

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Seguridad de procesos: Requisitos mínimos de diseño y
normativa aplicable para la selección y diseño de equipos
eficientes contra incendios, en plantas**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Juan Pablo Sánchez Melgarejo

 [0009-0000-3041-2602](https://orcid.org/0009-0000-3041-2602)

Asesor

MBA. Henry Mamfredo Zambrana Flores

 [0000-0001-9019-191X](https://orcid.org/0000-0001-9019-191X)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Sánchez Melgarejo [1]
Referencia/Reference	[1] J. Sánchez Melgarejo, “ <i>Seguridad de procesos: Requisitos mínimos de diseño y normativa aplicable para la selección y diseño de equipos eficientes contra incendios, en plantas</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Sánchez, 2025)
Referencia/Reference	Sánchez, J. (2025). <i>Seguridad de procesos: Requisitos mínimos de diseño y normativa aplicable para la selección y diseño de equipos eficientes contra incendios, en plantas</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*El presente informe está dedicado a mis hijos, esposa,
padres, hermano, profesores, amigos y a todo aquel que
tuvo alguna participación en mi desarrollo como persona y
profesional.*

Agradecimientos

Al Gerente de Proyectos Ing. Miguel Hidalgo, por permitirme liderar el proyecto de construcción de la Planta de Procesos.

Resumen

El presente trabajo de tesis aborda el diseño y construcción de un Sistema Contra Incendios (SCI) para una planta petrolera, siguiendo normativas nacionales e internacionales, como las recomendaciones de la NFPA y los requisitos de OSINERGMIN. El objetivo principal es garantizar la seguridad en las instalaciones y la protección del personal mediante la implementación de un sistema que cumpla con los más altos estándares de eficiencia y confiabilidad.

El estudio incluye un análisis detallado de los principales equipos del SCI, tales como cámaras de espuma, bombas de captación, bombas contra incendios, tanque de agua, monitores, hidrantes, aspersores, y válvulas de seccionamiento. Se presentan los cálculos necesarios para determinar el caudal de agua y espuma requerido, así como la distribución del sistema de tuberías y los factores de presión y caudal necesarios para su óptimo funcionamiento.

Asimismo, se desarrolla un análisis de riesgos enfocado en los posibles escenarios de incendio, incluyendo el riesgo de incendios tipo Pool Fire. Este análisis permite la implementación de medidas de protección adecuadas, como la instalación de semi anillos de enfriamiento para tanques críticos.

La tesis concluye con la validación del SCI mediante pruebas de simulación y pruebas reales de desempeño, asegurando que el sistema cumple con las normativas y está preparado para responder eficazmente ante emergencias. Finalmente, se ofrecen recomendaciones para el mantenimiento, operación y capacitación del personal, con el fin de mantener la operatividad continua del sistema.

Palabras clave — Seguridad de procesos, sistemas contra incendios, Normativa NFPA y protección industrial.

Abstract

The present thesis focuses on the design and construction of a Fire Protection System (FPS) for an oil plant, adhering to both national and international regulations, such as NFPA recommendations and OSINERGMIN requirements. The primary objective is to ensure safety within the facilities and protect personnel by implementing a system that meets the highest standards of efficiency and reliability.

The study includes a detailed analysis of the main components of the FPS, such as foam chambers, intake pumps, fire pumps, water tanks, monitors, hydrants, sprinklers, and sectional valves. The necessary calculations for determining the required water and foam flow rates are presented, along with the system's piping layout and the pressure and flow factors needed for optimal operation.

Additionally, a risk analysis is conducted, focusing on potential fire scenarios, including the risk of Pool Fires. This analysis facilitates the implementation of appropriate protective measures, such as the installation of cooling semi-rings for critical tanks.

The thesis concludes by validating the FPS through simulation tests and real-world performance trials, ensuring that the system complies with regulations and is prepared to respond effectively to emergencies. Finally, recommendations are provided for the maintenance, operation, and training of personnel to ensure the system's continuous operability.

Keywords — Process safety, fire protection systems, NFPA standards, Industrial protection.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract.	vi
Introducción	xvi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	1
1.3 Objetivos del estudio.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Hipótesis	3
1.4.1 Hipótesis general	3
1.4.2 Hipótesis específicas.....	3
1.5 Matriz de consistencia.....	4
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	5
2.1 Marco teórico	5
2.2 Marco conceptual.....	5
2.2.1 Perfiles de radiación térmica	5
2.2.2 Calor generado	6
2.2.3 Altura de la llama	8
2.2.4 Modelo de Radiación de Fuente Puntual.....	9
2.2.5 Normativa aplicada	11
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	14
3.1 Descripción general de las instalaciones.....	14
3.1.1 Tanques de almacenamiento de Crudo.....	14
3.1.2 Tanque de almacenamiento de diluyente.....	15
3.1.3 Tanques de almacenamiento de agua de producción	15

3.1.4	Equipos de procesos.....	16
3.1.5	Tren de producción	16
3.1.6	Manifold de producción	16
3.1.7	Separadores	16
3.1.8	Tratadores térmicos	17
3.1.9	Desaladores electrostáticos	17
3.1.10	Intercambiadores de calor	17
3.1.11	Sistema de reinyección de agua producida	18
3.1.12	Bota degasificadora	18
3.1.13	Tanque Skimmer.....	18
3.1.14	Tanque de reposo.....	18
3.1.15	Sistema de bombeo de agua producida	19
3.1.16	Sistemas adicionales	20
3.2	Estudio de riesgos.....	20
3.2.1	Identificación de elementos críticos.....	22
3.2.2	Análisis de riesgos evaluados	22
3.3	Evaluación del sistema contra incendio.....	25
3.3.1	Características de los tanques de almacenamiento	25
3.3.2	Cálculo de radiación en tanques de crudo.....	26
3.4	Análisis con SCRI – Fuego	27
3.4.1	Tanques 1-T-500A, 1-T-500B, 2-T-500A y 2-T-500B	28
3.4.2	Tanque 1-T-700A y 2-T-700A.....	30
3.5	Representación de la radiación en el diseño del área de procesos	31
3.6	Escenarios de diseño	34
3.7	Cálculo de espuma y agua.....	35
3.7.1	Cálculo de espuma requerida.....	35
3.7.2	Cálculo del agua requerida	38
3.7.3	Cálculo de espuma para el tanque 1-T-700A - incendio tipo Pool Fire	40

3.7.4	Cálculo de espuma total.....	41
3.7.5	Cálculo de agua total	43
3.8	Diseño de la red contra incendios	45
3.8.1	Sistema de bombeo	45
3.8.2	Bombas SCI.....	45
3.8.3	Electrobomba Jockey	46
3.8.4	Sistema de alimentación de agua	47
3.8.5	Tanque de almacenamiento de agua	49
3.9	Red contra incendio	52
3.9.1	Sistema de agua	52
3.9.2	Sistema de espuma	68
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		75
4.1	Simulación para el cálculo de caudales.....	75
4.1.1	Bombas contra incendio.....	75
4.1.2	Requerimientos del sistema de agua contra incendio	75
4.2	Criterios de simulación	76
4.3	Resultados de Simulación	86
4.3.1	Resultados de simulación en el sistema de espuma	86
4.3.2	Resultados de simulación en el sistema de enfriamiento	87
4.4	Validación del SCI ante OSINERGMIN	90
4.4.1	Prueba de máxima demanda	91
4.4.2	Pruebas de rendimiento de las Bombas Contra Incendios	94
4.5	Registros fotográficos de la validación del SCI por OSINERGMIN.....	97
4.6	Contrastación de la hipótesis y la formulación de la hipótesis nula	100
4.6.1	Formulación de la hipótesis.....	100
4.6.2	Metodología de contrastación	100
4.6.3	Resultados y contrastación	101
Conclusiones		102

Recomendaciones	104
Referencias bibliográficas.....	106

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	4
Tabla 2 : Valores de intensidad de radiación térmica y posibles daños a provocar	6
Tabla 3 : Porcentaje de afectación vs. Nivel de radiación	6
Tabla 4 : Características del fuego de combustión libre en varios combustibles	7
Tabla 5 : Características técnicas de los tanques de almacenamiento	26
Tabla 6 : Porcentajes de afectación a una radiación térmica de 12.5 KW/m ²	33
Tabla 7 : Escenarios de diseño	34
Tabla 8 : Número mínimo de salidas de descarga	35
Tabla 9 : Régimen de aplicación de espuma en salidas fijas	36
Tabla 10: Número de chorros suplementarios.....	37
Tabla 11: Tiempo de operación de chorro suplementarios.....	37
Tabla 12: Cálculo de la cantidad de espuma por tanque incendiado.....	41
Tabla 13: Requerimiento de máxima demanda de espuma V	41
Tabla 14: Cálculo de la cantidad de agua por tanque incendiado	43
Tabla 15: Requerimiento de máxima demanda de agua	43
Tabla 16: Datos de diseño de tanque de almacenamiento de agua.....	50
Tabla 17: Parámetros constructivos tanque de almacenamiento de agua.....	51
Tabla 18: Resumen de los datos de la bomba centrífuga contra incendios.....	53
Tabla 19: Lista de aspersores con certificación UL y FM	65
Tabla 20: Parámetros mínimos para el cálculo hidráulico – Sistema de enfriamiento	66
Tabla 21: Factor "K" de cámaras de espuma	69
Tabla 22: Parámetros mínimos de operación.....	70
Tabla 23: Resumen de equipos con sus parámetros e indicadores	74
Tabla 24: Caudal y TDH de bombas contra incendio existentes	75
Tabla 25: Validación de parámetros del sistema de extinción de incendios	86
Tabla 26: Parámetros de operación en manifold del sistema de extinción de incendio	86

Tabla 27: Parámetros de operación de válvula reguladora de presión.....	87
Tabla 28: Validación de parámetros del sistema de enfriamiento –Tanque 2-T-500A.....	87
Tabla 29: Validación de parámetros del sistema de enfriamiento –Tanque 1-T-500B.....	88
Tabla 30: Parámetros de operación en monitores – Escenario 1	88
Tabla 31: Parámetros de operación para enfriamiento de tuberías – Escenario 1	88
Tabla 32: Parámetros de operación para espuma suplementaria – Escenario 1.....	89
Tabla 33: Parámetros de operación para enfriamiento de tuberías – Escenario 1	89
Tabla 34: Descarga de bomba – Escenario 1	89
Tabla 35: Resultados de prueba de máxima demanda	92
Tabla 36: Resultados satisfactorios para el escenario de incendio N° 1	93
Tabla 37: Datos de la prueba en la bomba principal	95
Tabla 38: Valores corregidos a RPM nominal	96

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Altura de llama.....	9
Figura 2 : Calor de radiación.....	10
Figura 3 : Tanques de almacenamiento de crudo	14
Figura 4 : Tanques de diluyente.....	15
Figura 5 : Tanques de almacenamiento de agua producida.....	16
Figura 6 : Plataforma de procesos	17
Figura 7 : Sistema de reinyección – Bombas Booster	19
Figura 8 : Sistema de reinyección – Bombas HPS.....	19
Figura 9 : Flujograma de realización del estudio de riesgos de seguridad	21
Figura 10: Mapa de riesgos - Zona operacional	23
Figura 11: Principales riesgos encontrados en planta.....	24
Figura 12: Identificación de riesgos en equipos	25
Figura 13: Mapa de riesgo zonificada en área operacional	25
Figura 14: Modelo radiación térmica tanque 1-T-500B.....	29
Figura 15: Modelo radiación térmica tanque 2-T-700A.....	31
Figura 16: Representación de la radiación térmica en área de procesos	32
Figura 17: Representación de la radiación térmica en área de procesos 12.5 KW/m2.....	33
Figura 18: Bomba sistema contra incendio	45
Figura 19: Representación esquemática bombas contra incendio	46
Figura 20: Bomba Jockey	47
Figura 21: Representación esquemática sistema de captación.....	48
Figura 22: Sistema de captación.....	48
Figura 23: Manifold de captación	49
Figura 24: Tanque de almacenamiento de agua.....	52
Figura 25: Red de tuberías sistema contra incendios.....	54
Figura 26: Ubicación válvulas de seccionamiento.....	55

Figura 27: Modelo usado de válvulas de seccionamiento	56
Figura 28: Válvulas de seccionamiento.....	56
Figura 29: Representación esquemática de monitores - hidrantes.....	57
Figura 30: Monitores - hidrantes	58
Figura 31: Manifold de agua contra incendio	59
Figura 32: Elementos de diseño del aspersor	60
Figura 33: Disposición de distancias respecto a la ubicación espacial del aspersor	61
Figura 34: Disposición de distancias respecto a la ubicación espacial del aspersor	61
Figura 35: Distancias de separación de aspersores.....	62
Figura 36: Distribución de aspersores por tanque.....	62
Figura 37: Distribución de agua desde Manifold hacia los aspersores	67
Figura 38: Manifold de espuma.....	68
Figura 39: Partes de una cámara de espuma	71
Figura 40: Cámara de espuma tanque 1-T-500A.....	71
Figura 41: Tanque Bladder	72
Figura 42: Galoneras – concentrado de espuma	72
Figura 43: Representación esquemática sistema de espuma	73
Figura 44: Distribución de tuberías de agua y espuma	73
Figura 45: Diseño general del SCI en AFT Fathom 10.....	76
Figura 46: Diseño de sistema de captación	77
Figura 47: Parámetros de la bomba de captación.....	78
Figura 48: Diseño disposición bombas SCI.....	78
Figura 49: Parámetros de las bombas SCI	79
Figura 50: Diseño de Monitor – Hidrante.....	79
Figura 51: Sistema de enfriamiento	80
Figura 52: Manifold de agua de tanques de procesos.....	81
Figura 53: Diseño de semi anillos	82
Figura 54: Diseño de aspersores	83

Figura 55: Parámetros de aspersores.....	83
Figura 56: Diseño sistema de espuma.....	84
Figura 57: Proporcionador de espuma.....	84
Figura 58: Cámara de espuma 1-T-500A.....	85
Figura 59: Cámara de espuma 1-T-700A.....	85
Figura 60: Disposición de instrumentos de medición para la comprobación de valores esperados.....	91
Figura 61: Gráfico de curva de rendimiento	96
Figura 62: Reunión de seguridad antes del inicio de actividades	97
Figura 63: Verificación de manómetros.....	97
Figura 64: Prueba de cámara de espuma.....	98
Figura 65: Prueba de hidrantes y semi anillos.....	98
Figura 66: Accionamiento de semi anillos	99
Figura 67: Revisión de presiones de prueba en el manómetro más alejado	99
Figura 68: Vista general de la prueba	100

Introducción

La seguridad en las plantas petroleras es un aspecto fundamental para proteger tanto a las personas como a las instalaciones y el medio ambiente. Los incendios representan uno de los mayores riesgos en este tipo de operaciones debido a la presencia de materiales inflamables y a la complejidad de los procesos. Por ello, contar con sistemas contra incendios eficientes no solo es una obligación normativa, sino también una necesidad para garantizar un entorno de trabajo seguro y minimizar los impactos ante posibles emergencias.

Esta tesis se centra en el diseño de un Sistema Contra Incendios (SCI) para una planta petrolera, teniendo como prioridad cumplir con normativas internacionales como las de la NFPA y las regulaciones de OSINERGMIN. A través de un análisis detallado, se identifican los principales riesgos, se seleccionan los equipos necesarios, y se calculan los parámetros operativos que aseguren un funcionamiento adecuado del sistema. Además, se realizan simulaciones y pruebas prácticas para validar que el SCI pueda responder eficazmente ante el escenario de mayor riesgo.

Más allá de los aspectos técnicos, este trabajo busca contribuir a una cultura de seguridad, donde las medidas de protección no solo sean vistas como un requisito, sino como una herramienta clave para salvaguardar vidas y recursos. La meta es desarrollar un sistema que no solo cumpla con los estándares más exigentes, sino que también inspire confianza y tranquilidad en quienes trabajan diariamente en estas instalaciones críticas.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

El crecimiento gradual de las plantas petroleras originan que se deba de tener sistemas contra incendios que brinden una operación segura y confiable, para nuestro caso de estudio se analizara una planta que en sus inicios contaba con equipamientos mínimos que proteger, (2 tanques de crudo de 5000 Bls, 4 tanques de nafta de 500 Bls, 4 tanques de crudo de 500 Bls, 4 tanques de diésel de 500 Bls y 8 tanques de agua producida), con respecto al sistema contra incendio que poseía, se tenía 2 bombas de 750 GPM, un tanque Bladder de espuma de 300 Glns y monitores hidrantes distribuidos alrededor de los tanques, con lo que se cubría el mayor escenario de riesgo, el cual era el incendio por Pool Fire en los tanques de mayor volumen, los cuales son los 2 tanques de crudo de 5000 Bls.

El funcionamiento de las bombas era 1 operativa y una en Stand By, la capacidad de agua necesaria para apagar los incendios generados era de 5591 Barriles, la cual se obtenía de una poza de decantación.

El sistema de tuberías se encontraba presurizado por 1 electrobomba Jockey de 113 PSI y 10 GPM.

El sistema de espuma estaba compuesto por el tanque bladder que alimenta a la cámara de espuma ubicada en la parte superior del casco de los tanques de 5000 Bls,

Cada monitor hidrante contaba con 2 galoneras de 55 galones de 3% de concentrado de espuma AFFF, las cuales ayudaran a sofocar algún incendio provocado por el derrame de hidrocarburos cercano a los tanques de menor dimensión.

1.2 Descripción del problema de investigación

La planta de procesos con sus equipos iniciales solo podía procesar un máximo de 5000 BOPD de petróleo crudo, de acuerdo con los pronósticos de producción, con la nueva planta se planifica llegar a tratar un máximo de 20000 BOPD con un arrastre de agua del orden de 200000 BWPD, para cubrir con los requerimientos de producción se ha planteado

el crecimiento modular por etapas de la planta petrolera las cuales permitan el incremento secuencial en mención.

Sin embargo, este crecimiento conlleva riesgos adicionales en términos de seguridad contra incendios. Las plantas petroleras son entornos de alto riesgo debido a la presencia de sustancias inflamables y volátiles; como en nuestro caso el almacenamiento del petróleo y sus derivados. Los incendios en estas instalaciones pueden tener consecuencias devastadoras, incluyendo pérdidas humanas, daños ambientales y económicos.

Ante esta problemática, es necesario implementar un sistema contra incendios mejorado que se adapte al crecimiento de la planta petrolera y garantice una respuesta efectiva y rápida en caso de emergencia.

El nuevo Sistema Contra Incendio tiene que cumplir con las normativas nacionales e internacionales para que el organismo supervisor pueda proceder con su validación y recién la nueva planta de procesos pueda entrar en funcionamiento, garantizando así el cumplimiento de los estándares de seguridad industrial, salvaguardando las instalaciones, equipos y recursos de la planta petrolera, evitando la destrucción o el daño irreparable que podría resultar producto de un incendio.

¿Cuáles son las consideraciones clave al implementar un sistema contra incendios que se adapte al crecimiento de una planta petrolera?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Identificar, definir y calcular los principales equipos utilizados en la protección contra incendio, teniendo en cuenta los requisitos mínimos de diseño y normativas aplicables que garanticen la seguridad contra incendios del crecimiento de la planta petrolera.

1.3.2 Objetivos específicos

- Calcular los parámetros de operación (presión y caudal) de agua y espuma de la red contra incendio.

- Definir los requisitos mínimos de diseño para cada equipo identificado, tomando en cuenta normativas y estándares internacionales aplicables, así como las regulaciones específicas del sector petrolero.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Diseño y selección de equipos de protección contra incendios, mediante el modelo basado en normativas y estándares internacionales.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Los parámetros de operación (presión y caudal) de agua y espuma de la red contra incendio en la planta petrolera se pueden calcular de manera precisa utilizando modelamientos y fórmulas establecidas.
- El diseño final del sistema contra incendio deberá de cubrir el escenario de mayor riesgo, para lo cual el diseño de cada equipo identificado deberá de contar con los parámetros mínimos operativos para el funcionamiento correcto de la operación.

1.5 Matriz de consistencia

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	UNIDADES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Las plantas petroleras enfrentan riesgos significativos de incendio debido a la naturaleza inflamable de los productos que manejan. La falta de criterios claros y estandarizados para el diseño y selección de equipos de protección contra incendios puede resultar en sistemas ineficientes y peligrosos. Es crucial contar con sistemas de protección contra incendios eficientes y diseñados de acuerdo con normativas y estándares internacionales, para garantizar la seguridad de las operaciones y del personal.	Calcular los parámetros de operación (presión y caudal) de agua y espuma de la red contra incendio.	Diseño y selección de equipos de protección contra incendios, mediante el modelo basado en normativas y estándares internacionales	Independiente: Modelo basado en normativas y estándares internacionales Dependiente: Diseño y selección de equipos de protección contra incendios	Presión, Caudal	PSI, Gal/min	Descriptiva	Simulaciones, Cálculos
	Definir los requisitos mínimos de diseño para cada equipo identificado, tomando en cuenta normativas y estándares internacionales aplicables, así como las regulaciones específicas del sector petrolero.	El diseño final del sistema contra incendio deberá cubrir el escenario de mayor riesgo, para lo cual el diseño de cada equipo identificado deberá contar con los parámetros mínimos operativos para el funcionamiento correcto de la operación.	Independiente: Requisitos de diseño, Normativas y estándares. Dependiente: Cumplimiento de los parámetros mínimos operativos	Especificaciones técnicas, Cumplimiento de normativas	Varía según el equipo, Varía según la normativa.	Descriptiva	Revisión documental, Análisis normativo

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

El diseño y la implementación de un sistema contra incendio eficiente es esencial para prevenir y controlar situaciones de emergencia en instalaciones industriales, los incendios representan un riesgo significativo para la seguridad de las personas, las propiedades y el medio ambiente.

En este marco teórico, se explorarán conceptos clave relacionados con los perfiles de radiación térmica, el calor generado y el modelo de radiación de fuente puntual en el contexto de un sistema contra incendio.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Perfiles de radiación térmica

Los perfiles de radiación térmica son una herramienta fundamental para comprender la propagación del calor y el alcance de la radiación térmica generada durante un incendio. La radiación térmica es una forma de transferencia de calor que ocurre a través de ondas electromagnéticas emitidas por una fuente de calor. Estas ondas pueden afectar directamente a las personas y a los materiales cercanos al fuego, representando un peligro potencial.

La magnitud de la radiación térmica es el principal factor de medición para el análisis de transmisión de calor, mientras más elevado sea este índice se elevará el nivel de daños ocasionados, los principales niveles que se deben estudiar son los siguientes:

- Perfil de flujo de radiación térmica a 5.1 KW/m²; superior a esta radiación ya es peligrosa para las personas, pudiendo ocasionar quemaduras.
- Perfil de flujo de radiación térmica a 12.5 KW/m²; desde la cual comienza la afectación a los materiales, este es el nivel que se utiliza para las simulaciones del sistema contra incendio para proteger a los equipos.
- Perfil de flujo de radiación térmica a 37.5 KW/m²; pérdida de rigidez y colapso de estructuras, no debe ser superada.

Tabla 2*Valores de intensidad de radiación térmica y posibles daños a provocar*

INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN TÉRMICA (KW/M2)	TIPOS DE DAÑOS
12.00	Fusión del plástico
13.50	Energía mínima para dañar materiales de bajo punto de fusión (soldaduras). Este valor es usado para separar tanques de techo cónico.
18.00	Degradación del plástico.
22.10	Limite seguro para el almacenamiento de GLP (gas licuado)
37.50	Daño a los equipos de procesos.

Fuente: Manual de Ingeniería de Riesgos. volumen 1. PDVSA n. título. IRS02

Tabla 3*Porcentaje de afectación vs. Nivel de radiación*

PORCENTAJE DE DAÑOS A EQUIPOS (%)	INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN TÉRMICA (KW/M2)
1	12.10
50	21.50
99	38.00

Fuente: IR-S-02 (1993). Manual de Ingeniería de Riesgos. volumen 1. PDVSA n. título. IRS02

2.2.2 Calor generado

El calor generado durante un incendio es el resultado de la combustión de materiales inflamables. La cantidad de calor liberada está directamente relacionada con la energía de reacción y la tasa de combustión de los materiales involucrados. Comprender la generación de calor es fundamental para dimensionar adecuadamente los sistemas de supresión de incendios y garantizar una respuesta efectiva.

La tasa de calor generado no es una propiedad fundamental de un combustible por lo que no se puede calcular a partir de la base propiedades materiales, por lo general, se determina a partir de pruebas.

Las propiedades han sido tabuladas para varios combustibles diferentes. (Ver la Tabla 4, valores calculados del fuego de combustión libre en varios combustibles).

Tabla 4

Características del fuego de combustión libre en varios combustibles

Material	Mass Loss Rate m''_f (kg/m ² -sec)	Heat of Combustion $\Delta H_{c, e11}$ (kJ/kg)	Density ρ (kg/m ³)	Empirical Constant $k\beta$ (m ⁻¹)
Cryogenics				
Liquid H ₂	0.017	12,000	70	6.1
LNG (mostly CH ₄)	0.078	50,000	415	1.1
LPG (mostly C ₃ H ₈)	0.099	46,000	585	1.4
Alcohols				
Methanol (CH ₃ OH)	0.017	20,000	796	100**
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	0.015	26,800	794	100**
Simple Organic Fuels				
Butane (C ₄ H ₁₀)	0.078	45,700	573	2.7
Benzene (C ₆ H ₆)	0.085	40,100	874	2.7
Hexane (C ₆ H ₁₄)	0.074	44,700	650	1.9
Heptane (C ₇ H ₁₆)	0.101	44,600	675	1.1
Xylene (C ₈ H ₁₀)	0.090	40,800	870	1.4
Acetone (C ₃ H ₆ O)	0.041	25,800	791	1.9
Dioxane (C ₄ H ₈ O ₂)	0.018	26,200	1,035	5.4
Diethyl ether (C ₄ H ₁₀ O)	0.085	34,200	714	0.7
Petroleum Products				
Benzine	0.048	44,700	740	3.6
Gasoline	0.055	43,700	740	2.1
Kerosene	0.039	43,200	820	3.5
JP-4	0.051	43,500	760	3.6
JP-5	0.054	43,500	810	1.6
Transformer Oil, hydrocarbon	0.039	46,400	760	0.7
Fuel Oil, heavy	0.035	39,700	940-1,000	1.7
Crude Oil	0.022-0.045	42,500-42,700	830-880	2.8
Solids				
Polymethylmethacrylate (C ₅ H ₈ O ₂) _n	0.020	24,900	1,184	3.3
Polypropylene (C ₃ H ₆) _n	0.018	43,200	905	100**
Polystyrene (C ₈ H ₈) _n	0.034	39,700	1,050	100**
Miscellaneous				
561 Silicon Transformer Fluid	0.005	28,100	960	100**

Fuente: Large-Pool Fire Burning Rate Data; Babrauskas, 2002, © SFPE. With permission

La ecuación que nos representa el calor generado es la siguiente.

$$Q = m''_f \cdot \Delta H_C \cdot A_f \cdot (1 - e^{-k\beta D})$$

Donde:

Q = Calor generado en KW

m''_f = Flujo de pérdida de masa por unidad de área ($\text{Kg/m}^2 - \text{Sec}$)

A_f = Superficie de Ignición en (m^2)

ΔH_C = Calor de combustión en (KJ/Kg)

$k\beta$ = Constante empírica (m^{-1})

D = Diámetro del líquido en ignición (m)

2.2.3 Altura de la llama

La altura de la llama es un parámetro importante para tener en cuenta al analizar y evaluar los riesgos asociados con un incendio. La altura de la llama puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de combustible, el suministro de oxígeno y las condiciones ambientales. Una llama más alta indica una mayor liberación de calor y radiación, lo que implica un mayor peligro para las personas y las estructuras cercanas. La medición y consideración de la altura de la llama son esenciales para determinar las distancias de seguridad, las capacidades de extinción requeridas y las medidas de protección adecuadas.

