

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL
SISTEMA CONTRA INCENDIO DE LA ESTACIÓN DE
PRODUCCIÓN LAGO CENTRAL DEL CAMPO LAGO AGRIO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN PETRÓLEOS
OPCIÓN: TRABAJO TÉCNICO - EXPERIMENTAL**

OSCAR WLADIMIR MESA ARIAS

oscar.mesa@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. ÁLVARO VINICIO GALLEGOS ERAS

alvaro.gallegos@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2020

DECLARACIÓN

Yo, Oscar Wladimir Mesa Arias, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional alguna; y, que las referencias bibliográficas mencionadas en este trabajo han sido consultadas.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y la normativa institucional vigente.



OSCAR WLADIMIR MESA ARIAS

CERTIFICACIÓN

Yo, Álvaro Gallegos Eras certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Oscar Wladimir Mesa Arias, bajo mi supervisión.

**MSc. ÁLVARO GALLEGOS ERAS
DIRECTOR DE TRABAJO**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre y amiga, Rosita Arias el pilar fundamental en mi vida, quien a pesar de todo me sigue dando las fuerzas para seguir adelante y su apoyo incondicional. A mi padre, José Mesa, quien ha hecho los mayores sacrificios para que yo pueda seguir mis sueños, por haberme inculcado principios, por el apoyo incondicional y por haberme hecho la persona que soy y sobretodo porque siempre ha confiado en mí.

A mi hermano José Mateo quien gracias a sus consejos me ha hecho una persona más fuerte y me ha ayudado a combatir mis miedos y por su amor incondicional. A Alejandro, David, Marco, Cristian mis amigos del colegio quienes se han mantenido a mi lado ayudándome y aconsejándome cuando lo necesite y me han hecho crecer como persona.

A Santiago, Kevin, Alexander, Ricardo y Fabián mis mejores amigos de la universidad quienes me enseñaron el verdadero valor de la amistad al estar siempre en las buenas y en las malas y que han sido mi apoyo durante todos estos años en la poli y nunca dejaron de creer en mí.

Al Ingeniero Álvaro Gallegos, gracias a su ayuda este trabajo pudo resultar, a pesar de los altibajos, me ha apoyado más que todos y me ha dado consejos y me ha transmitido su sabiduría no solo dentro de clases sino en persona.

Se los agradezco a todos de corazón y espero mucha felicidad en sus vidas.

AGRADECIMIENTO

A mi familia que estuvo presente a lo largo de toda mi vida estudiantil, no solo universitaria, apoyándome y dándome valor para enfrentar los retos que se me presentaron a diario.

A mis amigos de la poli, quienes me dieron la mano en todo momento y me ayudaron a enfrentar mis temores con valentía y siempre con una sonrisa en la cara.

Al Ingeniero Gallegos quien me ayudó en el momento que más necesitaba y confió en mí a pesar del resultado, me dio la mano sin que yo se lo pidiera, le estaré eternamente agradecido.

A los docentes de la facultad quienes compartieron no solo sus conocimientos, sino también sus valores y me han ayudado a crecer como persona a lo largo de estos años.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESÚMEN.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.5. ALCANCE.....	2
CAPÍTULO 2.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN LAGO CENTRAL DEL CAMPO LAGO AGRIO..	3
2.1.1. Descripción.....	3
2.1.2. Ubicación.....	3
2.1.3. Parámetros Petrofísicos y PVT del Campo Lago Agrio.....	4
2.2. SITUACIÓN ACTUAL DE POZOS DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN CENTRAL DEL CAMPO LAGO AGRIO.....	5
2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN LAC.....	7
2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN LAC.....	9
2.5. POSIBLES RIESGOS DE INCENDIO O EXPLOSIÓN EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN LAC.....	14
2.6. DESCRIPCIÓN DEL SCI DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN LAC.....	15
2.6.1. Química del Incendio.....	16
2.6.2. Física del Incendio.....	19
2.6.3. Sistema Contra Incendio (SCI).....	20
CAPÍTULO 3.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30

3.1. RESULTADOS	30
3.1.1. Análisis de Riesgo e Índice de Incendio y Explosión de la Estación de Producción del Campo Lago Agrio	30
3.1.2. Entradas y Salidas de Diseño del SCI	41
3.1.3. Análisis Técnico – Económico.....	68
3.2. DISCUSIÓN.....	75
CAPÍTULO 4.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
4.1. CONCLUSIONES.....	79
4.2. RECOMENDACIONES	80
GLOSARIO.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1. Parámetros petrofísicos del campo Lago Agrio	4
Tabla 2. 2. Parámetros PVT del campo Lago Agrio	4
Tabla 2. 3. Descripción actual del campo Lago Agrio.....	5
Tabla 2. 4. Estado actual de los pozos del campo Lago Agrio	5
Tabla 2. 5. Facilidades de producción estación LAC.....	8
Tabla 2. 6. Listado de equipos en el diagrama de flujo de procesos.....	12
Tabla 2. 7. Riesgo de accidentes en la estación de producción LAC	14
Tabla 2. 8. Clasificación del fuego	16
Tabla 2. 9. Niveles de riesgo frente a un incendio.....	18
Tabla 2. 10. Clasificación del sistema portátil contra incendio.....	21
Tabla 2. 11. Clasificación del sistema espuma.....	24
Tabla 2. 12. Componentes y Proceso del SCI de la estación LAC.....	27
Tabla 3. 1. Grado de riesgo en función del IEF	31
Tabla 3. 2. FM de sustancias	32
Tabla 3. 3. Factores como riesgos generales de un proceso	33
Tabla 3. 4. Factores como riesgos especiales de un proceso.....	33
Tabla 3. 5. Factor de corrección o penalización para el cálculo IEF.....	34
Tabla 3. 6. Análisis de F1 y F2.....	36

Tabla 3. 7. Factor de penalización por cantidad de materia inflamable	39
Tabla 3. 8. Análisis de índice de incendio y explosión (IEF).....	40
Tabla 3. 9. Selección del tipo de concentrado.....	42
Tabla 3. 10. Diseño de tanque de almacenamiento de concentrado	42
Tabla 3. 11. Duración mínima de descarga de espuma para inyección bajo superficie	45
Tabla 3. 12. Puntos de descarga	46
Tabla 3. 13. Selección de sistema de proporcionamiento de espuma (presión balanceada)	47
Tabla 3. 14. Tipo de formadores de espuma.....	47
Tabla 3. 15. Diámetro de tuberías para el sistema agua - espuma	49
Tabla 3. 16. Diámetro de tuberías para la línea de agua.....	49
Tabla 3. 17. Protección con mangueras.....	50
Tabla 3. 18. Características de los tipos de detectores	51
Tabla 3. 19. Memoria de cálculo del sistema agua - espuma, enfriamiento y capacidad de almacenamiento	59
Tabla 3. 20. Pérdidas de presión por equipamientos en la succión de la bomba	64
Tabla 3. 21. Pérdidas de presión por equipamientos en la descarga de la bomba.....	65
Tabla 3. 22. Cálculo para selección de bomba.....	66
Tabla 3. 23. Comparativa actual vs calculada	67
Tabla 3. 24. Costo de equipos	69
Tabla 3. 25. Costo de instalación	70
Tabla 3. 26. Análisis técnico-económico mediante el método de Dow	71
Tabla 3. 27. Parámetros de entrada.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1. Mapa de ubicación del campo Lago Agrio.....	3
Figura 2. 2. Manifolds de estación LAC	10
Figura 2. 3. Separadores de estación LAC	10
Figura 2. 4. Bota de gas y tanque de lavado de estación LAC.....	11
Figura 2. 5. Tanque de reposo de estación LAC.....	11
Figura 2. 6. Bombas booster para oleoducto de estación LAC.....	12
Figura 2. 7. Diagrama de flujo de procesos de la estación LAC	13
Figura 2. 8. Límites de explosividad.....	20
Figura 2. 9. Taque de agua del SCI de estación LAC	23

Figura 2. 10. Concentrado de espuma.....	26
Figura 2. 11. Proporcionador de espuma del SCI de estación LAC.....	26
Figura 2. 12. Diagrama del SCI (red agua – espuma) de la estación LAC	29
Figura 3. 1 Técnicas de evaluación de riesgo	31
Figura 3. 2 Inyección de espuma bajo superficie	44
Figura 3. 3 Sistema de detección y alarma contra incendios en la estación LAC.....	58
Figura 3. 4 Tubería con agua a las condiciones de entrada (inflow).....	76
Figura 3. 5 Tubería con agua a las condiciones de salida (outflow)	76
Figura 3. 6 Tubería con agua – espuma a las condiciones de entrada (intflow)	77
Figura 3. 7 Tubería con agua – espuma a las condiciones de salida (outflow).....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo I. Curva de Factor de Penalización	88
Anexo II. Plano P&ID de Tanques de Almacenamiento de Diésel.....	89
Anexo III. Plano P&ID de Bota Desgasificadora y Tanque de Lavado.....	91
Anexo IV. Plano P&ID de Tanque de Reposo.....	93
Anexo V. Plano P&ID de Tratamiento de Gas de Generación.....	95
Anexo VI. Diagrama de Radio de Influencia 2D del Tanque de Reposo	97
Anexo VII. Pérdidas de Presión por Fricción de Agua de acuerdo al Diámetro de Tubería	98
Anexo VIII. Selección de la Bomba Centrífuga Serie DN de Catálogo	99
Anexo IX. Factor de Daño.....	100
Anexo X. Radio de Exposición.....	101
Anexo XI. Coeficientes de bonificación de la influencia de protección	101
Anexo XII. Factor de bonificación efectivo	102

RESÚMEN

Se estableció un análisis descriptivo a través del desarrollo fundamental de conceptos de los posibles accidentes o riesgos dentro de la Estación de Producción Lago Central del Campo Lago Agrio. En dicha estación se describen las distintas características que conforman el fuego y como se ve posiblemente involucrado en el proceso de producción de la estación. Se establece los tipos de protecciones contra incendio a utilizar y el tipo de SCI a ser instalado o recomendado conforme a las condiciones actuales de seguridad, en referencia a normas NFPA y SHI del compendio de Petroecuador EP.

Se identificó distintas técnicas de evaluación de riesgos y se implementó el análisis del índice de incendio y explosión (I.E.F) por medio del desarrollo del método Dow, para así poder identificar la zona o equipo de mayor riesgo de incendio o explosión que pudiese suscitarse dentro de la estación, además de inspecciones que identificaron obsolescencia y vulnerabilidad de equipos.

Se desarrolló entradas y salidas de diseño del SCI para el equipo determinado como de mayor riesgo y se estableció cálculos para sistema agua – espuma, enfriamiento y capacidad del tanque de almacenamiento, así como selección de tuberías y bombas para los procesos descritos.

Finalmente se estableció un análisis por método de Dow para la selección óptima de método contra incendios y determinar de esta manera la posibilidad de explosión y radioactividad de equipos. Mediante el desarrollo de distintas etapas y evaluación de parámetros como riesgos generales y especiales se determina el incremento de seguridad en porcentaje con respecto a la inversión y con lo cual se identifica la posibilidad en la actualización del SCI de la Estación de Producción Lago Central.

Palabras clave: Sistema Contra Incendio, Lago Agrio, Riesgo, IEF, Método Dow.

ABSTRACT

A descriptive analysis was established through a fundamental development of concepts of possible accidents or risks within the Lago Central of Lago Agrio Production Station, which describes the different characteristics that make up the fire and how it is possibly involved. In the production process of the station, which establishes the types of fire protection to be used and the type of SCI to be installed or recommended according to the current safety conditions, in reference to NFPA and SHI standards of the compendium of EP Petroecuador

Different risk assessment techniques were identified and the analysis of the fire and explosion index (IEF) was implemented through the development of the Dow method, in order to identify the area or equipment with the highest risk of fire or explosion that could arise within the station, in addition to inspections that identified equipment obsolescence and vulnerability.

SCI design inputs and outputs were developed for the equipment determined to be the most risky and calculations were established for the water - foam system, cooling and storage tank capacity, as well as selection of pipes and pumps for the described processes.

