la información, la información cualitativa es información no numérica basada en la calidad de un artículo u objeto. Los métodos a utilizar en la presente investigación son los siguientes:

Son aquellos que participan fundamentalmente en la etapa de la construcción del modelo e hipótesis de la investigación. Además, permiten el análisis de bibliografía y documentos importantes para la construcción del marco teórico, contextual, conceptual y del modelo y/o hipótesis; por otra parte, posibilitan, a partir de los resultados obtenidos, sistematizarlos, analizarlos explicarlos, descubrir qué tienen en común, para llegar a conclusiones confiables que nos permitan resolver el problema (Martinez, 2005).

En correspondencia a lo mencionado en la definición del autor, para el presente trabajo de investigación se aplicaron los siguientes métodos:

- a) **Método Bibliográfico:** En un sentido amplio, el método de investigación bibliográfico es el sistema que se sigue para obtener información contenida en documentos. En sentido más específico, el método de investigación bibliográfico es el conjunto de técnicas y estrategias que se emplean para localizar, identificar y acceder a aquellos documentos que contienen la información pertinente para la investigación (Arnal, 2003). La aplicación del presente método, estableció la estructura bibliográfica del sustento y/o fundamento teórico pedagógico del alcance del presente trabajo de investigación.
- b) **Método Histórico Lógico:** Basado en el hecho de que todo acontecer o fenómeno social surge en un momento determinado, bajo ciertas condiciones históricas, sigue un curso ordenado de desarrollo, constituye una unidad metodológica entre el pensar y el ser, así lo lógico convierte en conocimiento teórico lo histórico del hecho investigado (Martínez, 2005).
- a) **Método empírico:** Son aquellos que revelan y explican las características fenomenológicas del objeto de estudio, se emplean en la etapa de acumulación de información empírica y en la de comprobación experimental de la hipótesis de trabajo. Los métodos empíricos le permiten al investigador, la recopilación de datos reales acerca del comportamiento de los hechos, fenómenos, objetos y procesos de la naturaleza y de la sociedad (Gumiel, 2010).

En correspondencia a la definición teórica y el análisis realizado para la selección de los métodos empíricos se consideró los siguientes:

- **Análisis Documental:** Es La descripción o el análisis de documentos importantes para la investigación, consiste en describir un documento en sus partes esenciales para su posterior identificación y estudio (Edwin, 2010). La aplicación del método permitió sustentar y estructurar los indicadores centrales de análisis del objeto de estudio.
- **Método de la observación.-** La observación científica "tiene la capacidad de describir y explicar el comportamiento, al haber obtenido datos adecuados y fiables correspondientes a conductas, eventos y /o situaciones perfectamente identificadas e insertas en un contexto teórico (Gastón, 2009) Este método coadyuvó a la investigación en el conocimiento real del objeto de estudio, ayudando a caracterizar y demostrar la

ausencia de metodologías de enseñanza que potencien el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico productivo aplicando las nuevas tecnologías de la información la comunicación.

1.5.1. Técnicas de Investigación

Dentro las técnicas de investigación seleccionadas se establecen las siguientes:

Entrevista: "...es una técnica para obtener datos que consisten en un diálogo entre dos personas: El entrevistador "investigador" y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general, una persona entendida en la materia de investigación. (Rodríguez, 2009)" Se utilizara para el levantamiento de información referida al conocimiento del estado real del objeto de estudio, tomando en cuenta diferentes fuentes de información que dan cuenta del trabajo que realizan los docentes.

1.5.2. Instrumentos de investigación

Se utilizó el siguiente:

Cuestionario: Es un instrumento básico de la observación en la encuesta y en la entrevista. En el cuestionario se formula una serie de preguntas que permiten medir una o más variables (Bahena, 2010). Para la aplicación de la presente investigación, se utilizó el cuestionario que permitió el levantamiento de la información y el conocimiento de los diferentes indicadores de análisis seleccionados para caracterizar y demostrar la ausencia de metodologías de enseñanza que potencien el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico productivo aplicando las nuevas tecnologías de la información la comunicación.

CAPITULO II

2. Desarrollo

2.1. Marco teórico

2.1.1. Marco Conceptual

En la actualidad son mayores los volúmenes de combustibles que se manejan en el mundo, y si bien los avances en la ciencia y la tecnología han estado encaminados a crear sistemas cada vez más seguros, los riesgos en la ocurrencia de incendio aún persisten. Por lo general, cuando ocurren incendios en sectores de la industria de este tipo, las afectaciones son cuantiosas, desde el punto de vista económico, medioambiental e incluso para la vida de las personas.

A medida que profundizamos en la ciencia de los incendios, cada vez es posible cuantificar y predecir con mayor exactitud el comportamiento de un incendio, lo que nos permite aplicar nuestros conocimientos a la prevención de los incendios en general. El objetivo de esta sección es revisar algunos principios fundamentales y contribuir a la comprensión del desarrollo de los incendios.

2.1.1.1. Fuego y los Incendios

2.1.1.1.1. Concepto del Fuego

La base del fuego es una reacción química muy fuerte de oxidación, este proceso genera y desprende calor a su alrededor. A su vez, el aire que rodea las partículas disminuye la densidad y flota sobre el aire inferior más frío, creando convección.

2.1.1.1.2. Incendio

Un incendio es en realidad el calor y la luz (llamas) que se produce cuando un material se quema o pasa por el proceso de combustión.

Entre los tipos de incendio se tiene:

- a) Incendio Tipo A: Son los que se produce con materiales ordinarios como madera, papel, algodón, caucho y ciertos plásticos.
- b) Incendio Tipo B: Son los que se produce con líquidos inflamables, líquidos combustibles, derivados del petróleo, grasas, alquitrán, aceites, pinturas (diluida en aceite), solventes, lacas, alcohol y gases inflamables.

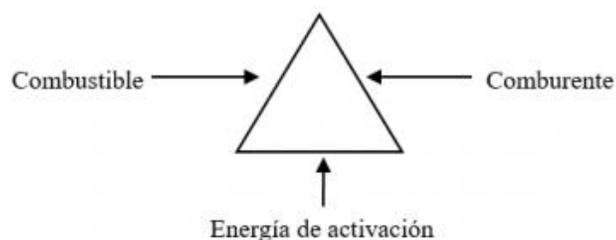
- c) Incendio tipo C: Son aquellos en los cuales se genera con energía eléctrica en donde es importante el aislamiento del agente extintor. (si no habría presencia de energía eléctrica se puede considerar como incendios A o B).
- d) Incendio Tipo D: Son aquellos en los cuales se generan en metales combustibles como el potasio, litio, sodio, zirconio, titanio y magnesio.
- e) Incendio Tipo K: Son aquellos que se generan en cocinas o ambientes donde se tiene la presencia de grasas y aceites de origen animal y vegetal.

2.1.1.2. Teoría del fuego

Un incendio es la manifestación de una combustión incontrolada. En ella intervienen materiales que forman parte de los edificios en que vivimos, trabajamos y jugamos o una amplia gama de gases, líquidos y solidos que utilizan en la industria y el comercio. (Méndez, 2012).

Estos materiales, normalmente constituidos por carbono, se agruparán en el contexto de este estudio bajo la denominación de sustancias combustible. Aunque estas sustancias presentan una gran variedad en cuanto a su estado químico y físico, cuando intervienen en un incendio responden a características comunes, si bien se diferencian en la facilidad con que se inicia este (ignición), la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama) y la intensidad del mismo (velocidad de liberación del calor). A medida que profundizamos en la ciencia de los incendios, cada vez es posible cuantificar y predecir con mayor exactitud el comportamiento de un incendio, lo que nos permite aplicar nuestros conocimientos de los incendios en general. El objetivo de esta sección es revisar algunos principios fundamentales y contribuir a la comprensión del desarrollo de los incendios.

Figura 1: *Triangulo del Fuego*



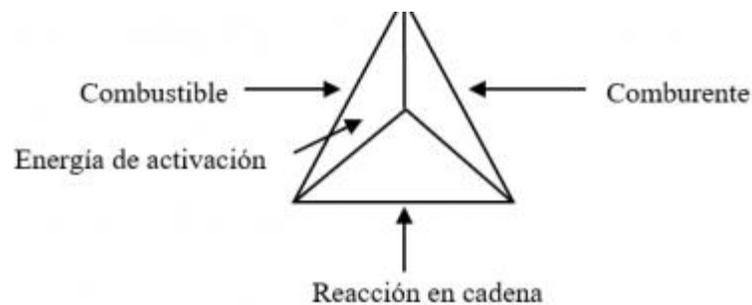
Fuente: Méndez, F. Protección contra incendio para tanques de almacenamiento atmosféricos

2.1.1.2.1. Triángulo y Tetraedro del Fuego

El fuego no puede existir sin la conjunción simultánea del combustible (material que arde), comburente (oxígeno del aire) y de la energía de activación (chispas mecánicas, soldaduras, fallos eléctricos, entre otros.) (Mendez, 2012).

Si falta alguno de estos elementos, la combustión no es posible. A cada uno de estos elementos se los representa como lados de un triángulo, llamado triángulo del fuego, ue es la representación de una combustión sin llama o incandescentes. (figura). Existe otro factor, (reacción en cadena), que intervine de manera decisiva en el incendio. Si se interrumpe la transmisión de calor de unas partículas a otras del combustible, no será posible la continuación del incendio, por lo que ampliando el concepto del triángulo del fuego a otro similar con cuatro factores obtendremos el tetraedro del fuego, que representa una combustión con llama.

Figura 2: *Tetraedro del fuego*



Fuente: Méndez, F. protección contra incendio para tanques de almacenamiento atmosféricos.

2.1.1.3. Métodos de propagación de Fuego

2.1.1.3.1. Conducción

El mecanismo de la conductividad térmica es un gas es simple. Identificamos la energía cinética de una molécula con tu temperatura; así, en una región de alta temperatura, las moléculas tienen velocidades más altas que en una región de temperatura baja. Las moléculas se encuentran en continuo movimiento aleatorio, chocando unas contra otras e intercambiando energía y momento. Las moléculas tienen este movimiento aleatorio exista o no una gradiente de temperatura en el gas: si una molécula se mueve de una región de alta temperatura a un abaja

temperatura, transporta energía cinética a la parte del sistema de baja temperatura y transfiere esta energía a través de colisiones con moléculas de temperatura más baja.