La altura de la llama se calcula mediante la siguiente formula.

$$H_f = 0.23Q^{2/5} - 1.02D$$

Donde:

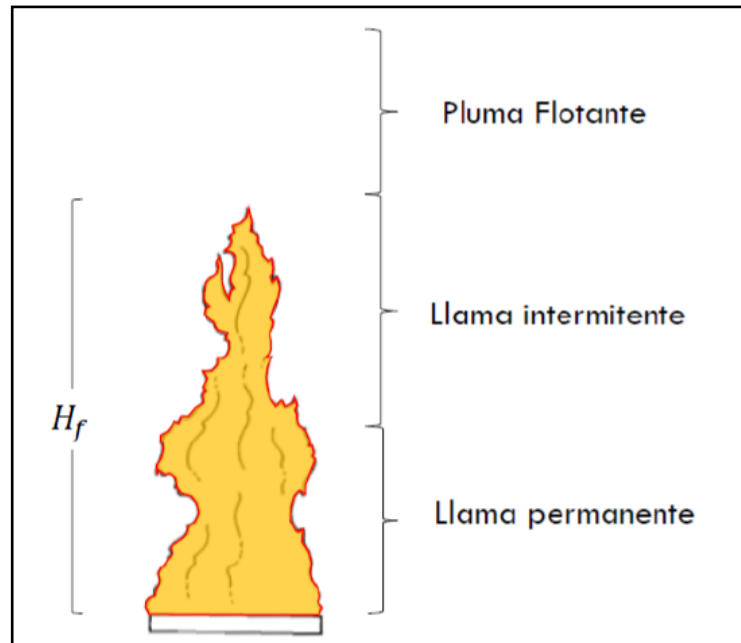
H_f = Altura de llama en (m)

Q = Calor generado en (KW)

D = Diámetro del líquido en ignición (se asume círculo siempre) en (m)

Figura 1

Altura de Llama



Fuente: Fire Dynamics Tools - University of Tennessee, quantitative fire hazard analysis methods for the u.s

2.2.4 Modelo de Radiación de Fuente Puntual

El modelo de radiación de fuente puntual es una aproximación matemática utilizada para describir la propagación de la radiación térmica desde un punto fuente de calor. Este modelo considera la atenuación y dispersión de la radiación en función de la distancia y las características del entorno. Proporciona información crucial para determinar las distancias de seguridad, la eficacia de los sistemas de detección y supresión de incendios, así como la protección de las personas y las infraestructuras.

La fórmula para calcular el calor irradiado es la siguiente:

$$q''_r = \frac{X_r \cdot Q_r \cdot \tau_a}{4\pi \cdot R^2}$$

Donde:

q''_r = Calor irradiado por unidad de área en (Kw/m^2)

X_r = Fracción de la energía radiada

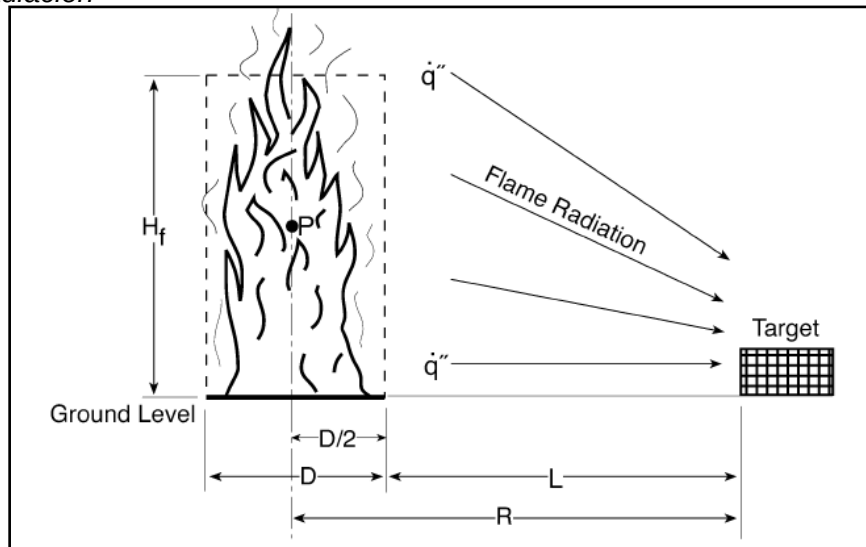
Q_r = Calor generado en (KW)

τ_a = Coeficiente de transmisividad atmosférica.

R = Separación entre el incendio y el lugar donde se quiere medir el calor en (m).

Figura 2

Calor de radiación



Fuente: Fire Dynamics Tools - University of Tennessee, Cuantitative fire hazard analysis methods for the u.s

El coeficiente de transmisividad atmosférica nos indica la radiación térmica que es absorbida y dispersada por la atmósfera. Esto causa una reducción en la radiación recibida por el receptor, Pietersen y Huerta (1985) recomiendan una fórmula de correlación que considera la humedad.

$$\tau_a = 2.02(P_w \cdot R)^{-0.09}$$

Donde:

τ_a = Coeficiente de transmisividad atmosférica.

P_w = Presión parcial del agua (Pa, N/m²)

R = Separación entre el incendio y el lugar donde se quiere medir el calor en (m).

$$P_w = 1013.25(RH)e^{(14.4114 - \frac{5328}{T_a})}$$

Donde:

P_w = Presión parcial del agua (Pa, N/m²)

RH = Humedad Relativa (%)

T_a = Temperatura ambiente (°K)

Se debe de mencionar también a los artículos 86 y 87 del D.S. 052-93 (Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos) los cuales indican lo siguiente:

Art. 86°: Toda instalación para almacenamiento de hidrocarburos debe tener un sistema de agua de enfriamiento. La capacidad de agua contra incendio de una instalación se basa en lo mínimo requerido para aplicar espuma y extinguir un incendio en el mayor tanque más la cantidad de agua necesaria para enfriar los tanques adyacentes que se encuentran en el cuadrante expuesto al lado de sotavento de dicho tanque de acuerdo con las normas NFPA aplicables.

Art. 87°: Cuando el suministro de agua de la red pública no es suficiente, en cantidad de agua y en presión se preverá almacenamiento de agua con sus bombas contra incendio. Se deberá asegurar un abastecimiento de por lo menos cuatro horas de agua al régimen de diseño al mayor riesgo.

Estos artículos serán tomados como base para el inicio del cálculo de agua y espuma, además de aplicar siguientes normativas nacionales e internacionales.

Consideremos que el caso más frecuente en tanques de almacenamiento de hidrocarburos es la extinción del incendio originado por un Pool Fire (derrame de líquidos inflamables en forma de charco); la extinción en el tanque incendiado se realizará netamente con espuma, esto se realiza básicamente en la parte superior de los tanques por medio de una cámara de espuma y los tanques aledaños serán enfriados superficialmente aplicando agua directamente sobre la superficie expuesta.

2.2.5 Normativa aplicada

2.2.5.1 Normativa nacional.

- Ley N° 26221:

Ley Orgánica que Norma las Actividades de Hidrocarburos en el Territorio Nacional.

- D.S. 052-93-EM:

Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos y su modificación D.S.-036-2003-EM.

- D.S. 045-2001-EM:

Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

- D.S. 043-2007-EM:

Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos y sus modificatorias.

2.2.5.2 Normativa internacional

- API RP 2030:

Recommended Practice for Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries (2014 Edition).

- NFPA 11:

Standard for Low, Medium, and High-Expansion Foam (2016 Edition).

- NFPA 13:

Standard for the Installation of Sprinkler Systems (2019 Edition).

- NFPA 14:

Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems (2019 Edition).

- NFPA 15:

Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection (2017 Edition).

- NFPA 20:

Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection (2019 Edition).

- NFPA 22:

Standard for Water Tanks for Private Fire Protection (2018 Edition).

- NFPA 24:

Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances (2019 Edition).

- NFPA 25:

Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems (2017 Edition).

- NFPA 30:

Flammable and Combustible Liquids Code (2018 Edition).

- NFPA 70:

National Electrical Code (2017 Edition).

- NFPA 72:

National Fire Alarm and Signaling Code (2019 Edition).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Descripción general de las instalaciones.

La protección del nuevo sistema contra incendios abarca la todas las facilidades de producción que actualmente están presentes en la planta de procesos.

Entre las principales facilidades se tienen:

3.1.1 *Tanques de almacenamiento de Crudo.*

El proyecto contempla 4 tanques de almacenamiento 1-T-500A, 1-T-500B, 2-T-500A y 2-T-500B de 20 000 BLs cada uno, estos tanques según normativa deben de ser protegidos mediante aspersores para el enfriamiento de las caras laterales y deberán tener cámaras de espuma en la parte superior para la sofocación del incendio, por lo general el diseño de máximo caudal aplicable siempre se da en los patios de tanques de almacenamiento.

Figura 3

Tanques de almacenamiento de crudo



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Tanque de almacenamiento de diluyente.

El diluyente utilizado en el lote es la Nafta, el proyecto contempla 2 tanques de Nafta 1-T-700A y 2-T-700A de 10000 BLs, este producto debido a su inflamabilidad y volatilidad tiene que ser enfriado rápidamente por lo que necesita cámaras de espuma en su diseño.

Figura 4

Tanques de diluyente



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Tanques de almacenamiento de agua de producción

El proyecto de la ampliación 4 tanques de agua de producción, 2 tanques Skimmers 1-T-610 y 2-T-610 de 15 000 Bls y 2 tanques de almacenamiento de agua 1-T-620 y 2-T-620 de 10 000 Bls, estos tanques debido a la baja reactividad no necesitan ser protegidos, solo se colocarán Monitores-Hidrantes alrededor por incendios ocasionales alrededor.

Figura 5

Tanques de almacenamiento de agua producida



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Equipos de procesos

El tren de tratamiento actual puede procesar 20 000 Bls de crudo al día, el agua de producción resultante de este proceso es de 40 000 Bls y la cual es enviada a los pozos de reinyección, con lo cual se completa el circuito de producción; para lograr esto se tienen los siguientes equipos.

3.1.5 Tren de producción

Se considera tren de producción al sistema por el cual se procesa el crudo desde la salida del pozo productor hasta su almacenamiento en el tanque, los equipos utilizados en este proceso son los siguientes:

3.1.6 Manifold de producción

En el cual se unen los fluidos que vienen directamente desde los pozos de producción, este es un fluido trifásico donde están mezcladas las fases de crudo, agua y gas.

3.1.7 Separadores

Desde el manifold se direccionan los fluidos hacia los separadores trifásicos en donde se separa la mayor cantidad de agua, crudo y gas, mediante cámaras y placas de colisión.

3.1.8 Tratadores térmicos

El crudo procedente de los separadores se dirige hacia los tratadores térmicos en los cuales se procede a calentar para continuar con la separación del agua debido a la existencia de partículas emulsionadas en el sistema, esta emulsión se logra romper mediante el calor con lo cual el proceso nos otorga la liberación del agua y un crudo libre de emulsión.

3.1.9 Desaladores electrostáticos

El crudo ya prácticamente libre del agua pasa hacia los desaladores los cuales mediante corriente electrostática y agua fresca separan las partículas cargadas de elementos salinos, con lo cual nos entrega un crudo de alta calidad.

3.1.10 Intercambiadores de calor

El crudo proveniente de los desaladores pasa por los intercambiadores de calor para ser enfriado y este transfiere su calor al agua fresca que será utilizada en el desalador o en el tratador térmico, el crudo posteriormente se dirige hacia los tanques de almacenamiento.

Figura 6

Plataforma de procesos



Fuente: Elaboración propia.

3.1.11 Sistema de reinyección de agua producida

Se considera el sistema de agua de reinyección desde su posterior separación en los equipos de producción (Separadores trifásicos) hasta la reinyección en los sistemas de pozos.

La reinyección se realiza por 2 factores la primera es por un factor ambiental, este fluido no puede ser enviado al medio ambiente, ya que contiene una gran cantidad de sales solubles y gran cantidad de elementos contaminantes, el segundo es debido a que incrementa el tiempo de vida del reservorio ya que esta agua va al interior y eleva el nivel del crudo para facilitar la extracción del subsuelo.

Este sistema consta de los siguientes equipos:

3.1.12 Bota degasificadora

Está compuesta por una tubería interna con múltiples baffles en los cuales colisiona el agua que viene del tren de procesos, el agua es tratada previamente con químicos como antioxidantes, antiincrustantes, demulsificantes, etc., que se van mezclando en la bota mientras eliminan los gases, el agua posteriormente ingresará al tanque skimmer.

3.1.13 Tanque Skimmer

El tanque de lavado tiene 2 baffles internos hacia los cuales está direccionado el fluido proveniente de la bota, el agua colisiona en los baffles lo que separa lo restante del crudo que haya podido quedar atrapado en el agua, posteriormente el crudo se recolecta mediante canaletas posicionadas en la parte superior del tanque, este crudo se dirige al drenaje para posteriormente ser direccionado hacia un tanque de drenaje y ser enviado nuevamente hacia el tren de procesos.

3.1.14 Tanque de reposo

El agua proveniente del tanque Skimmer es direccionada hacia los tanques de reposo en la cual espera hasta el proceso de reinyección.

3.1.15 Sistema de bombeo de agua producida

El agua del tanque de reposo alimenta a las bombas Booster, las cuales transfieren el caudal hacia las bombas HPS las cuales reinyectan el agua de producción a una presión de 2500 PSI hacia los pozos reinyectores.

Figura 7

Sistema de reinyección – Bombas Booster



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Sistema de reinyección – Bombas HPS



Fuente: Elaboración propia.

3.1.16 Sistemas adicionales

Existen sistemas adicionales como:

- Planta de generación eléctrica.
- Planta de Nitrógeno
- Bombeo Hidráulico
- Perforación.
- Despacho y venta de crudo

No se detalla estos sistemas ya que no son parte del estudio para la protección contra incendios del área de procesos.

El tren de proceso y el sistema de agua de producción se protegen mediante sistemas de Monitores - Hidrantes, los cuales están colocados en sitios estratégicos para poder cubrir el área necesaria, además de estar acompañadas de extintores rodantes PQS de 25Kg los cuales se utilizarán para apagar amagues de incendios.

3.2 Estudio de riesgos

El estudio de riesgos analiza los posibles riesgos asociados a las facilidades de producción y sus áreas de influencia, garantizando la protección de las personas y la continuidad de las operaciones, cumpliendo de esta manera los requerimientos normativos de la autoridad competente.

La metodología aplicada para el desarrollo del estudio de riesgos se basa en la identificación de eventos desencadenantes de situaciones de emergencia, cálculo de la frecuencia de ocurrencia, evaluación de la severidad de las consecuencias, así como la calificación del riesgo asociado de cada una de ellas.

Tratándose de una Planta de Hidrocarburos, se utilizan las siguientes técnicas para el proceso de análisis de riesgos:

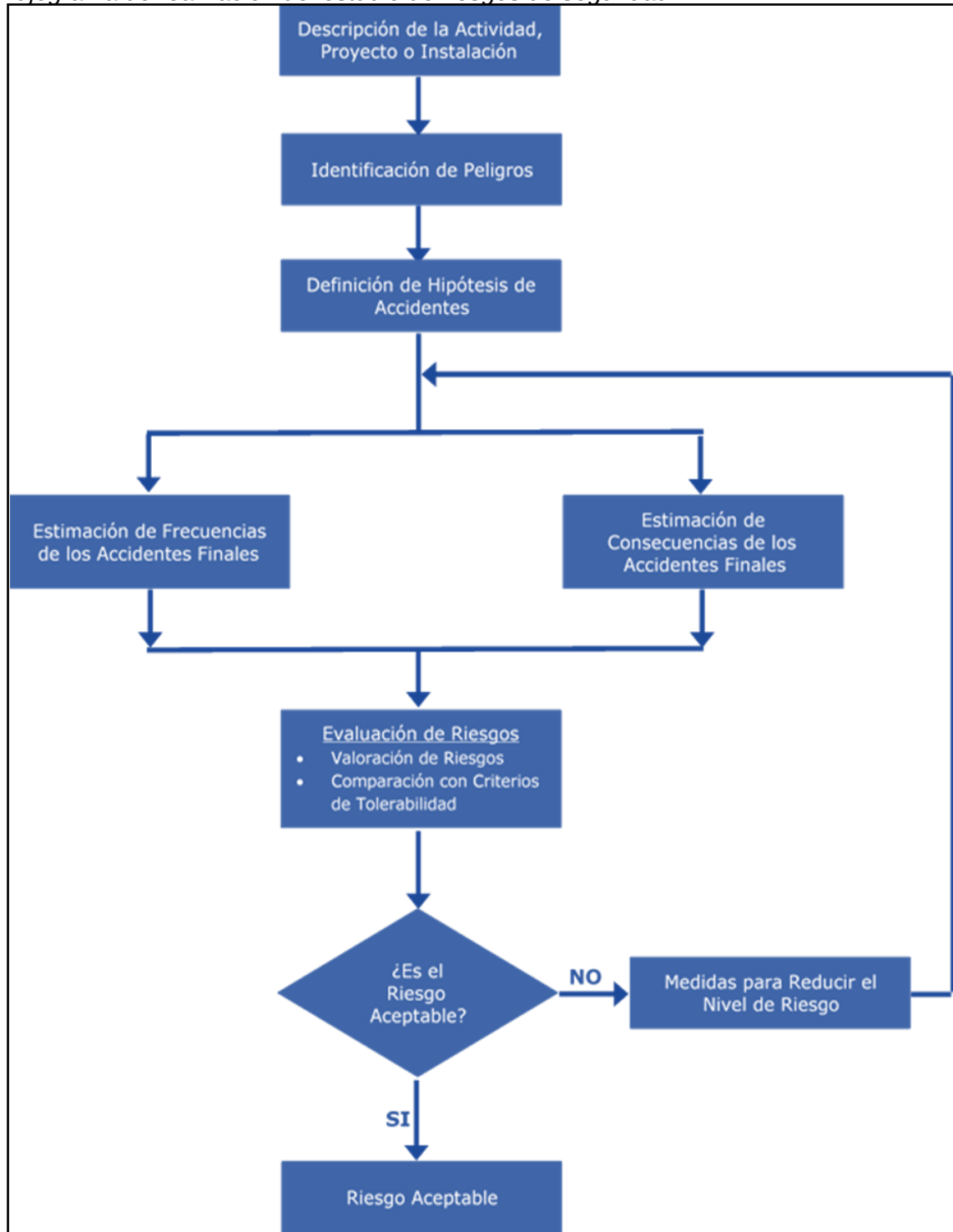
- Hazard and Operability (HAZOP).
- Análisis de Riesgo (HAZID).
- Análisis de Árbol de Falla (FTA).
- Análisis de Árbol de Eventos (ETA).

- Estudio de Alcance de Consecuencias (EAC).

La Figura N° 9, mostrada a continuación, describe el flujograma de procesos empleado en la elaboración del presente Estudio de Riesgos de Seguridad

Figura 9

Flujograma de realización del estudio de riesgos de seguridad



Fuente: Departamento de Ingeniería

3.2.1 Identificación de elementos críticos

Se entiende como evento y/o escenario “crítico” a aquellos escenarios de riesgo que presentan los niveles de riesgo con mayores magnitudes y/o aquellos que, luego de haberse determinado las consecuencias de cada evento y/o escenario, se identifique que podrían producir los efectos más críticos a terceros en sus bienes y personas.

El proceso de identificación de los riesgos posibles consiste en definir cuáles pueden ser los eventos desencadenantes de un escenario de riesgo, tal como la pérdida de contención (derrames o fugas) dentro de las instalaciones incluyendo recipientes, tanques, tuberías, bombas y otros equipos.

Luego de discutir los posibles escenarios de riesgo se identificaron las causas y consecuencias de fallas primarias.

3.2.2 Análisis de riesgos evaluados

Parte del estudio de riesgos es el análisis de los escenarios de riesgos producidos por agentes internos, en los que se evalúa:

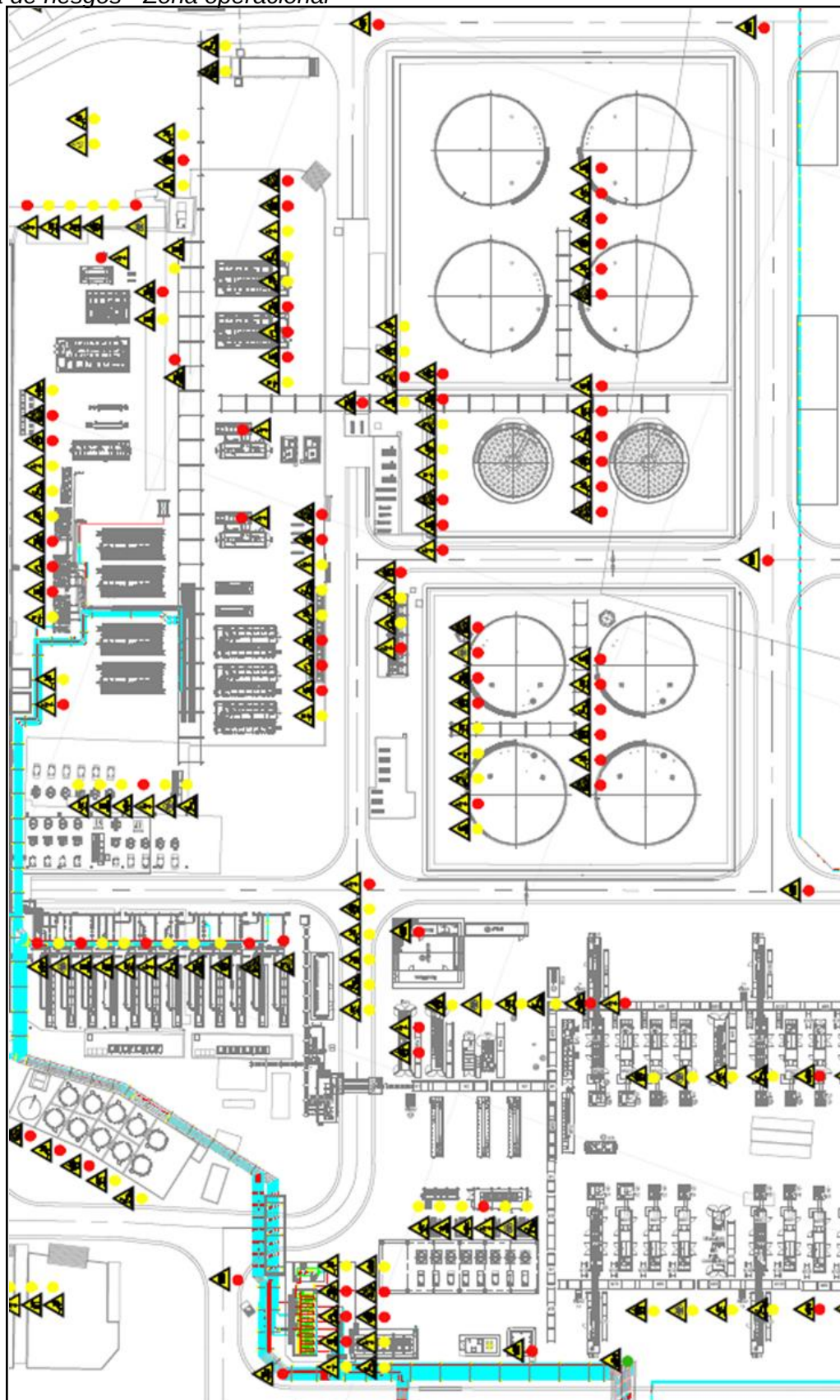
- Derrame por Hidrocarburos en río y sobre tierra.
- Incendio (confinado y no confinado).
- Explosión tipo nube no confinada o Flash Fire.
- Dispersión de Gas Inflamable.
- Dispersión de Gas Nitrógeno.

Una vez que los riesgos son identificados, se elabora una matriz de riesgos y deben de ser representados en un mapa de riesgos, la cual deberá estar impresa en un panel al ingreso a la planta y zonificada por áreas con sus respectivos letreros de señalización.

En la siguiente figura N°10 se puede identificar el mapa de riesgos de la planta en la zona operacional y en la figura N°11 se aprecia los principales riesgos encontrados en la planta.

Figura 10

Mapa de riesgos - Zona operacional



Fuente: Departamento de Ingeniería

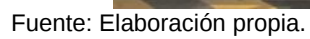
Figura 11

Principales riesgos encontrados en planta

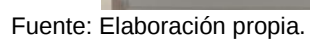
	GOLPEADO POR		CAÍDA A DESNIVEL
	TROPEZONES		CAÍDA DE OBJETOS
	CONTACTO CON QUÍMICO		CAÍDA AL MISMO NIVEL
	RIESGO ELÉCTRICO		INCENDIO / FUEGO
	CARGA SUSPENDIDA		PARTES MÓVILES
	ALTA PRESIÓN		EXPLOSIÓN
	SUPERFICIES CALIENTES		ATROPELLO
	RIESGO BIOLÓGICO		OFIDIOS
	RUIDO		RADIACION SOLAR
	ERGONÓMICO		BAJA TEMPERATURA
	RIESGO DE AHOGAMIENTO		GASES COMPRIMIDOS

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Identificación de riesgos en equipos



Mapa de riesgo zonificada en área operacional



3.3 Evaluación del sistema contra incendio

25

Tabla 5*Características técnicas de los tanques de almacenamiento*

Tanque	Producto	Clase de Líquido (*)	Tipo de Techo (**)	Altura (pie)	Diámetro (pie)	Capacidad (Barriles)
1-T-500A	Crudo de Petróleo	Clase II	TF	32	72.5	20,000
2-T-500A	Crudo de Petróleo	Clase II	TF	32	72.5	20,000
1-T-500B	Crudo de Petróleo	Clase II	TF	32	72.5	20,000
2-T-500B	Crudo de Petróleo	Clase II	TF	32	72.5	20,000
1-T-700A	Diluyente	Clase IB	TFSI	40	45	10,000
2-T-700A	Diluyente	Clase IB	TFSI	40	45	10,000

Nota: (*) La clasificación es de acuerdo con la NFPA 30. (**) TF: Techo Fijo; TFSI: Techo Fijo con Sabana Flotante. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Cálculo de radiación en tanques de crudo.

El escenario de mayor riesgo en el proyecto es el almacenamiento de tanques de Crudo y Nafta por lo que en el presente análisis nos centraremos en estos items.

- Datos del Tanque de Crudo.

Diámetro: 72.5 pies = 22.1 m

Altura: 32 Pies = 9.75 m

- Datos del Crudo.

Calor de combustión: 44720 KJ/Kg

Tasa de combustión: 0.035 Kg/m2s

$k\beta$: 2.8

Fracción de energía radiada: 0.2

Humedad Relativa: 72%

Temperatura del ambiente: 27°C (300.15°K)

Hallando el calor generado.

$$Q = m_f'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f \cdot (1 - e^{-k\beta D})$$

$$Q = 0.035 \times 44720 \times 383.6 \times (1 - e^{-2.8 \times 22.1})$$

$$Q = 600406.4 \text{ Kw}$$

Hallando el radio de influencia para 12.5 KW/m²

$$q''_r = \frac{X_r \cdot Q_r \cdot \tau_a}{4\pi \cdot R^2}$$
$$q''_r = \frac{0.2 \times 600406.4 \times \tau_a}{4\pi \cdot R^2} \dots\dots\dots (1)$$

Hallando la transmisividad atmosférica

$$P_w = 1013.25(RH)e^{(14.4114 - \frac{5328}{T_a})}$$
$$P_w = 1013.25(72)e^{(14.4114 - \frac{5328}{300.15})}$$
$$P_w = 2593.6 \text{ N/m}^2$$
$$\tau_a = 2.02(P_w \cdot R)^{-0.09}$$
$$\tau_a = 2.02(2593.6 \times R)^{-0.09} \dots\dots\dots (2)$$

Reemplazando (2) en (1)

$$q''_r = \frac{0.2 \times 600406.4 \times 2.2 \times (2593.6 \times R)^{-0.09}}{4\pi \cdot R^2}$$

Considerando un perfil de flujo de radiación térmica a 12.5 KW/m²

$$q''_r = 12.5 = \frac{0.2 \times 600406.4 \times 2.2 \times (2593.6 \times R)^{-0.09}}{4\pi \cdot R^2}$$

Resolviendo la ecuación

$$R = 23.92 \text{ m}$$

Existen varios softwares para realizar el cálculo de radiación térmica, entre los más conocidos tenemos: SRI – Fuego, ALOHA, Fire Dynamics Tools (FDTs) Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805, Supplement 1, Volumes 1 & 2).

Para el proyecto se utilizará el software SRI-Fuego con el cual se realizarán los cálculos más exactos de radiación, los cuales se representarán en un plano para poder dimensionar las proyecciones de las radiaciones térmicas.

3.4 Análisis con SCRI – Fuego

El análisis se realizará para el patio de tanques que es la zona de mayor riesgo, el diseño contempla los tanques de crudo 1-T-500A, 1-T-500B, 2-T-500A y 2-T-500B de 20

000 BIs, los cuales son idénticos por lo que el radio de influencia de radiación térmica es igual, también se realizara el análisis en el tanque de Nafta 1-T-700A y 2-T-700A de 10 BIs, los cuales también son idénticos por lo que el radio de influencia de radiación térmica es igual.