Finally, an analysis by Dow method was established for the optimal selection of fire method and in this way determine the possibility of explosion and radioactivity of equipment. Through the development of different stages and evaluation of parameters such as general and special risks, the increase in percentage security with respect to the investment is determined and with which the possibility of updating the SCI of the Central Lake Production Station is identified.

Keywords: SCI, Update, Feasibility, Risk, IEF, Dow Method.

SIMBOLOGÍA

LAC	Lago Agrío Central
SOTE	Sistema de Oleoducto Transecuatoriano
FS	Factor de Seguridad
GLP	Gas Licuado de Petróleo
RPM	Revoluciones por Minuto
AFFF	Espuma de Película Acuosa
SCI	Sistema Contra Incendio
NFPA	National Fire Protection Association
SHI	Salud e Higiene Industrial
IEF	Índice de Incendio y Explosión
CFD	Computational Fluid Dynamics
BPPD	Barriles de Petróleo por Día
BSW	Basic Sediment and Water
PLC	Controlador Lógico Programable
\$	Dólares

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La estación LAC fue construida por la empresa Texaco desde el año 1967, como lo referencian Ronquillo, William, & Hector (2003), por lo que sus equipos y redes contra incendio instalados podrían no ser eficientes. Este trabajo de investigación mediante una evaluación del incremento de seguridad con respecto a la inversión, tiene por objetivo analizar la factibilidad de actualizar el sistema contra incendio de la estación de producción LAC, verificando el estado actual de los equipos que conforman el SCI en referencia a las normativas NFPA y SHI (compendio Petroecuador).

En el segundo capítulo, se realiza la descripción de la estación LAC, su ubicación, equipos que la integran tales como: manifolds, separadores, botas de gas, tanques de almacenamiento y lavado, bombas, líneas de flujo, sistema de medición y el tipo de sistema contra incendio, conociendo de esta manera la situación actual de la estación de producción. Se describen propiedades físicas – químicas de un incendio y métodos para su extinción.

En el tercer capítulo, se establece un análisis de riesgos en caso de incendio en la estación LAC, mediante la técnica de identificación del método de Dow y el cálculo de índice de incendio y explosión (IEF) para la estación, a partir de esto, se implementa el estudio de factibilidad para la actualización del SCI, mediante cálculos para requerimientos mínimos de: sistema de enfriamiento, sistema agua – espuma, selección de tuberías, bombas y recomendación de sistemas de detección, tomando en cuenta la normativa NFPA y SHI en cada consideración.

Se realiza una evaluación hidráulica de una sección de tubería del sistema contra incendio mediante el análisis de dos casos de flujo de fluidos; monofásico (agua) y bifásico (agua – espuma) en tuberías simples, a través del software de simulación Computational Fluid Dynamics (CFD). Con los mismos datos de entrada se determina las pérdidas asociadas a fluidos requeridos para el control de incendio (agua y espuma), con lo cual se diferencian las caídas de presión en cada caso, con el fin de evaluar si los cálculos de equipos están acordes a las normativas mencionadas. Se compara el estado actual de los equipos contra incendio con el resultado de los cálculos realizados y se establece un análisis que evalúa en

porcentaje el incremento de seguridad con respecto a la inversión, para determinar si es factible la actualización del SCI de la estación LAC.

En el cuarto capítulo, se establecen conclusiones y recomendaciones.

1.2. Pregunta de Investigación

Considerando la necesidad de Petroamazonas EP, por realizar un estudio de factibilidad para la actualización del sistema contra incendio de la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio, se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el tipo de sistema contra incendio instalado?
- ¿Cuáles son las deficiencias del sistema contra incendio?
- ¿Cuán factible es actualizar el sistema contra incendio?

1.3. Objetivo General

Realizar un estudio de factibilidad para la actualización del sistema contra incendio para la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio.

1.4. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad operativa de la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio.
- Analizar los riesgos operacionales asociados al sistema contra incendio.
- Evaluar el sistema contra incendio instalado en la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio.
- Establecer los costos asociados a la actualización del sistema contra incendio en la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio.

1.5. Alcance

Actualizar el sistema contra incendio de la estación de producción Lago Central del campo Lago Agrio, mediante la identificación, análisis, evaluación de riesgos y definición de los criterios de diseño para el sistema contra incendios de acuerdo a los códigos y normas aplicables para este tipo de instalaciones.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Estación de Producción Lago Central del Campo Lago Agrio

2.1.1. Descripción

En el oriente ecuatoriano, el campo Lago Agrio es el más antiguo en operación del Ecuador, el cual ha generado un cambio en la urbanización zonal, siendo su mecanismo de producción como: gas en solución para formaciones de arena Napo U y T, y empuje de agua para la formación Hollín.

El campo inició su operación con el pozo Lago Agrio 01 en el año 1967, el cual llegó a una profundidad de 10175', con una producción de 2 955 BPPD provenientes de la formación Hollín. La producción que se alcanzó en el año 1972, llegó a 10 450 BPPD, y al año siguiente se determinó una producción máxima de 53 618 BPPD, a partir del año 1980 empieza su declinación, para el año 2018 se obtuvo un promedio de producción de 10560 BPPD (Petroamazonas EP, 2018b).

2.1.2. Ubicación

El activo Lago Agrio conformado por el campo Lago Agrio o bloque 56, se ubica en la provincia de Sucumbíos, cantón Nueva Loja como se muestra en la figura 2.1. Se conforma por una extensión de largo 11 Km y de ancho 3.8 Km, con un área total de 41.8 Km². La producción de este activo es conformada por los campos del oriente ecuatoriano como Lago Agrio, Guanta – Dureno, Charangue, Parahuacu, Charapa, desde las formaciones Napo (T, U), Basal Tena y Hollín Superior (Petroamazonas EP, 2014).



Figura 2. 1. Mapa de ubicación del campo Lago Agrio

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

El campo Lago Agrio se conforma por las siguientes estaciones de producción:

- Estación Central;
- Estación Norte.

Ubicado en la cuenca oriente al S-E de los campos Guanta y Dureno, al S-O del campo Charapa y al O de los campos Atacapi y Parahuacu (Petroamazonas EP, 2016).

2.1.3. Parámetros Petrofísicos y PVT del Campo Lago Agrio

Los resultados descritos en la tabla 2.1 y 2.2 se obtuvieron de análisis petrofísicos y PVT.

Tabla 2. 1. Parámetros petrofísicos del campo Lago Agrio

Parámetros	Porosidad efectiva [%]	Saturación de agua inicial [%]	Saturación de crudo [%]	°API
Hollín inferior	15,37	19,45	80,55	27,1
Hollín superior	13,03	19,65	80,34	
T inferior	11,68	27,38	72,61	22,4 – 29,5
T superior	11,76	33,22	66,77	28,7
U inferior	12,52	24,68	75,31	24 – 29,5
U superior	11,18	26,73	73,26	12 - 20
Basal Tena	13,77	31,33	68,66	-

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

Tabla 2. 2. Parámetros PVT del campo Lago Agrio

Parámetros	Reservorios						
	Hollín inferior	Hollín superior	T inferior	T superior	U inferior	U superior	Basal Tena
P inicial [psi]	4485	4485	4417	4417	4195	4195	3500
Pwf actual [psi]	3900	3422	2312	2101	1796	1837	1095
Pb [psi]	750	850	770	770	700	700	810
Bo [By/Bn]	1,17	1,17	1,22	1,22	1,24	1,24	1,15
Salinidad [ppm]	800	5200	16500	16500	25000	25000	53000
T [°F]	232	228	224	224	222	222	212

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

2.2. Situación Actual de Pozos de Producción de la Estación Central del Campo Lago Agrio

De acuerdo a (Rosero, 2018) el campo posee 63 pozos, conformado por productores, no productores y re-inyectores. En la tabla 2.3 se realiza una descripción general actualizada.

Tabla 2. 3. Descripción actual del campo Lago Agrio

# Pozos	Característica	Método de Producción	Cantidad de Pozos
21	Productores	Levantamiento Hidráulico	11
		Levantamiento Electrosumergible	9
		Levantamiento Mecánico	1
40	No productores		
0	Inyectores		
2	Re-inyectores		
BSW promedio	26,13 %		
API promedio	27,82 °		

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2017)

En la tabla 2.4 se describe la producción y características de los pozos que convergen en la estación de producción central del campo Lago Agrio.

Tabla 2. 4. Estado actual de los pozos del campo Lago Agrio

Pozo	# Workover	Último workover	BFPD	BPPD	BSW	Arena	Observación
L-001	22	2012	811	16	98	H	Cerrado
L-002	31	2012	103	54	48	HS	Cerrado
L-003	19	2006	340	85	75	H	Cerrado
L-004	16	2015	57	51	10	HS	W.O.
L-005	7	1998	58	34	42	H	Suspendido
L-006	13	2012	331	46	86	HS	Suspendido
L-007	0	1981	1156	578	50	HI	Cerrado
L-008	15	2008	275	193	30	H	Cerrado
L-009 ^a	19	2015	245	225	8	TI	Produciendo

L-009B	13	2015	24	0	100	US+UI+TI	Cerrado
L-010	19	2002	724	130	82	H	Cerrado
L-011	20	2014	279	181	35	HS	Produciendo
L-011B	20	2013	Sin información de producción				Abandonado
L-012	20	2014	93	82	12	BT	Cerrado
L-013	34	2016	180	126	30	HS	Produciendo
L-014	15	1992	251	238	5	H	Cerrado
L-015	17	2008	288	0	100	U	Cerrado
L-015R1	1	2012	Perforación suspendida				Suspendido
L-016	9	1981	Sin información de producción				Abandonado
L-016B	13	2002	Re-inyector			H	Re-inyector
L-017	20	2016	76	28	58	HS	Produciendo
L-018	14	2008	22	13	94,2	HS+HI	Produciendo
L-019	3	1980	Sin información de producción				Cerrado
L-020	10	2011	Re-inyector			HI	Re-inyector
L-021	50	2015	34	12	64	UI	Suspendido
L-022	28	2010	376	362	3,7	BT	Produciendo
L-023	24	1996	583	1	99,9	HS	Cerrado
L-024	19	2016	943	157	83,3	HI	Produciendo
L-025	19	2015	23	21	10	UI	Suspendido
L-026	17	2010	77	-32	-	H	Cerrado
L-027	30	2015	285	46	84	HS	Esperando
L-028	19	2011	138	48	65	H	Cerrado
L-029	25	2010	180	33	81	BT	Cerrado
L-029R1	0	2013	Re-entry cerrado por pescado				Cerrado
L-030	20	2017	36	35	2,4	UI	Cerrado
L-031	9	2015	134	133	0,5	TS+TI	Produciendo
L-032	23	2008	188	104	44,5	HS	Cerrado
L-033	17	2014	476	133	72	HS+HI	Suspendido
L-034	20	2015	92	91	1	US	Produciendo
L-035	14	2016	148	122	17,5	HS	Produciendo

L-036	13	2016	141	126	11	HS	W.O.
L-037	12	2016	236	160	32	HS	Produciendo
L-038	8	2010	139	110	20,7	US+UI	Produciendo
L-039	9	2012	734	639	12,9	HS	Produciendo
L-040	4	2017	529	92	82,6	HS	Produciendo
L-041	4	2015	144	0	99,9	TI	W.O.
L-042	6	2016	456	219	52	HS	Produciendo
L-043	5	2012	130	108	17,3	HS	Produciendo
L-044	6	2017	191	189	0,8	UI	Produciendo
L-045	6	2016	167	67	60	HS	Cerrado
L-046	5	2012	64	0	100	TI	Cerrado
L-046R1	4	2012	Workover suspendido				Suspendido
L-047	5	2015	278	239	14	HS+HI	Produciendo
L-048	7	2016	392	125	68	TI	Produciendo
L-049	3	2014	155	155	0,2	UI	Produciendo
L-050	3	2011	265	53	80	HS	Cerrado
L-051	-	2009	61	22	64,4	BT	Cerrado
L-052	1	2015	50	0	100	HS	Cerrado
L-054	3	2016	1634	131	92	BT	Produciendo
L-055	3	2017	1776	34	98,1	HI	Cerrado
L-060	2	2015	40	29	28,5	HS	Suspendido
L-063	-	2017	22	21	3	UI	Produciendo

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2017)

2.3. Descripción General de Facilidades de Producción de la Estación LAC.

El campo Lago Agrio cuenta con dos estaciones de producción, la estación norte y la estación central, a continuación, se detalla las facilidades de producción de la estación central, donde se realizó esta investigación.