Figura 3: *Incendio por conducción.*



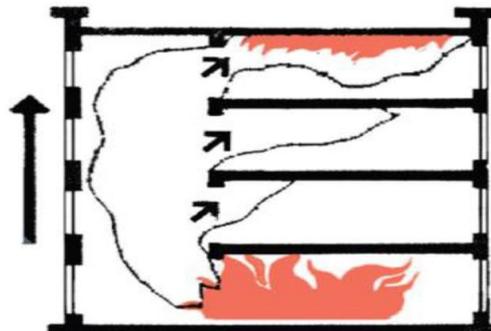
Fuente: Manual de prevención de incendios Costa Rica; 2015

2.1.1.3.2. Convección

Sabemos muy bien que una placa de metal caliente se enfría con mayor rapidez cuando se le coloca a un ventilador, que cuando se le expone a un aire en reposo. Decimos que el calor se disipa por convección y llamamos al proceso transferencia de calor por convección. El termino convección proporciona una noción intuitiva sobre el proceso de transferencia de calor.

Al presentarse un incendio, siempre existirán gases y humos que están presentes como producto de la combustión de los elementos, estos tienen la característica de ser más livianos que el aire y por tanto fluirán a las partes más elevadas trasladando consigo las elevadas temperaturas generadas en el proceso de la combustión.

Figura 4: *Incendio por Convección.*



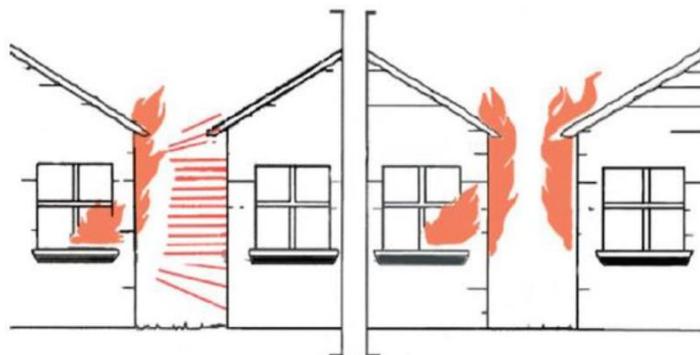
Fuente: Manual de prevención de incendios Costa Rica; 2015

2.1.1.3.3. Radiación

En contraste con los mecanismos de conducción y convección, en donde está involucrada la transferencia de energía a través de una media material, el calor también se puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética, que se propaga como resultado de una diferencia de temperaturas; a esto se le llama radiación térmica.

A través de la radiación, el calor se propaga en ondas en todas direcciones, por lo que, al presentarse un fuego, el calor generado alcanzara rápidamente a los elementos que se encuentren en las cercanías y les elevara la temperatura, hasta producción la combustión de ellos d propagar el fuego.

Figura 5: Incendios por Radiación.



Fuente: Manual de prevención de incendios Costa Rica; 2015

2.1.1.4. Mecanismo de extinción

2.1.1.4.1. Enfriamiento o Refrigeración

La mayor parte de la energía desprendida en la combustión, sobre el 90%, se disipa en el ambiente, solo un pequeño porcentaje del calor generado permanece en el foco e inflama nuevas moléculas de combustible propagando el incendio. Si se disminuye o elimina esta energía calorífica, desciende la temperatura de los agentes combustibles por debajo de su temperatura de ignición, dejan de emitir gases combustibles y se extingue el incendio. En calor se consigue disminuir añadiendo un agente que reaccione endotérmicamente absorbiendo calor, como, por ejemplo: el agua al evaporarse, la nieve carbónica al sublimar o algunas sales al descomponerse endotérmicamente.

2.1.1.4.2. Dilución o desalimentación del combustible

El fuego necesita continuamente de combustible para poder propagarse. Si se elimina o retira el combustible de la zona del incendio, el fuego se extingue como, por ejemplo, el cierre de una válvula de gas o el efecto de un corta fuego en los incendios forestales. En fuegos originados por líquidos solubles en agua, como los alcoholes, el fuego se extingue cuando se alcanza un punto en el que la disolución no emite vapores suficientes para mantener la combustión. Para comprobar cómo actúan el enfriamiento y la dilución sobre un fuego se prepara una mezcla a partes de etanol de 96°C y agua.

2.1.1.4.3. Sofocación

Este método trata de reducir el oxígeno, ya que por debajo de una concentración del 14% en volumen de oxígeno la combustión no es posible, por eso se llama sofocación. Estos mecanismos están basados en desplazar el oxígeno para eliminar o reducir la cantidad de moléculas de comburente en contacto con las moléculas de combustible. La asfixia del fuego se puede conseguir de diferentes formas:

- Ruptura del contacto entre combustible-aire, recubriendo la superficie del material combustión con algunas sustancias no combustibles como: arena, espuma, bicarbonato de sales alcalinas y fosfatos amónicos, manta ignífuga, tapa de sartén, etc.
- Dificultando el acceso de oxígeno a la zona de fuego, cerrando puertas y ventanas.
- Proyectando un gas inerte en suficiente cantidad para disminuir la concentración de oxígeno por debajo de una concentración mínima.
- Proyectando agua sobre el fuego, que al evaporarse disminuye la concentración de oxígeno, sobre todo si se proyecta pulverizada.

2.1.1.5. Normativa y regulación internacional sobre almacenamiento de combustible en aeropuertos.

Las normativas y regulaciones internacionales sobre el almacenamiento de combustibles en aeropuertos son fundamentales para garantizar la seguridad, la protección ambiental y la operatividad segura de estas instalaciones. Algunas de las regulaciones más relevantes incluyen:

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI):

La OACI establece estándares y recomendaciones internacionales para la aviación civil, incluyendo normativas específicas para el almacenamiento de combustibles en aeropuertos. Estos estándares se encuentran principalmente en el Anexo 14 - Aeródromos, y pueden incluir secciones que abordan:

Instalaciones de Almacenamiento: Requerimientos para el diseño, ubicación y construcción de tanques de almacenamiento de combustibles.

- Prevención de Riesgos: Normativas para la prevención de riesgos de incendio y explosión, incluyendo sistemas contra incendios y medidas de seguridad.
- Normativas Locales y Nacionales:
- Cada país tiene sus propias regulaciones que complementan los estándares internacionales establecidos por la OACI. Estas regulaciones pueden variar en detalles específicos, pero generalmente incluyen:
- Normas de Construcción y Seguridad: Especificaciones detalladas sobre el diseño, la construcción y el mantenimiento de instalaciones de almacenamiento de combustibles.
- Protección Ambiental: Requisitos para minimizar el impacto ambiental, como medidas para prevenir la contaminación del suelo y el agua en caso de derrames.
- Normas de Seguridad de la Industria:
- Además de las regulaciones gubernamentales, existen estándares y mejores prácticas establecidos por organizaciones de la industria aeronáutica, como:
- IATA (Asociación Internacional de Transporte Aéreo): Proporciona guías y recomendaciones para la seguridad en la manipulación, almacenamiento y distribución de combustibles en aeropuertos.
- NFPA (Asociación Nacional de Protección contra Incendios): Establece estándares para sistemas contra incendios y prevención de riesgos en instalaciones industriales, que pueden ser relevantes para los aeropuertos.

El cumplimiento de estas normativas y regulaciones es fundamental para garantizar la seguridad, la protección ambiental y la operación eficiente de los sistemas de almacenamiento

de combustibles en los aeropuertos, incluyendo los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari.

2.1.1.6. Clasificación y características de los líquidos combustibles e inflamables de acuerdo a la National Fire Protection Association (NFPA)

líquidos combustibles, es cualquier líquido cuya temperatura de inflamación es mayor a 37,8°C. además, por efectos de seguridad, los riesgos ocasionados por líquidos se pueden subdividir en: (NFPA 11, 2010)

Clase II: son aquellos cuyo punto de inflamación corresponde a 37,9°C más altos pero menor de 60°C.

Clase III A: son líquidos cuyos puntos de inflamación corresponde a 60°C o más, pero menor de 93,3°C.

Clase III B: son líquidos cuyo punto de inflamación corresponde a 93,3°C o mayor.

Líquidos inflamables, son aquellos cuyo punto de inflamación es inferior a 37,8°C y con una presión de vapor que no exceda de 2,8 Kg/cm² a 37,8°C (Clase I NFPA)

2.1.1.6.1. Jet Fuel

El Jet Fuel es el tercer combustible más producido en Bolivia, su obtención es exclusiva de las refinerías de YPFB Refinación S.A., Gualberto Villarroel en Cochabamba y Guillermo Elder Bell en Santa cruz, que procesan a su máxima capacidad de crudo y condensado nacional para obtener combustibles de uso final.

Los mayores niveles de comercialización de Jet Fuel se producen en los aeropuertos del eje central nacional donde opera YPFB aviación. El expendio interno de este combustible facilita los vuelos dentro del territorio nacional con una tarifa menor a la de los vuelos internacionales.

2.1.1.6.2. Obtención del Jet Fuel

El combustible de aviación principalmente contiene tres compuestos químicos: parafina, naftenos o ciclo parafina y aromático. La proporción de cada uno depende del petróleo crudo que se emplea como materia prima y del proceso de destilado.

El Jet Fuel es un hidrocarburo que, al igual que otros combustibles fósiles, debe seguir un proceso desde la obtención del petróleo crudo hasta la producción final. El proceso para la obtención del Jet Fuel se debe dividir en tres etapas. La primera es la destilación, proceso en el cual se puede separar diferentes tipos de derivados del petróleo dependiendo de su temperatura de ebullición. Los primeros derivados en elevarse son gases como el propano y butano, a los que les siguen las gasolinas o nafta y luego los kerosenos, los cuales son el destilado del cual se obtiene el Jet Fuel.

2.1.1.6.3. Propiedades del Jet Fuel

De acuerdo con Hemighaus G. (2006), en la caracterización de los combustibles de aviación tipo Jet se puede diferenciar 5 Familias de propiedades Fisicoquímicas.