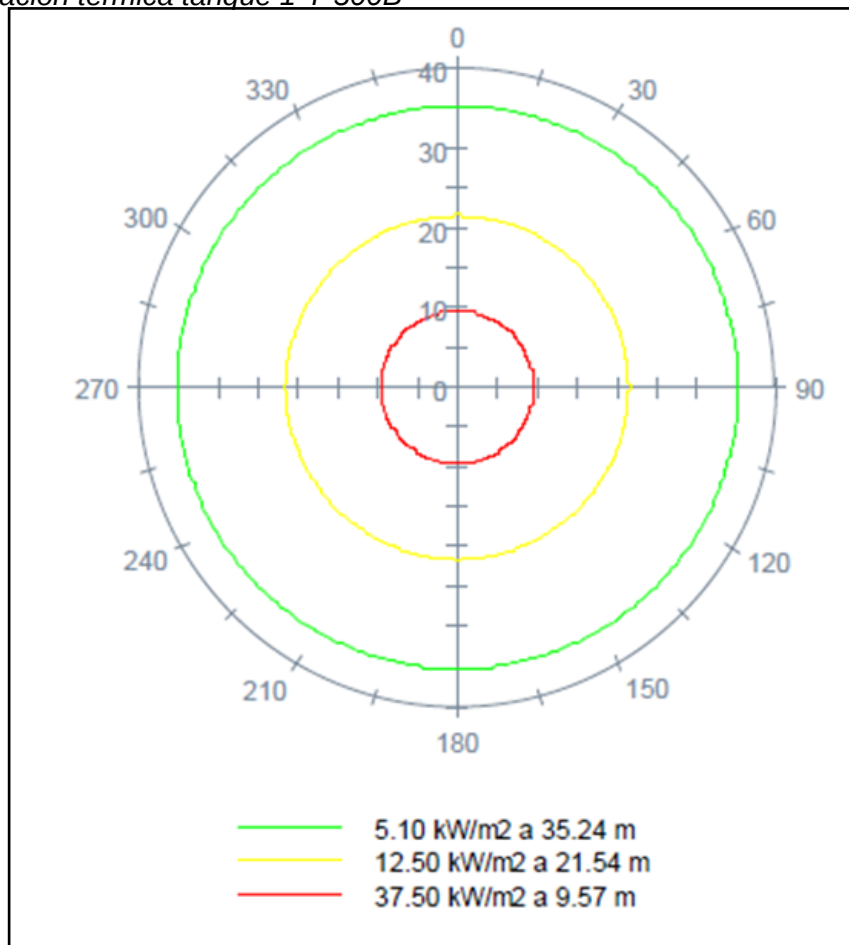
3.4.1 Tanques 1-T-500A, 1-T-500B, 2-T-500A y 2-T-500B

TÍTULO DEL MODELO			
TQ-1-T-500B			
DESCRIPCIÓN			
Incendio de tipo POOL FIRE Confinado en Tanque de Techo Fijo.			
Tanque = 1-T-500B			
Diámetro = 22.10 m			
Altura = 9.75 m			
Producto = Petróleo Crudo			
Objetivo: evaluar los efectos de la radiación térmica sobre tanques aledaños.			
DATOS DE LA SUSTANCIA			
Nombre	PETROLEO	No. CAS	8002-05-0
PARÁMETROS DE ENTRADA			
Calor de combustión	44720.00 kJ/kg		
Calor de vaporización	210000.00 J/kg		
Temp. de ebullición	348.0 K (74.9 °C)		
Tasa de combustión	0.035 kg/m2 s		
Fracción de energía radiada	0.2		
Temperatura ambiente	300.2 K (27.0 °C)		
Humedad relativa	72.0 %		
CARACTERÍSTICAS DEL FUEGO			
Diámetro del área	22.10 m		
Área del derrame	383.60 m2		
Altura de la base del fuego	0.00 m		
Tasa de combustión total	13.43 kg/s		
Altura de flama	20.83 m		
RADIACIÓN CALCULADA A DISTANCIAS ESPECÍFICAS			
Distancia a nivel de piso (m)	Distancia a fuente puntual (m)	Transmisividad	Radiación (kW/m2)
3.00	10.84	0.80	65.36
4.00	11.16	0.80	61.53
5.00	11.55	0.80	57.20
6.00	12.02	0.80	52.66
8.00	13.13	0.79	43.76
10.00	14.44	0.78	35.90
12.00	15.89	0.78	29.39
16.00	19.09	0.76	20.02
24.00	26.16	0.74	10.36
40.00	41.33	0.71	3.98
DISTANCIA CALCULADA A NIVEL DE PISO DE NIVELES DE RADIACIÓN ESPECÍFICOS			
Radiación (kW/m2)	Distancia (m)	Dosis (W/m2)^4/3 s tiempo de exposición= 0.0s	Dosis (W/m2)^4/3 s tiempo de duración= 0.0 s
5.10	35.24		
12.50	21.54		
37.50	9.57		

TÍTULO DEL MODELO			
TQ-1-T-500B			
DESCRIPCION			
Incendio de tipo POOL FIRE Confinado en Tanque de Techo Fijo.			
Tanque = 1-T-500B			
Diámetro = 22.10 m			
Altura = 9.75 m			
Producto = Petróleo Crudo			
Objetivo: evaluar los efectos de la radiación térmica sobre tanques aledaños.			
DATOS DE LA SUSTANCIA			
Nombre	PETROLEO	No. CAS	8002-05-9
PARAMETROS DE ENTRADA			
Calor de combustión	44720.00 kJ/kg		
Calor de vaporización	210000.00 J/kg		
Temp. de ebullición	348.0 K (74.9 °C)		
Tasa de combustión	0.035 kg/m ² s		
Fracción de energía radiada	0.2		
Temperatura ambiente	300.2 K (27.0 °C)		
Humedad relativa	72.0 %		
CARACTERISTICAS DEL FUEGO			
Diámetro del área	22.10 m		
Área del derrame	383.60 m ²		
Altura de la base del fuego	0.00 m		
Tasa de combustión total	13.43 kg/s		
Altura de flama	20.83 m		

Figura 14

Modelo radiación térmica tanque 1-T-500B



Fuente: Departamento de Ingeniería

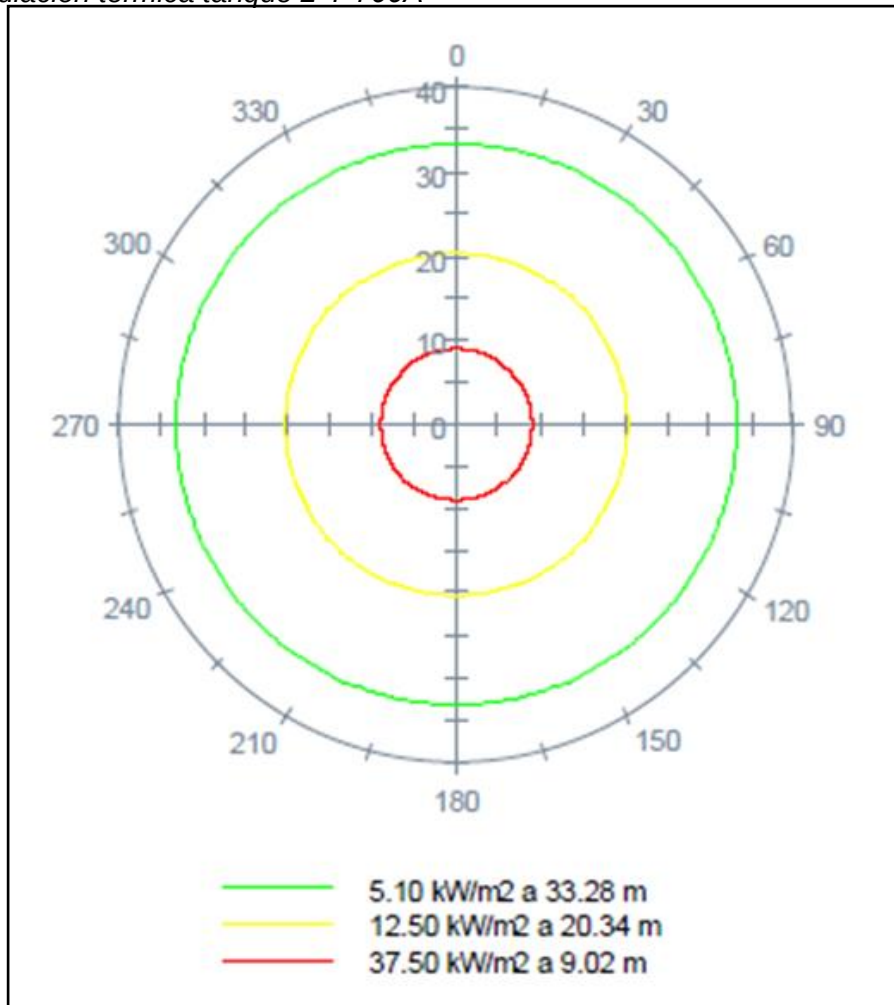
3.4.2 Tanque 1-T-700A y 2-T-700A

TÍTULO DEL MODELO			
TQ-2-T-700A			
DESCRIPCIÓN			
Incendio de tipo POOL FIRE Confinado en Tanque de Techo Sábana Flotante Interna.			
Tanque = 2-T-700A			
Diámetro = 13.72 m			
Altura = 12.19 m			
Producto = Nafta			
Objetivo: evaluar los efectos de la radiación térmica sobre tanques aledaños.			
DATOS DE LA SUSTANCIA			
Nombre	HIDROCARBUROS AROMATICOS DISOLVENTES	No. CAS	64742-95-6
PARÁMETROS DE ENTRADA			
Calor de combustión	43700.00 kJ/kg		
Calor de vaporización	348900.00 J/kg		
Temp. de ebullición	300.0 K (26.9 °C)		
Tasa de combustión	0.055 kg/m2 s		
Fracción de energía radiada	0.3		
Temperatura ambiente	300.2 K (27.0 °C)		
Humedad relativa	72.0 %		
CARACTERÍSTICAS DEL FUEGO			
Diámetro del área	13.72 m		
Área del derrame	147.84 m2		
Altura de la base del fuego	0.00 m		
Tasa de combustión total	8.13 kg/s		
Altura de flama	19.70 m		
RADIACIÓN CALCULADA A DISTANCIAS ESPECÍFICAS			
Distancia a nivel de piso (m)	Distancia a fuente puntual (m)	Transmisividad	Radiación (kW/m2)
3.00	10.30	0.81	64.57
4.00	10.63	0.81	60.40
5.00	11.05	0.80	55.75
6.00	11.54	0.80	50.95
8.00	12.69	0.79	41.73
10.00	14.04	0.79	33.80
12.00	15.53	0.78	27.38
16.00	18.79	0.76	18.38
24.00	25.94	0.74	9.36
40.00	41.20	0.71	3.56
DISTANCIA CALCULADA A NIVEL DE PISO DE NIVELES DE RADIACIÓN ESPECÍFICOS			
Radiación (kW/m2)	Distancia (m)	Dosis (W/m2)^4/3 s tiempo de exposición= 0.0s	Dosis (W/m2)^4/3 s tiempo de duración= 0.0 s
5.10	33.28		
12.50	20.34		
37.50	9.02		

TÍTULO DEL MODELO			
TQ-2-T-700A			
DESCRIPCIÓN			
Incendio de tipo POOL FIRE Confinado en Tanque de Techo Sábana Flotante Interna.			
Tanque = 2-T-700A			
Diámetro = 13.72 m			
Altura = 12.19 m			
Producto = Nafta			
Objetivo: evaluar los efectos de la radiación térmica sobre tanques aledaños.			
DATOS DE LA SUSTANCIA			
Nombre	HIDROCARBUROS AROMATICOS DISOLVENTES	No. CAS	64742-95-6
PARÁMETROS DE ENTRADA			
Calor de combustión	43700.00 kJ/kg		
Calor de vaporización	348900.00 J/kg		
Temp. de ebullición	300.0 K (26.9 °C)		
Tasa de combustión	0.055 kg/m2 s		
Fracción de energía radiada	0.3		
Temperatura ambiente	300.2 K (27.0 °C)		
Humedad relativa	72.0 %		
CARACTERÍSTICAS DEL FUEGO			
Diámetro del área	13.72 m		
Área del derrame	147.84 m2		
Altura de la base del fuego	0.00 m		
Tasa de combustión total	8.13 kg/s		
Altura de flama	19.70 m		

Figura 15

Modelo radiación térmica tanque 2-T-700A



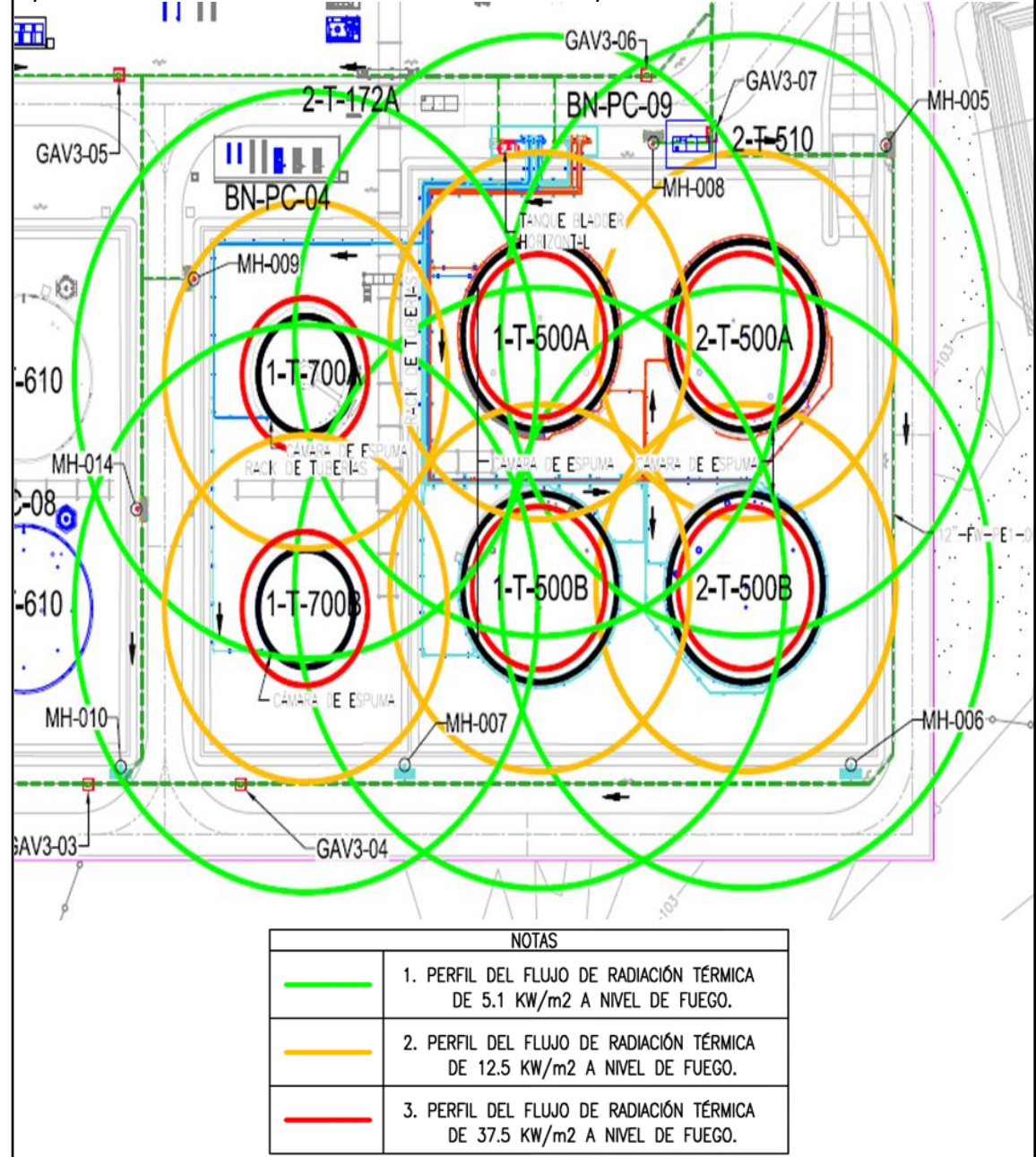
Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.5 Representación de la radiación en el diseño del área de procesos

La representación de la radiación térmica en el plano nos permite visualizar las áreas afectadas debido al posible incendio ocurrido en los tanques, con esto se puede planificar los controles que deben de tener cada equipo.

Figura 16

Representación de la radiación térmica en área de procesos

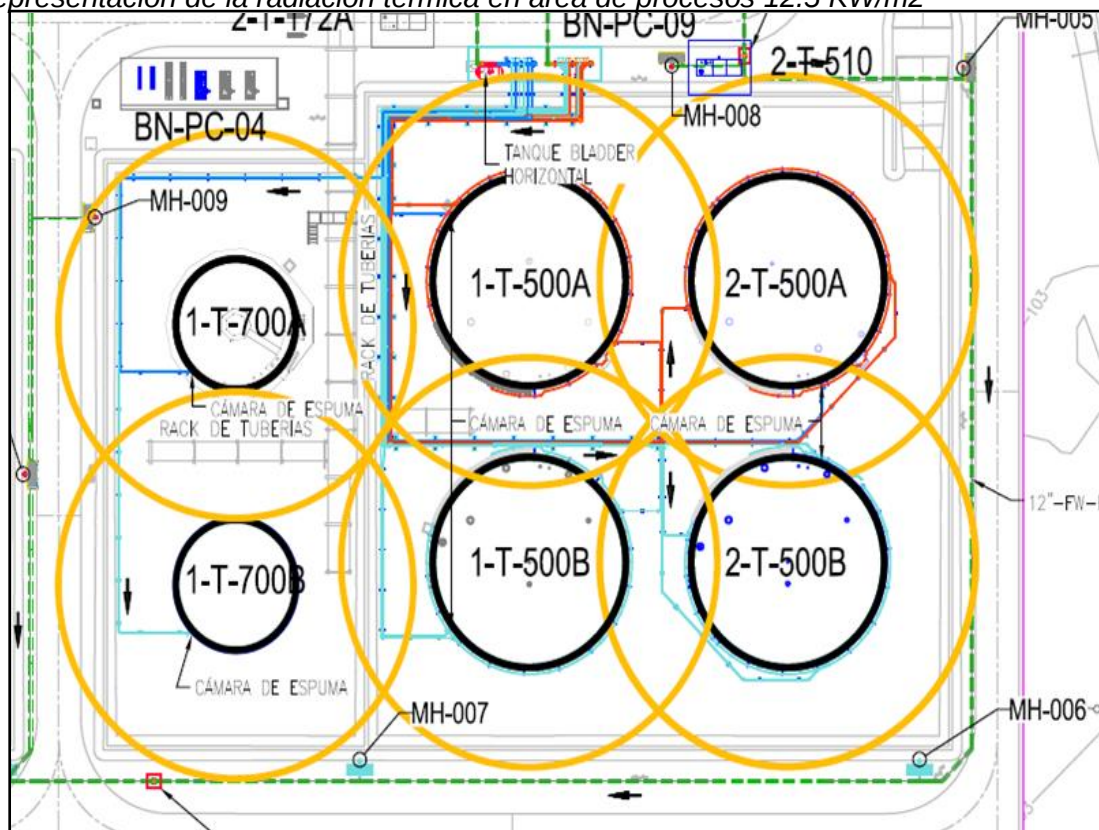


Fuente: Elaboración propia.

El análisis para la protección de cada equipo se desarrolla en el escenario de radiación térmica de 12.5 KW/m2, con ello se tabula el área de influencia de cada tanque incendiado sobre el resto de los tanques.

Figura 17

Representación de la radiación térmica en área de procesos 12.5 KW/m²



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Porcentajes de afectación a una radiación térmica de 12.5 KW/m²

INCENDIO	PORCENTAJE DE AFECTACIÓN (%)					
	1-T-500A	1-T-500B	2-T-500A	2-T-500B	1-T-700A	2-T-700A
1-T-500A	100%	25%	25%			
1-T-500B	25%	100%		25%		
2-T-500A	25%		100%	25%		
2-T-500B		25%	25%	100%		
1-T-700A					100%	
2-T-700A						100%

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura N° 17, se observa que es necesario la implementación de semi anillos de enfriamiento para todos los tanques de crudo, ya que están afectados en un 25%, por tanto, cuando ocurra un incendio se deberán activar los semi anillos de los tanques

aledaños al tanque afectado y del tanque afectado se activará el sistema de espuma, los tanques de nafta al no tener afectación por radiación térmica no requerirán protección de anillos de enfriamiento de agua, únicamente protección de espuma.

3.6 Escenarios de diseño

El cálculo de agua y espuma se realiza sobre el mayor escenario de incendio, por lo que primero se tiene que definir los escenarios a analizar, tomando como base la Figura N° 17.

Tabla 7

Escenarios de diseño

ITEM	ESCENARIO	TANQUES AFECTADOS	ACCIONES PARA EXTINCIÓN DE INCENDIO	ACCIONES PARA ENFRIAMIENTO DE TANQUES AFECTADOS
1	Incendio en Tanque 1-T-500A	1-T-500B + 2-T-500A	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Activar el sistema de enfriamiento por aspersores del tanque 1-T-500B Y 2-T-500A. - Enfriamiento de techos de tanques afectados mediante monitores.
2	Incendio en Tanque 1-T-500B	1-T-500A + 2-T-500B	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Activar el sistema de enfriamiento por aspersores del tanque 1-T-500A Y 2-T-500B. - Enfriamiento de techos de tanques afectados mediante monitores.
3	Incendio en Tanque 2-T-500A	1-T-500B + 2-T-500A	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Activar el sistema de enfriamiento por aspersores del tanque 1-T-500A Y 2-T-500B. - Enfriamiento de techos de tanques afectados mediante monitores.
4	Incendio en Tanque 2-T-500B	1-T-500B + 2-T-500A	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Activar el sistema de enfriamiento por aspersores del tanque 1-T-500B Y 2-T-500A. - Enfriamiento de techos de tanques afectados mediante monitores.
5	Incendio en Tanque 1-T-700A	-	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Enfriamiento de equipos, tuberías, válvulas y accesorios afectados mediante monitores.
6	Incendio en Tanque 2-T-700A	-	Abrir válvulas del tanque Bladder (aplicación de espuma mediante cámara).	- Enfriamiento de equipos, tuberías, válvulas y accesorios afectados mediante monitores.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso en el que se tenga que enfriar tuberías afectadas por un incendio cercano, se utilizarán los Monitores - Hidrantes más cercanos.

3.7 Cálculo de espuma y agua

3.7.1 Cálculo de espuma requerida

3.7.1.1 Cámaras de espuma. El sistema de extinción de incendio en tanques de combustibles está conformado por una cámara de espuma o generador de espuma (Foam Maker) instalada en la parte superior del casco de un tanque de líquido inflamable o combustible enlazado a un sistema de generación de solución de espuma con una proporción de mezcla del 3% de concentrado de espuma con 97% de agua de la red principal.

El número de cámaras generadoras de espuma para tanques de techo fijo es definido por el D.S. 052-93-EM (Art. 92) y la NFPA 11 (Tabla 5.2.5.2.1, 2016), de donde se considerará el valor más conservador, en este caso será la NFPA 11.

Tabla 8

Número mínimo de salidas de descarga

Diámetro del tanque		Número mínimo de salidas de descarga
M	Pies	
Hasta 24	Hasta 80	1
Más de 24 a 36	Más de 80 a 120	2
Más de 36 a 42	Más de 120 a 140	3
Más de 42 a 48	Más de 140 a 160	4
Más de 48 a 54	Más de 160 a 180	5
Más de 54 a 60	Más de 180 a 200	6

Fuente: NFPA 11 (Tabla 5.2.5.2.1, 2016)

El régimen de aplicación de solución de espuma al tanque es definido por la NFPA 11 (Tabla 5.2.5.2.2, 2016) y el D.S. 052-93-EM (Art. 91), de donde se considerará el valor más conservador, en este caso será la NFPA 11.

Para determinar el caudal requerido de aplicación de solución de espuma para cada tanque de techo fijo se multiplicará la tasa mínima de aplicación de espuma indicada en la siguiente Tabla N° 9, por el área transversal horizontal del tanque incendiado (área incendiada).

Tabla 9: Régimen de aplicación de espuma en salidas fijas

Régimen de aplicación de espuma en salidas fijas

Tipo de hidrocarburos	Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga
	lpm/m ²	GPM/pie ²	min.
Punto de inflamación entre 37.8° y 60°C	4.1	0.1	30
Punto de inflamación menor de 37.8°C o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	4.1	0.1	55
Petróleo crudo	4.1	0.1	55
Solventes polares (*)	6.5	0.15	55

Fuente: NFPA 11 (Tabla 5.2.5.2.2, 2016), (*) Artículo 91 D.S. 052-93-EM

3.7.1.2 Cálculo de espuma para el tanque 1-T-500A - incendio tipo Pool Fire

Área incendiada:

El área incendiada es el área ocupada por el tanque.

Diámetro = 72.5 Pies

A = 4128.2 Pies²

Caudal de aplicación:

Según la Tabla 5.2.5.2.2 de la NFPA 11, la tasa mínima de aplicación es 0.1 GPM/pie² con un tiempo mínimo de aplicación de 55 minutos.

Caudal de aplicación: $4128.2 \times 0.1 = 412.8$ GPM

Volumen aplicado de espuma: $412.8 \times 55 = 681.16$ Gln.

3.7.1.3 Aplicación de espuma suplementaria. Se considerará protección suplementaria de espuma para incendios menores en dique estanco, el cual equivale a dos (01) chorros de manguera de Ø1 -1/2" de 50 GPM por 20 minutos (AFFF - 3%), de acuerdo con lo indicado en la Sección 5.9, Norma NFPA 11.

El ítem 5.9.2.3 de la NFPA 11 nos indica que, el equipo para producir cada chorro de espuma debe tener un régimen de aplicación de solución de por lo menos 189 L/min. (50 GPM), con el número mínimo de chorros de manguera que muestra la Tabla 5.9.2.2.

El número mínimo de chorros de manguera fijos o portátiles requeridos es especificado en la Tabla N° 10 y debe estar disponible para proveer protección del área.

Tabla 10*Número de chorros suplementarios*

Diámetro del tanque		Número mínimo de chorros de manguera requeridos
M	Pies	
Hasta 19.5	Hasta 65	1
Desde 19.5 a 36	Desde 65 a 120	2
Mayor a 36	Mayor de 120	3

Fuente NFPA 11 (Tabla 5.9.2.2, 2016)

El tiempo mínimo de operación de los chorros de manguera suplementarias es especificado en la Tabla N° 11

Tabla 11*Tiempo de operación de chorro suplementarios*

Diámetro del tanque		Tiempo mínimo de descarga
M	Pies	
Hasta 10.5	Hasta 35	10
Desde 10.5 a 28.5	Desde 35 a 95	20
Mayor a 28.5	Mayor de 95	30

Fuente NFPA 11 (Tabla 5.9.2.4, 2016)

De las tablas se puede observar que:

- Numero de chorros requeridos = 2; ya que el diámetro del tanque es 72.5 pies
- Caudal de aplicación = $50 \times 2 = 100$ GPM.
- Espuma suplementaria requerida = $100 \text{ GPM} \times 20 \text{ min} \times 0.03 = 60$ Gln.

Por lo tanto, el total de espuma requerido es la aplicación directa de espuma más la espuma suplementaria.

- Total de espuma: $681.16 + 60 = 741.16$ Gln

Según el Artículo 86 del D.S. 043-2007-EM, se considera una capacidad de espuma requerida igual al doble de la necesaria para extinguir el riesgo mayor.

Por lo que el total de espuma incluyendo reserva seria = $741.16 \times 2 = 1482.32$ Gln

3.7.2 Cálculo del agua requerida

3.7.2.1 Análisis del incendio para el tanque 1-T-500A. De la Tabla N° 6, se puede observar que al incendiarse el tanque 1-T-500A, se ven afectados los tanques 1-T-500B y 2-T-500A, ya que van a ser utilizados semi anillos, en el cálculo tiene que considerarse el 50% de consumo para cada uno de los tanques afectados.

Área lateral expuesta tanques 1-T-500B + 2-T-500A

$$A_{\text{Lateral}} = 50\% (A_{\text{Lateral}2\text{-T-500A}}) + 50\% (A_{\text{Lateral}1\text{-T-500B}})$$

$$A_{\text{Lateral}} = 0.5 \times (\pi \times D \times H)_{2\text{-T-500A}} + 0.5 \times (\pi \times D \times H)_{1\text{-T-500B}}$$

$$A_{\text{Lateral}} = 0.5 \times (3.1416 \times 72.5 \times 32) + 0.5 \times (3.1416 \times 72.5 \times 32)$$

$$A_{\text{Lateral}} = 7288.49 \text{ Pies}^2$$

Área techo expuesta tanques 1-T-500B + 2-T-500A

$$A_{\text{Techo}} = 50\% (A_{\text{Techo}2\text{-T-500A}}) + 50\% (A_{\text{Techo}1\text{-T-500B}})$$

$$A_{\text{Techo}} = 0.5 \times (\pi \times D^2 / 4)_{2\text{-T-500A}} + 0.5 \times (\pi \times D^2 / 4)_{1\text{-T-500B}}$$

$$A_{\text{Techo}} = 0.5 \times (3.1416 \times 72.5^2 / 4) + 0.5 \times (3.1416 \times 72.5^2 / 4)$$

$$A_{\text{Techo}} = 4128.25 \text{ Pies}^2$$

Caudal de aplicación de agua de enfriamiento

El enfriamiento de las superficies laterales de los tanques expuestos se realizará a través de aspersores. El régimen de flujo utilizado para estos casos está de acuerdo con lo indicado en el Artículo 92, del Capítulo II, del Título III, del D.S. N° 043-2007-EM.