En la tabla 2.5 se detallan los equipos de mayor interés en la cual se describen sus capacidades y normativas de construcción.

Tabla 2. 5. Facilidades de producción estación LAC

General	Equipo	Tipo	Descripción
Tanques	Bota de gas	Vertical	Construcción bajo Norma ASTM A36.
	Tanque de reposo	Tanque de techo cónico fijo	Capacidad: 15 100 Bls. Construcción bajo Norma API 650.
	Tanque de lavado	Tanque de techo cónico fijo	Capacidad: 14 690 Bls. Construcción bajo Norma API 650.
	Tanque de agua del sistema contra incendio	Tanque de techo cónico fijo	Capacidad: 5146 Bls.
	Tanque de diésel	Tanque de techo cónico fijo	Capacidad (1): 300 Bls. Capacidad (2): 553 Bls. Construcción bajo Norma API 650.
Equipos de presión	Separador de prueba	Horizontal bifásico	Capacidad: 10 000 Bls. Presión: 130 pisa. Temperatura: 155 °F.
	Separador de producción	Horizontal bifásico	Capacidad 15 000 Bls. Presión 155 pisa. Temperatura 160 °F.
Equipos de Depuración	Compresor de aire	Marca Sullair	Accionado por motor eléctrico.
	Mechero	Stack	Longitud: 13 pies. Ancho: 13 pies. Tuberías: 16 pulg.
	Calentador	Carcaza/tubo	Longitud: 33,97 pies. Ancho: 7,64 pies.

			Temperatura interna: 130°F.
	Scrubber	Gas	Altura: (8'-6") - (20'-4") Diámetro: 3' - 4'.
Intercambiador de calor	Calentador con bomba	Motor 3HP	Serie 453266. Modelo Mark 111.
Bombas	Bomba booster de reinyección de agua	Motor sin placa	Serie 402877. Marca Durco.
	Bomba motor inyección de químico	Bomba Texas Houston ¼HP	Modelo 1121007410.
	Sistema power oil con dos bombas booster	Motor 100HP	Serie 121476. Serie sin placa.
	Booster para bombeo al oleoducto	Motor 50HP Motor 50HP	Serie 239834. Capacidad: 19 200 BPD
	Bomba de sumidero	Motor 25HP	Serie 475902.
	Bomba recirculación tanque a tanque	Motor 3HP ID#6206/JC/3	Serie 0599/3105B.

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

2.4. Descripción General de Producción de la Estación LAC

La producción de crudo de la estación LAC se distribuye por medio de varios equipos de producción, los cuales se describen a continuación.

La producción de los pozos es direccionada a través del cabezal hacia los manifolds o múltiples de distribución por medio de tuberías.



Figura 2. 2. Manifolds de estación LAC

Fuente: (Ramirez, 2009)

El flujo se direcciona a los separadores, en el que se establecen tres principios (momentum, segregación y coalescencia) para separar el crudo, agua y gas. Los tipos de separadores utilizados en la estación son bifásicos, es decir se separa el gas y la fase líquida.



Figura 2. 3. Separadores de estación LAC

Fuente: (Acosta, 2008)

La fase líquida contiene gas residual, por lo que su separación se dirige a la bota de gas para después direccionarse al tanque de lavado, el cual se apoya de elementos como scrubber, filtros de agua, etc, con el fin de separar el crudo del agua, por medio de densidades.



Figura 2. 4. Bota de gas y tanque de lavado de estación LAC
Fuente: (Ramirez, 2009)

Realizada la separación, cada fluido es aprovechado de distinta manera; el crudo es bombeado al tanque de reposo y luego al tanque de oleoducto previa fiscalización en la unidad de control LAC.



Figura 2. 5. Tanque de reposo de estación LAC
Fuente: (Ramirez, 2009)

El hidrocarburo es transferido de la estación de producción a la estación de bombeo para ser transportado por el SOTE.



Figura 2. 6. Bombas booster para oleoducto de estación LAC
Fuente: (Ramirez, 2009)

El agua de formación es tratada para poder ser reinyectada con pozos re-inyectores o utilizada para sistemas de recuperación secundaria. El gas se utiliza como generador eléctrico, procesado en plantas criogénicas para envío en gasoductos o quemado.

Tabla 2. 6. Listado de equipos en el diagrama de flujo de procesos de la estación LAC.

Codificación PAM	Equipo	Codificación PAM	Equipo
TPPP-02	Separador de prueba	TPPP-03	Separador de producción
TPPP-08/09	Scrubber de gas	CAF-0016311	Tanque de lavado
CAF-0016326	Tanque de reposo	PCF-0737/0738	Bomba para calentamiento de agua
CAF-0014551/501	Bombas de transferencia oleoducto	CAF-0158184	Bota de gas
TPPP-05/06A	Calentador de agua	TPPP-16/17	KOD alta/baja
TPPP-18/19	Tea alta/baja	CAF-0014512	Bombas power oil
PCF-0014505/507	Bombas de transferencia agua	CAF-0139230	Bombas de inyección

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

En la figura 2.7 se establece el diagrama de flujo de procesos de la estación LAC

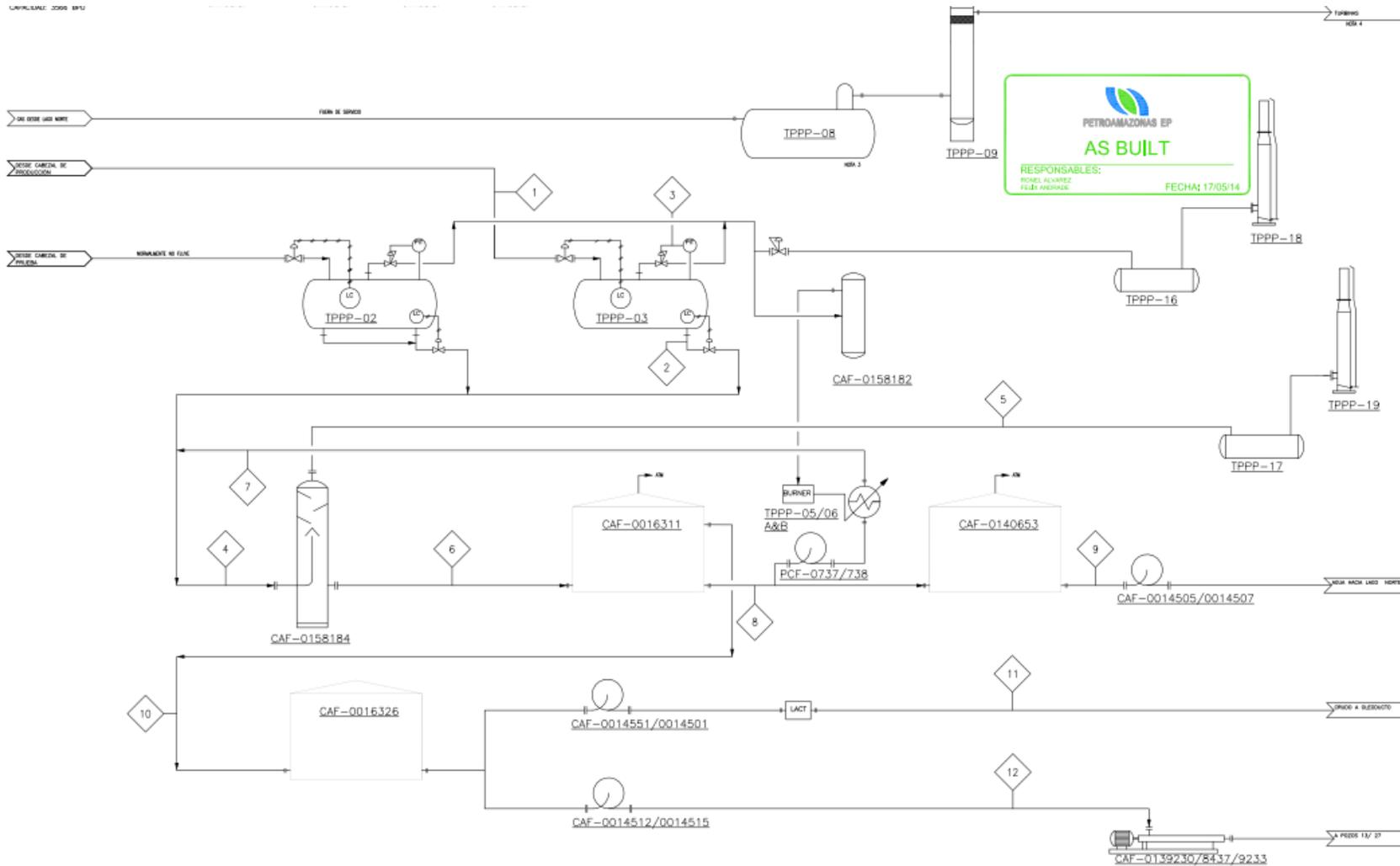


Figura 2. 7. Diagrama de flujo de procesos de la estación LAC
Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

2.5. Posibles Riesgos de Incendio o Explosión en la Estación de Producción LAC

En el sector petrolero, un accidente por incendio o explosión es inminente, ya que, además de los hidrocarburos, se manejan grandes cantidades de combustibles y equipos que desprenden calor, incrementando aún más el riesgo de accidentes debido a que la estación está muy cerca de la ciudad de Nueva Loja, pero, el continuo mantenimiento, vigilancia de operaciones y estándares de seguridad, minimizan los riesgos.

La prevención de incendios se establece con la correcta aplicación de normas técnicas y estrategias. Es de gran importancia la instalación de protecciones contra incendio y estándares de seguridad para el control de siniestros causados por incendios, como:

- Análisis de riesgos;
- Inspección de equipos;
- Estándares de seguridad para el diseño de instalaciones peligrosas;
- Diseños para prevenir conatos de incendios;
- Alarmas y sistemas de detección contra incendios;
- Procedimientos de operación de acuerdo a normas;
- Capacitación de personal;
- Evaluación de siniestros.

La ocurrencia de accidentes en estaciones de producción de hidrocarburos se la clasifica según la tabla 2.7, con base a posibles riesgos comunes y generales.

Tabla 2.7. Riesgo de accidentes en la estación de producción LAC

Tipo de Riesgos Químicos	Tipo de siniestro	Consecuencia
Pérdida de líquidos	Emisión	Inminencia de conato de incendio posiblemente controlable.
Pérdida de gases		
Incendio de líquidos	Incendio	Ocurrencia de fuego no controlada.
Incendio de gases		
Incendio de construcciones		
Explosión de equipos	Explosión	Expansión violenta de gases.

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

Cabe mencionar que de acuerdo a NFPA (2009), los líquidos se clasifican en dos grupos:

1. **Líquido inflamable.** _ Líquido cuyo punto de inflamación momentánea es menor a 100 °F.
2. **Líquido combustible.** _ Líquido cuyo punto de inflamación momentánea es mayor a 100°F.

Entre los eventos más comunes que puede existir en la estación de producción central del campo Lago Agrio se tiene:

- **Incendio de Líquidos.** _ Ocurre en líquidos inflamables que entran en contacto con oxígeno y el aumento de la temperatura de esta mezcla mediante una energía de activación.
- **Ebullición y rebosamiento de líquidos.** _ Ocurre como consecuencia de un incendio y fallas mecánicas en equipos contenedores de crudo. Se produce cuando en el líquido existen:
 - Puntos de ebullición;
 - Agua emulsionada;
 - Productos pesados;
 - Incendios en forma de bola;
 - Explosión de nube de gas o vapores del líquido en ebullición.
- **Incendios en forma de bola.** _ Ocurre cuando existe escape masivo de gas inflamable en presencia de una energía de activación externa, provocando una ignición espontánea.
- **Explosión de nube de gas.** _ Ocurre cuando existe un escape de gas inflamable sin presencia de ignición espontánea hasta encontrar una energía de activación.
- **Explosión de vapores de líquidos.** _ Ocurre en recipientes a presión como tanques que contienen inflamables, cuando existen fallas estructurales, calor excesivo, pérdida de presión o evaporación espontánea.