Propiedades de composición

- a) Contenido aromático: La cantidad de aromáticos tiene que ser limitada ya que estos hidrocarburos tienen dificultades para realizar combustión total y general humo y depósitos de carbón, principalmente por su acción disolvente sobre los elastómeros.
- b) Presencia de azufre: el contenido de azufre no debe exceder los límites especificados en la normalidad legal (máximo 0.3% masa de azufre total), ya que este compuesto afecta las cámaras de combustión por su alta corrosividad. Además, varios compuestos de azufre (mercaptanos, tioles, carbonilos) tienen un efecto adverso sobre ciertos elastómeros de la nave.
- c) Acidez total: la capacidad del combustible para separar el agua se ve afectada por la presencia de compuestos ácidos como los fenoles y los ácidos nafténicos, con los cuales el combustible puede formar fácilmente emulsiones coloidales, ocasionando problemas en los filtros y deteriorando la calidad del producto.

Otras Propiedades Relevantes:

- a) Composición Química: Es principalmente una mezcla de hidrocarburos refinados, con una combinación específica para cumplir con estándares y regulaciones de aviación.
- b) Estabilidad: El Jet A-1 está formulado para ser estable y mantener sus propiedades químicas y físicas en un amplio rango de temperaturas y condiciones.

- c) Bajo Contenido de Azufre: Suele tener un contenido bajo de azufre, lo que reduce la corrosión en los motores de las aeronaves y minimiza los impactos ambientales.
- d) Viscosidad: Presenta una viscosidad baja para asegurar una fácil manipulación y flujo en sistemas de suministro de combustible de aeronaves.
- e) Estas propiedades son cruciales para entender el comportamiento y la manipulación segura del Jet A-1, especialmente en términos de prevención de incendios y seguridad en su almacenamiento y transporte en instalaciones como los tanques de almacenamiento en aeropuertos.

Tabla 1: Clasificación de combustibles e inflación

Tipo de Producción	Tipo de tanques de Almacenamiento	Clasificación NFPA
Gasolina, nafta y otros hidrocarburos líquidos	Atmosféricos, techo fijo o flotante	IB, IC
Combustóleos y destilación	Atmosférico, techo flotante	II y IIIA
Solventes polares y alcoholes	Atmosférico techo fijo	Variable
Asfaltos y residuos (nafta con poca agua)	Atmosférico techo fijo	IIIB
Crudo y recuperado de trampas (todo líquido agua. Fracciones ligeras en mezcla con fracciones pesadas)	Atmosférico techo fijo	Variable

Fuente: National Fire Protection Association NFPA

2.1.1.7. Almacenamiento de líquidos combustibles

2.1.1.7.1. Tanques.

- a) Tanques sobre suelo: Un tanque que está instalado sobre el suelo, en el suelo o bajo el nivel del suelo sin relleno.
- b) Tanques atmosféricos: un tanque de almacenamiento que ha diseñado para operar desde la presión atmosférica hasta una presión nanométrica de 6,9 Kpa (1.0 Psi).

- c) Tanque de baja presión: Para los fines de este código (NFPA 30) un tanque de almacenamiento diseñado para resistir una presión interna superior a presión nanométrica de 6,9 Kpa.
- d) Tanque portátil: Cualquier envase cerrado con una capacidad de líquido a 230 L. (60 gal) diseñado para almacenar líquidos y no apropiado para instalación fija.
- e) Tanques de contención secundaria: un tanque que tiene un muro interior y otro exterior con un espacio intersticial (anular) entre los muros, equipados con medios para monitorear los derrames dentro de dicho espacio intersticial en caso de fugas.
- f) Tanques de almacenamiento: cualquier recipiente que tenga una cantidad de líquido que exceda 230 L. (60 gal) destinado para instalación fija y no utilizado para proceso.
- g) Cilindros: se lo denomina de esta forma a todo recipiente material metálica con forma geométrica formada por una superficie lateral curva (circular) y que en sus extremos se encuentra cerrada por dos superficies paralelas y planas que cumplen la función de fondo y del depósito. Normalmente son de 55 galones de capacidad. (National Fire Protection Association., 2012)

2.1.1.8. Tipos de sistemas contra incendios

Sistemas de Agua:

Automáticos: Utilizan agua para rociar áreas afectadas por un incendio. Los rociadores automáticos se activan por calor y pueden controlar o extinguir incendios en etapas tempranas.

Sistemas de Rociadores Manuales: Consisten en mangueras y conexiones que permiten a los equipos de bomberos aplicar agua directamente al fuego.

Sistemas de Espuma:

- a) Espuma Física: Se usa espuma física para cubrir la superficie del combustible y separarlo del oxígeno, sofocando así el fuego. Es efectiva para combustibles líquidos y se utiliza en áreas donde el agua podría no ser eficaz.
- b) Espuma Química: Se trata de mezclas químicas que generan una reacción para producir espuma. Es adecuada para apagar incendios en líquidos inflamables.

Sistemas de Polvo:

Polvo Químico Seco: Emplea polvo químico seco, como fosfato monoamónico, para sofocar incendios. Es eficaz en incendios de líquidos inflamables y equipos eléctricos, ya que no conduce electricidad.

Sistemas de CO2:

Dióxido de Carbono (CO2): El CO2 es un agente limpio y eficaz para extinguir incendios al reducir el contenido de oxígeno en el área afectada, sofocando así las llamas. Se utiliza especialmente en incendios eléctricos y en áreas donde el daño por agua sería perjudicial.

Sistemas de Halón (actualmente restringidos):

Halón: Aunque se están retirando debido a sus efectos dañinos en la capa de ozono, los sistemas de extinción basados en Halón eran altamente efectivos para sofocar incendios sin dejar residuos corrosivos.

Cada sistema tiene ventajas y limitaciones, y su elección depende del tipo de fuego, la naturaleza del material inflamable y las condiciones ambientales específicas. En el caso de los tanques de almacenamiento de Jet A-1, la elección del sistema contra incendios debe considerar la eficacia en la extinción de incendios de combustibles líquidos y la minimización de riesgos para la infraestructura y el medio ambiente.

2.2. Marco contextual

2.2.1. Datos generales.

El aeropuerto Alcantari Sucre se encuentra ubicado en el departamento de Chuquisaca, Bolivia. Dada la importancia estratégica de los tanques de almacenamiento de combustible presentes en el aeropuerto, se vuelven esencial contar con un eficiente sistema de protección contra incendios.

Figura 6: *Ubicación de los tanques de almacenamiento de Ja A1*



Fuente: Google Maps

El aeropuerto de Alcantari cuenta con dos tanques de almacenamiento de Jet A1, con una capacidad de 1,557,000 litros y 2 cisternas para el transporte del combustible.

Figura 7: *Cisternas para el transporte de combustible de aviación*



Fuente: Fotografía de las cisternas del aeropuerto alcantari.

Figura 8: Tanques de almacenamiento del aeropuerto Alcantari



Fuente: Fotografía de los tanques de almacenamiento el en aeropuerto alcantari.

Los tanques mostrados en la figura 2, no cuenta con un apropiado sistema contra incendio, estos solo cuentan con extintores de espuma, dióxido de carbono, químicos secos ordinarios o químicos secos de uso múltiple y de halón.

2.2.2. Descripción del sistema de espumas contra incendios en áreas de almacenamiento de combustible líquido según normas NFPA 11

2.2.2.1. Sistema de espuma de baja expansión

El uso de espuma de baja expansión es para proteger tanques de almacenamiento exterior, riesgos interiores de líquidos inflamables, estantería de carga, áreas canalizadas y áreas de derrame sin diques o sin canalizar.

2.2.2.2. Tanques exteriores de techo fijo (cónico)

los siguientes tanques para proteger tanques exteriores de techo fijo se debe incluir es esta sección, sin ningún orden de preferencia:

- Motores y mangueras de espuma
- Aplicación superficial con salidas fijas de descarga de espuma
- Aplicación subsuperficial (por la base)
- Métodos de inyección semi-subsuperficial

El diseño del sistema se debe basar en la protección del tanque que requiera de flujo mayor de solución de espuma, incluyendo los chorros de mangueras suplementarios.

2.2.2.3. Tasa de consumo del concentrado de espuma

Las tasas del sistema se deben basar en el porcentaje de concentrado en el diseño del sistema (ejemplo 3% o 6% u otro, según listados o aprobados por la autoridad competente)

2.2.2.4. Criterios de diseño para aplicación en superficies con salidas fijas de descarga de espuma

Para proteger un líquido inflamable contenido en un tanque vertical de almacenamiento atmosférico o techo fijo (cónico), las salidas de descarga deben estar conectadas al tanque.

Cuando se requiere dos o más salidas de descarga, las salidas deben estar espaciadas igualmente alrededor de la periferia del tanque.

Estas salidas deben ser entubadas individualmente y con válvulas separadas para aislamiento fuera del área del dique.

Las salidas fijas de descarga de espuma deben instalarse en el tope del casco y estar situadas o conectadas para evitar la posibilidad de que el contenido de los tanques se derrame dentro de las líneas de espuma.

Las salidas fijas de descarga de espuma deben proveerse con sello de vapor que rompe a baja presión, para evitar la entrada de vapores a las salidas y tuberías de espuma.

Las salidas fijas de descarga de espuma deben proveer con medios de inspección para permitir el mantenimiento y para inspección y camino de los sellos de vapor.

Las salidas de descarga de espuma deben estar situadas de manera que no descarguen en un fondo de agua.

Lo anterior se debe cumplir colocando por lo menos 0,3 m (1 ft) por encima del nivel de agua más alto para evitar la destrucción de la espuma.

2.2.2.5. Tiempo mínimo de descarga y régimen de aplicación

Cuando se usan salidas fijas de descarga de espuma para tanques de techo fijo (cónico) que contienen hidrocarburos, los tiempos mínimos de descarga y tasas de aplicación deben ser de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2: *Características de JET Fuel*

CARACTERÍSTICAS DEL JET FUEL	
Mezcla química	Mezcla de hidrocarburo
Color	Amarillento
Olor	Keroseno
Densidad	804 Kg/m ³
Presión de vapor	8 mbar a 20°C
Límite de explosividad	0.7 – 7 Vol. %
Punto de ebullición	134 °C
Temperatura de ignición	220 °C
Solubilidad de agua	Nula

Fuente: Extraído de YPFB aviación.

Si el aparato disponible tiene una tasa de descarga mayor de 4.1 l/min*m² (0,1gpm/pie²), se permite la reducción proporcional del tiempo, siempre y cuando el tiempo no sea menos de 70% de los tiempos de descarga que se muestran.

2.2.2.6. Método de generación con espuma de aire comprimido

Métodos para generar espuma de aire comprimido reconociendo a esta norma usando una cámara de mezclado para combinar aire o nitrógeno a presión, agua y concentrado de espuma en las proporciones correctas. La espuma con aire comprimido resultante fluye de tuberías o mangueras hacia el riego que se protege.