El enfriamiento de las superficies expuestas de los techos se realizará a través de medios externos (monitores). El régimen de flujo utilizado para estos casos es de 0.20 GPM/Pie², de acuerdo con lo indicado en el Artículo 92, del Capítulo II, del Título III, del D.S. N° 043-2007-EM.

Artículo 92: Requerimientos mínimos de los sistemas de agua de enfriamiento para tanques de almacenamiento de techo fijo o flotante. Los requerimientos mínimos para los sistemas de enfriamiento para tanques de almacenamiento de techo fijo o flotante son los siguientes:

Enfriamiento:

Tanques de techo fijo o flotante:

- Con toroide en el anillo superior: 0.15 GPM/Pies2 del área lateral del cilindro.
- Con sistema externo: 0.20 GPM/Pies2 del área lateral expuesta.

Fijos, semifijos, móviles y portátiles (monitor, lanzador portátil, manguera con pitón chorro/niebla)

El caudal de aplicación de agua de enfriamiento se halla multiplicando las áreas expuestas por el factor de enfriamiento.

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = A_{\text{Lateral}} \times 0.15 + A_{\text{Techo}} \times 0.2$$

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = 7288.49 \times 0.15 + 4128.25 \times 0.2$$

$$Q_{\text{Enfriamiento}} = 1918.92 \text{ GPM}$$

Adicional a las áreas expuestas de los tanques también se tienen que enfriar las tuberías aledañas.

El enfriamiento de las superficies expuestas de las tuberías y equipos aledaños se realizará a través de medios externos (monitores, mangueras).

El flujo mínimo en las 2 conexiones de manguera de un monitor hidrante, hidráulicamente más desfavorables, será de 500 GPM, conforme a la NFPA 14 (sección 7.10.1.1.1, 2019), como se va a utilizar solamente una manguera que enfriará los sistemas de tuberías el flujo será 250 GPM.

Por lo tanto, el caudal total de agua contra incendio para el escenario de quema 1-T-500A será la suma del caudal de aplicación más el caudal para enfriar las tuberías aledañas más 97% del caudal de aplicación de espuma más el 97% del caudal de aplicación de espuma suplementaria.

$$Q_{\text{AguaTotal}} = Q_{\text{Enfriamiento}} + 250 + 0.97 \times (\text{Caudal de aplicación de espuma}) + 0.97 \times (\text{espuma suplementaria})$$

$$Q_{\text{AguaTotal}} = 1918.92 + 250 + 0.97 \times (412.8) + 0.97 \times (100)$$

$$Q_{\text{AguaTotal}} = 2666.36 \text{ GPM}$$

Para poder calcular la cantidad de agua total se considera una reserva de agua contra incendio de 4 horas, según lo establecido en la sección 8 del capítulo 2 del Manual de Protección Contra Incendio de la norma NFPA 30.

$$V_{\text{AguaTotal}} = (1918.92 + 250) \times 4 \times 60 + 0.97 \times (412.8) \times 55 + 0.97 \times (100) \times 20$$

$$V_{\text{AguaTotal}} = 544505.98 \text{ Gal}$$

$$V_{\text{AguaTotal}} = 12964.43 \text{ Barriles.}$$

Se realizará el mismo cálculo para todos los escenarios de incendio y se escogerá el mayor volumen de agua y espuma.

3.7.3 Cálculo de espuma para el tanque 1-T-700A - incendio tipo Pool Fire

Área incendiada:

El área incendiada es el área ocupada por el tanque.

Diámetro = 45 Pies

$A = 1590.4 \text{ Pies}^2$

Caudal de aplicación:

Según la Tabla 5.2.5.2.2 de la NFPA 11, la tasa mínima de aplicación es 0.15 GPM/Pie² con un tiempo mínimo de aplicación de 55 minutos.

Caudal de aplicación: $1590.4 \times 0.15 = 238.6 \text{ GPM}$

Volumen aplicado de espuma: $238.6 \times 55 \times 0.03 = 393.6 \text{ Gln.}$

3.7.4 Cálculo de espuma total

Tabla 12

Cálculo de la cantidad de espuma por tanque incendiado

BASES DE CÁLCULO				APLICACIÓN DE SOLUCIÓN DE ESPUMA					APLICACIÓN DE ESPUMA SUPLEMENTARIA	
Caso	Escenario	Producto	Tipo de Techo	Dimensiones de Tanques		Área Incendiada	Caudal de Aplicación	Tiempo mínimo de descarga	Caudal de Aplicación	Espuma
				Diámetro / Largo	Altura / Ancho	Ratio	0.1	30		10
						(GPM/Pie²)	0.15	55		20
						Ratio	0.3	20		30
						Pie	Pie	Pie²		GPM
1	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 1-T-500A	Petróleo Crudo	TVF	72.5	32	4,128.20	412.8	681.2	100	60
2	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 1-T-500B	Petróleo Crudo	TVF	72.5	32	4,128.20	412.8	681.2	100	60
3	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 2-T-500A	Petróleo Crudo	TVF	72.5	32	4,128.20	412.8	681.2	100	60
4	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 2-T-500B	Petróleo Crudo	TVF	72.5	32	4,128.20	412.8	681.2	100	60
5	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 1 -T-700A	Diluyente	TFSI	45	40	1,590.40	238.6	214.7	50	30
6	Incendio Tipo Pool Fire en Tanque 2 -T-700A	Diluyente	TFSI	45	40	1,590.40	238.6	214.7	50	30

Fuente: Departamento de Ingeniería

Tabla 13*Requerimiento de máxima demanda de espuma*

REQUERIMIENTO DE MÁXIMA DEMANDA DE ESPUMA		
Concentrado de Espuma (A-FFF - 3%)	681	Galones
Espuma Suplementaria (A-FFF - 3%) 02 chorros de manguera de Ø1 -1/2" @ 50 GPM por 20 min	60	Galones
Cantidad Total de Concentrado de Espuma a instalar	741	Galones
TOTAL DE CONCENTRADO DE ESPUMA (Incl. Reserva)	1,482	Galones

Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.7.5 Cálculo de agua total

Tabla 14

Cálculo de la cantidad de agua por tanque incendiado

APLICACIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO					AGUA CONTRA INCENDIO (240 min)		
Superficies expuestas a la radiación térmica (12.5 kW/m²) que deben ser enfriadas	Área Lateral expuesta de un tanque	Área de Techo de un tanque	Caudal de enfriamiento de un equipo aledaño	Caudal de Aplicación de Agua de Enfriamiento	Caudal de enfriamiento para tuberías	Caudal de Agua Contra Incendio	Cantidad de Agua Contra Incendio
	Ratio (GPM/Pie²)	Ratio (GPM/Pie²)					
	0.15	0.2					
	0.2						
	Pie²						
50% (2-T-500A) + 50% (1-T-500B)	7,288.49	4,128.25	0.00	1,918.92	250	2,666	12,964
50% (1-T-500A) + 50% (2-T-500B)	7,288.49	4,128.25	0.00	1,918.92	250	2,666	12,964
50% (1-T-500A) + 50% (2-T-500B)	7,288.49	4,128.25	0.00	1,918.92	250	2,666	12,964
50% (2-T-500A) + 50% (1-T-500B)	7,288.49	4,128.25	0.00	1,918.92	250	2,666	12,964

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Tabla 15

Requerimiento de máxima demanda de agua

REQUERIMIENTO DE AGUA CONTRA INCENDIO AL MAYOR RIESGO	
Caudal de agua Contra Incendio (GPM)	2,666
Cantidad de Agua Contra Incendio (Galones)	544,506
Cantidad de Agua Contra Incendio (Barriles)	12,964
Cantidad de Agua Contra Incendio (m3)	2,061

Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.8 Diseño de la red contra incendios

Una vez definidos los parámetros de agua y espuma falta determinar el sistema de alimentación de agua, almacenamiento de agua, sistema de bombeo, red de tuberías de agua y red de tuberías espuma.

3.8.1 Sistema de bombeo

El caudal requerido para el escenario de diseño más desfavorable es 2666 GPM por lo que se escogerá una bomba cuyo caudal nominal sea de 2000 GPM, de acuerdo con la norma NFPA 20 las bombas contra incendio deben ser capaces de suministrar el 150% del caudal nominal, por lo que para nuestro caso el caudal resultante sería de 3000 GPM, con lo que se cumple con los parámetros operación requeridos.

3.8.2 Bombas SCI

El sistema de bombeo será un Skid SCI que consta de una bomba principal contra incendio (1-P-001A) con motor de combustión interna de 2000 GPM de capacidad (TDH = 150 PSI), una bomba Stand By (1-P-001B) con motor de combustión interna de 2000 GPM de capacidad; cada una de estas motobombas es alimentada a través de un tanque diario de Diesel y además se cuentan con una electrobomba jockey (P-003) de 15HP, 50 GPM de capacidad (TDH = 175 PSI); cada una con sus tableros de control y válvulas manuales.

Figura 18

Bomba sistema contra incendio



Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 *Electrobomba Jockey*

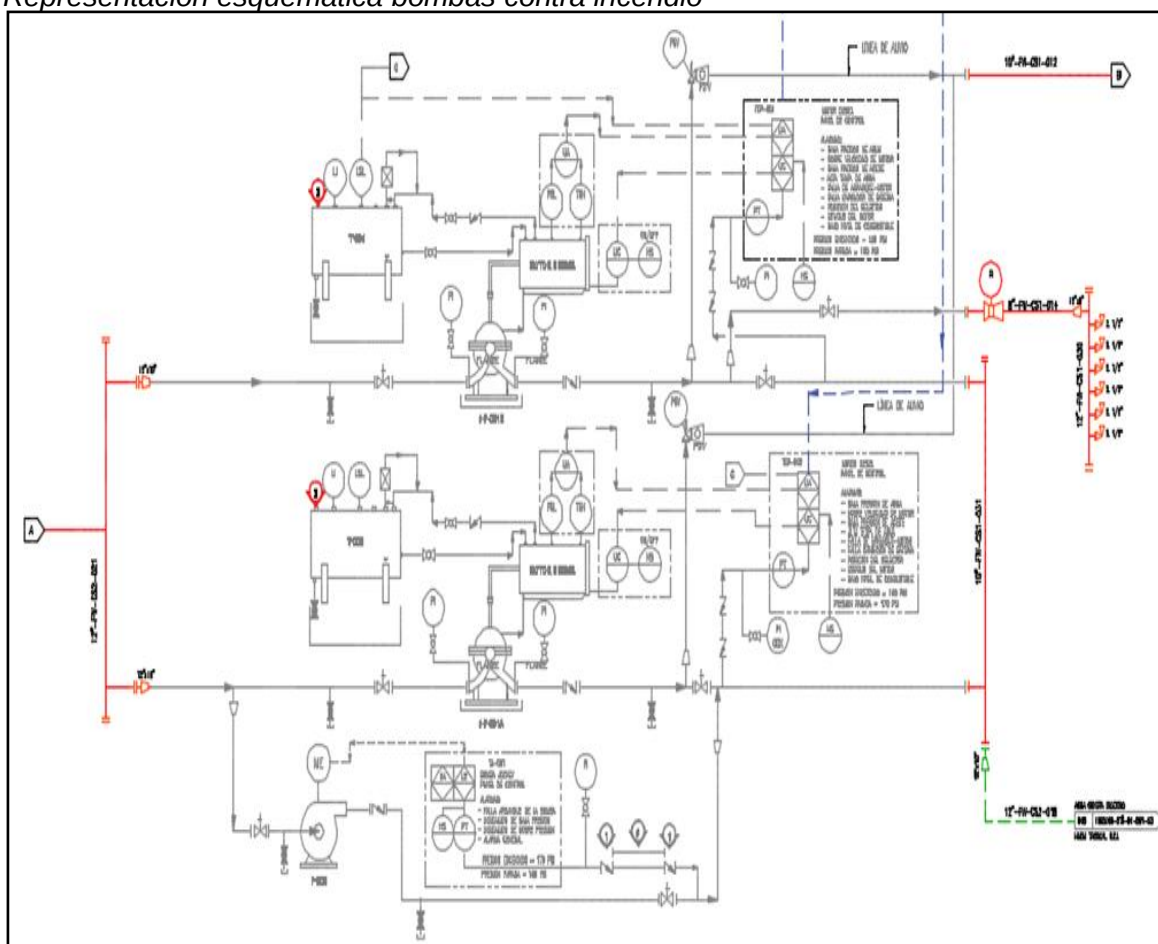
Tiene una capacidad de 50 GPM a 175 PSI, con tablero de control local.

Tiene dos manómetros uno en la succión PI con un rango de operación de -30inHG a 100 PSI y otro en la descarga PI con un rango de operación de 0 a 250 PSI, estos manómetros sirven para verificar las presiones en cada punto respectivamente.

Se tiene una línea de sensado que se conecta a la línea de descarga de la electrobomba. En esta línea de sensado se tiene un switch de presión; cuando la presión en la línea baje o llegue a 158 PSI, este switch hará que la electrobomba arranque, manteniendo siempre la red contra incendio presurizada.

Figura 19

Representación esquemática bombas contra incendio



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 20

Bomba Jockey



Fuente: Elaboración propia.

3.8.4 Sistema de alimentación de agua

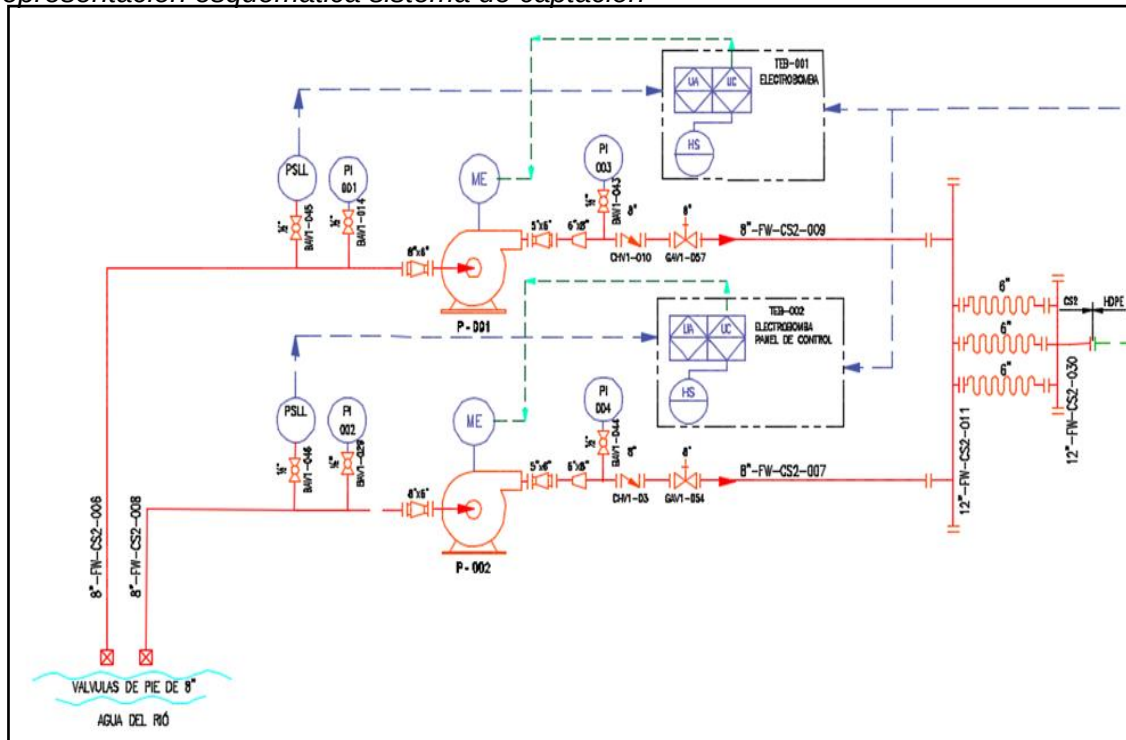
Debido a la proximidad del río a la locación, se instalará un pontón flotante desde la cual se tomará el agua por medio de 2 electrobombas de captación P-001/P-002, las cuales alimentaran a un tanque de almacenamiento, desde el cual las bombas contra incendio tomaran el agua y alimentaran a red.

El criterio utilizado para identificar el almacenamiento del agua será el de agua infinita tomado desde el río, por lo que no se requerirá tener un tanque reservorio de gran volumen.

El sistema de recarga de agua de las bombas de captación está asociada al arranque de las bombas contra incendio por lo que ambas bombas arrancan de manera automática de forma simultánea.

Figura 21

Representación esquemática sistema de captación



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 22

Sistema de captación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Manifold de captación



Fuente: Elaboración propia.

3.8.5 Tanque de almacenamiento de agua

El volumen de la cantidad de agua total se considera para un incendio de 4 horas, según lo establecido en la sección 8 del capítulo 2 del Manual de Protección Contra Incendio de la norma NFPA 30, por lo que el ingreso al tanque por las bombas de captación es de 2000 GPM y la salida por la bomba contra incendio es de 2500 GPM lo que nos da 500 GPM de déficit, como el tiempo total es de 4 horas se puede deducir que:

Volumen tanque = $500 \times 4 \times 60 = 120000$ Galones.

Convirtiendo de galones a barriles.

Volumen Tanque = $120000 / 42 = 2857.143$ Barriles.

Por lo que se opta por un tanque de 4000 Barriles para tener un factor de seguridad y no tener cavitación en el tanque por la toma de agua de las bombas contra incendio.

3.8.5.1 Parámetros de fabricación del tanque. Los parámetros de fabricación del tanque de agua son los siguientes.

$D = 9.78 \text{ m}$

$H = 9.6 \text{ m}$

$$V = \frac{\pi \times 9.78^2}{4} \times 9.6 = 721.3 \text{ m}^3 = 4536.2 \text{ Barriles}$$

Tabla 16*Datos de diseño de tanque de almacenamiento de agua*

DATOS DE DISEÑO		
CODIGO DE DISEÑO	AWWA D100-11/AWWA D107-16/API-STD-65Q - 12th Edition Add.3 - APP. E.F V	
ESPECIFICACIÓN DEL PROYECTO	152003-BTÑ-20- DS-063-0	
DIAMETRO INTERIOR	9.78 m	
ALTURA DE LA ENVOLVENTE	9.6 m.	
FLUJO DE RECEPCION MAX.	2,000 GPM	
FLUJO DE DESPACHO MAX.	2,500 GPM	
CAPACIDAD NETA DE TRABAJO	4,000 Barriles	
TIPO DE TECHO	CONICO	
PRODUCTO	AGUA	
GRAVEDAD ESPECIFICA PRODUCTO	1 @ 25°C	
PRESIÓN DE DISEÑO	MÁXIMA	0.75 kPa.
	MÍNIMA	-0.25 kPa.
PRESIÓN DE OPERACIÓN	ATMOSFERICA	
TEMPERATURA DE DISEÑO	MÁXIMA	120 °F
	MÍNIMA	10 °F
CORROSIÓN	FONDO	1.6 mm.
	ENVOLVENTE	1.6 mm.
	TECHO	1.6 mm.
VIENTO	CODIGO	E20. AWWA D100-11, ASCE-7
	VELOCIDAD	100 km/h
SISMO	CODIGO	E30, DS 003-2016, AWA D100-11
	Z. SISMICA	Ss=D.625, S1=0.3125, Q1=1. I=1
	CLASE	TIPO D
NIEVE	NO APLICABLE	
CARGA VIVA DE TECHO	25 Lbf/ft2	
CONTROL RADIOGRAFICO	SEGUN AWWA D100-11 / AWWA D107-16	

Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.8.5.2 Parámetros constructivos. Los parámetros mecánicos y normativas constructivas de materiales para el tanque de almacenamiento pueden verse en la tabla N° 17.

Tabla 17

Parámetros constructivos tanque de almacenamiento de agua

DATOS CUERPO DEL TANQUE		
TANQUE	ESP. (in)	MATERIAL
ANILLO 1	0.25	ASTM A36
ANILLO 2	0.1875	ASTM A36
ANILLO 3	0.1875	ASTM A36
ANILLO 4	0.1875	ASTM A36
TIPO DE SOLDADURA	A TOPE	
AISLAMIENTO	NO	
ANCLAJES	SI	
ANILLOS RIGIDIZADORES	NO	
DATOS FONDO TANQUE		
ESPESOR CHAPAS CENTRALES	0.3125 in	
MATERIAL CHAPAS CENTRALES	ASTM-A 36	
TIPO DE SOLDADURA	SOLAPE	
ANILLO PERIMETRAL	NO	
INCLINACION FONDO	7/16:12	
AISLAMIENTO FONDO	NO	
DATOS DEL TECHO		
TIPO	CONICO SOPORTADO	
ESPESOR CHAPAS	0.25 in	
TIPO OE SOLDADURA	SOLAPE	
ANGULO TOPE	DIMEN.	L-3" x 3" x 1/4"
	MATER.	ASTM-A 36
ANILLO RIGIDIZADOR (STIFFENERS)	L-3" x 3' x 1/4"	
PENDIENTE	1 1/2:12	
CALIDAD DE LOS MATERIALES		
PERFILES	ASTM-A 36	
TUBERIA	A53 Gr. 8	
ACCESORIOS FORJADOS	ASTM—A 105	
ACCESORIOS	ASTM-A 234 Gr.WPB	
ESPARRAGOS / PERNOS	PARA BRIDAS: ASTM-A 193-B7	
	PARA ESTRUCT.: ASTM-A 325	
TUERCAS	PARA BRIDAS: ASTM-A 194-2H	
	PARA ESTRUCT: ASTM-A 563 Gr.A/Gr.DH	
JUNTAS	PARA BOCAS HOMBRE/CONEXIONES: FIBRAS DE ARAMIDA CON AGLUTINANTE S8R	

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 24

Tanque de almacenamiento de agua



Fuente: Elaboración propia.

3.9 Red contra incendio

3.9.1 Sistema de agua

3.9.1.1 Tuberías. Para poder realizar el dimensionamiento de la red contra incendio se utiliza la tabla 4.28 de la NFPA 20 (Tabla N° 18), debido a que se necesitan 2666 GPM se escoge una red troncal de tubería de 12".

La tubería al ser de poca presión y ser enterrada se escogerá del material de HDPE la cual cumple con la norma AWWA C906 y aprobadas por Factory Mutual (FM) para el uso en sistemas contra incendio, según lo establecido en la sección 10.1 de la NFPA 24 Ed. 2019.

Tabla 18*Resumen de los datos de la bomba centrífuga contra incendios*

Pump Rating (gpm)	Minimum Pipe Sizes (Nominal) (in.)							Hose Header Supply
	Suction ^{a,b,c}	Discharge ^a	Relief Valve	Relief Valve Discharge	Meter Device	Number and Size of		
						Hose Valves	Nonthreaded Connections	
25	1	1	¾	1	1¼	1—1½	1—2½	1
50	1½	1¼	1¼	1½	2	1—1½	1—2½	1½
100	2	2	1½	2	2½	1—2½	1—2½	2½
150	2½	2½	2	2½	3	1—2½	1—2½	2½
200	3	3	2	2½	3	1—2½	1—2½	2½
250	3½	3	2	2½	3½	1—2½	1—2½	3
300	4	4	2½	3½	3½	1—2½	1—2½	3
400	4	4	3	5	4	2—2½	1—5	4
450	5	5	3	5	4	2—2½	1—5	4
500	5	5	3	5	5	2—2½	1—5	4
750	6	6	4	6	5	3—2½	1—5	6
1000	8	6	4	8	6	4—2½	1—5	6
1250	8	8	6	8	6	6—2½	1—5	8
1500	8	8	6	8	8	6—2½	1—5	8
2000	10	10	6	10	8	6—2½	2—5 ^d	8
2500	10	10	6	10	8	8—2½	2—5 ^d	10
3000	12	12	8	12	8	12—2½	2—5 ^d	10
3500	12	12	8	12	10	12—2½	3—5 ^d	12
4000	14	12	8	14	10	16—2½	3—5 ^d	12
4500	16	14	8	14	10	16—2½	3—5 ^d	12
5000	16	14	8	14	10	20—2½	3—5 ^d	12

Fuente: NFPA 20, tabla 4.28 (a).

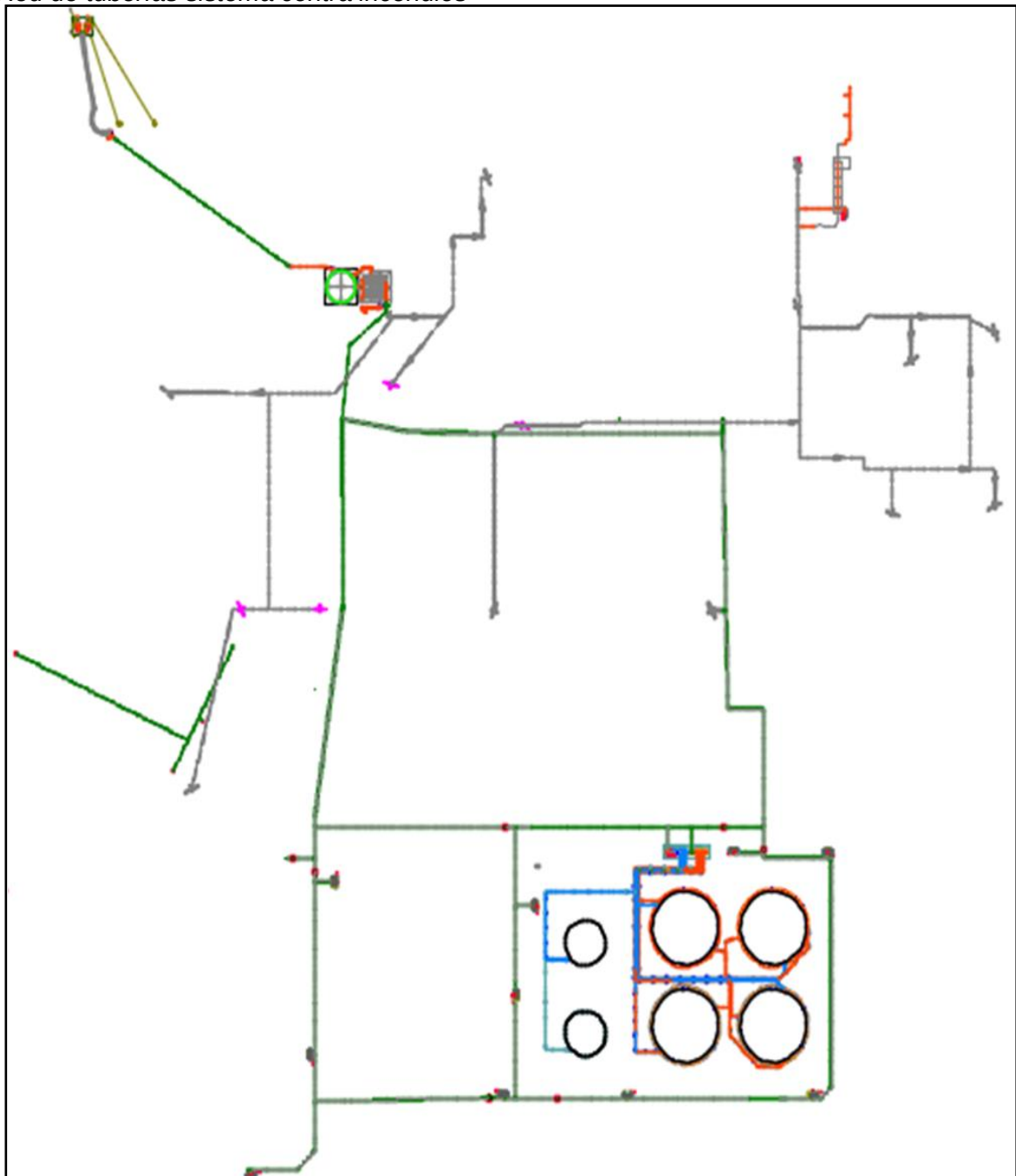
La red inicia en el cuarto de bombas contra incendio y recorre un tramo enterrado a una profundidad mínima de 0.9 m hasta llegar a la red principal en la planta de procesos, de ahí se subdivide formando dos anillos alrededor de las zonas estancas permitiendo

alimentar hidrantes, monitores, manifolds de los sistemas de enfriamiento y sistema de espuma, la red forma un anillo alrededor de la zona de procesos y plataforma.