2.6. Descripción del SCI de la Estación de Producción LAC

Como punto preliminar, se establece la definición de incendio, el cual es fuego de proporciones mayores, que se desarrolla sin control y puede presentarse de forma instantánea o gradual, provocando: daño de materiales, interrupción en producción, pérdidas humanas, etc. Por lo tanto, es importante conocer la naturaleza de sus reacciones para identificar su inicio, propagación y como evitarlo.

2.6.1. Química del Incendio

El fuego es una reacción de combinación continua de combustible, con elementos en la que predomina oxígeno libre o combinado (agente oxidante) (NFPA, 2009); ver tabla 2.8.

Tabla 2. 8. Clasificación del fuego

Clasificación	Material	Observaciones
<p>Clase A</p> 	<p>Madera Papel Trapos Cuero Plásticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Representa con la letra A dentro de un triángulo de color verde. • Agua como agente extintor. • Fuegos de materiales sólidos ordinarios.
<p>Clase B</p> 	<p>Aceite Gasolina Kerosén Butano Aditivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Representa con la letra B dentro de un cuadrado de color rojo. • Polvo seco común, anhídrido carbónico, espuma, como agente extintor. • Fuegos de líquidos inflamables.
<p>Clase C</p> 	<p>Equipos eléctricos y energizados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Representa con la letra C dentro de un círculo de color azul. • Agentes extintores no conductores. • Fuegos de gases y vapores.
<p>Clase D</p> 	<p>Aluminio Magnesio Sodio Potasio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Representa con la letra D dentro de una estrella de color amarillo. • Agentes extintores especiales, especificado para cada metal. • Fuegos de metales combustibles.

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

El incendio se desarrolla por una serie de reacciones químicas exotérmicas de oxidación – reducción dado por la combinación de: oxígeno, calor, material combustible y reacción química en cadena, lo cual es conocido por el departamento de salud y seguridad ocupacional como el tetraedro del fuego (Petroamazonas EP, 2017), esto provoca la oxidación rápida de los materiales con el desprendimiento de luz y calor, generando gases.

Tetraedro de fuego = fuego = combustible + oxígeno + calor + reacción química.

De acuerdo a Suardin (2005), dentro del tetraedro del fuego se definen factores muy importantes, como:

- **Calor.** _ Energía necesaria que eleva la temperatura del combustible para provocar la ignición y entre sus mecanismos de transferencia de calor se tiene:
 - Conducción: transferencia de calor de un cuerpo de mayor a menor temperatura;
 - Radiación: transferencia de calor por ondas electromagnéticas emitidos por cuerpos calientes;
 - Convección: transferencia de calor de una superficie a un fluido en movimiento o a través del mismo fluido.
- **Reacción química.** _ Representa un conjunto de sucesos como: ignición, propagación y consecuencias, se produce cuando las moléculas de combustible son combinadas con oxígeno.

Velocidad de reacción lenta	—————▶	Oxidación
Velocidad de reacción moderada	—————▶	Combustión
Velocidad de reacción rápida	—————▶	Deflagración
Velocidad de reacción instantánea	—————▶	Detonación
- **Oxígeno.** _ Comburente gaseoso de la atmósfera, ideal para el desarrollo de la combustión, se considera como atmosfera peligrosa aquella que presenta variables en la concentración de oxígeno.
- **Combustible.** _ Sustancia que arde, el cual puede ser sólido, líquido o gas que se convierte en gas antes de la combustión.

En base a Puente (2000), se establecen ciertas características del fuego que servirán en complemento para el análisis del tipo de detectores a utilizar en el sistema contra incendio de la estación LAC.

Características de humo._ La combustión libera partículas líquidas y sólidas que se denominan como aerosoles, a diferencia, cuando se producen por fuego se denomina humo (NFPA, 2009).

Características de liberación de energía._ Se libera un tipo de energía radiante de tipo infrarroja y ultravioleta (excepto en acetileno e hidrocarburos no saturados), los valores infrarrojos son detectables a 0,76 micrones mientras que la característica ultravioleta aparece en llamas como emisiones de hidroxal (OH), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO).

Características del fuego. _ Se producen cambios de gas en la atmósfera dado por la adición de gases, este proceso se conoce como “características del gas liberado”, además se reduce la cantidad de oxígeno y se da la presencia de monóxido de carbono en nivel de 75 – 100 ppm.

El incendio se desarrolla en tres diferentes etapas:

- 1. Ignición.** _ Se da por la combinación de cuatro aspectos:
 - Oxígeno en el ambiente;
 - Concentración de material combustible;
 - Temperatura mínima para que el material combustible emita vapores;
 - Energía de activación.
- 2. Propagación.** _ Provocado por vientos o agentes inflamables externos.
- 3. Extinción.** _ Existen dos modelos:
 - Estático: aísla el riesgo con protecciones estructurales;
 - Dinámico: controla y extingue, mediante detección y alarma.

Una posibilidad de incendio o explosión, se lo define como riesgo y según su afectación se los clasifica como:

- 1. Leves.** _ No existe situaciones para la propagación del fuego.
- 2. Moderados.** _ Existen materiales que pueden arder con facilidad o generar humo.
- 3. Altos.** _ Materiales que arden rápidamente produciendo vapor tóxico y explosión.

En base a experiencia y estudios realizados en diferentes campos, se determina el nivel de riesgo para los equipos de la estación de producción Lago Agrio Central, lo cual se representan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Niveles de riesgo frente a un incendio

Equipo	Nivel
Manifold	Moderado
Tanque de lavado	Importante / Severo
Tanque de reposo	Importante / Severo
Separadores	Importante

Bombas de inyección de químico	Importante / Ligero
Bombas booster	Importante / Ligero
Bobas de oleoducto	Importante / Ligero
Bomba sumidero	Importante / Ligero
Bomba tanque de lavado	Importante / Ligero
Compresores de aire	Importante / Ligero
Pozo con BES	Importante / Ligero
Pozos con power oil	Importante / Ligero
Generadores	Importante / Ligero

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Puente, 2000)

Un incendio o explosión en la industria petrolera, puede provocar gran daño y consecuencias para distintas zonas de afectación, como:

- **Suelo:** inerte por largo tiempo.
- **Agua:** no potable por materiales en suspensión.
- **Flora y Fauna:** debido a la contaminación del agua.
- **Vida:** se ve amenazada por el tiempo de exposición y la presencia principalmente de vapores tóxicos, gases, humo e incremento de temperatura.

2.6.2. Física del Incendio

En referencia a Acosta (2008) y Sánchez (2018), existen diferentes variables físicas durante un incendio, las cuales son evaluadas con los siguientes criterios.

Límites de Explosividad. _ Se determina como la concentración límite de un combustible en un ambiente oxidante. Estos límites se los clasifica de acuerdo a sus concentraciones:

- **LII (límite inferior de inflamabilidad):** concentración más baja de combustible en la mezcla como para arder.

- **LSI (límite superior de inflamabilidad):** concentración más alta de combustible en la mezcla y demasiado pobre en oxígeno.

Una mezcla es capaz de generar combustión siempre que esté dentro de los límites descritos; se establecen de acuerdo con el volumen de combustible en mezcla con aire a una concentración de oxígeno de 20 - 21 %, por lo que a medida que sobrepase este rango, aumentará la intensidad de combustión. Ver figura 2.8.



Figura 2. 8. Límites de explosividad
Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

Flash Point. _ Es confundido generalmente como temperatura de auto-ignición que requiere de una energía de activación externa, se considera como la temperatura inflamable mínima de un combustible para emitir vapores que produzcan fuego instantáneo.

Auto inflamación. _ Es la temperatura mínima de un combustible para arder en el aire, sin presencia de una energía de activación externa.

2.6.3. Sistema Contra Incendio (SCI)

El sistema contra incendio debe seguir la normativa NFPA, la cual determina diferentes colores para la identificación en su circulación, como, por ejemplo:

- **Rojo:** agua no potable;
- **Naranja:** aire comprimido;
- **Amarillo:** gas (agente espumante);
- **Verde:** agua potable;
- **Azul:** aire.

De acuerdo a INEN-ISO 7165 (2019), los extintores se clasifican respecto al tipo de extinción; se tienen de diferente característica, como:

- A base de agua;
- Polvo;

- Dióxido de carbono;
- Agentes limpios.

Los extintores a base de agua pueden contener agua pura o aditivada con agentes humectantes, aumentadores de viscosidad, retardadores de llama, espumantes, etc.

La eficiencia del sistema contra incendio dependerá de su mantenimiento continuo. De acuerdo a su aplicación, el sistema contra incendio se clasifica en sistema portátil y sistema fijo.

2.6.3.1. Sistema Portátil Contra Incendio

En la estación de producción LAC existen extintores móviles de tipo polvo químico seco y de tipo CO₂ como se detalla a continuación:

- Extintores de CO₂ de 20 lbs de presión, ubicados en zonas de reuniones, áreas administrativas y diferentes oficinas.
- Extintores de polvo químico seco de 30 lbs de presión, ubicados en laboratorios, motores y en los separadores a una distancia de 10 m.
- Extintores de carrete de polvo químico seco de 150 lbs de presión, colocados a una distancia de 15 m de los tanques de lavado y surgencia.

Reciben mantenimiento cada 6 meses mediante el tamizado del polvo para evitar el taponamiento de conductos, su transporte es sobre ruedas (para extintores de 150 lbs). El CO₂ deberá cumplir con ISO 5923 y el Polvo deberá cumplir con ISO 7202. En la tabla 2.10 se establece su clasificación.

Tabla 2. 10. Clasificación del sistema portátil contra incendio

Tipo de Agente	Fuego	Características
Agua presurizada	Clase A	<ul style="list-style-type: none"> • Agente extintor agua. • Agente expulsor anhídrido carbónico.
Espuma mecánica	Clase A, B	Compuesto espumoso en el agua y agitada con aire para formar espuma.
Espuma AFFF	Clase A, B	<ul style="list-style-type: none"> • Agente extintor ácido perfluorocarboxílico. • Agente expulsor gas nitrógeno. • Temperatura mayor a 40 °F para evitar congelación. • Concentrado de espuma deberá cumplir con ISO 7203.

Anhídrido carbónico	Clase A, B, C	<ul style="list-style-type: none"> • Agente extintor dióxido de carbono. • Debido a la presión las partículas se transforman en hielo seco que al evaporarse absorbe el fuego. • Se enfría a medida que es liberado.
Polvo químico seco	Clase B, C	Ordinario (se compone de sales amónicas o potásicas).
	Clase A, B, C	Multipropósito (se compone de fosfatos con calcio, talco, mica y silicona).
Inhibidores	Clase A, B, C	<ul style="list-style-type: none"> • Agente extintor gas Halón 1211 que se almacena en líquido y se vaporiza cuando se libera. • Cambia las propiedades físicas del metano y etano, convirtiéndolo en agente extintor.

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

2.6.3.2. Sistema Fijo Contra Incendio

Debido a la complejidad de las instalaciones y a la cantidad elevada e inflamable de fluidos almacenados en la estación LAC, el sistema contra incendio óptimo deberá ser tipo fijo con base a una espuma mecánica o AFFF, dada su aplicación en fuegos de clase A y B. Estos tipos de sistemas pueden ser de acción manual o automática.

El sistema contra incendio se clasifica de acuerdo al tipo de sistema, como:

Sistema de Agua. _ Proporciona agua para la formación de espuma y agua para enfriamiento, se conforma por:

- Tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 5146 bls.
- Sistema de bombeo de agua de accionamiento manual o eléctrico.
- Líneas de flujo que sirve para el paso de agua de enfriamiento.
- Cañones e hidratantes.

Entre los principales problemas se tienen:

- Baja efectividad en combustibles líquidos.
- Dispersa el combustible.
- Conduce corriente eléctrica.

El agua como agente extintor provoca el enfriamiento, sofocación y dilución del incendio, se considera muy efectiva en incendios de líquidos con puntos de combustión altos, pero se limita en líquidos con puntos de combustión menor a 100 °F.