2.2.2.7. Generador de espuma a presión (alta contrapresión o tipo impelente)

Generador de espuma que utiliza el principio Venturi para aspirar aire hacia un chorro de solución de espuma para formar espuma a presión.

2.2.2.8. Proporcionado de espuma

- a) Proporcionador tipo bomba de presión balanceada

Sistema proporcionador de espuma que utiliza una bomba y válvulas para balancear las presiones de la espuma y el agua en un proporcionador tipo Venturi modificado situado en la

tubería de descarga de la solución de espuma; se coloca un orificio de medición de concentrado de espuma en la sección de entrada de espuma del proporcionador.

b) **Proporcionador de presión balanceada en línea**

Sistema proporcionador de espuma que utiliza una bomba de concentrado de espuma o un tanque de vejiga en conjunto con una válvula reductora de presión listada.

A todas las tasas de flujo de diseño, la presión constante del concentrado de espuma es mayor que la presión del agua en la entrada al proporcionador de presión balanceada. Una válvula de presión balanceada integrada al proporcionador de presión balanceada en línea regula que la presión del concentrado de espuma este balanceada con la presión de agua que llega.

c) **Proporcionador de descarga de bomba de inyección directa variable**

Sistema proporcionador de inyección directa que utiliza indicadores de caudal para el concentrado de espuma y el agua con un sistema de control de bomba de espuma de descarga variable.

2.2.2.9. Tanques de espuma

Los tanques de almacenamiento de líquido a granel deben estar fabricados o forrados con materiales compatibles con el concentrado.

El tanque de almacenamiento debe estar diseñado para reducir al mínimo la evaporación del concentrado de espuma.

El sistema proporcionador debe señalar que provean instrucciones sobre la secuencia apropiada para detener el sistema y evitar la pérdida accidental del concentrado de espuma y/o daño al sistema.

2.2.2.9.1. Tanque vejiga de presión balanceada

El tanque de vejiga de concentrado de espuma equipado con una membrana interna que usa flujo de agua a través de un proporcionador tipo Venturi para controlar la velocidad de inyección de concentrado de espuma desplazando el concentrado de espuma dentro de la membrana con el agua fuera de la membrana o vejiga.

2.2.2.9.2. Tanque proporcionador a presión

Tanque de concentrado de espuma sin membrana que usa flujo de agua a través de un orificio para desplazar con agua el concentrado de espuma en el tanque y agregar el concentrado de espuma a través de un orificio o la línea de agua a una velocidad determinada. Este dispositivo es apropiado solamente para espumas con una gravedad específica de por lo menos 1.15.

2.2.2.10. Tipos de concentradores de espuma

El concentrado usado en un sistema de espuma debe estar listado para uso sobre el líquido inflamable o combustible que se va a proteger.

Se debe cumplir las restricciones de los listados y especificaciones de los fabricantes. Los concentrados de espuma para protección de combustibles hidrocarburos deben ser de uno de los tipos siguientes.

- Proteína
- Fluoroproteína
- Espuma formada de película acuosa (AFFF)
- Fluoroproteína formada de película (FFFP)
- Resistente al alcohol
- De alta expansión
- De mediana expansión

Los líquidos miscibles en el agua o inflamables polares o combustible deben estar protegidos por concentrados resistentes al alcohol listados por este fin.

La cantidad de concentrado debe ser por lo menos suficiente para el riesgo mayor protegido o grupo de riesgo que se debe proteger simultáneamente.

2.2.2.11. Tubería para sistema de espuma

Las tuberías para conducciones de concentrado de espuma no deben ser galvanizadas. Las tuberías en contacto permanente con concentrados de espuma deben ser construidas de material compatible con el concentrado y no ser afectadas por este.

Las tuberías en contacto permanente con concentrado de espuma no deben tener efectos nocivos sobre el concentrado de espuma.

Con el fin de calcular la pérdida de fricción de la tubería para soluciones de espuma, se deben usar los valores C para la fórmula de Hazen-Williams.

2.2.2.12. Accesorios de tubería

Todos los accesorios de tubería no deben tener menos del peso normativo.

No se debe usar accesorios de hierro (castiron) cuando secciones secas de las tuberías están expuestas a un posible incendio o cuando los accesorios estén sometidos a tensión en los sistemas auto-portantes.

Se debe permitir usar accesorios de caucho o empaquetadura elastómerica listados en áreas expuestas a incendios si el sistema de agua es de activación automática.

Se debe permitir usar accesorios de caucho o empaquetadura elastomérica en áreas expuestas a incendios si el sistema de espuma es de activación manual y los accesorios y empaquetaduras ranurados de alta resistencia clasificados para alta temperatura.

Los accesorios para conducción de concentrado de espuma no deben ser galvanizados.

2.2.2.13. Operación y control de los sistemas (método de activación)

2.2.2.13.1. Sistema de activación automática

Los sistemas automáticos deben ser activados por equipos de detección automática. La operación debe ser controlada por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos listados o aprobados.

Los equipos de detección automática (ya sean neumáticos, hidráulicos o eléctricos) se deben proveer con supervisión dispuesta de manera que la falla del equipo o pérdida de presión del aire de supervisión dispuesta o pérdida de energía eléctrica produzca la notificación positiva de la condición anormal.

2.2.2.13.2. Sistema de activación manual

Los controles para sistemas operados manualmente deben estar situados en un lugar retirado de la zona de riesgo para permitir que se operen en una emergencia, pero suficientemente cerca para asegurar conozca sobre la condición del fuego.

2.3. Información y datos obtenidos

2.3.1. Centralización de resultados y análisis de datos

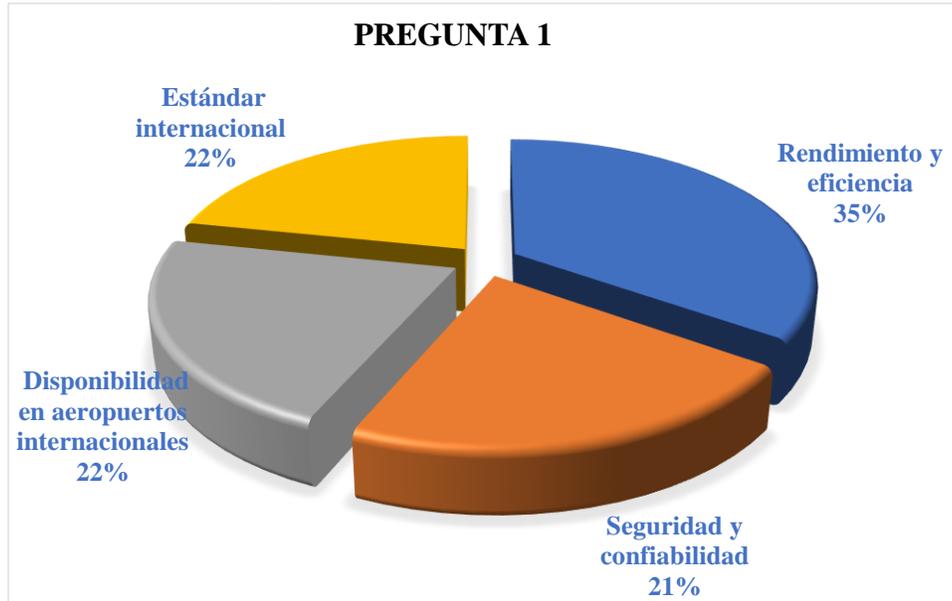
Se pudo recabar la siguiente información que se detalla a continuación: (tabla 12, anexos)

Tabla 3: *Importancia del Jet A-1 como combustible en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales.*

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Rendimiento y eficiencia	8	35
Disponibilidad y Estándares Internacionales	5	21
Disponibilidad en aeropuertos internacionales	5	22
Estándar internacional	5	22
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 9: *Importancia del Jet A-1 como combustible en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales.*



Fuente. Encuesta realizada a funcionarios de YPFB

Análisis de datos.- Dentro de los varios aspectos que radica su importancia del jet A-1, un 35% de los encuestados considera que el rendimiento y eficiencia ya que esta está diseñado para ofrecer un alto rendimiento y eficiencia en motores de aviones a reacción, el 21 % de los encuestados considera que la disponibilidad y Estándares Internacionales y que este tipo de combustible debe cumplir con estándares muy estrictos de calidad y seguridad para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro de las aeronaves, el 22 % de los encuestados dice que la disponibilidad en aeropuertos internacionales lo que significa que las instalaciones de almacenamiento y suministro de este combustible son esenciales para mantener la operatividad de las aeronaves en todo el mundo y el 22% estándar internacional este facilita su producción, almacenamiento, y distribución en aeropuertos de todo el mundo.

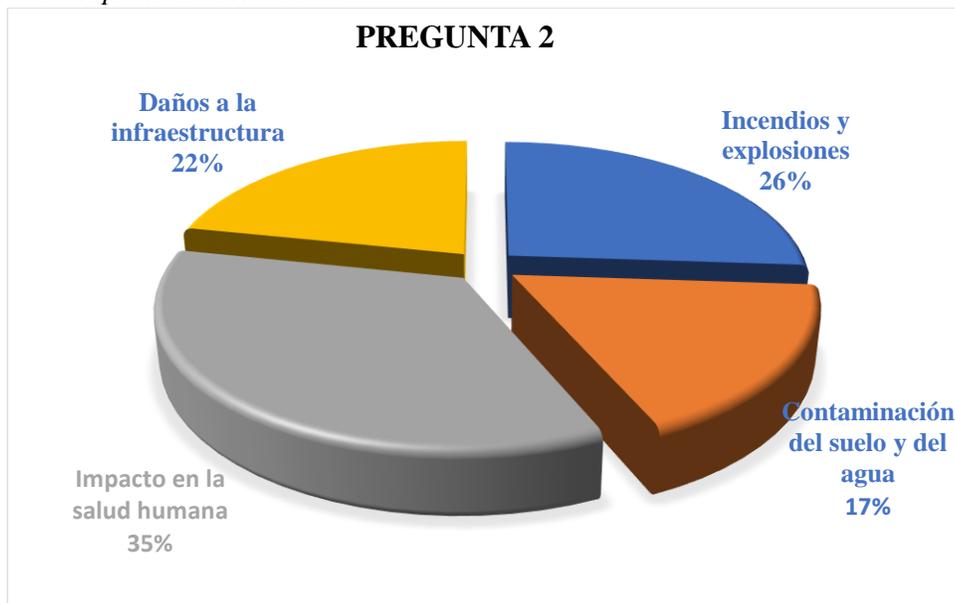
Tabla 4: *Riesgos específicos asociados con el almacenamiento de combustible Jet A-1 en un aeropuerto internacional.*