Para los tramos aéreos cuenta con tuberías de acero al carbono de Ø 4", Ø 6" y Ø 010" SCH 40, se usa soportes tipo cruz, compuestos por vigas W 6x15 / W 4x13 ASTM A36, los cuales varían de acuerdo con la cantidad de tuberías.

Figura 25

Red de tuberías sistema contra incendios



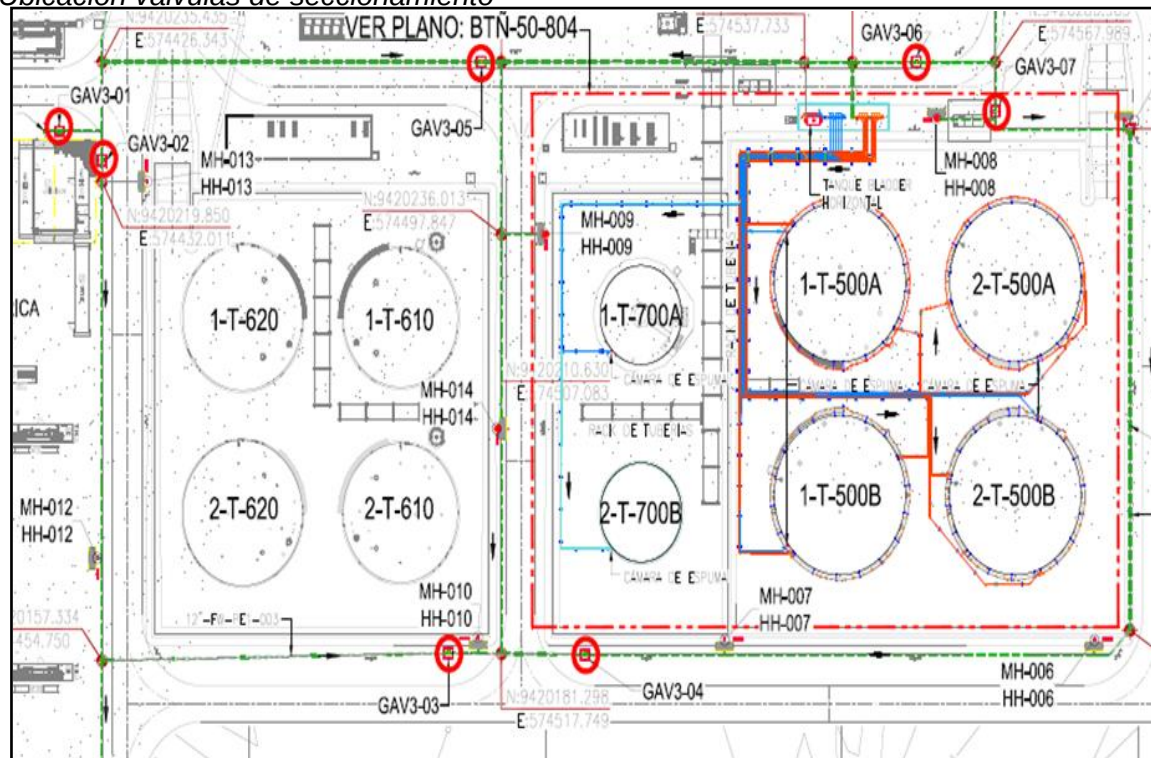
Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.9.1.2 Válvulas de seccionamiento. El sistema principal de tuberías de agua contra incendio cuenta con válvulas seccionadoras, distribuidas en puntos apropiados para permitir el seccionado selectivo del sistema, en caso de rotura o para hacer reparaciones o extensiones de acuerdo con la (Sección A.6.6.1 de la NFPA 24, Edición 2019).

Para la red se han colocado 7 válvulas de seccionamiento las que ayudan con el redireccionamiento del fluido conforme ocurran incendios en secciones determinadas, con esto se puede optimizar la cantidad de agua gastada y mantener la presión en los sitios necesarios.

Figura 26

Ubicación válvulas de seccionamiento



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 27

Modelo usado de válvulas de seccionamiento



Fuente: Manual del fabricante UL FM Vertical Indicator Post - Fire Protection - Model 5400

Figura 28

Válvulas de seccionamiento



Fuente: Elaboración propia.

3.9.1.3 Monitores e hidrantes. Se tiene monitores-hidrantes los cuales están ubicados en posiciones estratégicas que permiten la descarga de agua y/o espuma a cualquier tanque o zona estanca; asimismo, están ubicados a una distancia apropiada de los tanques con el fin de evitar que la radiación afecte al personal que estará a cargo de la manipulación de los monitores-hidrantes de la lucha contra incendios, de estar dentro del radio se usa un muro anti-exposición como medida de protección.

- Cada monitor-hidrante cuenta con lo siguiente:

- Línea de alimentación de Ø 6".
- Un hidrante de columna húmeda de Ø 6". En su parte superior tendrá dos salidas de 2 1/2" macho, una salida para autobomba de 4 1/2" y una brida en la parte superior de 4"
- Un monitor aprobado FM o listado UL, con conexión de entrada de Ø 4", flange class #150 FF y conexión de 2 salida de 2 1/2" macho.
- Una boquilla para monitor aprobada FM o listada UL con la siguiente configuración de descarga:

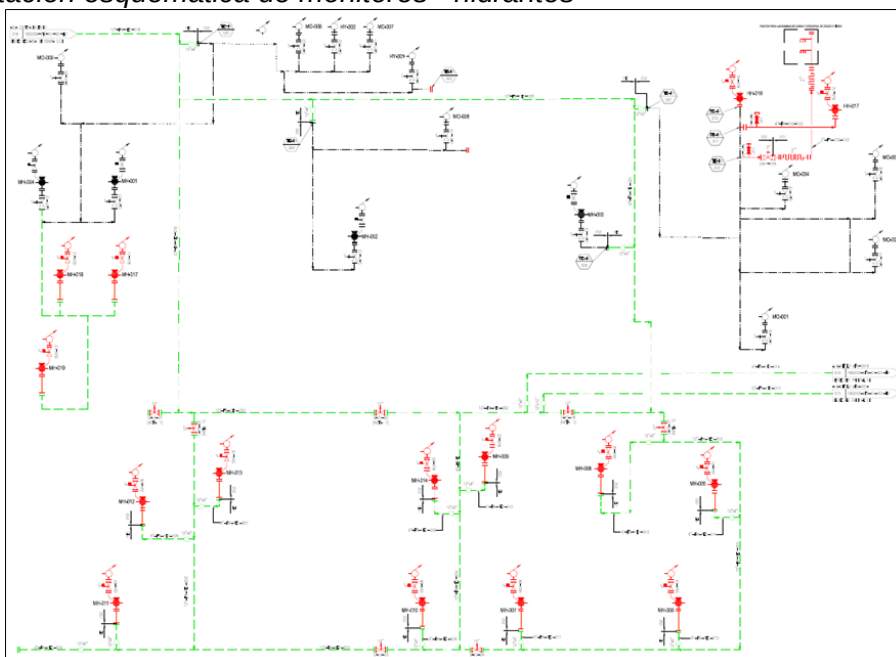
Los monitores-hidrante, tendrán boquillas Self-Educting con capacidad de descarga de 250 - 500 GPM y un alcance de 48 m con 100 PSI.

El objetivo de los monitores - hidrantes es enfriar la porción de techo afectado por la radiación térmica de 12.5 KW/m², el régimen de flujo utilizado para estos casos es de 0.20 GPM/Pie², de acuerdo con lo indicado en el Artículo 92, del Capítulo II, del Título III, del D.S. N° 043-2007-EM.

El objetivo de los hidrantes es enfriar las tuberías afectadas por la radiación térmica de 12.5 KW/m², se realizará a través de medios externos (monitores, mangueras).

Figura 29

Representación esquemática de monitores - hidrantes



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 30

Monitores - hidrantes



Fuente: Elaboración propia.

3.9.1.4 Manifold de agua contra incendio. El manifold consta de una tubería de 10" con salidas para los 8 semi anillos en cada una está colocada una válvula tipo compuerta de 4" para la apertura de cada semi anillo que se direcciona a cada tanque de almacenamiento.

Las conexiones desde el manifold a los semi anillos en los tanques de almacenamiento son de tubería de 4" sch STD y el anillo es de 3" sch STD.

Las tuberías aéreas desde el manifold hacia los semi anillos son tuberías secas, estas están fabricadas de acuerdo con normativa con acero al carbono galvanizado, esto de acuerdo con lo indicado en los numerales 5.3.6.1 de NFPA 15 Ed.2017 y la tabla 10.13.1 de la NFPA 11 Ed. 2016.

El manifold de agua cuenta con una pared corta fuego (anti-explosión), de 2.70 m de alto, 15.3 m de largo y 3.70 m de ancho (el cual también protegerá al manifold de espuma); esto para la protección de los operarios al momento de abrir las válvulas para los diferentes escenarios.

Figura 31

Manifold de agua contra incendio



Fuente: Elaboración propia.

3.9.1.5 Aspersores de enfriamiento. Los tanques de crudo cuentan con semi anillos de enfriamiento; estas tuberías rodean a los tanques de combustible y están instalados cada cierto tramo una boquilla pulverizadora de agua (spray nozzle).

Cálculo de cantidad y tipo de aspersores

El objetivo de estas boquillas pulverizadoras es enfriar la superficie afectada por una radiación térmica igual o mayor a 12.5 KW/m², para nuestro caso son las paredes afectadas de los tanques.

Cálculo del área enfriada

$$HTanque = 32 \text{ Pies}$$

$$DTanque = 72.5 \text{ Pies}$$

$$\text{Área enfriada} = \pi \times D \times H$$

$$\text{Área enfriada} = 3.1416 \times 32 \times 72.5 = 7288.49 \text{ Pie}^2$$

Régimen de aplicación

El régimen de agua a usar para el enfriamiento mediante un toroide es 0.15 GPM/Pie², de acuerdo con el D.S. 043-2007-EM, artículo 92, inciso (a).

Caudal por anillo

$$Q_{\text{Tor}} = \text{Área enfriada} \times \text{Régimen de aplicación}$$

$$Q_{\text{Tor}} = 7288.49 \times 0.15 = 546.64 \text{ GPM}$$

Cálculo de número de aspersores

Para calcular el número de aspersores se deben tener algunas recomendaciones planteadas por el fabricante, para nuestro caso se usan aspersores de la marca Viking/Tyco.

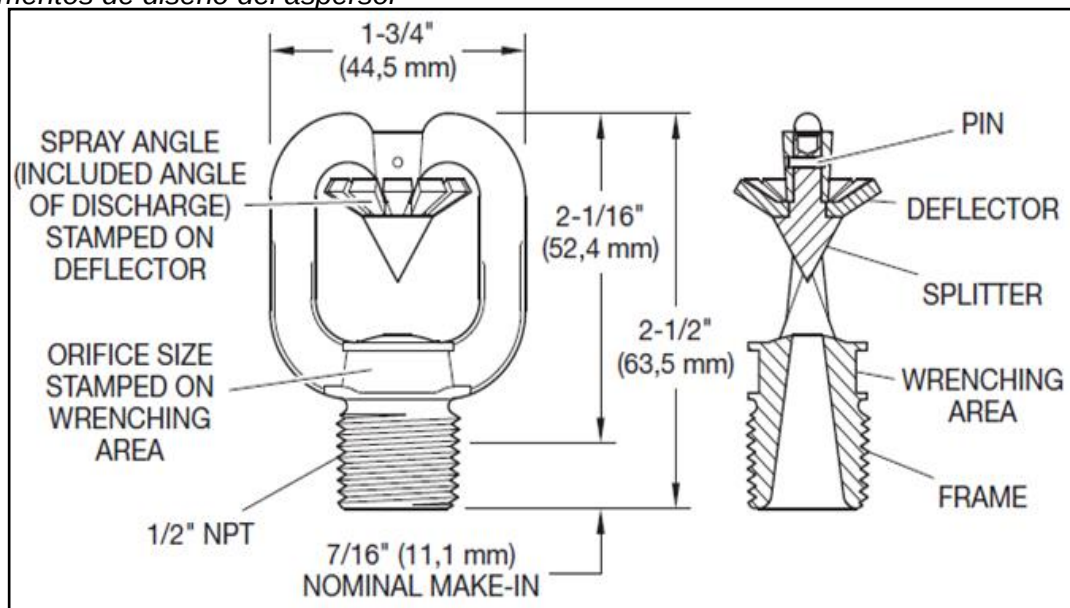
La separación vertical u horizontal entre aspersores no debe ser mayor a 3.0 m, de acuerdo con la norma NFPA 15 (sección 7.1.8, 2017), por lo cual se utilizó la separación perpendicular recomendada por Viking/Tyco entre el aspersor y el área a enfriar igual a 0.6 m.

El traslape de las coberturas de los aspersores que se está considerando para la distribución de boquillas no será menor a 15 cm de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería contra incendio.

Para la distribución de boquillas se utilizó aspersores con un ángulo de los deflectores de 125°.

Figura 32

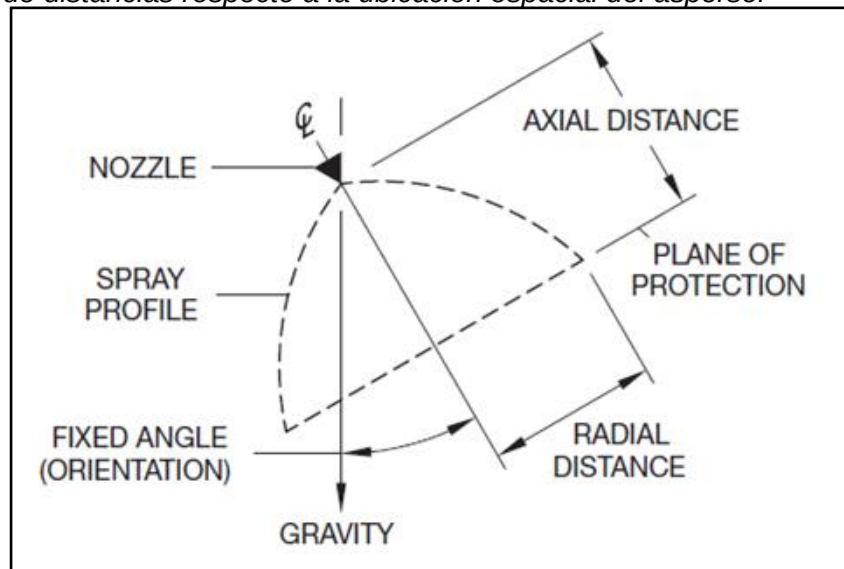
Elementos de diseño del aspersor



Fuente: Hoja de datos de aspersores Viking/Tyco.

Figura 33

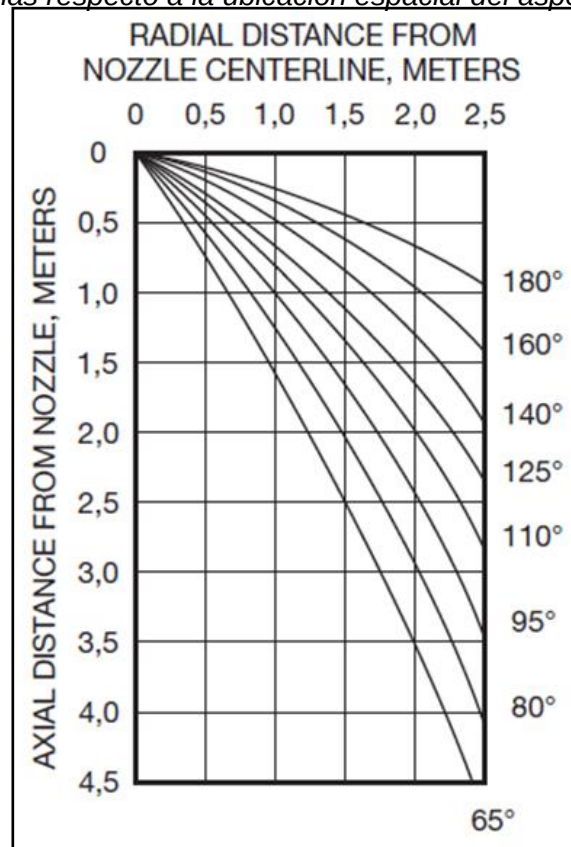
Disposición de distancias respecto a la ubicación espacial del aspersor



Fuente: Hoja de datos de aspersores Viking/Tyco.

Figura 34

Disposición de distancias respecto a la ubicación espacial del aspersor

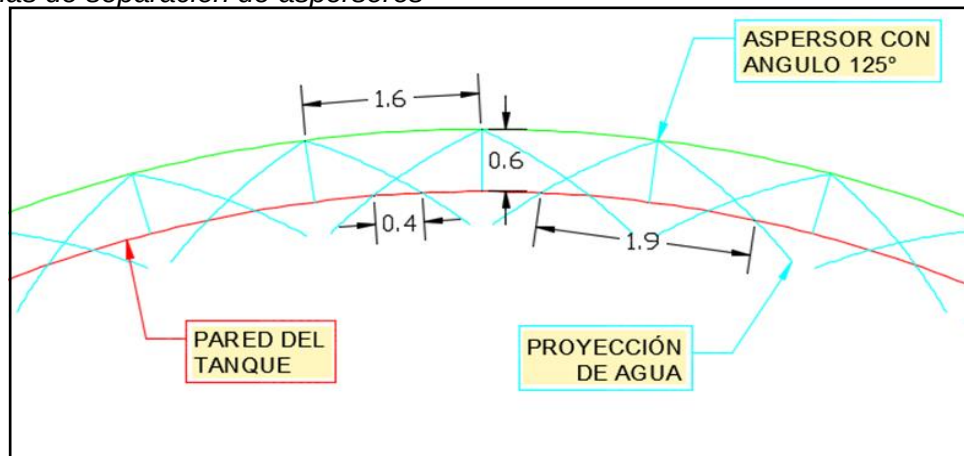


Fuente: Hoja de datos de aspersores Viking/Tyco.

Se procede a realizar el dibujo de estos parámetros en autocad según el diámetro del tanque y tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante.

Figura 35

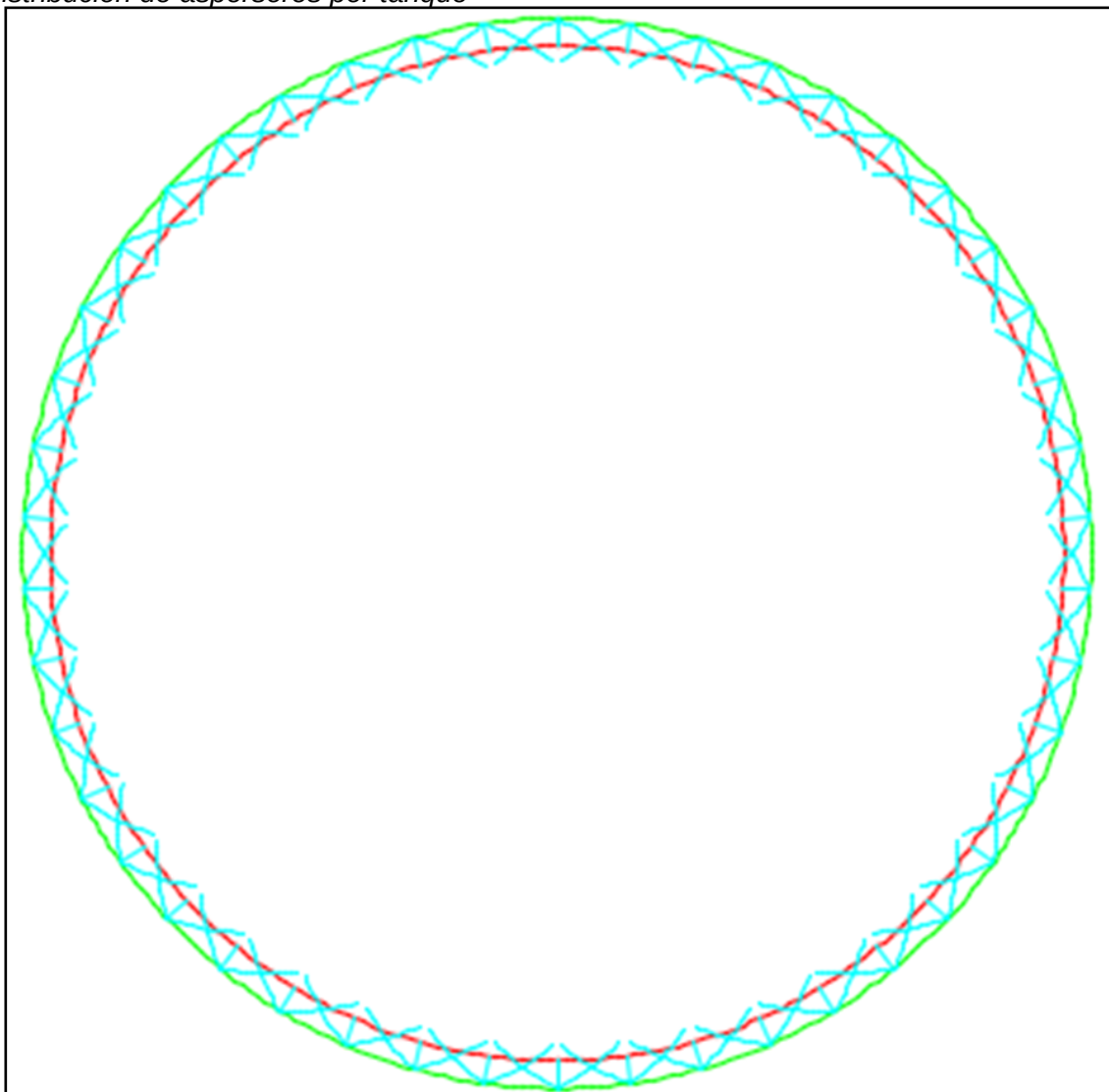
Distancias de separación de aspersores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36

Distribución de aspersores por tanque



Fuente: Elaboración propia.

- Distancia desde la boquilla del aspersor al tanque: 0.6 m
- Distancia entre aspersores: 1.6 m
- Traslape: 0.4 m
- Perímetro de mojado por aspersor: 1.9 m
- Numero de aspersores: 46
- Como se van a considerar semi anillos por el ahorro de agua serian 23 por cada uno.

Cálculo de caudal por aspersor

$$Q_{Asp} = \frac{Q_{Tor}}{N_{Asp}}$$

$$Q_{Asp} = \frac{546.64}{23} = 23.77 \text{ GPM}$$

Cálculo del factor de descarga del aspersor K teórico

El factor K de descarga de los aspersores está determinado por su agujero de descarga, esta es definida por la siguiente formula.

$$K_{Teorico} = \frac{Q_{Asp}}{\sqrt{P_{Min}}}$$

La presión mínima en la boquilla hidráulicamente más desfavorable es 20 PSI, de acuerdo con la norma NFPA 15 (sección 8.1.2, 2017).

$$K_{Teorico} = \frac{23.77}{\sqrt{20}} = 5.31 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$$

Con este factor obtenido se realiza la comparación en las tablas proporcionadas por el fabricante.

Se selecciona el valor mínimo más cercano de la hoja de datos, por lo que las boquillas seleccionadas tienen el siguiente factor de descarga "K": 4.1 GPM / PSI^{0.5}, según la Tabla N° 19.

Presión mínima requerida

La presión mínima requerida se obtiene reemplazando el K real por el K teórico en la formula.

$$P_{Min} = \left(\frac{Q_{Asp}}{K_{Teorico}}\right)^2$$

$$P_{Min} = \left(\frac{23.77}{4.1}\right)^2 = 33.61 \text{ PSI}$$

Tabla 19

Lista de aspersores con certificación UL y FM

TABLA DE APROBACIONES															
Boquillas de pulverización modelo E															
Presión máxima de trabajo de 12 bar (175 psi)															
(consultar también los criterios de diseño)															
Ref. de la base ¹	SIN ²	Factor K Nominal		Angulo				Ref. de la base ¹	SIN ²			Angulo	Listado y Aprobaciones ⁴		
		U.S.	Métrico ³		cULus ⁵	NYC ⁶	FM			U.S.	métrico		cULus ⁵	NYC ⁶	FM
12867	VK810	7.2	103.7	65°	Sí	Sí	Sí	12895	VK814	7.2	103.7	125°	Sí	Sí	Sí
12868	VK810	5.6	80.6	65°	Sí	Sí	Sí	12896	VK814	5.6	80.6	125°	Sí	Sí	Sí
12869	VK810	4.1	59.0	65°	Sí	Sí	Sí	12897	VK814	4.1	59.0	125°	Sí	Sí	Sí
12870	VK810	3.2	46.1	65°	Sí	Sí	Sí	12898	VK814	3.2	46.1	125°	Sí	Sí	Sí ⁷
12871	VK810	2.3	33.1	65°	Sí	Sí	Sí	12899	VK814	2.3	33.1	125°	Sí	Sí	Sí ⁷
12872	VK810	1.8	25.9	65°	Sí	Sí	Sí	12900	VK814	1.8	25.9	125°	Sí	Sí	Sí ⁷
12873	VK810	1.2	17.3	65°	Sí	Sí	Sí	12901	VK814	1.2	17.3	125°	Sí	Sí	Sí ⁷
12874	VK811	7.2	103.7	80°	Sí	Sí	Sí	12902	VK815	7.2	103.7	140°	Sí	Sí	Sí
12875	VK811	5.6	80.6	80°	Sí	Sí	Sí	12903	VK815	5.6	80.6	140°	Sí	Sí	Sí
12876	VK811	4.1	59.0	80°	Sí	Sí	Sí	12904	VK815	4.1	59.0	140°	Sí	Sí	Sí
12877	VK811	3.2	46.1	80°	Sí	Sí	Sí	12905	VK815	3.2	46.1	140°	Sí	Sí	Sí ⁷
12878	VK811	2.3	33.1	80°	Sí	Sí	Sí	12906	VK815	2.3	33.1	140°	Sí	Sí	Sí ⁷
12879	VK811	1.8	25.9	80°	Sí	Sí	Sí	12907	VK815	1.8	25.9	140°	Sí	Sí	Sí ⁷
12880	VK811	1.2	17.3	80°	Sí	Sí	Sí	12908	VK815	1.2	17.3	140°	Sí	Sí	Sí ⁷
12881	VK812	7.2	103.7	95°	Sí	Sí	Sí	12909	VK816	7.2	103.7	160°	Sí	Sí	Sí

12882	VK812	5.6	80.6	95°	Sí	Sí	Sí	12910	VK816	5.6	80.6	160°	Sí	Sí	Sí
12883	VK812	4.1	59.0	95°	Sí	Sí	Sí	12911	VK816	4.1	59.0	160°	Sí	Sí	Sí
12884	VK812	3.2	46.1	95°	Sí	Sí	Sí	12912	VK816	3.2	46.1	160°	Sí	Sí	Sí ⁷
12885	VK812	2.3	33.1	95°	Sí	Sí	Sí	12913	VK816	2.3	33.1	160°	Sí	Sí	Sí ⁷
12886	VK812	1.8	25.9	95°	Sí	Sí	Sí	12914	VK816	1.8	25.9	160°	Sí	Sí	Sí ⁷
12887	VK812	1.2	17.3	95°	Sí	Sí	Sí	12915	VK816	1.2	17.3	160°	Sí	Sí	Sí ⁷
12888	VK813	7.2	103.7	110°	Sí	Sí	Sí	12916	VK817	7.2	103.7	180°	Sí	Sí	Sí
12889	VK813	5.6	80.6	110°	Sí	Sí	Sí	12917	VK817	5.6	80.6	180°	Sí	Sí	Sí
12890	VK813	4.1	59.0	110°	Sí	Sí	Sí	12918	VK817	4.1	59.0	180°	Sí	Sí	Sí
12891	VK813	3.2	46.1	110°	Sí	Sí	Sí	12919	VK817	3.2	46.1	180°	Sí	Sí	Sí ⁷
12892	VK813	2.3	33.1	110°	Sí	Sí	Sí	12920	VK817	2.3	33.1	180°	Sí	Sí	Sí ⁷
12893	VK813	1.8	25.9	110°	Sí	Sí	Sí	12921	VK817	1.8	25.9	180°	Sí	Sí	Sí ⁷
12894	VK813	1.2	17.3	110°	Sí	Sí	Sí	1222	VK817	1.2	17.3	180°	Sí	Sí	Sí ⁷

Acabados disponibles: latón o recubrimiento de níquel electroless⁸

¹ Se muestra la referencia base. Para obtener la referencia completa, consulte la lista de precios actual de Viking.