Figura 2. 9. Taque de agua del SCI de estación LAC
Fuente: (Acosta, 2008)

Sistema de Espuma. _ Agente extintor formado por agua, espuma concentrada (agente espumante en forma líquida) y aire para obtener burbujas, el agua utilizada y almacenada en tanques la cual puede ser dulce, salada o dura, se conforma por:

- Tanque de almacenamiento de espuma con capacidad de 2310 gls.
- Tanque de aire.
- Sistema de bombeo de agua de accionamiento manual, de funcionamiento eléctrico con control automatizado o manual.
- Bomba presurizadora que suministra la espuma concentrada.
- Líneas de flujo que sirve para la formación de espuma y agua de enfriamiento.
- Cañones e hidratantes.

La línea de agua pasa por el tanque de concentrado de espuma y su dosificador, el cual mediante una compensación de presiones genera la mezcla. Posee una bomba eléctrica que presuriza el SCI a 140 psi, si su presión es <30 psi el sistema arranca de forma automática para succionar agua del río y mantener el suministro hacia el siniestro suscitado.

El agua y la espuma concentrada se unen por efecto de un proporcionador, esta mezcla de acuerdo a NFPA (2009) será de un concentrado de espuma al 3% (tipo de concentrado de espuma fluoroproteínica), mezclado con 97% de agua con lo cual se logra una solución óptima. Se emplea un formador de espuma para inducir aire a la corriente agua – concentrado con lo que se genera espuma, esto en el momento de incendio secuestrará el

oxígeno, evitando así su propagación. La clasificación general del sistema espuma se presenta en la tabla 2.11.

Tabla 2. 11. Clasificación del sistema espuma

Clasificación	Expansión	Baja	Enfría Ahoga Suprime Separa
		Mediana	
		Alta	
	Orgánicas	Proteínica	
		Fluoroproteínica	
	Sintéticas	Formador de película acuosa (AFFF)	
		Para líquidos polares	
		Para fuegos clase A	
		Universal	
		Alta expansión	

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Acosta, 2008)

Acosta (2008) refiere que existen distintos tipos de sistema a base espuma, como:

- a) **Sistema fijo.** _ Su instalación es permanente, se alimenta de una estación de espuma conformado por un tanque de concentrado y un equipo proporcionador, que descargan la espuma.
- b) **Sistema semi – fijo.** _ La unidad de distribución puede o no contener un descargador de espuma, el concentrado de espuma y equipos para dosificar, pueden ser transportados. Las tuberías de distribución poseen conexiones que permiten el acople de mangueras hacia dispositivos portátiles que generan espuma.
- c) **Sistemas móviles.** _ Se montan sobre ruedas y requieren conexión a una red de agua contra incendios para obtener la presión necesaria para generar espuma.
- d) **Sistemas portátiles.** _ Se transportan en forma manual, se los puede cargar de manera sencilla.

En base a sus componentes las espumas se clasifican en:

- **Espumas químicas.** _ Son corrosivas y se obtienen al reaccionar producto químico con agua.

- **Espumas mecánicas.** _ Cubren el incendio y lo controlan por sofocación, se generan de acuerdo al concentrado de espuma. Se puede obtener gran variedad, de acuerdo a la concentración de espuma:
 - a. **Fluoroproteínicas.** _ Contiene alta concentración de proteínas hidrolizadas la cual resiste la contaminación por hidrocarburos y lo hace recomendable para la subsuperficie de tanques.
 - b. **Película acuosa (AFFF).** _ Capa delgada de agua.
 - c. **Universales.** _ Concentrado especial de espuma para incendios ordinarios, líquidos solubles en agua y solventes polares.
 - d. **Especiales.** _ Para líquidos solubles en agua.

Las espumas mecánicas son muy útiles debido a su alta resistencia, expansión, elasticidad, e impermeabilidad a vapores, etc. Su efectividad se basa en el efecto enfriador y neutralizante para reducir el oxígeno presente y evitar la combustión. Estas se clasifican de acuerdo a su expansión:

- **Baja expansión:** alto alcance, semejante a un chorro de agua, posee un coeficiente de expansión de 3 – 30 unidades.
- **Media expansión:** menor alcance (5-7 metros), su coeficiente es de 30 – 250 unidades.
- **Alta expansión:** alcance muy reducido (1-2 metros), su coeficiente es de 250 – 1000 unidades.

Según National Foam (1987), se usa espuma debido a que es un agente de mantenimiento y enfriamiento que se usa principalmente para apagar incendios de líquidos inflamables y combustibles, así como para evitar que se escapen vapores inflamables y enfriar fuentes de re-ignición. Todas las espumas apagan el incendio de cuatro formas:

- 1) Sofocan el fuego y evitan que el aire se mezcle con los vapores inflamables;
- 2) Reprimen los vapores inflamables y evitan su descarga;
- 3) Separan las llamas de la superficie del combustible;
- 4) Enfrían el combustible y las superficies del metal adyacente.

La espuma debe ser suficientemente liviana para que flote con facilidad en líquidos inflamables de baja gravedad específica y con bastante densidad para resistir su separación a causa del viento.

En la figura 2.10 se observa las cuatro formas de apagar un incendio mediante concentrado de espuma, así como su acción en película acuosa y solvente polar.



Figura 2. 10. Concentrado de espuma
Fuente: (National Foam, 1987)

El agua contiene oxígeno que no propaga la combustión, pero para romper el enlace de hidrógeno – oxígeno se necesita mucha energía que el calor del fuego no la tiene, por lo tanto, el agua cubre el material en combustión y suprime oxígeno del fuego, es por esta razón que no se usa agua en un fuego de gasolina ya que la densidad de la gasolina es menor que la del agua, colocándose la gasolina encima del fuego para continuar ardiendo.

Se utiliza el agua como medio de propagación de la espuma, de esta forma se combate un incendio por efecto de enfriamiento, el agua en forma independiente de otras sustancias es adecuado para:

- Fuegos de clase A

En la figura 2.11 se observa el tanque proporcionador de espuma (azul) para el SCI.



Figura 2. 11. Proporcionador de espuma del SCI de estación LAC
Fuente: (Acosta, 2008)

2.6.3.3. Descripción del Proceso de Funcionamiento y Componentes del Sistema Contra Incendio de la Estación LAC

El sistema contra incendio de la estación LAC, se conforma de los equipos que se detallan en la tabla 2.12.

Tabla 2. 6. Componentes y Proceso del SCI de la estación LAC

Tanques	Agua	Capacidad: 5146 Bls Diámetro: - Altura: 30 ft Tipo: TPC 5535
	Espuma	Capacidad: 55 [Bls] Tipo de espuma: Fluoroproteínica 3% Tipo de proporcionamiento: Presión balanceada Tipo de motor: Diésel 90 gpm @ 200 psi
Bombeo Contra Incendio	Motor Eléctrico	Marca: Bomba Perless Pump Serie: 574390A Modelo: 8AEF20GH Diámetro Impeler: 200 mm Capacidad: 2000 gpm @ 175 psi @ 1780 RPM
	Motor Diésel	Marca: Bomba Perless Pump (centrífuga 10x8) Serie: *6TB20739* (268 HP) Modelo: 8AEF20H Diámetro Impeler: 174.4 mm Capacidad: 2000 gpm @ 175 psi @ 2100 RPM
Bombeo de Espuma	Motor Diésel	Marca: Bomba Perless Pump (centrífuga 10 x 8) Tipo: Engranés Serie: G7379 (27 HP)
Bomba Piloto o Presurizadora	Motor Diésel	Marca: Centrífuga: 1,5 x 1 x 6 Serie: 0393/5115 (5 HP)
Bomba de captación de agua	Motor Eléctrico	Marca: Centrífuga 12 x 8 Serie: VTP57404 (100 HP)
Monitores y Cámaras de espuma	Dos monitores	Marca: TFT. Capacidad: 100 – 500 gpm @ 100 psig.
	Dos cámaras	-
Red de distribución	Tubería de Succión	Va desde el suministro de agua hasta el sistema de impulsión.
	Tubería Matriz	Parte del sistema de impulsión, transporta el caudal hasta el sistema principal.
	Tubería principal	Conectada a la tubería matriz, alimenta los ramales.
	Hidrantes	Equipos con conexión a camiones bomba para aumentar el suministro de agua a red de distribución.

	Monitores	Equipo de mando remoto o manual, conectado a la red de distribución para descargar agua o espuma en forma de chorro o rocío.
	Válvulas	Bloquea o permite el paso de agua.
	Mangueras	Permiten el paso de agua y se adaptan a las bocas de incendio.
	Bocas de descarga	Regulan el caudal de descarga y pueden ser conectados a los monitores o directamente a la manguera.
Red de Alerta	Detectores	Identifica el riesgo de manera automática ante la presencia de humo o fuego.
	Alarma	Pone en acción toda la lógica del sistema.
	Señal Audible	Control mediante bocinas de alerta temprana.
	Lógica de control	Lógica de programación.
Proceso de funcionamiento	El agua es tomada del río a través de las bombas captadoras para luego ser almacenada en el tanque de agua.	
	El agua es succionada por la bomba presurizadora, mantiene el SCI presurizado a 140 psi.	
	Si la presión es menor a 30 psi, la bomba contra incendio arrancará de manera automática.	
	Cuando este proceso automático empiece, el agua ingresará al cabezal en la que se tiene dos descargas, una para el enfriamiento de instalaciones (recirculación) y otra para la formación de espuma (descarga).	
	Para la formación de espuma se tiene un tanque químico, accionado mediante el sistema de bombeo de espuma.	
	El agua entra en contacto con la espuma concentrada y por medio de la bomba presurizadora, esta mezcla entra en el formador de espuma para inducir aire y expandir la mezcla.	
	La espuma alimenta los tanques de lavado y reposo, formando una capa, pasando a través de los monitores, los cuales enfrían sus paredes desde el exterior con chorros de agua.	
	El monitor de espuma funciona indistintamente del monitor de agua.	
El presente trabajo de investigación es desarrollado de acuerdo a la zona determinada por el método de Dow y a su mayor capacidad y alto riesgo de incendio – explosión.		

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

En la figura 2.12 se especifica el diagrama del SCI (red agua – espuma) de la estación LAC, proporcionado por Petroamazonas EP, en el cual se identifica equipos y procesos descritos en la tabla 2.11.