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Incendios y explosiones	5	26
Contaminación del suelo y del agua	4	17

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Impacto en la salud humana	8	35
Daños a la infraestructura	5	22
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 10: Riesgos específicos asociados con el almacenamiento de combustible Jet A-1 en un aeropuerto internacional



Fuente. Encuesta realizada a funcionarios de YPF B

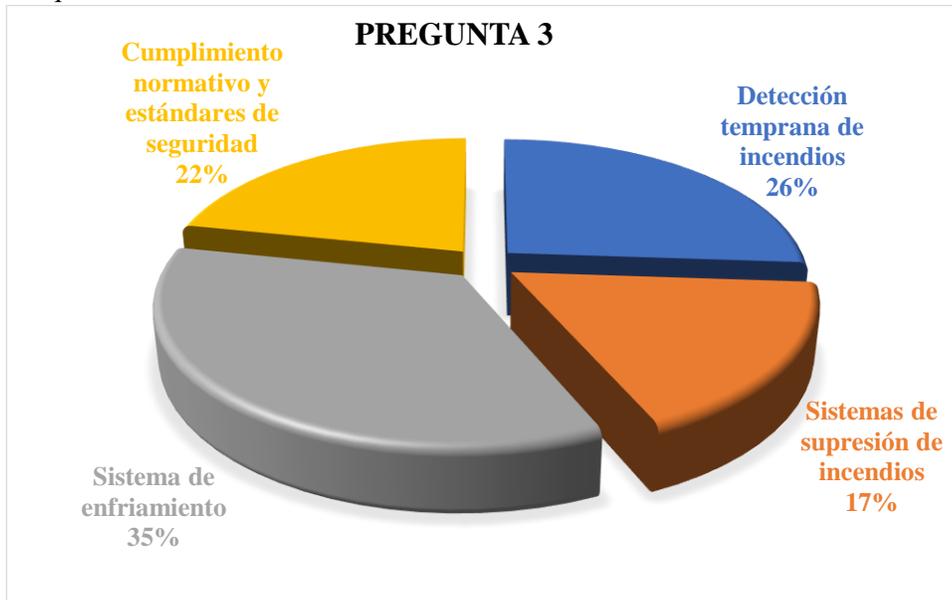
Análisis de datos. - Entre los encuestados el 26% dice que incendios y explosiones el Jet A-1 es altamente inflamable. Cualquier fuga o escape de este combustible puede resultar en incendios repentinos y explosiones, el 17% considera que la contaminación del suelo y del agua las fugas de combustible pueden causar la contaminación del suelo y del agua en los alrededores del área de almacenamiento, lo que representa un riesgo ambiental significativo, el 35 % considera impacto en la salud humana la exposición a los vapores del Jet A-1 puede ser perjudicial para la salud humana y el 22% considera que daños a la infraestructura cualquier interrupción en el suministro de combustible debido a problemas de almacenamiento puede afectar seriamente las operaciones aeroportuarias y la programación de vuelos.

Tabla 5: Elementos clave a considerar al diseñar un sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1.

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Detección temprana de incendios	5	26
Sistemas de supresión de incendios	4	17
Sistema de enfriamiento	8	35
Cumplimiento normativo y estándares de seguridad	5	22
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 11: Elementos clave a considerar al diseñar un sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1



Fuente. Encuesta realizada a funcionarios de YPFB

Análisis de datos.- Los elementos claves a considerar el 26% de los encuestados considera que la detección temprana de incendios como implementar sistemas de detección altamente sensibles, como detectores de humo, calor o llamas, que puedan identificar rápidamente cualquier signo de fuego, el 17 % los sistemas de supresión de incendios, el 35% sistema de enfriamiento con el fin de prevenir el sobrecalentamiento y la ruptura del recipiente y el 22%

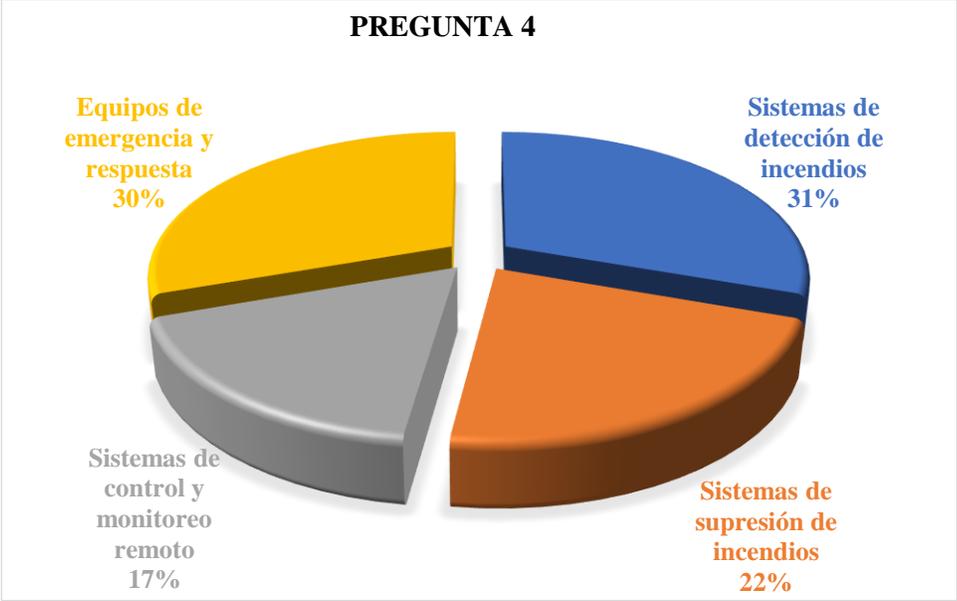
cumplimiento normativo y estándares de seguridad que cumplan con todas las normativas y estándares de seguridad relevantes, tanto locales como internacionales, para garantizar la eficacia y legalidad del sistema.

Tabla 6: *Tecnologías y equipos son fundamentales para la efectiva detección y supresión de incendios en estos tanques de almacenamiento*

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Sistemas de detección de incendios	7	31
Sistemas de supresión de incendios	5	22
Sistemas de control y monitoreo remoto	4	17
Equipos de emergencia y respuesta	7	30
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 12: *Tecnologías y equipos son fundamentales para la efectiva detección y supresión de incendios en estos tanques de almacenamiento*



Fuente: Encuesta realizada a funcionarios de YPF

Análisis de datos.- El 31 % de los encuestados considera que una de las tecnologías y equipos fundamentales es el sistema de detección de incendios puede incluir detectores de humo, detectores de llama y detectores de calor, el 22% de los encuestados considera que el sistema

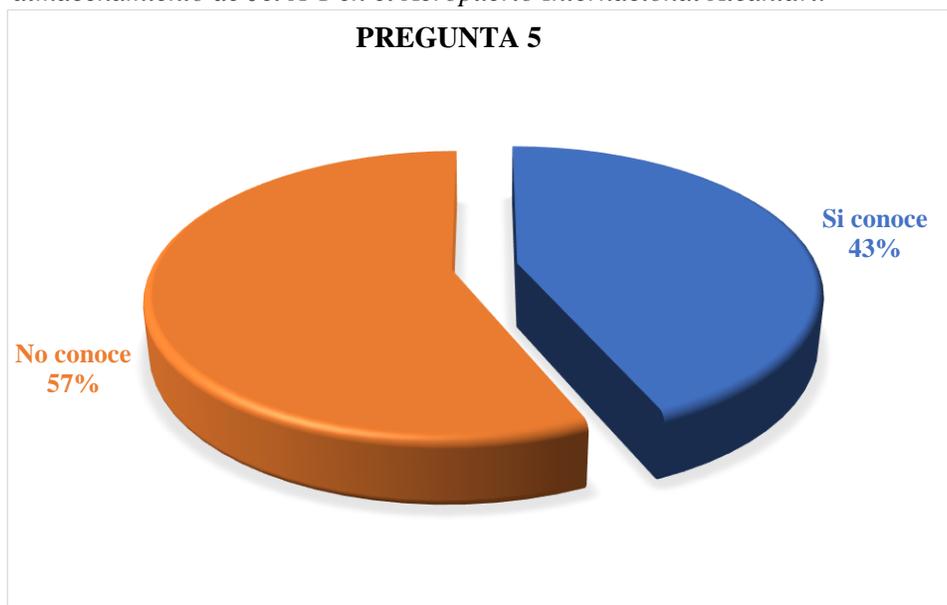
de supresión de incendios que tiene varias opciones como rociadores automáticos, sistema de espuma entre otros, el 17% el sistema de control y monitoreo remoto es un equipo que permiten el monitoreo constante de la temperatura, y el 30 % considera que los equipos de emergencia y respuesta pueden incluir bombas de agua de alta capacidad, camiones cisterna entre otros.

Tabla 7: Situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Si conoce	10	43
No conoce	13	57
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 13: Situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari.



Fuente. Encuesta realizada a funcionarios de YPFB

Análisis de datos. - De los encuestados un 57 % no conoce la situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari y un 43 % de los encuestados si conoce la situación actual de los sistemas contra

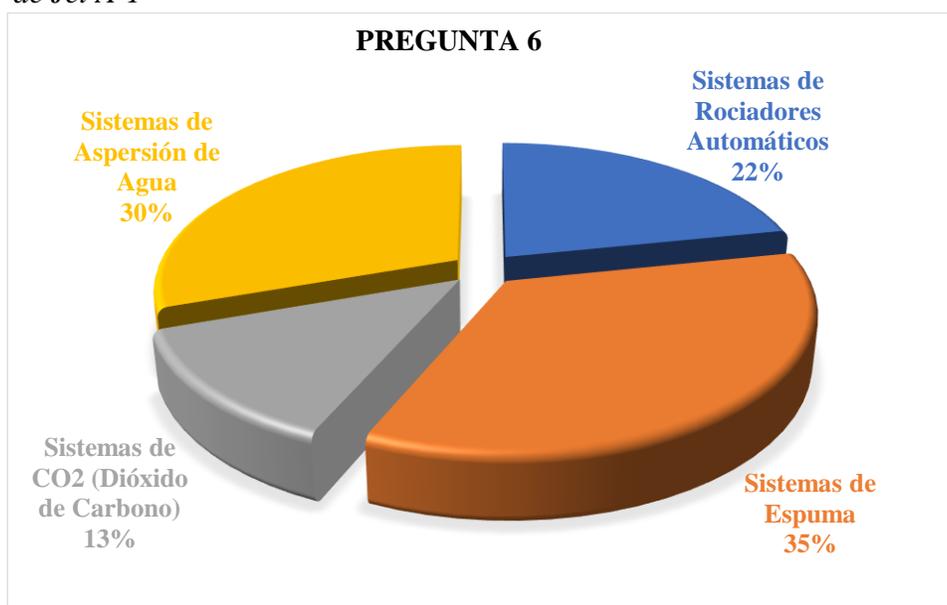
incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari.