² Los deflectores de las boquillas están identificados con el número de modelo VK, el factor K y el ángulo de pulverización

³ El factor K métrico mostrado es aplicable cuando la presión se mide en bar. Si la presión mide en kPa, dividir la cifra indicada entre 10

⁴ Las aprobaciones que se indican están vigentes en el momento de la edición de este documento. Consulte con el fabricante

⁵ Aprobación UL Inc. Valida en U.S. y Canadá.

⁶ Aceptado para su uso por el City of New York Department of Building, MEA N° 89-92-E, Vol. 29.

⁷ El diámetro del orificio para las boquillas modelo E con factores K de 46 (3,2 US), 33 (2,3 US), 26 (1,8 US) y 17 (1,2 US) es inferior a 3/8" (9,4 mm). Se requiere un filtro con una perforación máxima de 1/8" (3,2 mm) para la aprobación FM.

⁸ Para la resistencia a la corrosión.

Fuente: Hoja Técnica Viking/Tyco – Boquilla Pulverizadora Modelo E VK814/D3.

Tabla 20

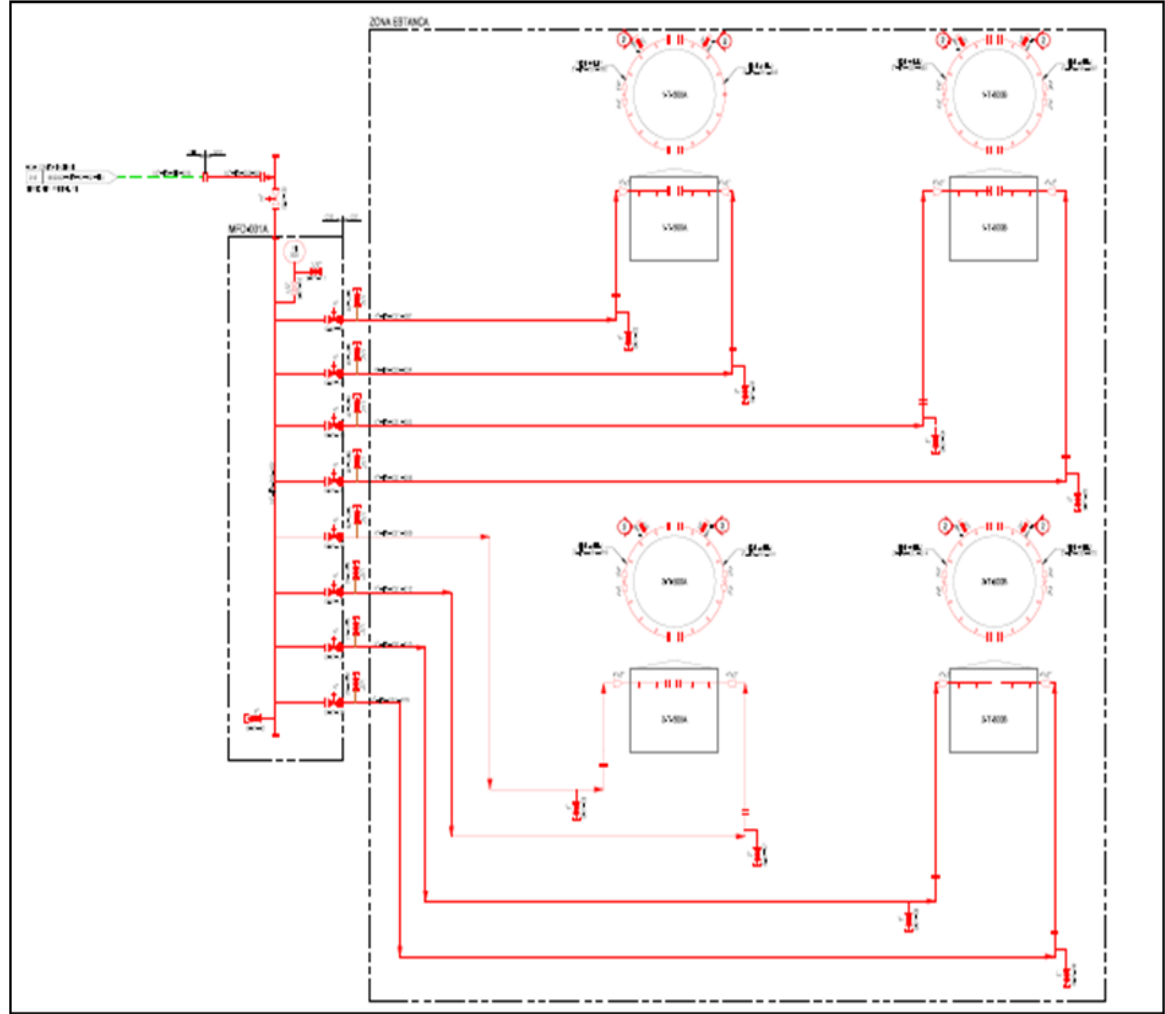
Parámetros mínimos para el cálculo hidráulico – Sistema de enfriamiento

Tanque	Nº de Aspersores por Anillo N_{asp}	Nº de Anillos	Secciones por Anillo	Caudal por Aspersor Q_{asp}	Factor k Comercial	Presión Mínima Requerida P_{req}
				GPM	GPM/PSI ^{1/2}	PSI
1-T-500A	46	1	2	23.77	4.1	33.61
1-T-500B	46	1	2	23.77	4.1	33.61
2-T-500A	46	1	2	23.77	4.1	33.61
2-T-500B	46	1	2	23.77	4.1	33.61

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 37

Distribución de agua desde Manifold hacia los aspersores



Fuente: Departamento de Ingeniería.

3.9.2 Sistema de espuma

3.9.2.1 Manifold de espuma y tuberías. El manifold del sistema de espuma consta de una tubería de 6" con salidas para las 6 líneas de tuberías que se dirigen a las cámaras de espuma, las líneas de espuma tienen válvulas ubicadas fuera del área de radiación de los tanques. En caso de incendio, personal entrenado activará manualmente las válvulas ubicadas en el tanque bladder y se acercará al manifold MFD-001B (manifold de sistema de espuma) del tanque incendiado para activar manualmente las válvulas correspondientes a su sistema de espuma.

Las tuberías de conducción de solución de espuma son de acero al carbono galvanizado (Sección 4.7.2.1 de la NFPA 11 Ed. 2016).

Las conexiones desde el manifold a los semi anillos en los tanques de almacenamiento son de tubería de 4" sch STD.

Figura 38

Manifold de espuma



Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.2 Cámara de espuma. Las cámaras de espuma a instalar en la parte superior del casco de los tanques se seleccionan teniendo los parámetros de caudal de fluido y el factor de selección de cámaras de espuma “K” (según fabricante).

De lo calculado anteriormente en la Tabla N° 12.

Caudal de espuma de tanques de crudo = 412.8 GPM

Caudal de espuma de tanques de diluyente = 238.6 GPM

Los fabricantes nos proporcionan la siguiente tabla N° 21, considerando 30 PSI para el flujo mínimo (utilizando el orificio más pequeño) y 100 PSI para el flujo máximo (utilizando el orificio más grande).

Tabla 21

Factor "K" de cámaras de espuma

MODELO	RANGO DE FLUJO	FACTOR "K"
ANSUL	GPM	GPM/PSI ^{1/2}
AFC-90	49 a 151	7.8 a 15.1
AFC-170	94 a 279	14.9 a 27.9
AFC -330	183 a 610	28.9 a 61
AFC -550	350 a 980	55.3 a 98.0

Fuente: Ficha de Datos Ansul - Form No. F-85154.

Para los tanques de crudo se selecciona la cámara de espuma modelo AFC-550 ya que el caudal necesario es 412.8 GPM y está dentro de su rango.

Para los tanques de diluyente se selecciona la cámara de espuma modelo AFC-330 ya que el caudal necesario es 238.6 GPM y está dentro de su rango.

Cálculo Factor K cámara de espuma tanques de crudo

Tomando los parámetros mínimos y máximos proporcionados por el fabricante, se procede a realizar una regla de 3 para hallar el factor K teórico, según la tabla N°21.

$$\Delta K = \frac{(98-55.3) \times (412.8-350)}{(980-350)} = 4.26 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$$

$$K_{\text{Teorico}} = K_{\text{Inicial}} + \Delta K$$

$$K_{\text{Teorico}} = 55.3 + 4.26 = 59.56 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$$

Cálculo de la presión mínima requerida en la cámara de espumacg

El factor K y la presión mínima se relacionan con la siguiente formula.

$$P_{Req} = \left(\frac{Q_{Cam}}{K_{Teorico}} \right)^2$$

$$P_{Req} = \left(\frac{412.8}{59.56} \right)^2 = 48.05 \text{ PSI}$$

Cálculo Factor K cámara de espuma tanques de diluyente

Tomando los parámetros mínimos y máximos proporcionados por el fabricante, se procede a realizar una regla de 3 para hallar el factor K teórico, según la tabla N°21.

$$\Delta K = \frac{(61-28.9) \times (238.6-183)}{(610-183)} = 4.18 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$$

$$K_{Teorico} = K_{Inicial} + \Delta K$$

$$K_{Teorico} = 28.9 + 4.18 = 33.08 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$$

Cálculo de la presión mínima requerida en la cámara de espuma

El factor K y la presión mínima se relacionan con la siguiente formula.

$$P_{Req} = \left(\frac{Q_{Cam}}{K_{Teorico}} \right)^2$$

$$P_{Req} = \left(\frac{238.6}{33.08} \right)^2 = 52.02 \text{ PSI}$$

Tabla 22

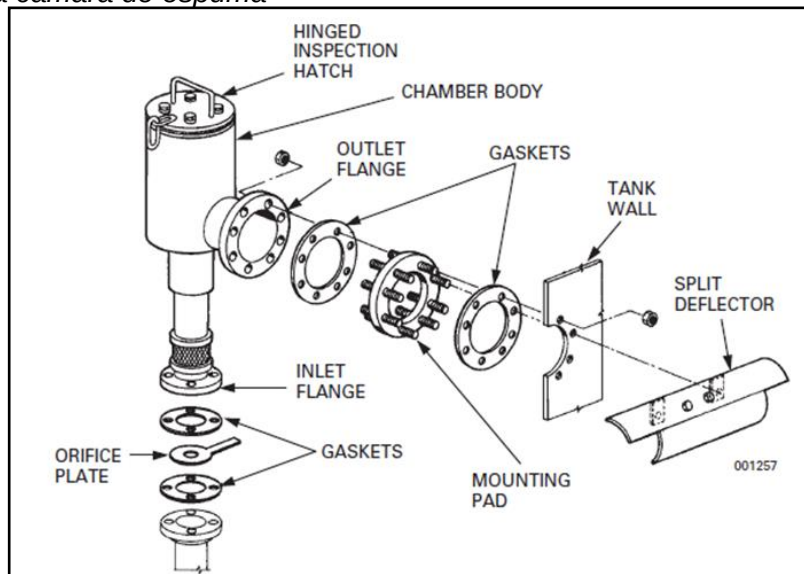
Parámetros mínimos de operación

Tanque	N° de Cámaras / Generadores	Caudal Requerido Solución de Espuma	Volumen de Concentrado de Espuma	Caudal por Cámara	Factor "K" Teórico	Presión Mínima Requerida	Cámaras de Espuma
		GPM	gal	GPM		PSI	Modelo
1-T-500A	1	412.8	681.16	412.8	59.56	48.05	AFC -550
1-T-500B	1	412.8	681.16	412.8	59.56	48.05	AFC -550
2-T-500A	1	412.8	681.16	412.8	59.56	48.05	AFC -550
2-T-500B	1	412.8	681.16	412.8	59.56	48.05	AFC -550
1-T-700A	1	238.6	393.63	238.6	33.08	52.02	AFC -330
2-T-700B	1	238.6	393.63	238.6	33.08	52.02	AFC -330

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 39

Partes de una cámara de espuma



Fuente: Data Sheet ANSUL, Foam chambers

Figura 40

Cámara de espuma tanque 1-T-500A



Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.3 Tanque bladder. De los cálculos anteriores, se verifica un requerimiento mínimo de concentrado de espuma de 681 galones para cubrir la mayor demanda de espuma sobre el incendio del tanque de Crudo, por lo tanto, se requiere un tanque bladder de mayor capacidad.

El tanque bladder seleccionado tiene una capacidad de 700 galones de concentrado por lo que cumple con lo necesario para un escenario de incendio.

Figura 41

Tanque Bladder



Fuente: Elaboración propia.

3.9.2.4 Espuma suplementaria (galoneras). Al lado de cada monitor hidrante, se colocarán 2 galoneras de 55 galones de 3% de concentrado de espuma AFFF, que ayudarán a la extinción de incendios menores aledaños.

Figura 42

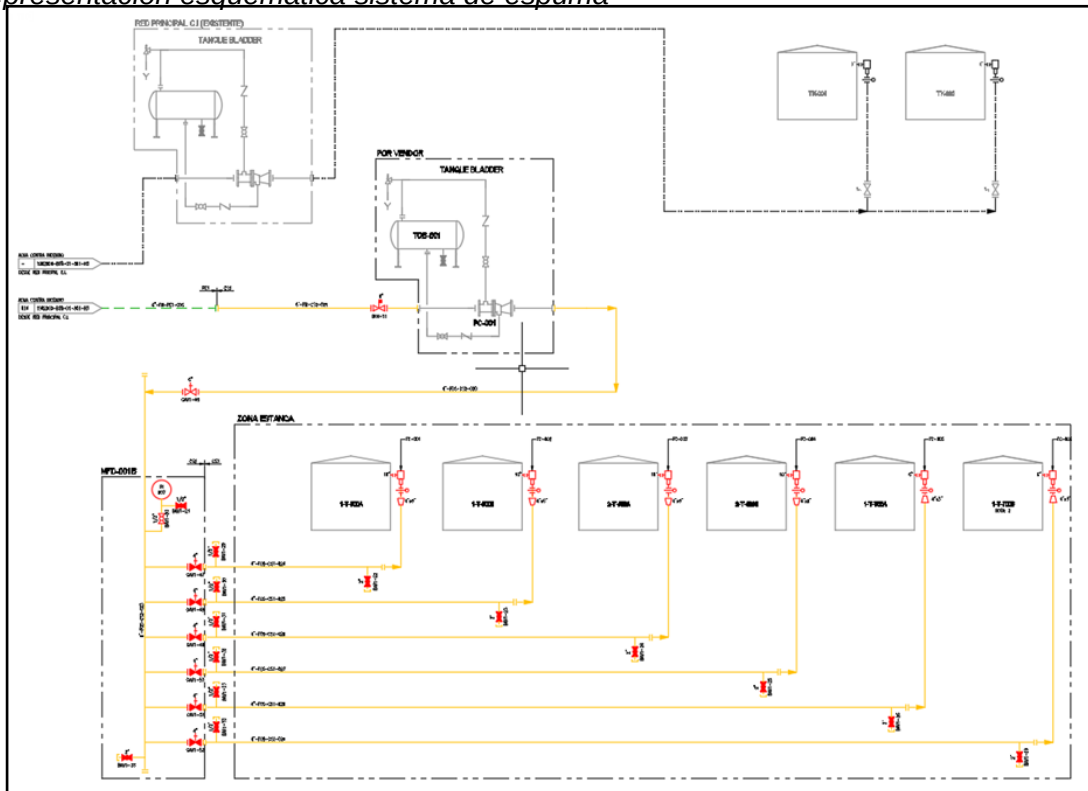
Galoneras – concentrado de espuma



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Representación esquemática sistema de espuma



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 44

Distribución de tuberías de agua y espuma



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se lista el cuadro de resumen de todos los componentes que se han detallado en el presente informe, así como sus parámetros principales y sus respectivos indicadores, los cuales deben de considerarse mínimamente.

Tabla 23

Resumen de equipos con sus parámetros e indicadores.

EQUIPOS	PARÁMETROS PRINCIPALES	INDICADORES
Cámaras de Espuma	Caudal de Fluido (GPM). Presión Mínima Requerida (PSI). Modelos. Factor K.	Por Diseño. Por Diseño. Según Fabricante. Por Cálculo.
Tanque Bladder	Capacidad de concentrado de espuma (gal).	Por Cálculo de Máxima Demanda.
Bombas de Captación	Tipo de bomba. Caudal (GPM) Presión (PSI).	Por Diseño, en su mayoría en SCI Centrifugas. Por Calculo. Por Diseño
Bomba Contra Incendio	Caudal Nominal (GPM). TDH (Total Dynamic Head) (PSI). Número de bombas. Tipo de Motor.	Por Calculo. Por Diseño. Por Normativa: 1 Principal, 1 Respaldo. Motor Diesel, Preferible alimentación independiente
Electrobomba Jockey	Caudal (GPM). Presión (PSI). Tablero de control.	Por diseño. Por diseño. Según fabricante.
Tanque de Agua	Volumen (Gal). Dimensiones. Criterios de diseño.	Por Cálculo de máxima demanda. Por Fabricante. Por Normativa.
Aspersores	Presión de Operación (PSI). Modelo. Factor K.	Por Calculo. Por Selección. Por Calculo.
Monitores Hidrantes	Presión Mínima en Conexiones (PSI). Flujo Mínimo en Conexiones de Manguera (GPM). Diámetro de tuberías (in).	Por Normativa. Por Normativa. Por Normativa.
Sistemas de Tuberías	Material. Diámetro.	Según su Uso: HDPE para enterradas, acero al carbono para aéreas. Por Cálculo.
Válvulas de Seccionamiento	Ubicación. Número. Función.	Por Diseño. Por Normativa, Por Diseño. Seccionamiento selectivo para reparaciones o extensiones

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Simulación para el cálculo de caudales

Para realizar el cálculo de caudales por cada escenario de incendio se va a utilizar como software de apoyo al AFT Fathom 10, en el cual se van a introducir los datos de las bombas a usar, así como los recorridos de tuberías y accesorios por cada tramo evaluado, se tienen consideraciones previas para la simulación como:

4.1.1 Bombas contra incendio

El sistema contra incendios cuenta con una motobomba principal de 2,000 GPM con un TDH de 150 PSI, así mismo cuenta con una bomba de respaldo con las mismas características.

La simulación hidráulica se realizará ingresando los datos de las curvas de performance de la bomba principal, siendo como parámetros principales los que se muestran en la Tabla N° 24.

Tabla 24

Caudal y TDH de bombas contra incendio existentes

CAUDAL (GPM)	TDH (PSI)
0	202
2000	150
3000	121

Fuente: Hoja de datos Bomba Contra Incendio.

4.1.2 Requerimientos del sistema de agua contra incendio

- La presión en las conexiones de mangueras de 2 1/2" hidráulicamente más desfavorables no será menor a 100 PSI, conforme a la NFPA 14 (sección 7.8.1, 2019).
- El flujo mínimo en las 2 conexiones de manguera de un monitor - hidrante, hidráulicamente más desfavorables, será de 500 GPM, conforme a la NFPA 14 (sección 7.10.1.1.1, 2019).
- Las tuberías que alimentan a hidrantes no deben ser menores a 6" de diámetro, conforme a la NFPA 24 (sección 5.2.1, 2019).

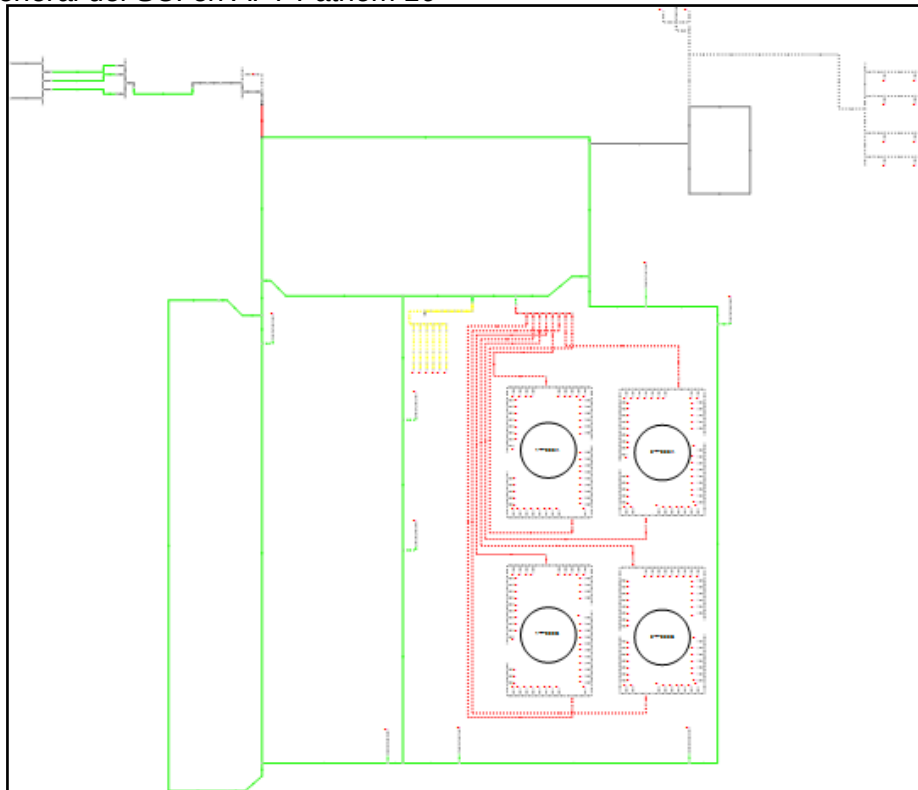
- Las tuberías que no alimentan hidrantes pueden tener un diámetro menor a 6" tales como:
 - Sistema de espuma
 - Sistema de enfriamiento fijo por aspersores de agua

4.2 Criterios de simulación

- Las longitudes, cantidad de accesorios y alturas geodésicas que se ingresan al modelo de simulación hidráulica están asociados al diseño constructivo de la maqueta 3D de la planta.
- Para efectos de simular los chorros para enfriamiento de tuberías, se ingresará al modelado hidráulico un accesorio al cual se le designará un $k=25 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ (250 GPM a 100 PSI).
- Para efectos de simular los chorros para aplicación de espuma suplementaria, se ingresará al modelado hidráulico un accesorio al cual se le designará un $k=5 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ (50 GPM a 100 PSI), para chorros de 50 GPM.

Figura 45

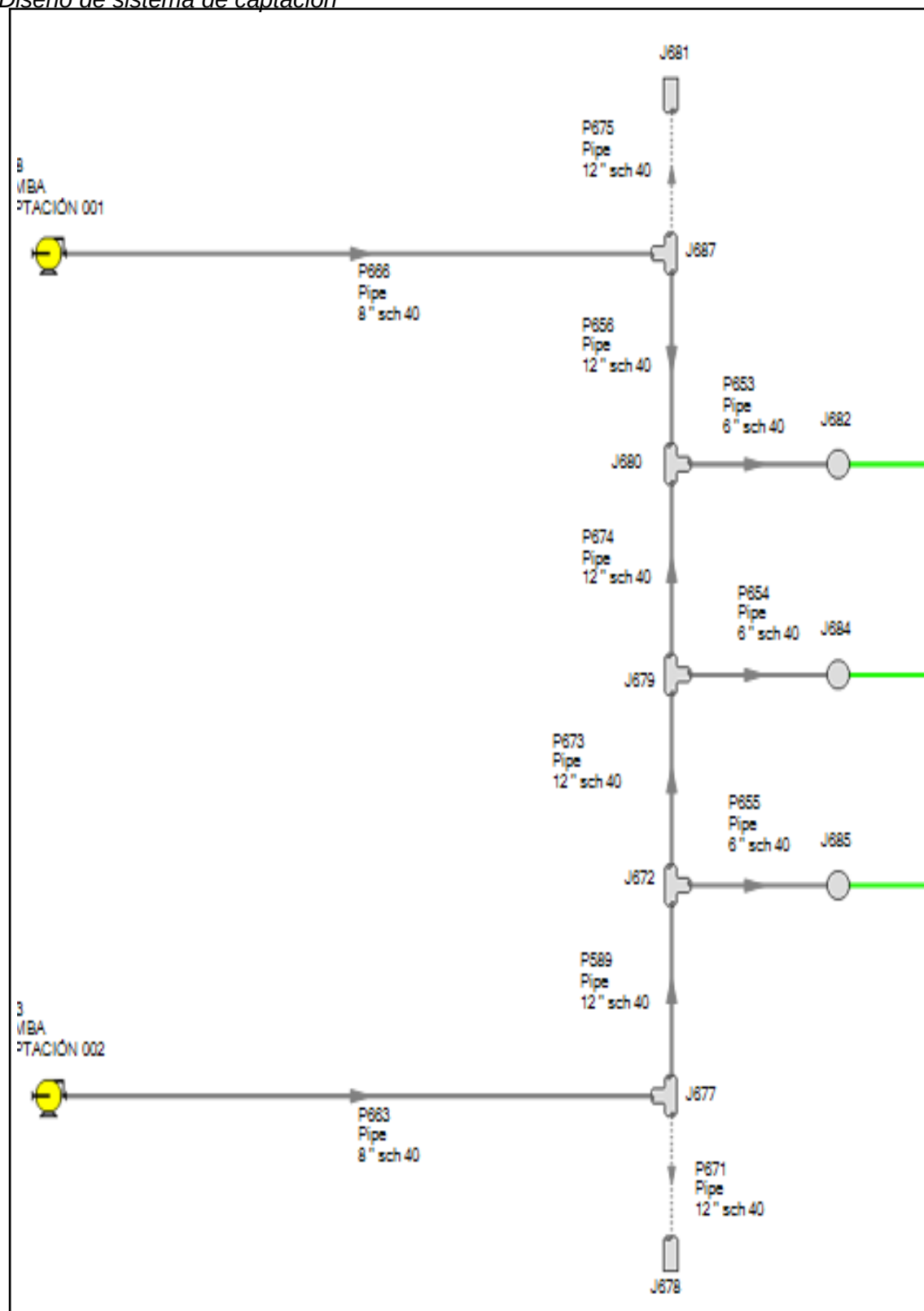
Diseño general del SCI en AFT Fathom 10



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 46

Diseño de sistema de captación



Fuente; Departamento de Ingeniería.