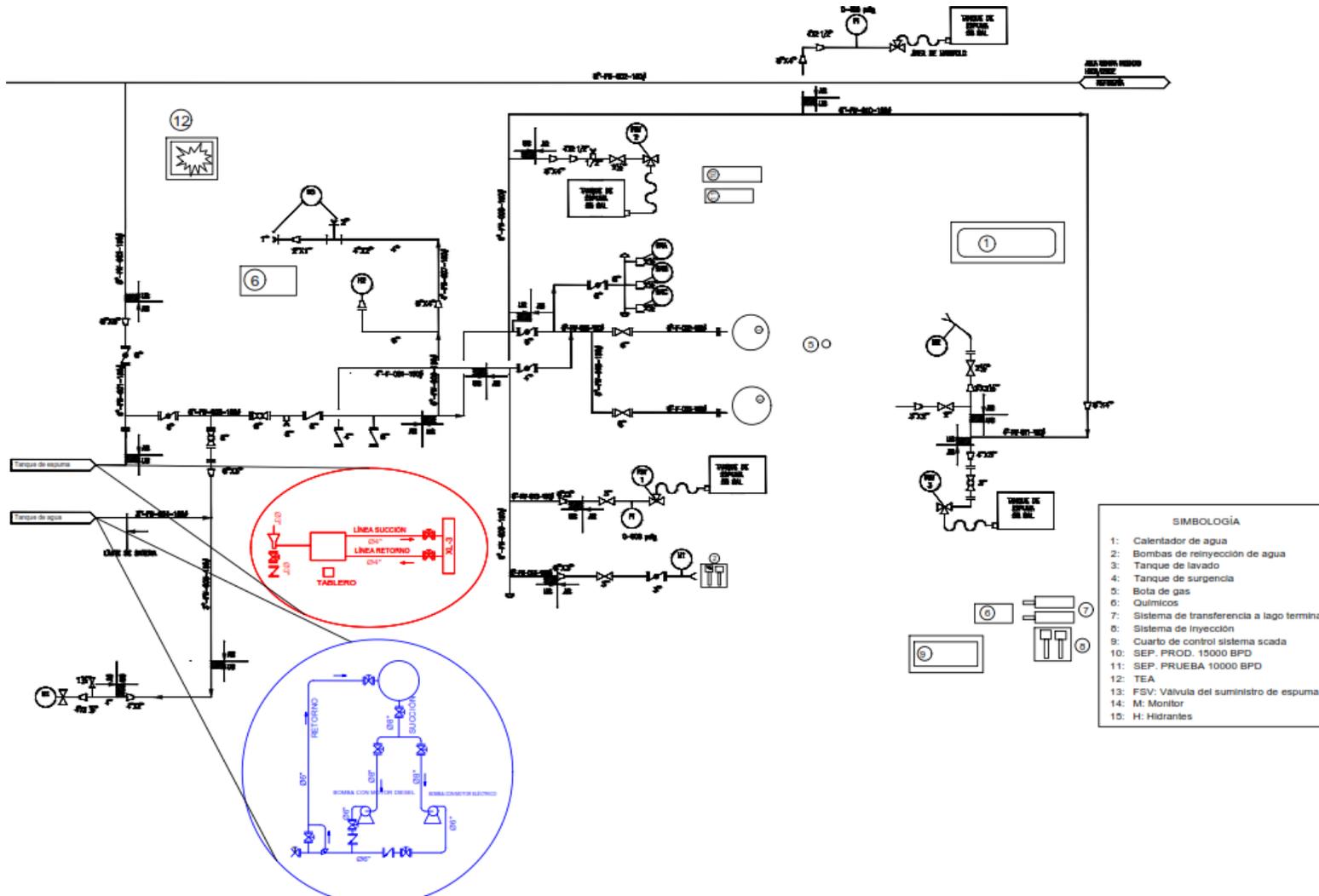


Figura 2. 12. Diagrama del SCI (red agua – espuma) de la estación LAC
Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Análisis de Riesgo e Índice de Incendio y Explosión de la Estación de Producción del Campo Lago Agrio

3.1.1.1. Análisis de Riesgos

Dentro de la estación de producción se maneja materiales que son altamente inflamables y existen zonas donde el riesgo aumenta, por lo tanto, su correcta identificación es un antecedente para el análisis de factibilidad en la actualización del sistema contra incendio. De acuerdo al presente estudio se establece como un factor importante, la capacitación constante del personal de operación para determinar la efectividad en la detección.

La factibilidad en la actualización de SCI se sustenta en el análisis de riesgos, considerando aspectos como:

- Nivel de riesgo de las instalaciones;
- Aspectos críticos de la instalación;
- Riesgos de daños;
- Ubicación.

La selección del sistema de aplicación, ya sean fijos, móviles o portátiles y el tipo de activación manual o automática, dependerá de parámetros como:

- Tiempo para que funcione el sistema;
- Efectividad de acuerdo al riesgo;
- Disponibilidad de personal.

Existen diferentes técnicas para identificar y evaluar riesgos, las cuales se describen en la figura 3.1.

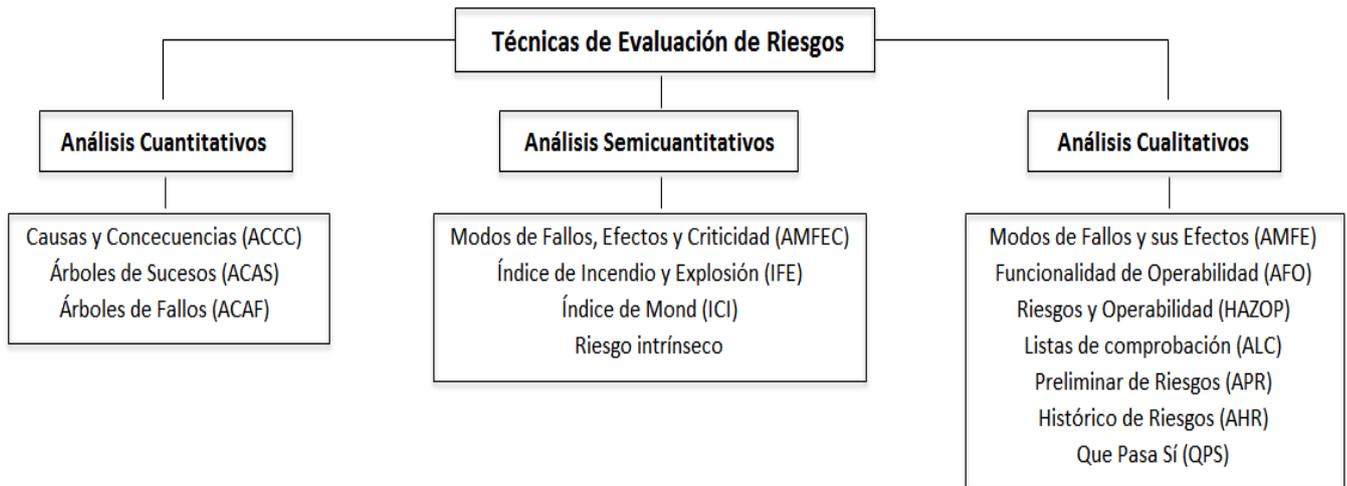


Figura 3. 1 Técnicas de evaluación de riesgo

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

Elaborado por: Mesa, 2020

El riesgo de la estación LAC, se establece de acuerdo a un análisis crítico, estimado en base a estadísticas a través del índice Dow de incendio y explosión (IEF).

3.1.1.2. Método Dow

El método de Dow de índice de incendio y explosión (Fire & Explosión Index) por sus siglas I.E.F, fue creado por la empresa Dow Chemical, el cual se establece como guía para la selección óptima del método contra incendio y permite evaluar de forma preliminar la posibilidad de incendio y explosión de equipos (AIChE, 1994b).

El método de Dow establece un correctivo a diferentes áreas y equipos de la central de producción del campo Lago Agrio, este correctivo se basa en el manejo de diferentes tipos de sustancias peligrosas y condiciones en su proceso de función, por lo tanto, es recomendable establecer el estudio de diferentes zonas de procesos para determinar el IEF en cada una de ellas.

En la tabla 3.1 se identifican los grados de riesgo en función del método Dow de índice de incendio y explosión (IEF).

Tabla 3. 1. Grado de riesgo en función del IEF

Grado de Riesgo	IEF
Ligero	1 – 60
Moderado	61 – 96

Intermedio	97 – 127
Importante	128 – 158
Severo	≥ 159

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1987)

De acuerdo a AIChE (1994a) el método de Dow se desarrolla determinando las siguientes etapas:

1. **Factor de Material (FM).** _ Es la intensidad de liberación de energía de una sustancia o mezcla, con rangos entre 1 – 40. Se determina en cada área del proceso. En la tabla 3.2 se identifican las sustancias más importantes a 60°C.

Tabla 3. 2. FM de sustancias

Sustancia	FM
Diésel	10
Gasóleo	10
Gasolina	10
Hidrógeno	16
Metano	16
Petróleo crudo	16
Propano	21

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

De acuerdo a los valores de intensidad de liberación de energía establecidos en la tabla 3.2, se considera al diésel y petróleo crudo como sustancias de análisis para determinar el área de mayor riesgo con respecto a los cálculos IEF.

2. Evaluación de dos parámetros:

- a. **Riesgos generales del proceso (F1).** _ Evalúa el grado de riesgo en las operaciones cotidianas de proceso. Si un factor no se considera, se le atribuye el valor cero. (AIChE, 1994a) propone los valores mínimos especificados en la tabla 3.5 como correctivos o penalizaciones frente a un riesgo, siendo su parámetro base de 1. En la tabla 3.3 se especifican las variables consideradas.

Tabla 3. 3. Factores como riesgos generales de un proceso

Variables	Procesos
Reacciones Exotérmicas	Hidrólisis, Oxidación, Condensación
Reacciones Endotérmicas	Electrólisis, craquing
Transporte de líquidos y materiales	Carga , descarga
Unidades confinadas	Filtros, líquidos combustibles e inflamables, centrífugas
Accesos	Estrechos para equipos emergentes
Control de fugas	Suelos, cubetos

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

- b. **Riesgos especiales del proceso (F2).** _ Evalúa condiciones agravantes de riesgo de un proceso. Su valor se considera como un factor agravante para una acción emergente como consecuencia de toxicidad, siendo su parámetro base de 1 (Carrión & Piruch, 2009). En la tabla 3.4 se especifican las variables consideradas.

Tabla 3. 4. Factores como riesgos especiales de un proceso

Variables	Procesos
Sustancias	Tóxicas
Presión	Por debajo de la atmosférica
Operación cerca de áreas inflamables	Tanques de almacenamiento, Fallo de purga, Área interna de inflamabilidad
Explosión	Polvo
Presión	Operativa
Temperatura	Muy baja
Materia inflamable	Gases y líquidos en almacenamiento o combustibles sólidos
Daño de materiales	Corrosión y Erosión
Empaquetaduras y Juntas	Control de Fugas y Drenaje
Equipo con Fuego	Directo
Sistema de transmisión de calor	Aceite térmico
Equipo Rotativo	Bombas, Compresores

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

3. Factor de Riesgos del Área de Proceso (F3). _ Se determina mediante el valor obtenido del producto, entre riesgos generales (F1) y riesgos especiales (F2).

4. Índice de Incendio y Explosión (IEF). _ Finalmente se obtiene mediante el resultado del producto entre el factor de riesgos del área de proceso (F3) y el factor de material (FM).

En referencia a AIChE (1987) y en comparativa con Suardin (2005), se especifica la tabla 3.5, siendo esta un modelo de cálculo que resume la aplicación del método de Dow y en la que se identifican sus valores de rango correspondientes, considerando las condiciones de la estación de producción LAC.

El menor valor del rango de penalización indica que los factores de riesgo del proceso están en condiciones óptimas en caso de explosión o incendio, mientras que el mayor valor del rango indica que los factores de riesgo del proceso no están en óptimas condiciones y tienen alto riesgo en caso de explosión o incendio (Carrión & Piruch, 2009).

Tabla 3. 5. Factor de corrección o penalización para el cálculo IEF

Cálculo del Índice de Incendio y Explosión (IEF)	Factor de Corrección o Penalización	
	Rango	Valor Estimado
Riesgos Generales del Proceso (F1)	1	1
Reacciones Exotérmicas	0,30 – 1,25	
Reacciones Endotérmicas	0,20 – 0,40	
Transporte de líquidos y materiales	0,25 – 1,05	
Unidades confinadas	0,25 – 0,90	
Accesos	0,20 – 1,35	
Control de fugas	0,25 – 0,50	
$F1 = 1 + \sum_{i=1}^{i=6} F1, i$		
Riesgos Especiales del Proceso (F2)	1	1
Sustancias Tóxicas	0,20 – 0,80	
Presión debajo de la atmosférica	0,50	
Operación cerca de áreas inflamables		

Áreas de almacenamiento	0,50	
Fallo de purga	0,30	
Área interna de inflamabilidad	0,80	
Explosión de Polvo	0,25 – 0,80	
Presión Operativa	0	
Temperatura Baja	0,20 – 0,80	
Cantidad de Materia Inflamable		
Gases y líquidos en producción	Se basa en la velocidad de flujo de material derramado durante 10 min.	
Gases y líquidos en almacenamiento	Depende de la cantidad de material almacenado, el tipo de líquido o gas y el calor de combustión.	
Combustibles sólidos en almacenamiento	Se basa en la densidad del material, facilidad de ignición y capacidad de mantener una llama.	
Daño de Materiales	0,10 – 0,75	
Empaquetaduras y juntas con fugas	0,10 – 1,50	
Equipo con fuego directo	0	
Sistema de transmisión de calor	0,15 – 1,15	
Equipo Rotativo	0,50	
$F2 = 1 + \sum_{i=1}^{i=12} F2, i$		
Factor de Riesgos del Área de Proceso (F3 = F1 x F2)		
Índice de Fuego y Explosión (IEF = F3 x FM)		

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

La penalidad de la presión operativa se refiere como la probabilidad de material inflamable ante fallas de algunos componentes en la unidad de proceso, cuando la presión de funcionamiento se encuentra por encima de la atmosférica se especifica como valor cero dado su alta variación de presión con respecto al tiempo, mientras que la penalización por equipo con fuego directo se toma como de igual manera como valor cero ya que no se expone ningún equipo a disparos de fuego directo.