Tabla 8: *Diferentes tipos de sistemas contra incendios disponibles y sus aplicaciones específicas en el control de incendios en tanques de almacenamiento de Jet A-1*

DESCRIPCIÓN	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Sistemas de Rociadores Automáticos	5	22
Sistemas de Espuma	3	35
Sistemas de CO2 (Dióxido de Carbono)	8	13
Sistemas de Aspersión de Agua	7	30
TOTAL	23	100%

Fuente: elaboración propia

Figura 14: *Diferentes tipos de sistemas contra incendios disponibles y sus aplicaciones específicas en el control de incendios en tanques de almacenamiento de Jet A-1*



Fuente. Encuesta realizada a funcionarios de YPFB

Análisis de datos. - de los encuestados el 22% considera que los sistemas de Rociadores Automáticos como el agua o agentes químicos para suprimir el fuego. Son eficaces para enfriar los tanques y sofocar el fuego, el 35 % considera que los sistemas de Espuma esta forma una

capa que suprime las llamas y evita la evaporación del combustible, 13 % los sistemas de CO₂ (Dióxido de Carbono) y el 30 % Sistemas de Aspersión de Agua.

2.3.2. Selección del sistema contra incendio basado en la norma NFPA 11

2.3.2.1. Selección del tipo de espumógeno y concentración a ser empleada en la espuma

Para la selección el tipo de espumógeno se debe conocer los tipos de espumógenos y las características de los mismos.

- Espuma de proteínas: concentrado que consiste principalmente de productos de una proteína hidrolizada, más aditivos estabilizadores e inhibidoras para protegerla contra congelación, para evitar corrosión de equipo y recipientes, resistir la descomposición de baterías, controlar la viscosidad, y además asegurar para usos en emergencia.
- Espuma Fluoroproteína: concentrado muy similar al concentrado de espuma y proteína, pero con un aditivo fluorado surfactante sintético.
- Espuma formante de película acuosa (AFFF): concentrado a base de surfactantes fluorados más estabilizadores de espuma. Diseñado para un volteo rápido, los AFFFs sacrifican la resistencia al calor y la estabilidad a largo plazo.
- Espuma de fluoro proteína de película (FFFP): concentrado que usa surfactante fluorados para producir una película fluida acuosa para suprimir los valores de combustible hidrocarburos. Las FFFPs combinan la resistencia el reencendido de una espuma de fluoroproteína con el poder de volteo de la AFFF.

La espuma eliminará el calor a una velocidad mayor que la liberada, separa el combustible del agente oxidante, diluirá la concentración en fase de vapor del combustible y/o el agente oxidante por debajo de la necesaria para la combustión y termina la secuencia química de reacción en cadena.

La espuma tipo AFFF reduce la tensión superficial, se extiende rápidamente a través de la superficie, tiene una alta resistencia a una nueva combustión y tiene abatimiento rápido. Esta espuma es la más adecuada para suprimir el oxígeno en la superficie de hidrocarburos líquidos.

Basado en surfactantes fluorados más estabilizantes de espuma y generalmente se diluye con agua para una solución de 1%, 3% o 6%. Una concentración de solución de 3% es una concentración equilibrada, por lo tanto, es la concentración más adecuada.

2.3.2.2. Tasa de dosificación del espumógeno y el requerimiento de presión

La tasa de dosificación del espumógeno va depender de la temperatura de inflamación de hidrocarburos líquido, ya sea este combustible o inflamable, la mismas se encuentra detallada en la NFPA 11 como se muestra en la tabla, considerando así que la tasa de dosificación para combatir incendios en kerosene y Diesel Oil.

Tabla 9: Tasa y tiempo de aplicación de la espuma

Tipo de hidrocarburo	Tasa de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (min)
	Lt/min*m2	gpm/pie2	
Punto de aplicación entre 37.8 °C y 60°C	4,1	0,1	30
Punto de inflamación menor a 37,8°C o liuidos calentados por encima de su punto de inflamación	4,1	0,1	55
Petróleo crudo	4,1	0,1	55

Fuente: NFPA 11. (2010). Norma para espuma de baja, mediana y alta expansión.

2.3.2.3. Tasa de dosificación de agua y el requerimiento de presión

La tasa de dosificación de agua para la formación de la espuma es la misma que la tasa de dosificación de espumógeno, es decir esta tasa va depender de la temperatura de inflación de hidrocarburo líquido, ya sea este combustible o inflamable, la mismas se encuentra detallada en la tabla, en la misma tabla se puede observar el tiempo mínimo de descarga de la espuma, el cual es 30 minutos para combatir incendios de Diesel Oil y Keroseno.

2.3.2.4. Escenarios de fuego

El área de protección se dividirá en dos zonas, para dimensionar los tanques de espuma lo cual se determina en base a las condiciones más importantes, es decir las dimensiones del recipiente y el producto almacenado, además de las distancias adyacentes entre tanques.

2.3.2.5. Cámaras de espuma de acuerdo a la norma NFPA 11

De acuerdo a la norma NFPA 11, la cantidad de cámaras a utilizar depende del diámetro del tanque de almacenamiento, los mismos se muestran en la tabla.

Tabla 10: Cámara de espuma

Diámetro del tanque		Número mínimo de salidas de descarga	
m	pies	Punto de inflamación por debajo de 37,8°C	Punto de inflamación a 37,8°C
Hasta 24	Hasta 80	1	1
Mas de 24 a 36	Mas de 80 a 120	2	1
Mas de 36 a 42	Mas de 120 a 140	3	2
Mas de 42 a 48	Mas de 140 a 160	4	2
Mas de 48 a 54	Mas de 160 a 180	5	2
Mas de 54 a 60	Mas de 180 a 200	6	3
Mayor de 60	Mayor a 200	6	3

Fuente: NFPA 11. (2010). Norma para espuma de baja, mediana y alta expansión.

2.3.2.6. Requerimiento para el sistema de espuma

Para el sistema de espuma se debe tomar algunas consideraciones de acuerdo a la norma NFPA 11 antes de realizar los respectivos cálculos.

d) Determinación del agua requerida para el sistema de espuma

Se debe tomar algunas consideraciones de la norma NFPA 11 como son tasa de aplicación y tiempo de aplicación considerando el tipo de líquido a proteger, ya sea este combustible o inflamable, además conocer el diámetro circular de cada tanque de almacenamiento, con ello aplicando la ecuación 1 para obtener volumen de agua que se requiere para el sistema. Se aplicará una solución agua espuma la cual está compuesta por 3% de espuma y 97% de agua.

$$V_{agua} = d * A * t * (1 - 3\%) \dots Ecu 1$$

Donde:

Vagua = volumen de agua requerido (lt)

d = tasa de aplicación de espuma (lt/min*m2)

A = área a proteger (superficie circular) (m2)

t = tiempo de aplicación (min)

e) Determinación de requerimiento de espuma – selección del tanque espumógeno

Para obtener el volumen de espuma que se requiere para el sistema se toma en cuenta algunas consideraciones como la tasa de aplicación, tiempo de aplicación, e tiempo de concentrado de espuma dato obtenido de la norma NFPA 11, además se requiere los datos de los diámetros de los distintos tanques que almacenan los combustibles, aplicando la ecuación 2.

$$V_e = d * A * t * c \dots \text{Ecu 2}$$

Donde:

V_e = capacidad de tanque de espuma (lt)

d = tasa de aplicación de espuma (lt/min*m2)

A = área a proteger (superficie circular) (m2)

t = tiempo de aplicación (min)

c = concentración de espuma (%)

f) Determinación del caudal de espuma sistema contra incendios

Para obtener el caudal de espuma para el sistema contra incendios se debe aplicar la ecuación 3, así mismo tomando en cuenta el tipo del fluido a almacenar, tasa de aplicación, y área circular de los tanques de almacenamiento.

$$Q_{esp} = d * A_c \dots \text{Ecu. 3}$$

Donde:

Q = caudal del sistema contra incendios

d = tasa de aplicación de espuma (lt/min*m2)

A = área a proteger (superficie circular) (m2)

g) Dimensionamiento de las cámaras de espuma

Para el dimensionamiento de las cámaras de espuma se toma en cuenta el diámetro de los tanques de almacenamiento, así mismo en la norma NFPA 11 muestra cuantas cámaras de espuma se debe utilizar de acuerdo al diámetro del tanque.

h) Placa de orificio de la cámara de espuma

La placa de orificio de la cámara de espuma se obtiene utilizando la ecuación 4, se considera la presión de las cámaras de espuma, caudal de espuma y coeficiente de orificio.

$$D = \sqrt{\frac{Q}{29,8K\sqrt{P}}} \dots \dots Ecu. 4$$

Donde:

Q = caudal del sistema contra incendios

D = diámetro de la placa de orificio (pulg)

K = coeficiente de orificio

P = presión de cámara de espuma (Psi)

i) Dimensiones de los proporcionadores de espuma

Para el dimensionamiento de los proporcionadores de espuma se toma en cuenta una presión matriz de 120 Psi, y el caudal necesario de solución agua – espuma para cada tanque a proteger, se procede el cálculo del factor K con la ecuación 5.

$$GPM = K\sqrt{P} \dots \dots Ecu. 5$$

Donde:

K = coeficiente k del proporcionador

GPM = flujo en la bouilla (gpm)

P = presión (psi)

2.3.2.7. Pérdida de energía por fricción del sistema y velocidad del flujo

- a) Pérdida de energía por fricción de la red de tuberías del sistema contra incendios: la pérdida de energía por fricción de la tubería se determina mediante la ecuación de Hazen – Williams, el valor del coeficiente de Hazen – Williams se obtiene de la tabla, según el material de la tubería, tomando en cuenta que el material del sistema de tubería es de acero al carbón, por lo cual se considera un coeficiente de 120.