Figura 47

Parámetros de la bomba de captación

Pump Properties

Number:

Name:

Database List:

Copy Data From Jct...:

Upstream Pipe:

Downstream Pipe:

Elevation

Inlet:

Outlet: ☒ Same as Inlet

NPSH Reference:

OK Cancel Jump... Help

Pump Model Variable Speed Transient Optional Design Alerts Notes Status

Centrifugal (Rotodynamic) Positive Displacement

Analysis Type

☐ Pump Curve ☒ Sizing

☐ Impeller Modifications
Not available with the Sizing option

☐ Interstage Bleed/Takeoff Flow

☒ Submerged Pump

☐ Head (HGL) ☐ Pressure

Suction Pressure:

☐ Check Valve at Discharge (No Backflow Allowed)
Not available with the Sizing option

Pump Sizing

Parameter

☒ Volumetric Flow Rate

☐ Mass Flow Rate

☐ Head Rise

☐ Pressure Rise

Fixed Condition

Fixed Flowrate:

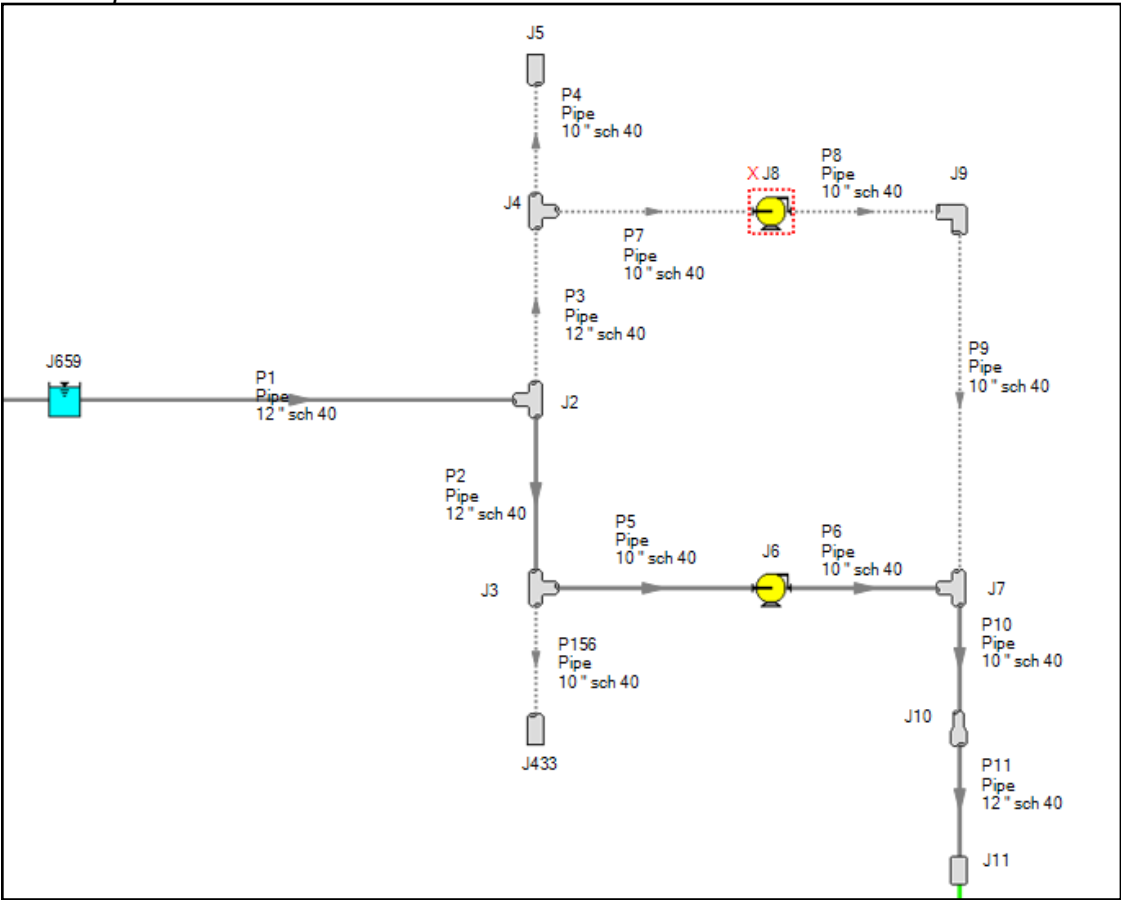
Nominal Efficiency: (optional)

Nominal NPSHR: (optional)

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 48

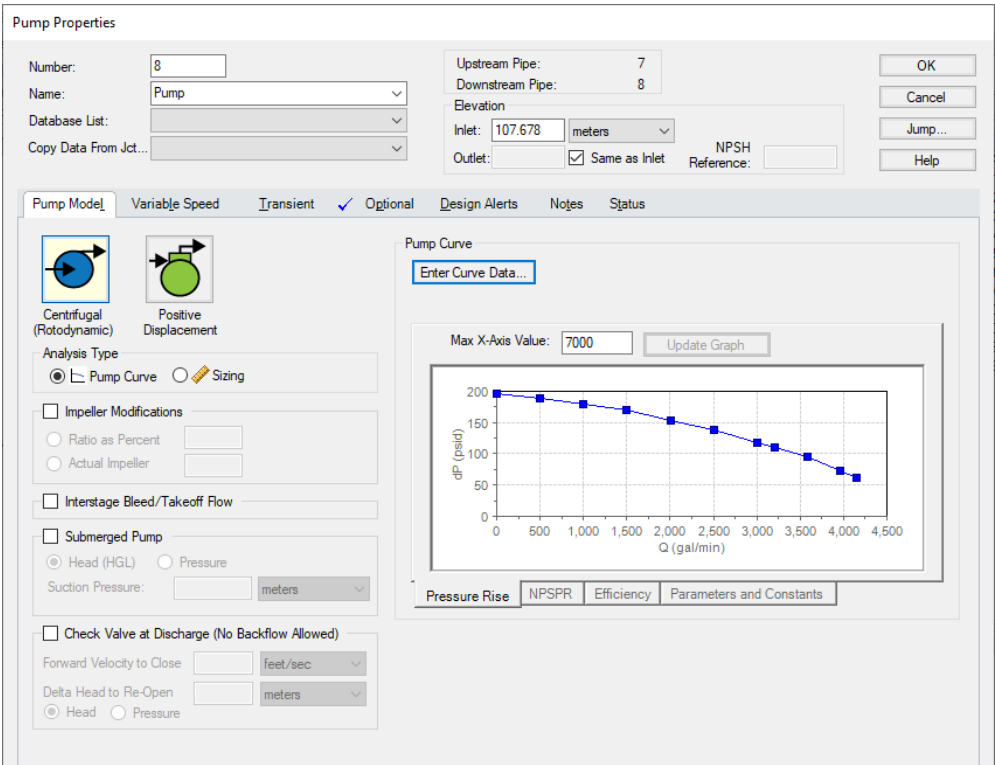
Diseño disposición bombas SCI



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 49

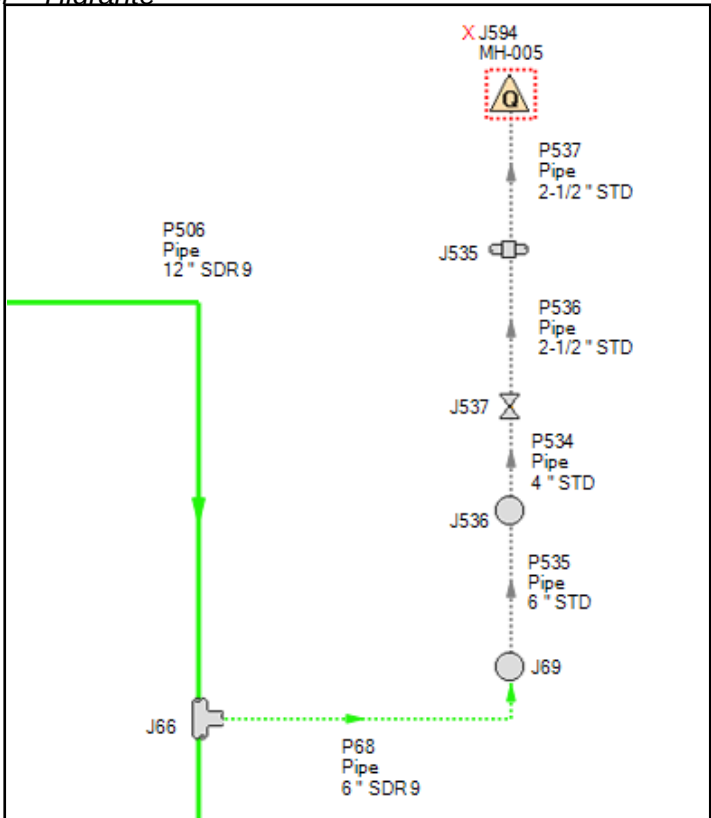
Parámetros de las bombas SCI



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 50

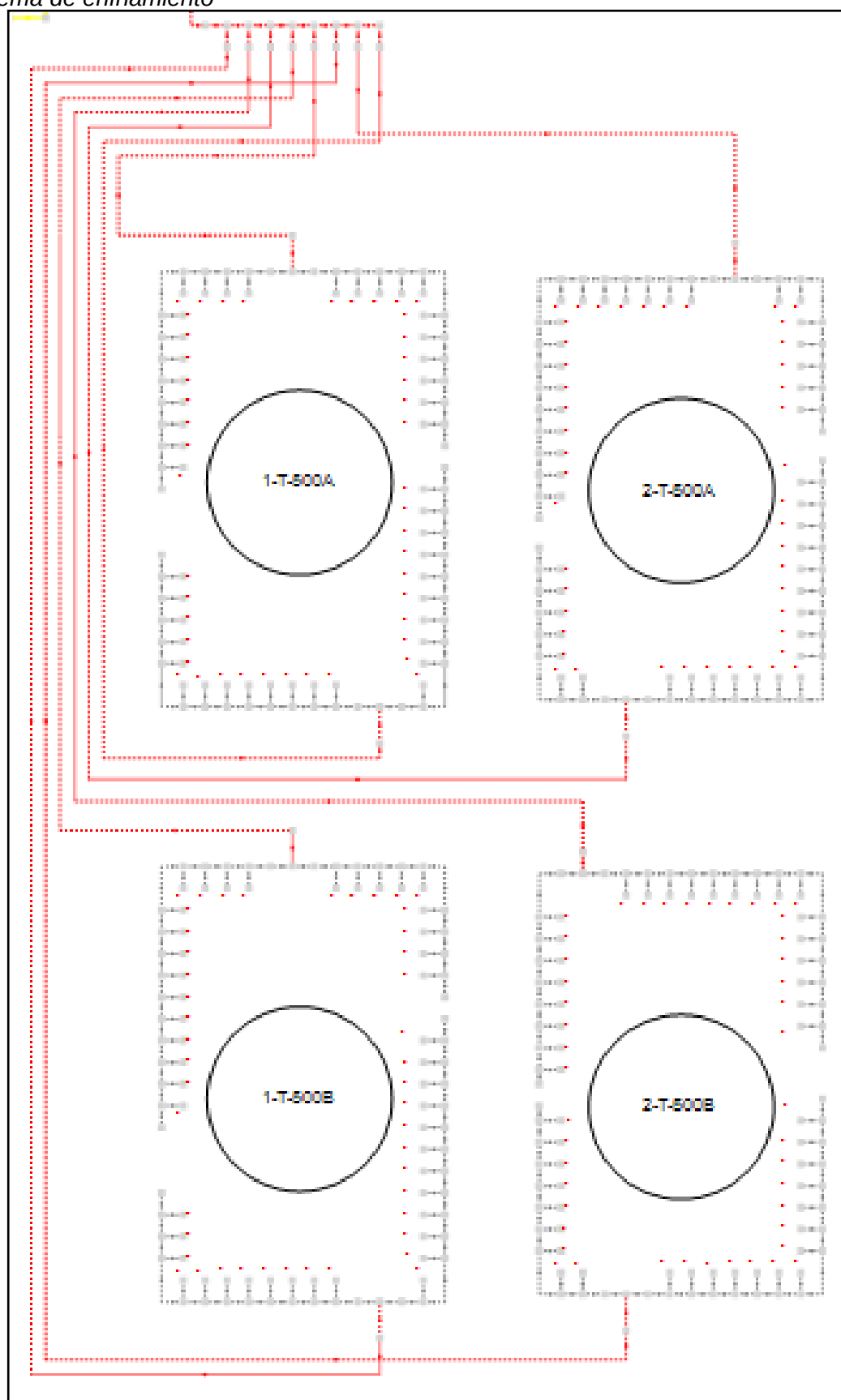
Diseño de Monitor – Hidrante



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 51

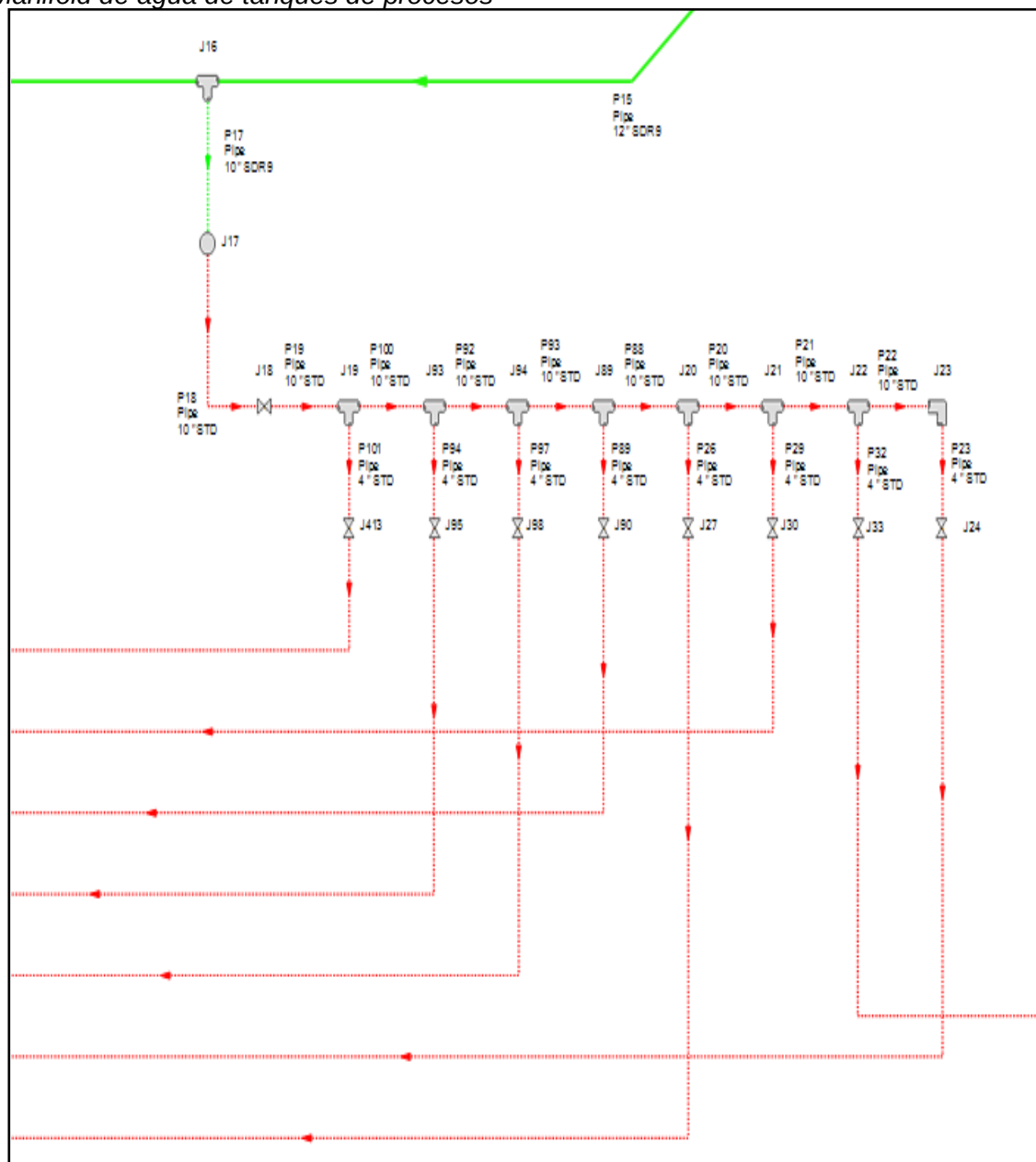
Sistema de enfriamiento



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 52

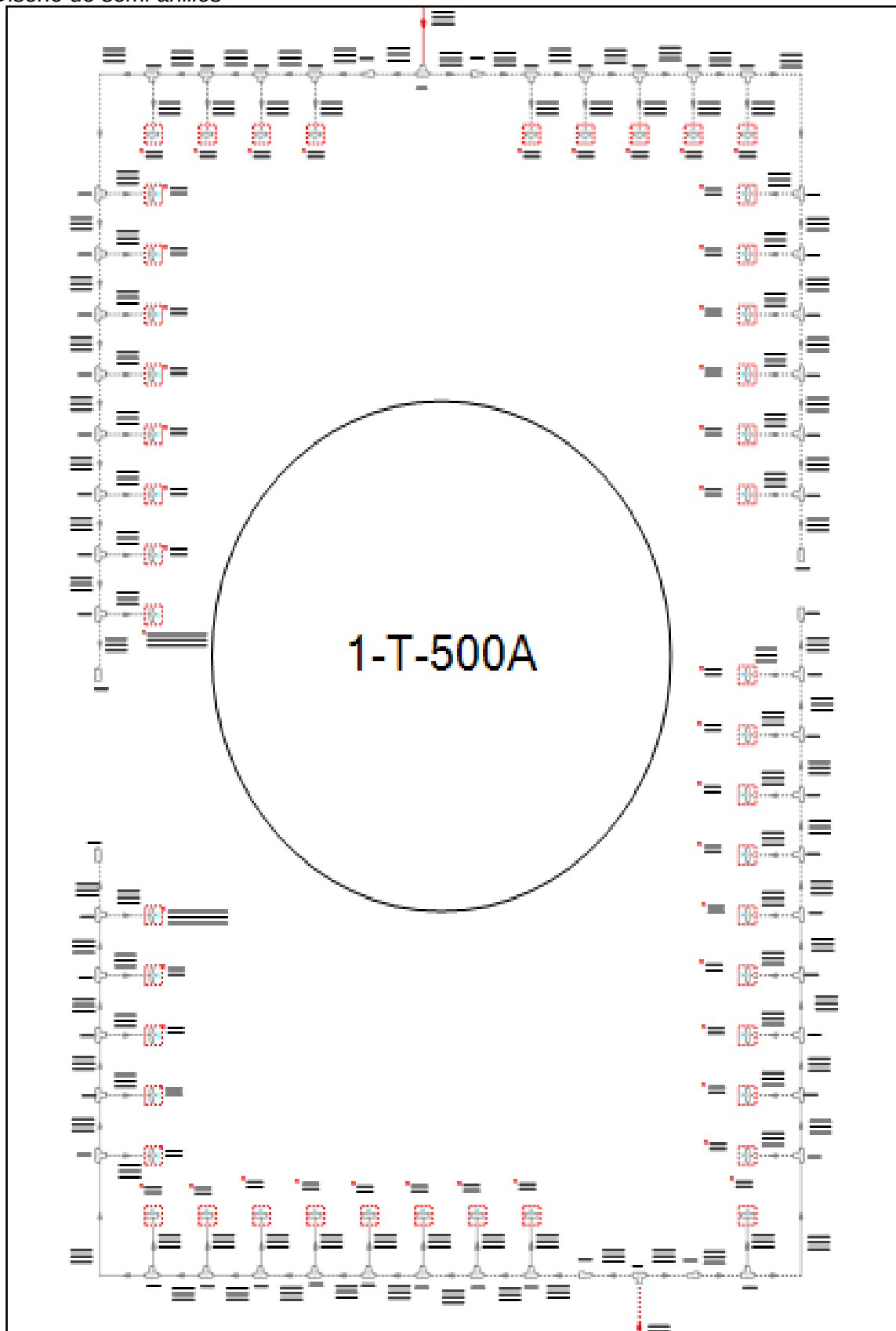
Manifold de agua de tanques de procesos



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 53

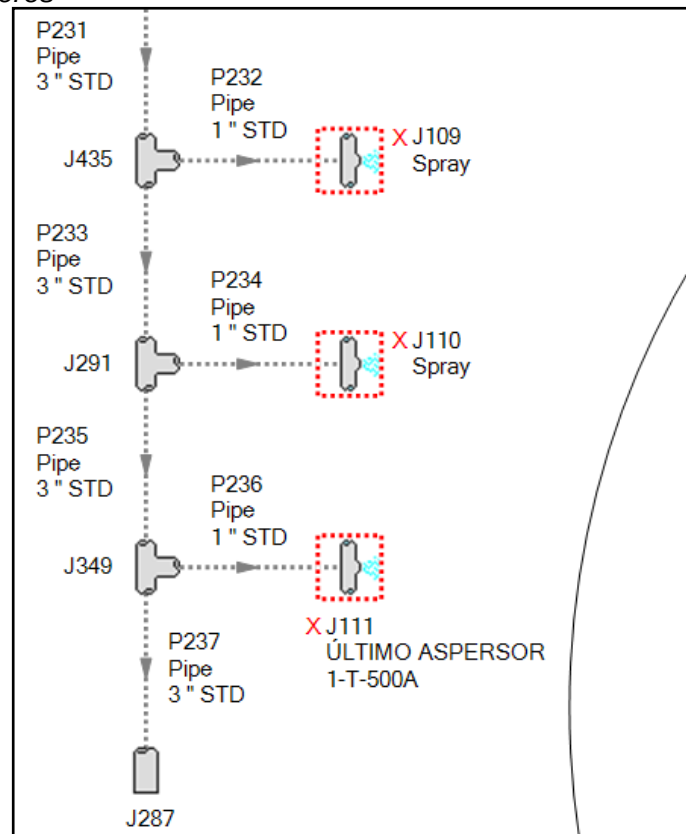
Diseño de semi anillos



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 54

Diseño de aspersores



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 55

Parámetros de aspersores

Spray Discharge Properties

Number: 111

Name: ÚLTIMO ASPERSOR 1-T-500A

Database List:

Copy Data From Jct...

Elevation: 114.862 meters

OK

Cancel

Jump...

Help

Loss Model Pipe Losses Transient **Optional** Design Alerts Notes Status

Loss Model

☐ Cd Spray (Discharge Coefficient)

☒ K (Fire Sprinkler)

☐ Resistance Curve

Exit Properties

☐ Head (HGL) ☒ Pressure

Exit Pressure: 1 atm

Exit Temperature: deg. F

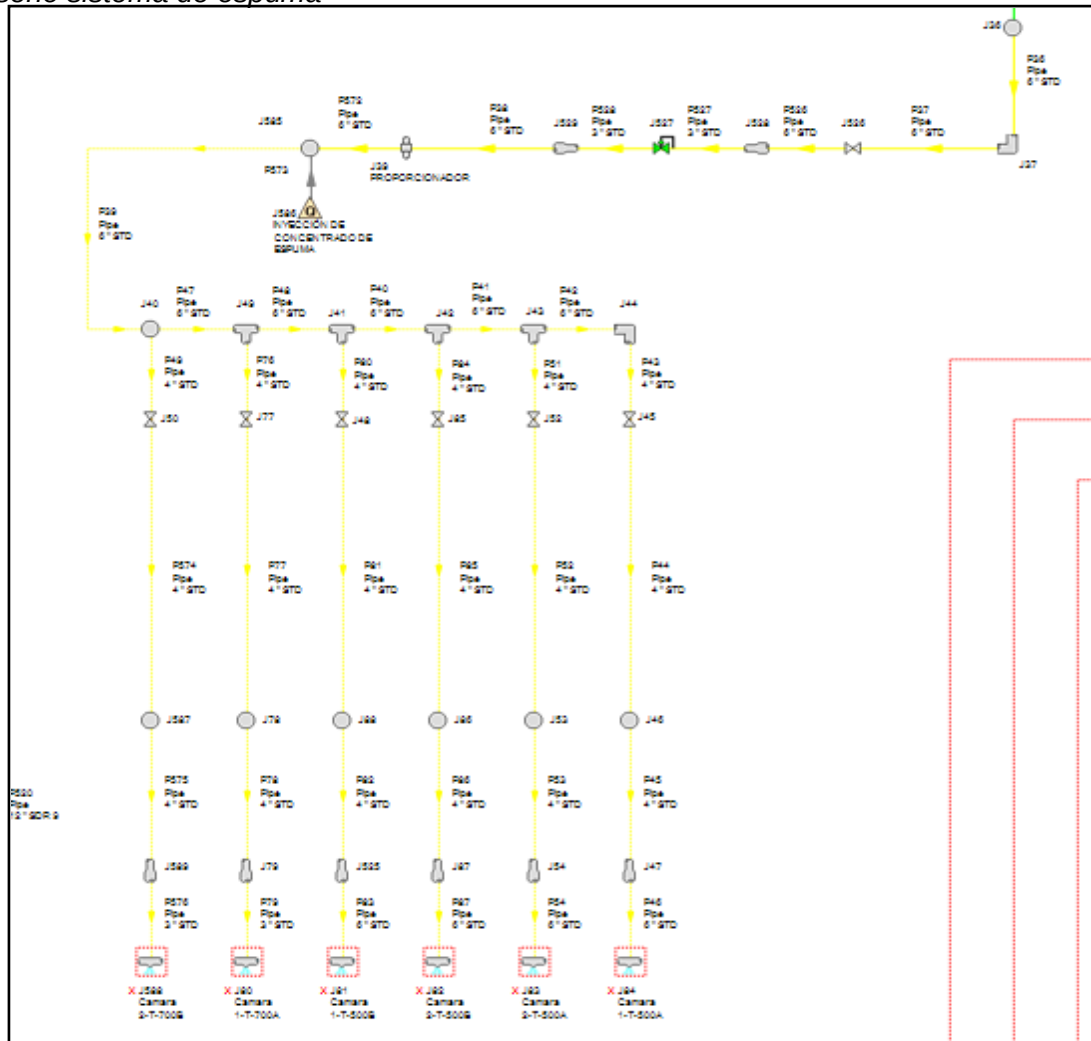
K (Fire Sprinkler): 4.1 gal/min per square root of psid

Number of Sprinklers: 1

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 56

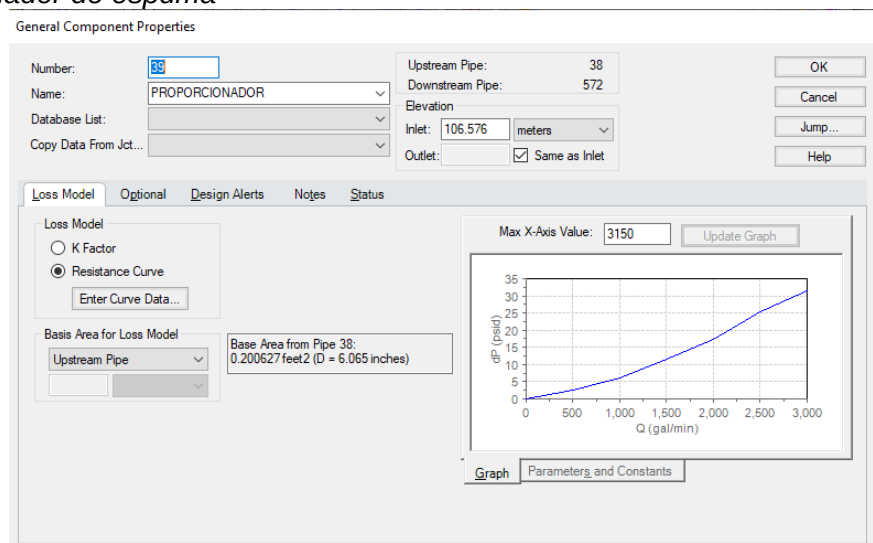
Diseño sistema de espuma



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 57

Proporcionador de espuma



Fuente: Departamento de Ingeniería.

Parámetros cámara de espuma

Figura 58

Cámara de espuma 1-T-500A

The screenshot shows the 'Spray Discharge Properties' dialog box. The 'Number' field is set to 34. The 'Name' is 'Camara 1-T-500A'. The 'Elevation' is 115.494 meters. The 'Loss Model' tab is selected, showing 'K (Fire Sprinkler)' as the chosen model. The 'Exit Properties' section shows 'Pressure' as the exit type, with an 'Exit Pressure' of 1 atm. The 'K (Fire Sprinkler)' value is 59.56 gal/min per square root of psid. The 'Number of Sprinklers' is 1.

Field	Value
Number	34
Name	Camara 1-T-500A
Elevation	115.494 meters
Loss Model	K (Fire Sprinkler)
Exit Properties	Pressure
Exit Pressure	1 atm
K (Fire Sprinkler)	59.56 gal/min per square root of psid
Number of Sprinklers	1

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Figura 59

Cámara de espuma 1-T-700A

The screenshot shows the 'Spray Discharge Properties' dialog box. The 'Number' field is set to 20. The 'Name' is 'Camara 1-T-700A'. The 'Elevation' is 118.021 meters. The 'Loss Model' tab is selected, showing 'K (Fire Sprinkler)' as the chosen model. The 'Exit Properties' section shows 'Pressure' as the exit type, with an 'Exit Pressure' of 1 atm. The 'K (Fire Sprinkler)' value is 33.08 gal/min per square root of psid. The 'Number of Sprinklers' is 1.

Field	Value
Number	20
Name	Camara 1-T-700A
Elevation	118.021 meters
Loss Model	K (Fire Sprinkler)
Exit Properties	Pressure
Exit Pressure	1 atm
K (Fire Sprinkler)	33.08 gal/min per square root of psid
Number of Sprinklers	1

Fuente; Departamento de Ingeniería.

4.3 Resultados de Simulación

Se realizará la simulación para todos los escenarios de diseño tomando en consideración la tabla N° 7; detallándose los resultados obtenidos en el escenario 1 el cual representa el incendio del tanque 1-T-500A.

4.3.1 Resultados de simulación en el sistema de espuma

Tabla 25

Validación de parámetros del sistema de extinción de incendios

Escenario	Tanque	Tipo de Equipo	Número de Equipos	Modelo de Equipo	Comparación de Parámetros de Operación				
					Caudal		Presión		Cumple
					Teórico	Real	Teórico	Real	
					GPM	GPM	PSI	PSI	
1	1-T-500A	Cámara	1	AFC - 550	412.82	464.22	48.05	60.58	Si
2	1-T-500B	Cámara	1	AFC - 550	412.82	437.10	48.05	53.71	Si
3	2-T-500A	Cámara	1	AFC - 550	412.82	423.44	48.05	50.41	Si
4	2-T-500B	Cámara	1	AFC - 550	412.82	425.61	48.05	50.92	Si
5	1-T-700A	Cámara	1	AFC - 330	238.6	262.94	52.02	63.004	Si
6	2-T-700B	Cámara	1	AFC - 330	238.6	258.74	52.02	61.013	Si

Fuente: Departamento de Ingeniería.

Tabla 26

Parámetros de operación en manifold del sistema de extinción de incendios

Escenario	Equipo	Caudal Requerido	Parámetros de Operación Simulados	
		Teórico	Simulado	Simulado
		GPM	GPM	PSI
1	Manifold de Espuma	412.82	464.22	88.927
2	Manifold de Espuma	412.82	437.10	88.977
3	Manifold de Espuma	412.82	423.44	89.005
4	Manifold de Espuma	412.82	425.61	89.000
5	Manifold de Espuma	238.6	262.94	89.421
6	Manifold de Espuma	238.6	258.98	89.38

Fuente: Departamento de Ingeniería.