3.1.1.3. Análisis del Índice de Incendio y Explosión (IEF)

Según el método de Dow, para el cálculo del índice de incendio y explosión (IEF) de la estación de producción LAC en base a lo descrito en el literal 3.1.1.2, se establecen las siguientes consideraciones.

1. Se identifica las principales zonas de riesgo en las cuales se presenta una cantidad de fluido de tipo inflamable.
 - Separadores y Manifold.
 - Tanques (lavado, reposo, diésel).
 - Compresores.
 - Unidades de medición y Bombas de transferencia de crudo.
 - Scrubber y Bota desgasificadora.
2. Se determina el factor de material para cada equipo, teniendo en cuenta el tipo de fluido que se maneja en cada unidad, considerando una temperatura de 60 °F.
3. Se establece el valor de corrección o penalización para F1 y F2; tabla 3.6 descripción del factor de corrección en las distintas áreas.

Tabla 3. 6. Análisis de F1 y F2

F1	Accesos
	Empaquetaduras y Juntas
F2	Tanques de almacenamiento
	Área interna de inflamabilidad
	Equipo rotativo
	Penalización por cantidad de materia inflamable

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

El factor de penalización por la cantidad de material inflamable, se considera como los efectos de las cantidades inflamables y materiales inestables sobre el peligro. En este trabajo se considera el factor de penalización por material inflamable a gases y líquidos en almacenamiento como se describe en la tabla 3.5, debido a las condiciones de los equipos en la estación de producción LAC.

Los valores de las siguientes definiciones en base a Carrión & Piruch (2009), se establecen para cálculos del factor de penalización por cantidad de materia inflamable correspondiente en cada equipo de la estación LAC.

Gravedad específica:

$$\delta_o = \frac{141,5}{131,5 + \text{API}} \quad (3.1)$$

$$\delta_o = \frac{141,5}{131,5 + 27,8} = 0,888 \quad \text{Gravedad específica del petróleo}$$

$$\rho_o = 0,888 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 888 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del petróleo}$$

$$\rho_d = 0,83 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 832 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del diésel}$$

$$\rho_g = 1,23 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del gas}$$

Capacidad calorífica:

$$\text{CC}_o = 9673,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad \text{Capacidad calorífica del petróleo}$$

$$\text{CC}_d = 10580,87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad \text{Capacidad calorífica del diésel}$$

$$\text{CC}_g = 12,800 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad \text{Capacidad calorífica del gas}$$

Cantidad de calor:

$$Q = m \times \text{CC} [\text{Kcal}] \quad \text{Cantidad de calor (3.2)}$$

$$m = \rho \times V [\text{Kg}] \quad \text{Masa (3.3)}$$

Donde:

m: masa [kg]

ρ : densidad $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

V: volumen $[\text{m}^3]$

El diseño del SCI se basa en las siguientes normas:

- Normas Internacionales NFPA (National Fire Protection Association):
- Compendio de Normas de Seguridad e Higiene Industrial de Petroecuador.

En la tabla 3.7 se determina el factor de penalización por cantidad de materia inflamable para los equipos que mayor riesgo presentan dentro de la estación y el cual es base para el análisis del índice de incendio y explosión (IEF).

Tabla 3. 7. Factor de penalización por cantidad de materia inflamable

Factor de corrección o penalización por cantidad de materia inflamable												
Equipo	Tipo de Fluido	FM	Densidad <i>Kg/m³</i>	Capacidad de Almacenamiento			Capacidad Calorífica <i>Kcal/Kg</i>	Masa <i>Kg</i>	Cantidad de Calor <i>Kcal</i>	Cantidad de Calor <i>Mcal</i>	Cantidad de Calor <i>x10⁵ Mcal</i>	Factor de Corrección o Penalización
				<i>Bls</i>	<i>SCF</i>	<i>m³</i>						
Separador de Prueba	Petróleo	16	888	10000		1589,876	9673,25	1412224,8	13660803359	13660803,36	136,61	1,24
Separador de Producción	Petróleo	16	888	15000		2384,814	9673,25	2118337,2	20491205038	20491205,04	204,91	1,35
Tanque de Lavado	Petróleo	16	888	14690		2335,527	9673,25	2074558,2	20067720134	20067720,13	200,68	1,3
Tanque de Reposo	Petróleo	16	888	15100		2400,712	9673,25	2132459,4	20627813072	20627813,07	206,28	1,38
Tanque de Diésel (1)	Petróleo	10	832	553		87,920	10580,87	73149,544	773985812,5	773985,8125	7,74	0,58
Tanque de Diésel (2)	Diésel	10	832	374,79		59,587	10580,87	49576,343	524560836,7	524560,8367	5,25	0,55
Bombas de transferencia de oleoducto	Petróleo	16	888	100		15,899	9673,25	14122,248	136608033,6	136608,0336	1,37	0,48
Bombas booster power oil	Petróleo	16	888	100		15,899	9673,25	14122,248	136608033,6	136608,0336	1,37	0,48
Scrubber de gas (vertical)*	Gas Natural	16	1,23		21337	604,191	12800	743,15475	9512380,801	9512,380801	0,10	0,37
Scrubber de gas (horizontal)*	Gas Natural	16	1,23		608034,4	17217,454	12800	21177,469	271071601,1	271071,6011	27,11	1,2
Bota Desgasificadora*	Gas Natural	16	1,23	-	662657	18764,180	12800	23079,941	295423242,5	295423,2425	2,95	0,59
Compresor Gas Lift	Gas Natural	16	1,23	-	185000	5238,567	12800	6443,4376	82476001,7	82476,0017	0,82	0,49

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

En la tabla 3.8 se establece el análisis IEF, en el cual se determina que el mayor riesgo inminente de incendio o explosión se encuentra en la zona del tanque de lavado y reposo, por lo tanto, el análisis en la factibilidad para la actualización del sistema contra incendio de la estación LAC es enfocado a esta área. La clasificación del grado de riesgo obtenido es referenciada de acuerdo a la tabla 3.1.

Tabla 3. 8. Análisis de índice de incendio y explosión (IEF)

Cálculo del índice de incendio y explosión (IEF)	Equipos								
Riesgos Generales del Proceso (F1)	Separadores	Tanque de Lavado	Tanque de Reposo	Tanques de Diésel	Bombas Booster	Scrubber de gas (vertical)	Scrubber de gas (horizontal)	Bota desgasificadora	Compresor Gas Lift
Reacciones exotermicas (oxidación)	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Accesos	0,35	0,5	0,5	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Control de Fugas	0,3	0,5	0,5	0,25	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25
Factor F1 (1 + sumatoria)	2,15	2,5	2,5	2	1,95	1,9	2	1,9	1,9
Riesgos Especiales del Proceso (F2)									
Operación Cerca de Áreas Inflamables									
Áreas de Almacenamiento	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Área Interna de Infamabilidad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Materia Inflamable	1,30	1,3	1,4	0,57	0,48	0,37	1,2	0,59	0,49
Equipo Rotativo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factor F2 (1 + sumatoria)	3,60	3,6	3,7	2,9	2,8	2,7	3,5	2,9	2,8
Factor de Riesgo del Área de Proceso (F3)	7,729	9,000	9,200	5,730	5,421	5,073	7,000	5,491	5,301
Índice de Fuego y Explosión (IEF)	123,67	144,00	147,20	57,30	86,74	81,17	112,00	87,86	84,82
RIESGO	INTERMEDIO	IMPORTANTE	IMPORTANTE	LIGERO	MODERADO	MODERADO	INTERMEDIO	MODERADO	MODERADO

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (AIChE, 1994a)

3.1.2. Entradas y Salidas de Diseño del SCI

3.1.2.1. Entradas de Diseño

Las instalaciones actuales del sistema contra incendios de la estación de producción LAC, de acuerdo al presente estudio, no se encuentran debidamente normadas sobre todo en la red de distribución de espuma por lo que se consideran como poco eficientes ya que no garantizan una protección adecuada.

Para el diseño del SCI se toma en cuenta los componentes físicos del fuego y factores que pueden generar detecciones falsas, como su magnitud, humo, temperatura, partículas de polvo, descargas eléctricas, luz, etc. A partir de estos factores se considera el caudal, alcances, riesgo y tiempo de extinción.

A continuación, se establecen las bases y requerimientos para el cálculo y diseño del SCI fijo, las cuales están fundamentadas de acuerdo al compendio SHI de Petroecuador, el mismo que cumple con normativas tanto internacionales como nacionales.

Requerimientos de Solución Agua – Concentrado (Agua – Espuma)

La selección del sistema de espuma contra incendio, toma en cuenta factores como el tipo de sistema a instalarse (fijo, semi-fijo, móviles o portátiles) y su activación ya sea manual o automática, de acuerdo a ciertos parámetros descritos en el capítulo anterior.

La determinación de la solución agua – concentrado, es en base a la norma SHI-019 literal 6.1.1 y 6.1.2 (sistema de espuma contra incendio), la cual contempla requisitos mínimos de selección y diseño del sistema de espuma de baja expansión, donde se establecen criterios generales como:

1) Volumen de agua para la formación de solución

El requerimiento de agua es un factor importante para la formación de espuma, la cual depende de la cantidad de equipos que requieran operar de manera simultánea, como se describe en la norma SHI – 018 (literal 4.4).

$$V_a = \frac{A_c * T_a * t_d * \%a}{100} = \frac{5560,6 * 0,15 * 55 * 97}{100} = 1060 \text{ gal} \approx 1060 \text{ Bls} \quad (3.4)$$

Donde:

V_a = Requerimiento de agua (gal)

A_c = Área de cobertura (pie^2)

T_a = Taza de aplicación (gpm/pie^2)

t_d = Tiempo de descarga (min)

$\%_a$ = % de agua en la solución agua – concentrado (97% – 94%)

Para tener una alta eficiencia en la generación de espuma, la temperatura óptima del agua debe estar entre 40 – 100 °F, mientras que la calidad del agua debe estar libre de inhibidores, la cual podrá ser dulce o salada.

El caudal se determina en función de tazas mínimas en base a las distancias entre equipos y el tipo de riesgo, de acuerdo al tipo de combustible, el requerimiento de agua calculado debe sumarse a la taza de aplicación mínima para así determinar el suministro de agua total, Petroamazonas EP determina su suministro de agua para la formación de espuma mediante el valor de la fórmula 3.4, lo cual será comparado posteriormente

2) Volumen de concentrado de espuma

De acuerdo al riesgo se determina un concentrado de espuma. La tabla 3.9 se establece como guía.

Tabla 3. 9. Selección del tipo de concentrado

Concentrado	Selección del tipo de concentrado			
	Hidrocarburos líquidos		Solventes polares	
	Inyección bajo superficie	Monitores o mangueras	Inyección bajo superficie	Monitores o mangueras
Fluoroproteínica	Recomendable	Recomendable	No aplica	No aplica
AFFF	Recomendable	Recomendable	No aplica	No aplica
Universal	Recomendable con limitación	Recomendable con limitación	No aplica	Recomendable
Especial	No aplica	No aplica	No aplica	Recomendable

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

Para los sistemas fijos, el concentrado de espuma es almacenado en un tanque de almacenamiento y este conjuntamente con sus proporcionadores, se encuentra dentro de una caseta, debido a factores de seguridad, el diseño del tanque de almacenamiento de espuma debe estar basado de acuerdo a la tabla 3.10.

Tabla 3. 10. Diseño de tanque de almacenamiento de concentrado

Concentrado	Diseño de taque	Observaciones
Fluoroproteínica	ASTM A – 283 Gr C.	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales compatibles con el tipo de concentrado. • Interior sin revestimiento ni pintura. • Red de distribución del mismo material del tanque. • Expansión de hasta 2% del volumen total del tanque. • Válvula de presión en domo de expansión. • Instalados con cubierta.
AFFF	ASTM A – 283 Gr C.	
Universal	3/16 pulg mín de espesor. Acero inoxidable según ASTM A – 240.	