Tabla 11: valores de coeficiente de Hazen - Williams

Material	Coficiente de fricción de Hazen - Williams
Hierro fundido sin recubrimiento interno	130
Acero sin recubrimiento interno	120
PVC, PEAD	150
Acero galvanizado	120
Concreto (superficie rugosa)	120
Concreto centrifugado	130

Fuente: Tutorial principios de la hidráulica

2.4. Análisis y discusión

Al hacer un análisis, el Jet A-1 desempeña un papel fundamental en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales se basa en su idoneidad para motores de turbina, su estandarización global, la infraestructura de suministro dedicada y los estrictos estándares de calidad y seguridad asociados con su uso.

La gestión adecuada de estos riesgos es fundamental para garantizar la seguridad de las operaciones aeroportuarias y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

La integración de estos elementos en un diseño integral de sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1 es esencial para garantizar la seguridad y la capacidad de respuesta efectiva ante posibles incidentes. Además, la colaboración con expertos en seguridad contra incendios y el seguimiento de las mejores prácticas de la industria son fundamentales para un diseño exitoso y seguro.

La combinación adecuada de estas tecnologías y equipos especializados es esencial para la efectividad en la detección y supresión de incendios en tanques de almacenamiento de combustible, asegurando una respuesta rápida y eficiente ante emergencias.

La elección del sistema contra incendios dependerá del tamaño del tanque, el entorno circundante, los riesgos específicos y las regulaciones locales. La combinación de varios sistemas o la adaptación de tecnologías específicas puede ser necesaria para garantizar una respuesta efectiva ante emergencias en los tanques de almacenamiento de Jet A-1.

Por último, podemos analizar que un porcentaje no conoce la situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari.

CAPITULO III

3.1. CONCLUSIONES

Por lo observado en el siguiente trabajo documental, se logra arribar a las siguientes conclusiones:

- La revisión y análisis de las regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con la protección contra incendios en instalaciones de almacenamiento de combustible en aeropuertos resalta la importancia crítica del cumplimiento normativo, la necesidad de adaptación a los cambios y la promoción de una cultura integral de seguridad en la industria aeroportuaria. Estas conclusiones son fundamentales para garantizar la implementación de sistemas contra incendios efectivos y la protección de vidas y activos en entornos aeroportuarios.
- La evaluación de los riesgos asociados con el almacenamiento de Jet A-1 en los tanques del Aeropuerto Internacional Alcantari enfatiza la necesidad de medidas preventivas sólidas, sistemas de respuesta eficaces y un compromiso continuo con la seguridad para reducir los riesgos y asegurar una respuesta efectiva en caso de un escenario de incendio. Estas conclusiones son fundamentales para mejorar y fortalecer la preparación ante posibles eventos de esta naturaleza.
- Para la selección y el diseño detallado de un sistema contra incendios adaptado a los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari requiere una planificación meticulosa, selección cuidadosa de tecnologías y equipos, así como una implementación y mantenimiento diligentes para garantizar la protección efectiva contra incendios y la seguridad de las instalaciones aeroportuarias.

Bibliografía

- Arnal, L. T. (2003). *Bases Metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Experiencia S.L.
- Bahena, J. T. (2010). *Técnicas de investigación documental* (3ra edición ed.). Mexico: Santos S.R.L.
- Boulandier, J. J. (2001). Manual de extinción de incendios. Bomberos de Navarra. Pamplona, España.
- Gastón, P. R. (2009). *Metodos y técnicas de investigación científica* (2da Edición ed.). KIMPRESS Ltda.
- Gumiel, M. (2010). *Metodología de la investigación científica* (1ra edición ed.). Sucre, Bolivia: Tupac Katari.
- Martinez, G. (2005). *Metodología de la Investigación Científica*. Sucre, Bolivia: Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- NFPA 30: Código de Líquidos Inflamables y Combustibles de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)
- Rodriguez, G. P. (2009). *Metodos y técnicas de investigación científica*. La Paz, Bolivia: Kimpres Ltda.
- Tamayo, M. (14 de Julio de 2012). *El Proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa. Obtenido de <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>
- Tamayo, M. T. (2006). *Técnicas de Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- YPFB Comercialización, Nuestros productos, Obtenido de: <https://www.ypfb.gob.bo/es/comercialización-secundario>.

ANEXO 1

CUESTIONARIO

La aplicación del presente cuestionario, refiere a un trabajo de investigación, por tanto, los resultados emanados del presente instrumento, servirán para sustentar la propuesta DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE JET A-1 DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL ALCANTARI.

Instrucción: Para llenar el cuestionario se debe leer detenidamente cada indicador y seleccionar solo una de las opciones respectivas a cada pregunta, marcar con una “X” la respuesta seleccionada. Se agradece su apoyo y la sinceridad de sus respuestas.

Tabla 12: *Cuestionario realizado a los funcionarios de YPFB*

Pregunta	Opciones
Nº1 ¿Cuál es la importancia del Jet A-1 como combustible en la aviación comercial y su relevancia en los aeropuertos internacionales?	a) Rendimiento y eficiencia b) Seguridad y confiabilidad c) Disponibilidad en aeropuertos internacionales d) Estándar internacional
Nº2 ¿Cuáles son los riesgos específicos asociados con el almacenamiento de combustible Jet A-1 en un aeropuerto internacional?	a) Incendios y explosiones b) Contaminación del suelo y del agua c) Impacto en la salud humana d) Daños a la infraestructura
Nº3 ¿Conoce usted cuáles son los elementos clave a considerar al diseñar un sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1?	a) Detección temprana de incendios b) Sistemas de supresión de incendios c) Sistema de enfriamiento d) Cumplimiento normativo y estándares de seguridad

Pregunta	Opciones
<p>Nº4 ¿Qué tecnologías y equipos son fundamentales para la efectiva detección y supresión de incendios en estos tanques de almacenamiento?</p>	<p>a) Sistemas de detección de incendios b) Sistemas de supresión de incendios c) Sistemas de control y monitoreo remoto d) Equipos de emergencia y respuesta</p>
<p>Nº5 Pregunta Nº 5: ¿Conoce usted cuál es la situación actual de los sistemas contra incendios en los tanques de almacenamiento de Jet A-1 en el Aeropuerto Internacional Alcantari?</p>	<p>a) Si conoce b) No conoce</p>
<p>Nº6 ¿Conoce usted cuáles son los diferentes tipos de sistemas contra incendios disponibles y sus aplicaciones específicas en el control de incendios en tanques de almacenamiento de Jet A-1?</p>	<p>a) Sistemas de Rociadores Automáticos b) Sistemas de Espuma c) Sistemas de CO2 (Dióxido de Carbono) d) Sistemas de Aspersión de Agua</p>

Fuente: elaboración propia

Figura 15: Requerimiento de Información.



**Universidad Mayor, Real y Pontificia de San
Francisco Xavier de Chuquisaca
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
Carreras de Ingeniería Petróleo y Gas Natural y
T.S. Petróleo y Gas Natural**

Sucre, 23 de noviembre de 2023
Ing. P.G.N./N° 797

Señor
Ing. Juan Pablo Tordoya
GERENTE DE OPERACIONES YPFB AVIACION
Presente. –

Ref.: REQUERIMIENTO DE INFORMACION

De mi mayor consideración:

A tiempo de saludarle cordialmente me dirijo a Ud., deseándole éxitos en las funciones que desempeña para solicitarle encarecidamente para que se nos pueda facilitar la información Digital de los tanques de almacenamiento de Jet A1 del Aeropuerto Alcantari de la ciudad de Sucre:

- **Datos generales de la planta:** ubicación, dimensiones de construcción, superficie de trabajo.
- **Características de los tanques:** capacidad, diámetro, volumen, altura, altura referencial, altura máxima de llenado, carga muerta, material de construcción
- **Condiciones generales de sitio:** altitud, presión atmosférica, temperatura mínima promedio, temperatura máxima promedio, temperatura asumida para el diseño.
- **Especificaciones del combustible que almacena los tanques**
- Información del sistema contra incendio y/o las razones por las que los tanques no cuentan con este sistema.

Dicha información servirá de referencia para que la universitaria Jhovana Velásquez Flores con C.I.: 12835098, Cel.: 71153829, Email: jhovy8vf@gmail.com estudiante de la Carrera de Petróleo y Gas Natural de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, pueda continuar con la elaboración de su Monografía.

Sin otro particular, nos despedimos con las consideraciones más distinguidas.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Víctor Hugo Gutiérrez Vega
**DIRECTOR CARRERAS DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL Y
PETRÓLEO Y GAS NATURAL TECNICO SUPERIOR**



V.G./n.f.
Copia: Archivo

Figura 16: Respuesta a requerimiento de información



AIR BP BOLIVIA S.A.
NACIONALIZADA
SEGÚN D.S. 0111/2009

Santa Cruz, 05 de diciembre 2023
ABBSA-YPFB/GOPE/JPTV/1018/2023

Señor
M.Sc.Ing. Víctor Hugo Gutiérrez Vega
**DIRECTOR CARRERAS DE INGENIERIA DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL Y PETRÓLEO Y GAS
NATURAL TECNICO SUPERIOR**
Sucre. -

Ref.: RESPUESTA A REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN

De mi consideración:

Mediante la presente, en respuesta a su requerimiento de información según nota Ing. P.G.N./N° 797 de fecha 23 de noviembre de 2023, le hacemos conocer que según procedimientos internos de Air BP Bolivia (YPFB Aviación) y por Políticas de Seguridad de la Información no estamos en la posibilidad de proporcionar información técnica y detallada de nuestras instalaciones, salvo por razones que se encuentren debidamente justificadas y que se ajusten a nuestras normativas.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente,


Ing. Juan Pablo Tordoya Vega
GERENTE DE OPERACIONES
Air BP Bolivia S.A.
Nacionalizada s/D.S. 0111/09

Air BP Bolivia S.A.
Nacionalizada por D.S. 0111/09

C.C.: Archivo

“2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO”

Propiedades del Jet – A1

El Jet A-1 es un combustible utilizado ampliamente en la aviación comercial debido a sus propiedades específicas que lo hacen adecuado para motores de aeronaves a reacción. Aquí tienes información sobre algunas de sus propiedades clave:

Punto de Inflamación:

Es la temperatura mínima a la cual un líquido libera suficientes vapores para formar una mezcla inflamable en contacto con una fuente de ignición. Para el Jet A-1, suele estar alrededor de los 38-66°C (100-150°F), dependiendo de la composición específica y las condiciones.