En la simulación se encuentra que el valor de salida de la presión en el manifold de espuma es demasiada elevada, por lo que se opta en incluir al diseño una válvula

reguladora de presión la que mantendrá una presión estable alrededor de los 90 PSI, con lo que se regularía el consumo de caudal de agua y espuma en la cámara de espuma simulada.

Tabla 27

Parámetros de operación de válvula reguladora de presión

Escenario	Equipo	Parámetros de Operación Simulados			
		Caudal	Presión de Entrada	Presión de Salida	Set de Válvula Reguladora de Presión
		GPM	PSIg	PSIg	PSIg
1	Válvula Reguladora de Presión	450.29	131.863	92.564	90
2	Válvula Reguladora de Presión	423.99	133.731	92.273	90
3	Válvula Reguladora de Presión	410.74	134.327	92.133	90
4	Válvula Reguladora de Presión	412.84	134.323	92.155	90
5	Válvula Reguladora de Presión	258.072	192.617	90.842	90
6	Válvula Reguladora de Presión	250.987	192.690	90.796	90

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.3.2 Resultados de simulación en el sistema de enfriamiento

Se mostrarán los resultados de la simulación del escenario de Incendio 1: Incendio en el tanque 1-T-500-A.

4.3.2.1 Activación del sistema de enfriamiento del tanque 2-T-500A.

Tabla 28

Validación de parámetros del sistema de enfriamiento –Tanque 2-T-500A

Tanque	Ubicación	Equipo	Modelo de Equipo	Comparación de Parámetros de Operación del aspersor hidráulicamente más alejado.				
				Caudal		Presión		Ch'k
				Teórico	Simulado	Teórico	Simulado	
				GPM	GPM	PSI	PSI	
2-T-500A	Sección de Anillo 1	Aspersor más Desfavorable	D3	23.77	25.95	33.61	39.963	OK
	Sección de Anillo 2*	Aspersor más Desfavorable	D3	23.77	-	33.61	-	-

Nota: (*) La sección de Anillo 2 del Tanque 2-T-500A no se activa en los escenarios establecidos.

Fuente: Departamento de Ingeniería

4.3.2.2 Activación del sistema de enfriamiento del tanque 1-T-500B.

Tabla 29

Validación de parámetros del sistema de enfriamiento – Tanque 1-T-500B

Tanque	Ubicación	Equipo	Modelo de Equipo	Comparación de Parámetros de Operación del aspersor hidráulicamente más alejado.				
				Caudal		Presión		Ch'k
				Teórico	Simulado	Teórico	Simulado	
				GPM	GPM	PSI	PSI	
1-T-500B	Sección de Anillo 1	Aspersor más Desfavorable	D3	23.77	27.39	33.61	44.511	OK
	Sección de Anillo 2	Aspersor más Desfavorable	D3	23.77	-	33.61	-	-

Nota: () La sección de Anillo 2 del Tanque 1-T-500B no se activa en los escenarios establecidos.*

Fuente: Departamento de Ingeniería

4.3.2.3 Enfriamiento de techos afectados ante el evento de incendio del tanque evaluado.

Tabla 30

Parámetros de operación en monitores – Escenario 1

Equipo	Uso	Caudal Requerido	Parámetros de Operación Simulados	
		Teórico	Simulado	Simulado
		GPM	GPM	PSI
MH-005	Enfriamiento de Techo de Tanque 2-T-500A	206.41	206.41	127.236
MH-007	Enfriamiento de Techo de Tanque 1-T-500B	206.41	206.41	127.699

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.3.2.4 Activación de medio externo para enfriamiento de tuberías.

Tabla 31

Parámetros de operación para enfriamiento de tuberías – Escenario 1

Equipo	Caudal Requerido	Parámetros de Operación Simulados	
	Teórico	Simulado	Simulado
	GPM	GPM	PSI
MH-005	250	250	117.359

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.3.2.5 Activación de medio externo para aplicación de espuma suplementaria.

Tabla 32

Parámetros de operación para espuma suplementaria – Escenario 1

Equipo	Caudal Requerido de solución de Espuma	Caudal Requerido de Concentrado Espuma al 3%	Caudal Requerido de Agua al 97%	Parámetros de Operación Simulados	
	Teórico	Teórico	Teórico	Simulado	Simulado
	GPM	GPM	GPM	GPM	PSI
MH-007	100	3	97	100	112.275

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.3.2.6 Parámetros de operación obtenidos en el manifold del sistema de enfriamiento.

Tabla 33

Parámetros de operación para enfriamiento de tuberías – Escenario 1

Equipo	Caudal Requerido	Parámetros de Operación Simulados	
	Teórico	Simulado	Simulado
	GPM	GPM	PSI
Manifold de enfriamiento	1093.27	1,333.67	133.930

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.3.2.7 Comportamiento del sistema de bombeo contra incendios ante la activación del escenario de Incendio N°1.

Tabla 34

Descarga de bomba – Escenario 1

Escenario 1					
Tanque Incendiado	Parámetros Reales de Operación				Caudal total
	Bomba 1		Bomba 2		
	Caudal	TDH	Caudal	TDH	
	GPM	PSI	GPM	PSI	
	GPM	PSI	GPM	PSI	
1-T-500A	2,547	136.2	-	-	2,547

Fuente: Departamento de Ingeniería.

4.4 Validación del SCI ante OSINERGMIN

Los cálculos finales del sistema serán validados mediante una prueba en presencia de OSINERGMIN para que se otorgue la licencia de funcionamiento del sistema calculado y construido.

En base al escenario de mayor riesgo se ha dispuesto de instrumentos debidamente certificados por la INACAL para poder medir los valores de presión en los puntos más importantes de la Red del Sistema Contra Incendio, las ubicaciones se detallan a continuación.

- Manómetro (M1) en Manifold de enfriamiento: Presión esperada = 133.930 psi.
- Manómetro (M2) en Ultimo Aspersor del Tanque 2T-500A: Presión esperada = 39.963 psi.
- Manómetro (M3) en Ultimo Aspersor del tanque 1T-500B: Presión esperada = 44.511 psi.
- Manómetro (M4) en Manifold de Espuma: Presión esperada= 88.927 psi.
- Manómetro (M5) en el montante de la Cámara de Espuma: Presión esperada =76.08 psi.
- Manómetro (M6) en el monitor hidrante MH 08: Presión residual esperada $\geq$ 20 psi.
- Pitón para enfriamiento de techo 2T-500-A en el monitor hidrante MH 05: 206.41 gpm.
- Pitón para enfriamiento de techo 1T-500-B en el monitor hidrante MH 07: 206.41 gpm.
- Manguera de 2 ½" con pitón para enfriamiento de tuberías en el monitor hidrante MH 05: 250 gpm.
- Manguera de 1 ½" con pitón para protección suplementaria con espuma en el monitor hidrante MH 08: 100 gpm.
- En una de las salidas de los hidrantes MH 05 y MH 07 se colocaron los manómetros M7 y M8 respectivamente con el fin de verificar que las presiones no sean menores

Se establece que la posición hidráulicamente más desfavorable de los aspersores es el que se encuentra ubicado al final del semi anillo de la pared derecha del tanque 2-T-500-A y al final del semi anillo de la pared izquierda del tanque 1-T-500-B.

Cabe señalar que las lecturas de las presiones en todos los manómetros de los sistemas de aspersores, espuma y monitores-hidrantes, se realizó con todos los sistemas en funcionamiento con el fin de comprobar los datos durante la máxima demanda, registrándose los siguientes valores:

Tabla 35

Resultados de prueba de máxima demanda

Tipo de protección	Sistema activado	RESULTADOS DE PRUEBA			PRUEBA 1	
		Caudal requerido por la memoria (gpm)	Identificación	Presión esperada en monitores e hidrantes (psi)	Presión Memoria de cálculo (psi)	Presión obtenida en campo (psi)
Enfriamiento de 25% techo 1-T-500B	MH07-Piton de 2 1/2" regulado a 200 gpm con presión de trabajo de 100 psi, marca Protek	206.41	M8 Código: O-038	>=100		130
Protección suplementaria de espuma	MH07 -Manguera 1 1/2 " con pitón regulado a 100 gpm con presión de trabajo de 100 psi, Marca Protek	100				
Enfriamiento de 25% techo 2-T-500A	MH05-Piton de 2 1/2" regulado a 200 gpm con presión de trabajo de 100 psi, marca Protek	206.41	M7 Código: LMC-620	>=100		128
Protección de tuberías	MH05 Manguera 2 1/2" con pitón regulado a 250 gpm con presión de trabajo de 100 psi, marca	250				
Enfriamiento de 50% Pared 1-T-500B	Semianillo Izquierda	538.03	M3 Código: 0-046		44.511	45
Enfriamiento de 50% Pared 2-T-500A	Semianillo derecha	538.03	M2 Código: 0-011		39.963	45
Extinción Tanque 1-T-500A	Montante de camara Espuma	412.38	M5 Código: 0-049		76.08	76
Extinción Tanque 1-T-500A	Manifold Espuma		M4 Código: 0-027		88.927	92
Enfriamiento de paredes	Manifold de agua para espersores		M1 Código: 0-030		133.93	132
Presión residual	MH08		M6 Código: 0-034		>=20	130

Fuente: Trabajos realizados con el departamento de seguridad de la operadora.

En el sistema de aspersores del tanque 2-T500-A (M2) se obtuvo 45 psi en el aspersor hidráulicamente más desfavorable, el valor es superior a los 39.963 psi de la memoria de cálculo y en sistema de aspersores del tanque 1T-500-B (M3) se obtuvo 45 psi en el aspersor hidráulicamente más desfavorable, el valor es superior a los 44.511 psi de la memoria de cálculo y en el sistema de espuma la presión obtenida en la montante de la cámara de espuma (M5) fue de 76 psi igual al valor de la memoria de cálculo de 76.08 psi, de acuerdo con la memoria de cálculo garantiza de que la presión esperada en la descarga de la cámara de espuma sea 60.58 psi.

Los resultados de la prueba de máxima demanda fueron satisfactorios, las presiones obtenidas en M2, M3 y M5 garantizan que los aspersores y la cámara de espuma descarguen los caudales establecidos en la memoria de cálculo.

Tabla 36

Resultados satisfactorios para el escenario de incendio N° 1.

Resultados satisfactorios para el escenario de incendio N° 1:							
Tipo de protección	Sistema activado	RESULTADOS DE PRUEBA			PRUEBA 1	RESULTADO	
		Caudal requerido por la memoria (gpm)	Identificación	Presión esperada en monitor e hidrantes (psi)	Presión Memoria de Cálculo (psi)		Presión obtenida en campo (psi)
Enfriamiento de 50% de pared 1-T-500-B	Semianillo Izquierda	538.03	M3 Código O-046		445.11	45	CUMPLE
Enfriamiento de 50% de pared 2-T-500-A	Semianillo Derecha	538.03	M2 Código O-011		39.963	45	CUMPLE
Extinción Tanque 1-T-500A	Montante de Cámara de Espuma	412.38	M5 Código O-049		76.08	76	CUMPLE

Fuente: Trabajos realizados con el departamento de seguridad de la operadora.

Adicionalmente se verifica que las presiones obtenidas en los aspersores hidráulicamente más desfavorables superan la presión mínima requerida de 20 psi, por tanto, cumple con el requisito 8.1.2 de la NFPA 15 y durante la prueba se verificó que todas las boquillas descargaron agua, estuvieron apropiadamente posicionadas y no se observó obstrucciones en la descarga, por tanto, cumple con el requisito 10.4.3.1 de la NFPA 15.

4.4.2 Pruebas de rendimiento de las Bombas Contra Incendios

Se realizaron las pruebas de rendimiento de las bombas contra incendios principal y stand by, cumpliendo el protocolo establecido en la norma NFPA 25. Se realizaron las pruebas de flujo a caudal 0%, 100% y 150%, pruebas de arranque y pruebas de alarmas. Las pruebas de rendimiento de las bombas se realizaron en el cabezal de pruebas, para ello se usó los siguientes equipos e instrumentos de medición:

- 03 Tubos pitot con certificación UL
- 03 Manómetros de 0-160 psi calibrados
- 02 Manómetros de 0 a 300 psi calibrados para la descarga
- 01 Mano vacuómetro de - 30 inHg a 100 psi calibrado para succión
- 01 Mano vacuómetro de -30 inHg a 200 psi calibrado para succión
- Tacómetro calibrado

Tabla 37

Datos de la prueba en la bomba principal

A. Datos generales										Designación					Bomba Principal		
Propietario	Operadora	Motobomba	Tipo de motor	Diesel						Controlador							
Instalación	Lote Petrolero	USA-01-19-9543	N° Serie	*P66068E007889*						N° Serie					FA1094531		
Ciudad	Loreto	SPP. PUMPS	Fabricante	JHON DEERE						Modelo					4		
Fecha		TD20E	Modelo	6068HF252						N° de Catalogo					FTA1100-JL12N		
Ejecuto		150	Voltaje	NA						Caudal@ 150% (GPM)					3000		
Reviso		2000	Amperaje	NA						Max Presión Q=0 (PSI)					201.8		
Equipos instalados por UL/FM	SI	2800	Ciclos de fase	NA						Presión Q=150% (PSI)					121.01		
B. Datos de campo																	
Prueba	Pruebas con PITOT en boquillas									P. Est	P. Succ(i)	P. Succ(f)	P. Desc	P. Neta	RPM	Cor	Volt
	Φ (Pulg)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	psi	psi	psi	psi	psi		(Amp)	(V)
Caudal 0	0 gpm									9	9	0	204	204	2861	NA	NA
100%	psi		15	12													
	gpm	2006	719	643	0	0	0	0	0	0	9	8	-1	147	148	2710	NA
150%	psi		28	29													
	gpm	3000	983	1000	0	0	0	0	0	0	9	7	-2	121	123	2769	NA

Fuente: Trabajos realizados con el departamento de seguridad de la operadora.

Tabla 38

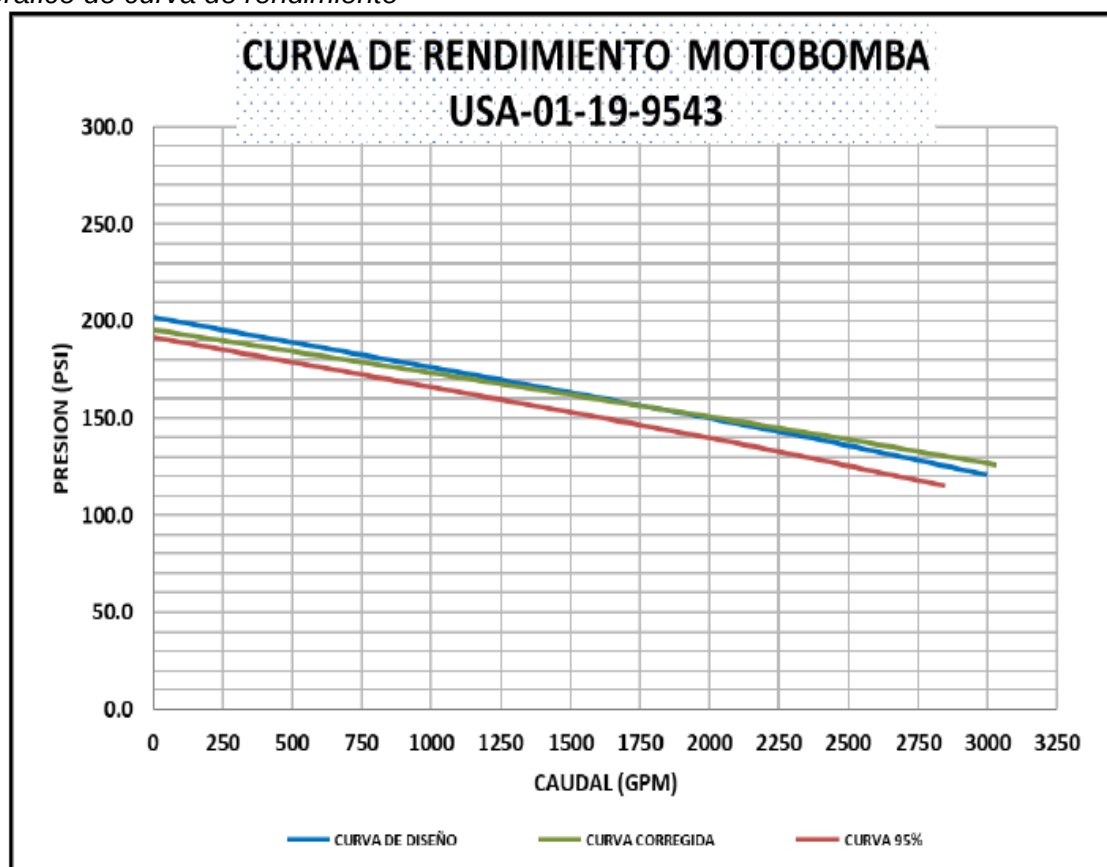
Valores corregidos a RPM nominal

	CURVA DE DISEÑO		CURVA DE PRUEBA		CURVA CORREGIDA		CURVA 95%	
	gpm	psi	gpm	psi	gpm	psi	gpm	psi
0%	0	201.8	0	204	0	195	0	191.7
100%	2000	150.0	2006	148	2020	150	1900	142.5
150%	3000	121.0	3000	123	3033	126	2850	115.0

Fuente: Trabajos realizados con el departamento de seguridad de la operadora.

Figura 61

Gráfico de curva de rendimiento



Fuente: Trabajos realizados con el departamento de seguridad de la operadora.

Como se puede apreciar en el gráfico de la curva de rendimiento, el desempeño de la bomba principal está por encima del 95% de desempeño de fábrica en caudal cero, nominal y sobrecarga, por tanto, cumple con el requisito 8.3.7.2.3 de la norma NFPA 25.

4.5 Registros fotográficos de la validación del SCI por OSINERGMIN

Figura 62

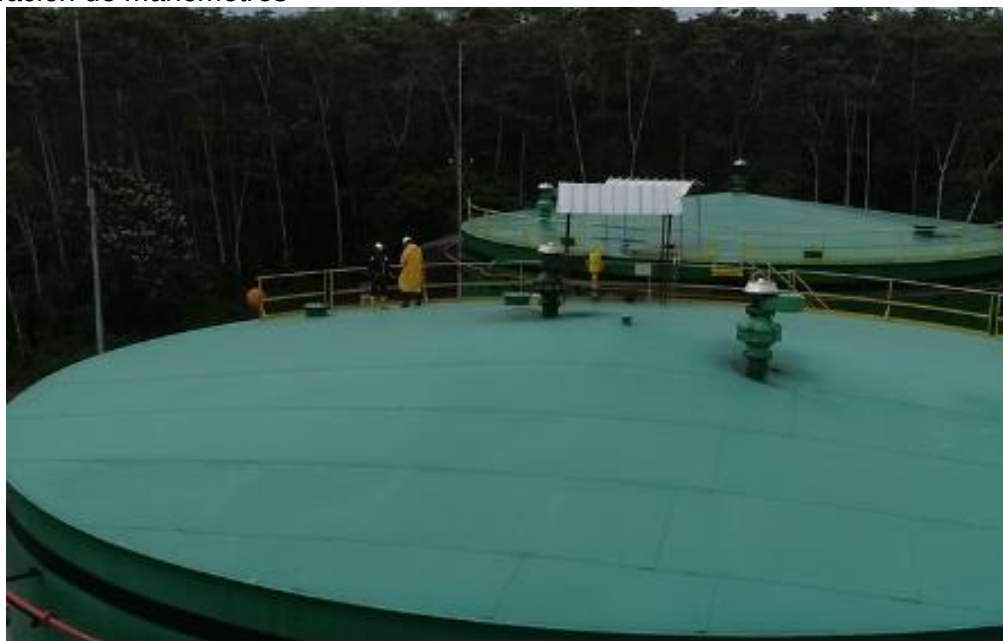
Reunión de seguridad antes del inicio de actividades



Fuente: Elaboración propia.

Figura 63

Verificación de manómetros



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64

Prueba de cámara de espuma



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65

Prueba de hidrantes y semi anillos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66

Accionamiento de semi anillos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 67

Revisión de presiones de prueba en el manómetro más alejado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68

Vista general de la prueba



Fuente: Elaboración propia.

4.6 Contrastación de la hipótesis y la formulación de la hipótesis nula

4.6.1 Formulación de la hipótesis

La investigación se centra en la evaluación del Sistema Contra Incendios (SCI) de una instalación de hidrocarburos. Para ello, se plantea la siguiente hipótesis:

- **Hipótesis General (H1):** "El diseño y dimensionamiento del Sistema Contra Incendios basado en los criterios normativos internacionales y en simulaciones hidráulicas garantiza su eficiencia operativa en escenarios de incendio tipo Pool Fire en tanques de almacenamiento de crudo."
- **Hipótesis Nula (H0):** "El diseño y dimensionamiento del Sistema Contra Incendios basado en los criterios normativos internacionales y en simulaciones hidráulicas no garantiza su eficiencia operativa en escenarios de incendio tipo Pool Fire en tanques de almacenamiento de crudo."

4.6.2 Metodología de contrastación

Para evaluar la validez de la hipótesis, se aplicaron los siguientes procedimientos:

- **Simulación y Modelado del SCI:** Se realizaron simulaciones del comportamiento del sistema en condiciones de demanda máxima utilizando software especializado

para evaluar la capacidad del sistema de agua y espuma en la extinción de incendios.

- **Pruebas de Campo y Validación Regulatoria:** Se efectuaron pruebas de rendimiento de las bombas contra incendio y pruebas de máxima demanda en presencia de la entidad reguladora OSINERGMIN.
- **Cálculo de Parámetros Operativos:** Se verificó que las presiones en las boquillas hidráulicamente más remotas cumplieran con los estándares de la NFPA 30, garantizando el caudal y la presión adecuados en el SCI.
- **Evaluación de Riesgos y Análisis de Escenarios:** Se aplicaron metodologías como HAZOP, HAZID y Árbol de Eventos para identificar los escenarios más críticos y validar la cobertura del SCI.

4.6.3 Resultados y contrastación

Los resultados de las pruebas y simulaciones indicaron lo siguiente:

- El sistema de bombeo cumple con los parámetros normativos y proporciona el caudal adecuado en los escenarios de mayor riesgo.
- La presión mínima en las boquillas hidráulicamente más remotas es suficiente para garantizar la efectividad del sistema de enfriamiento en tanques adyacentes a un incendio tipo Pool Fire.
- Las pruebas de OSINERGMIN confirmaron que el SCI cumple con los estándares exigidos, validando su operatividad.

Dado que los resultados respaldan el adecuado funcionamiento del sistema bajo los criterios establecidos, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Esto indica que el SCI, tal como fue diseñado y dimensionado, garantiza su eficiencia operativa en condiciones de incendio crítico.

Conclusiones

El correcto funcionamiento del Sistema Contra Incendio es uno de los pilares para poseer una operación segura, cumpliendo con los requisitos de la normativa peruana y la normativa internacional, para poder brindar un ambiente de tranquilidad a todos trabajadores de la empresa.

Los cálculos realizados permiten una selección adecuada de los equipos necesarios para el SCI. Los equipos seleccionados deben cumplir o superar los parámetros mínimos establecidos para asegurar su eficiencia operativa.

Las metodologías de evaluación de riesgos, como HAZID, HAZOP, WHAT IF, SIL-LOPA y ACR, han sido cruciales para identificar y cuantificar los riesgos en la planta. Estas evaluaciones son la base para el diseño del SCI, permitiendo abordar los escenarios de mayor riesgo, como los incendios tipo Pool Fire en los tanques de petróleo crudo.

Los escenarios de mayor riesgo son incendio tipo Pool Fire en de los tanques de petróleo crudo, siendo el escenario de mayor riesgo, el cual está determinado en función a la menor lectura de la presión en la boquilla hidráulicamente más remota del semi anillo de enfriamiento del tanque afectado por la radicación del tanque incendiado.

El cálculo detallado de la cantidad de agua y espuma requeridas para diversos escenarios de incendio asegura que las reservas sean adecuadas para enfrentar el evento de mayor riesgo. Estos cálculos incluyen la consideración de un tiempo de reserva de agua contra incendios de 4 horas, conforme a la NFPA 30.

La definición de parámetros de agua y espuma permitió determinar el sistema de alimentación de agua, almacenamiento, sistema de bombeo y red de tuberías. Estos elementos son esenciales para asegurar la eficiencia y operatividad del SCI.

El análisis de la radiación térmica para los tanques de almacenamiento de crudo revela la necesidad de implementar semi anillos de enfriamiento para mitigar el impacto de la radiación en tanques adyacentes. Esta medida es crucial para proteger los equipos y minimizar los riesgos durante un incendio.

El uso de modelados y simulaciones detalladas permitió calcular con precisión los parámetros de operación de la red contra incendio. Estos cálculos consideran el recorrido de tuberías y el número de accesorios, influyendo directamente en el caudal y las presiones finales.

La identificación y análisis de los escenarios de diseño de incendios, incluyendo aquellos con mayor riesgo, permiten establecer acciones claras para la extinción y enfriamiento de tanques. Esto asegura una respuesta eficaz y rápida ante emergencias.

Recomendaciones

Es crucial realizar los cálculos del SCI considerando un perfil de flujo de radiación térmica de 12.5 KW/m², ya que este es el punto en el que los equipos comienzan a ser afectados. Este enfoque debe ser una parte integral del diseño.

Cuando se realice diseños de patios de tanques y no se quiera colocar sistemas de enfriamiento hay que tener en cuenta el diseño del perfil de radiación térmica del hidrocarburo o elemento inflamable contenido, realizando una separación fuera de los 12.5 KW/m² y respetando las distancias indicadas por la normativa peruana; D.S. 052-93-EM, Art. 39 que hace referencia a la distancia entre el dique y la pared del tanque que no debe ser menor a 1.5 m y la distancia mínima entre tanques D.S. 052-93-EM, Art. 26 Literal a), la cual no debe ser menor a 1.5 m; para estos casos únicamente se utilizaran Monitores - Hidrantes.

Al realizar simulaciones, es vital ingresar correctamente todos los datos, incluyendo el recorrido de las tuberías y el número de accesorios por línea. Estos datos impactan directamente en los cálculos de caudal y presiones finales

Asegurar la calidad de los componentes utilizados en la construcción del SCI es esencial para su buen funcionamiento. Esto incluye la selección de materiales y equipos de alta calidad que cumplan con las normativas.

El análisis de riesgos debe ser revisado y actualizado periódicamente, especialmente cuando ocurran cambios en las instalaciones. Esto garantiza que el SCI siempre esté diseñado para los escenarios más actuales.

Es imperativo seguir las indicaciones de las normativas nacionales e internacionales en el diseño constructivo, ya que el diseño y construcción final será auditable, reflejando así las buenas prácticas.

Es crucial contar con personal capacitado en el uso del SCI. Se recomienda contratar bomberos calificados como operarios para el manejo de los equipos y sistemas.

Los equipos del SCI deben tener un plan de inspección y mantenimiento programado para asegurar que siempre estén operativos. Los incendios son eventos inesperados y la preparación es clave.

Referencias bibliográficas

- Ansul. (s.f.). *Foam chambers: Data sheet*. Ansul.
- Babrauskas, V. (2002). *Large-Pool Fire Burning Rate Data*. Society of Fire Protection Engineers (SFPE).
- Cabrera Estupiñán, E., & Alomá Barcel, A. (s.f.). *Sistemas contra incendios para industria petrolera*. Parte 1: Modelos de radiación térmica.
- Gobierno de Perú. (2001). *Decreto Supremo 045-2001-EM. Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y Otros Productos Derivados de los Hidrocarburos*. Ministerio de Energía y Minas.
- Gobierno de Perú. (2007). *Decreto Supremo 043-2007-EM. Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos y sus modificatorias*. Ministerio de Energía y Minas.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2016). *NFPA 11: Standard for Low, Medium, and High-Expansion Foam* (2016 ed.). NFPA.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2017). *NFPA 15: Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection* (2017 ed.). NFPA.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2019). *NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection* (2019 ed.). NFPA.
- PDVSA. (s.f.). *Manual de ingeniería de riesgos: Volumen 1*.
- Universidad de Tennessee. (s.f.). *Fire Dynamics Tools: Quantitative fire hazard analysis methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission fire protection inspection program*.
- Viking/Tyco. (s.f.). *Hoja técnica – Boquilla pulverizadora Modelo E VK814/D3*. Viking Group Inc.
- UL FM. (s.f.). *Vertical Indicator Post - Fire Protection - Model 5400*.
- Documentos internos de la empresa:
- Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).

Identificación de peligros (HAZID).

Plan de Respuesta a Emergencias (PRE).

Estudio de Riesgos.

Informe Técnico Favorable (ITF).

Sistema Contra Incendio