Temperatura de Autoignición:

Es la temperatura a la cual un combustible se enciende espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición externa. En el caso del Jet A-1, esta temperatura es aproximadamente alrededor de los 210-260°C (410-500°F).

Densidad:

La densidad del Jet A-1 varía, pero generalmente se encuentra alrededor de 0.78-0.85 kg/litro, lo que significa que es más liviano que el agua.

Detalles del diseño del sistema

El diseño detallado del sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1 implica considerar una serie de componentes y elementos clave para garantizar una respuesta eficaz y segura ante un posible incendio. Algunos aspectos importantes de diseño son:

Equipos y Componentes:

- a) Rociadores Automáticos o Fijos: Se instalan estratégicamente alrededor de los tanques para rociar el agente extintor en caso de incendio.
- b) Sistemas de Suministro de Agua o Agentes Extintores: Depósitos, bombas y tuberías que proporcionan el agente extintor para los rociadores automáticos.

- c) Sistemas de Espuma o Polvo: Equipos específicos para la generación y distribución de agentes extintores como espuma física o química, polvo químico seco, etc.
- d) Distribución de Rociadores:
- e) Ubicación Estratégica: Distribución alrededor de los tanques y áreas adyacentes para cubrir eficazmente el área en caso de incendio.
- f) Cobertura Uniforme: Rociadores colocados para garantizar una cobertura uniforme y adecuada del agente extintor.

Capacidad de Extinción:

- a) Cálculo de la Capacidad: Se realiza un análisis para determinar la cantidad necesaria de agente extintor y la capacidad de extinción requerida para controlar el fuego.
- b) Evaluación de la Eficiencia: Se evalúa la eficiencia del sistema para garantizar que sea capaz de sofocar un incendio de Jet A-1 de manera efectiva.
- c) Sensores y Detectores: Instalación de sensores de humo, calor o llamas para detectar rápidamente cualquier señal de incendio.
- d) Sistemas de Alarma: Activación automática de alarmas audibles y visuales para alertar al personal y activar el sistema contra incendios.

Otros Aspectos Relevantes:

- a) Supresión Manual: Disposición de equipos portátiles o mangueras para intervención manual si es necesario.
- b) Mantenimiento Regular: Programa de mantenimiento periódico para garantizar que todos los componentes estén en condiciones óptimas de funcionamiento.
- c) Procedimientos de Inspección y Pruebas: Establecimiento de protocolos para inspecciones regulares y pruebas de funcionamiento del sistema.

- d) Plan de Respuesta ante Emergencias: Desarrollo de un plan detallado que incluya la capacitación del personal, procedimientos de evacuación y protocolos de respuesta ante emergencias.

El diseño integral del sistema contra incendios para tanques de almacenamiento de Jet A-1 implica la integración y coordinación efectiva de estos componentes y aspectos para asegurar una respuesta rápida y eficaz en caso de un evento de incendio.

Consideraciones de seguridad y ambientales en la elección del sistema

Al elegir un sistema contra incendios para los tanques de almacenamiento de Jet A-1, las consideraciones de seguridad y ambientales son críticas para garantizar la protección adecuada contra incendios sin comprometer la seguridad de las personas ni causar impactos ambientales significativos. Aquí están algunas consideraciones clave:

Seguridad:

- a) Eficacia en la Extinción: El sistema debe ser capaz de extinguir el fuego de manera efectiva y rápida, minimizando la propagación y reduciendo los riesgos para el personal y las instalaciones.
- b) Seguridad del Personal: Se deben considerar protocolos para la activación segura del sistema, evacuación de personal y entrenamiento adecuado en el uso del equipo contra incendios.
- c) Mantenimiento y Fiabilidad: La fiabilidad del sistema es crucial. Un mantenimiento regular y una inspección detallada son esenciales para garantizar que el sistema esté listo para responder a cualquier emergencia.

Ambientales:

- a) Impacto del Agente Extintor: Algunos agentes extintores pueden tener impactos ambientales negativos. Se debe considerar el impacto potencial en el suelo, agua y la capa de ozono al elegir el agente extintor.

- b) **Prevención de Derrames y Contaminación:** Diseñar sistemas que minimicen la posibilidad de derrames de combustible y, en caso de incendio, eviten la propagación de contaminantes al medio ambiente.
- c) **Cumplimiento Normativo:** Garantizar que el sistema cumpla con las regulaciones ambientales y de seguridad establecidas por las autoridades locales e internacionales.
- d) **Evaluación de Riesgos:**

Análisis de Riesgos Ambientales: Evaluar y mitigar los riesgos potenciales para el medio ambiente en caso de un incidente de incendio, considerando las características del Jet A-1 y los agentes extintores.

Prácticas de Manejo Seguro: Desarrollar prácticas de manejo seguro del sistema para reducir el riesgo de accidentes o fugas que puedan tener impactos ambientales adversos.

Integración de Tecnología y Diseño:

- a) **Tecnología de Detección Avanzada:** Implementar sistemas de detección más avanzados que minimicen las posibilidades de falsas alarmas y garanticen una detección precisa y oportuna.
- b) **Agentes Extintores Amigables con el Medio Ambiente:**

Considerar alternativas de agentes extintores que sean menos perjudiciales para el medio ambiente.

La elección del sistema contra incendios debe equilibrar la efectividad en la extinción de incendios con consideraciones cruciales de seguridad y protección ambiental. Un enfoque integral y cuidadoso en la elección y diseño del sistema es esencial para mitigar riesgos y asegurar un entorno seguro y sostenible.

Diseño y funcionamiento de sistema contra incendios para tanques de almacenamiento.

El diseño y funcionamiento de los sistemas contra incendios para tanques de almacenamiento, como los de Jet A-1 en aeropuertos, se basa en estrategias específicas para prevenir, detectar y

extinguir incendios de manera efectiva y segura. Aquí hay una descripción general del diseño y funcionamiento de estos sistemas:

Prevención:

Aislamiento y Espacio: Los tanques se ubican estratégicamente con suficiente espacio entre ellos para minimizar la propagación del fuego en caso de un incidente.

Protección Pasiva: Se emplean materiales resistentes al fuego en la construcción de los tanques y se implementan barreras para evitar que el fuego se propague.

Detección Temprana:

- a) **Sistemas de Detección:** Se utilizan sensores de calor, humo o llamas que monitorean continuamente los tanques y áreas adyacentes en busca de señales de incendio.
- b) **Alarma y Notificación:** Cuando se detecta un posible incendio, se activa una alarma para alertar al personal y a los sistemas de respuesta contra incendios.

Respuesta y Extinción:

- a) **Sistemas de Extinción Automáticos:** Se activan automáticamente al detectarse un incendio. Esto puede incluir rociadores de agua, sistemas de espuma o polvo, que se dirigen al foco del incendio.
- b) **Sistemas Manuales:** Los equipos de bomberos también intervienen utilizando mangueras, sistemas portátiles de espuma o polvo, y otros equipos para controlar el incendio si es necesario.

Monitoreo y Seguimiento:

- a) **Supervisión Continua:** Después de la extinción, se monitorea continuamente la zona para detectar posibles reinicios del fuego.

- b) **Inspecciones y Mantenimiento:** Se realizan inspecciones periódicas y se lleva a cabo un mantenimiento regular para garantizar que los sistemas estén operativos y en óptimas condiciones.

Simulacros y Entrenamiento:

- a) **Pruebas y Simulacros:** Se realizan simulacros de incendio para probar la eficacia del sistema y la capacidad de respuesta del personal.

El diseño de estos sistemas considera aspectos como la capacidad de los tanques, la cantidad de combustible almacenado, la distribución de los tanques en el área, la naturaleza del combustible y las regulaciones de seguridad aplicables. La combinación de medidas preventivas, sistemas de detección temprana y métodos de extinción efectivos garantiza una respuesta rápida y segura en caso de un incidente de incendio en los tanques de almacenamiento.

Diseño del sistema contra incendios

La selección del tipo de sistema contra incendios más adecuado para los tanques de almacenamiento de Jet A-1 depende de varios factores, como la naturaleza del combustible, las condiciones operativas, las regulaciones de seguridad y las características específicas de los tanques y su entorno. Aquí hay consideraciones importantes para tomar la decisión:

Naturaleza del Combustible:

- **Inflamabilidad:** El Jet A-1 tiene un punto de inflamación y temperatura de autoignición específicos, lo que puede influir en la elección del agente extintor más efectivo.
- **Comportamiento en Incendios:** Considerar cómo reacciona el combustible ante diferentes agentes extintores y cómo se propagaría en caso de un incendio.

Tipo de Incendios Esperados:

- **Combustible Líquido:** El Jet A-1 es un líquido inflamable, por lo que sistemas de espuma física o química pueden ser efectivos para su extinción.
- **Electricidad:** Si hay equipos eléctricos cerca, se debe considerar un agente extintor que no conduzca electricidad, como el polvo químico seco o el dióxido de carbono (CO₂).

Factores Ambientales y de Infraestructura:

- Espacio y Alcance: Evaluar si el sistema puede cubrir eficazmente los tanques y áreas circundantes, considerando el diseño y la distribución de los tanques.
- Impacto Ambiental: Algunos agentes extintores pueden tener impactos ambientales, por lo que se debe considerar su uso en áreas sensibles.

Regulaciones y Normativas:

- Cumplimiento Normativo: Asegurarse de que el sistema seleccionado cumpla con las regulaciones locales e internacionales para la protección contra incendios en instalaciones de almacenamiento de combustibles.

Mantenimiento y Costos Operativos:

- Costos de Implementación y Mantenimiento: Evaluar el costo inicial y los gastos continuos de mantenimiento para garantizar que el sistema sea sostenible y financieramente viable.

Evaluación de Riesgos:

- Análisis de Riesgos: Considerar los riesgos específicos asociados con el almacenamiento de Jet A-1 y cómo el sistema elegido puede mitigar esos riesgos de manera efectiva.