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

La utilización de la cantidad de concentrado de espuma depende de a cuantos equipos se requiera activar o el equipo de mayor riesgo, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$V_e = \frac{A_c * T_a * t_d * \%e}{100} = \frac{5560,6 * 0,15 * 55 * 3}{100} = 1376,1 \text{ gal} \approx 32,8 \text{ Bls} \quad (3.5)$$

Donde:

Q_e = Requerimiento de concentrado de espuma (gal)

A_c = Área de cobertura (pie²)

T_a = Taza de aplicación ($\frac{\text{gpm}}{\text{pie}^2}$)

t_d = Tiempo de descarga (min)

$\%e$ = % de concentrado en la solución agua – concentrado (3% – 6%)

Petroamazonas EP determina su suministro de concentrado de espuma mediante el valor de la fórmula 3.5, lo cual será comparado posteriormente.

El mantenimiento constante es importante para preservar la vida útil del concentrado de espuma ya que este se caduca en un tiempo determinado por el fabricante.

De acuerdo a Petroecuador (1992b) literal 7.2.2.1, el método de inyección de espuma para tanques de techo cónico > 60 pies de diámetro, es tipo base o tipo superficie.

El método de inyección para la estación de producción LAC es bajo superficie, ya que la descarga de espuma es a través de conexiones que se encuentran en la parte inferior de la pared del tanque, donde la espuma entra al tanque considerando estar por debajo del

nivel del líquido almacenado para posteriormente ascender por diferencia de densidades y formar una capa por encima. La línea de inyección debe ser exclusiva para esta aplicación.

Dado que el tanque de almacenamiento de la estación no puede estar fuera de servicio, la inyección de espuma podrá hacerse a través de la tubería de producto cuando no exista transferencia del contenido del tanque, esto se puede implementar únicamente como una solución temporal.

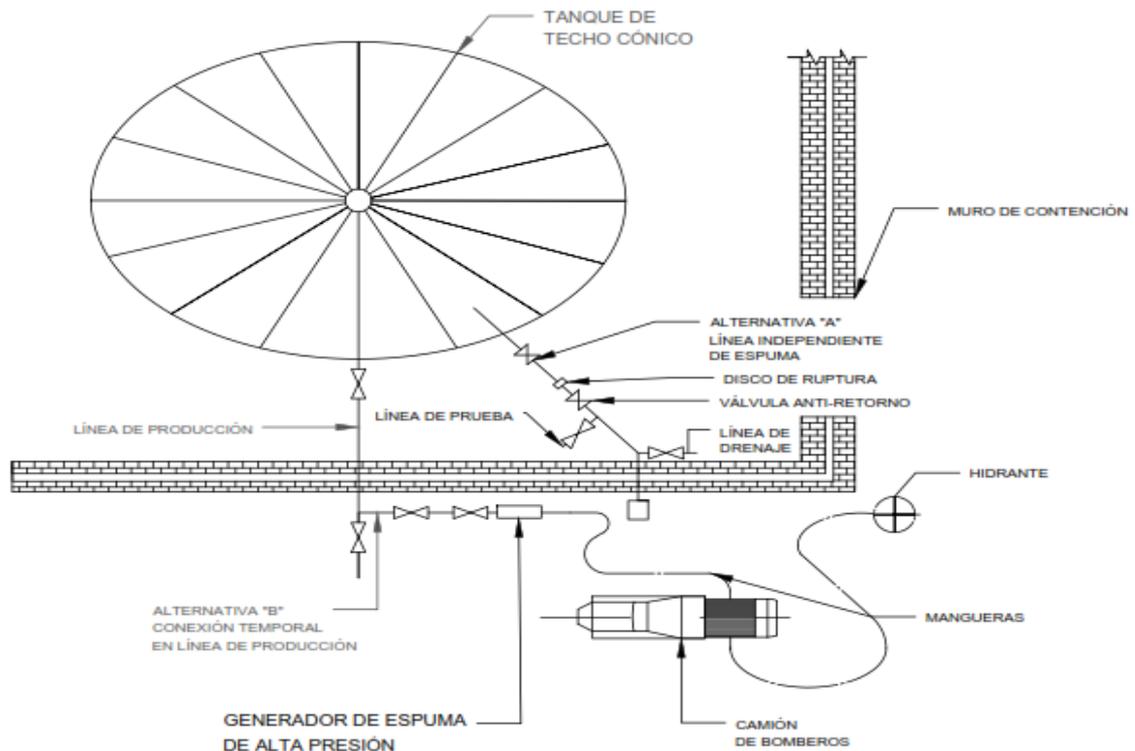


Figura 3. 2 Inyección de espuma bajo superficie
Fuente: (Petroecuador, 1992b)

Ya que el sistema de inyección es bajo superficie se establece que el concentrado de espuma (literal 6.2), tuberías de distribución (literal 6.3), proporcionadores de concentrado de espuma (literal 6.4) y generadores de espuma (literal 6.5) se encuentren diseñados bajo parámetros de la norma SHI – 019 de acuerdo a los literales indicados.

La longitud y diámetro de las tuberías de distribución a partir del generador de espuma se especifica para que la contra presión máxima en la descarga del generador no supere el 40% de presión a la entrada del generador y considerando una expansión igual a 4 en pérdidas de fricción y velocidad de flujo en las tuberías de distribución con espuma, lo cual se establece en las figuras # 6 – 10 de la norma SHI – 019.

A los requisitos establecidos para la solución agua – concentrado en la inyección bajo superficie, se añade el caudal necesario para la protección adicional por medio de mangueras conectadas a la tubería de distribución del sistema de espuma del tanque, descargando como mínimo 189 l/min, de acuerdo al tanque existe variedad en el número de duración de descarga de las mangueras (Petroecuador, 1992b) según lo establecido en el literal 7.2.2.1.5.

3) Tasas de aplicación

Es determinado de acuerdo a la norma SHI – 019 literal 7.2.2.1.1, en la cual se indican valores para una solución agua – concentrado por cada unidad de superficie libre de líquido que está contenido en un tanque.

- Tasa mínima = 0,10 gpm/ pie^2
- Tasa máxima = 0,20 gpm/ pie^2

4) Duración de descarga

Es determinado de acuerdo a la norma SHI – 019 literal 7.2.2.1.2. Ver tabla 3.11.

Tabla 3. 11. Duración mínima de descarga de espuma para inyección bajo superficie

Tipo de líquido contenido en tanque		Duración
Hidrocarburos líquidos	Líquidos combustibles Clase IIIB	25 min
	Líquidos combustibles Clase IIIB y IIIA	30 min
	Líquidos inflamables Clase I	55 min
	Líquidos almacenados a T° superior al punto de inflamación	55 min
	Petróleo crudo	55 min
Líquidos inflamables y combustibles de tipo solvente polar o miscible en agua		55 min

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

5) Caudal total requerido de solución agua – concentrado

Se determina en las salidas de diseño, en la cual se establecen las siguientes variables:

- Caudal de solución agua – espuma en inyección bajo superficie.

- Caudal de solución agua – espuma para chorros de manguera.

El caudal total en galones por minuto, es establecido con la suma de valores de los equipos con mayor riesgo.

El tipo de espuma requerida es del tipo fluoroproteínica con un volumen total de concentrado de 35 Bls al 3%.

6) Bocas de descarga de solución agua – concentrado (agua – concentrado)

La inyección de espuma dentro del tanque se da a través de diferentes bocas o puntos de descarga, para este tipo de sistema de inyección bajo superficie en la estación LAC, existen dos bocas de descarga al tanque de lavado y una boca de descarga al tanque de reposo, como se resume en la tabla 3.12.

Tabla 3. 12. Puntos de descarga

Diámetro del tanque (ft)	# Puntos de descarga respecto al tipo de líquido	
	Punto de inflamación < 100°F	Punto de inflamación ≥ 100°F
≤ 80	1	1
80 – 120	2	1
120 – 140	3	2
140 – 160	4	2
160 – 180	5	2
180 – 200	6	3
> 200	1 punto de descarga por cada 5000 pies ² adicionales de superficie libre de líquido	1 punto de descarga por cada 7500 pies ² adicionales de superficie libre de líquido

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

Para un solo punto de descarga, se puede inyectar espuma por la línea de producción del tanque de manera temporal. Para varios puntos de descarga, su instalación será equidistante con igual caudal de operación, indicado en la sección 7.2.2.1.3 de la norma SHI – 019, donde se cumple:

- Ubicación a una elevación óptima para descargar la espuma sobre el máximo nivel de fluido dentro del tanque.
- No exceder los 10 pies/s (líquidos clase IB) y 20 pies/s (otros líquidos inflamables) en los últimos 10 pies de tubería de descarga.
- En tanques de 200 pies de diámetro los puntos de descarga se deberán ubicar a un valor ≤ 15 pies de distancia de la pared del tanque.

7) Tanque proporcionador de espuma

En la tabla 3.10, se indica que el material cumpla con la norma ASTM A – 283 Gr C, la cual la establece como acero de tipo dulce. De acuerdo a la norma Petroecuador (1992a) se recomienda que el proporcionador sea de tipo presión balanceada con capacidad de 150 – 1200 gpm y la capacidad del tanque de hasta 11000 gal.

El tamaño y modelo del proporcionador de espuma se basa en el rango de flujo que puede manejar este (descrito en cálculos de diseño) y el método está determinado por la norma SHI – 019 del compendio de Petroecuador, estableciendo de esta manera las características de la bomba y motor a emplearse en el diseño de SCI. En la tabla 3.13 se especifica los tipos de proporción de espuma.

Tabla 3. 13. Selección de sistema de proporcionamiento de espuma (presión balanceada)

Modelo	Rango flujo (gpm)	Bomba y Motor
2RCT	30 – 180	15 gpm a 150 psi (5 HP)
2RCV	30 – 180	15 gpm a 150 psi (5 HP)
3RCT	70 – 450	25 gpm a 150 psi (5 HP)
4RCF	150 – 1200	50 gpm a 150 psi (10 HP)
6RCF	300 – 2500	100 gpm a 150 psi (15 HP)
8RCF	850 – 5000	175 gpm a 150 psi (30 HP)

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (National Foam, 1987)

En la tabla 3.14 se describen los tipos y números de formadores de espuma, los cuales se seleccionan de acuerdo a la capacidad calculada del tanque proporcionador de espuma (su selección es establecida en la memoria de cálculo de diseño).

Tabla 3. 14. Tipo de formadores de espuma

Modelo	Capacidad de diseño (gpm) @ 150 psi	Peso (Lbs)
--------	-------------------------------------	------------

PHB – 10 A (fijo)	100	9
PHB – 10 A (portátil)	100	10
PHB – 15 A (fijo)	150	9
PHB – 15 A (portátil)	150	10
PHB – 20 A (fijo)	200	9
PHB – 20 A (portátil)	200	10
PHB – 25 A (fijo)	250	9
PHB – 25 A (portátil)	250	10
PHB – 30 A (fijo)	300	9
PHB – 30 A (portátil)	300	10

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (National Foam, 1987)

8) Requerimientos de agua para enfriamiento

Además del consumo de agua para la generación de espuma, se requiere de agua para enfriamiento de paredes del tanque incendiado y adyacentes (Puente, 2000).

En base a experiencia de Petroamazonas, la aplicación de agua para enfriamiento se da por medio de monitores y mangueras o rociadores, ya que es recomendable económicamente para tanques de techo cónico, en el presente análisis de la factibilidad de actualización del SCI de la estación de producción Lago Agrio, los cálculos de diseño se basan en la aplicación de agua para enfriamiento con monitores distribuidos alrededor del tanque.

La tasa de agua para enfriamiento para el tanque incendiado debe ser de 0,2 gpm/pie², mientras que para adyacente es de 0,1 gpm/pie² (Petroecuador, 1992a).

Según Petroecuador (1992b) literal 4.7.3, establece el caudal total para enfriamiento de 1100 gpm, referenciando al tanque de mayor riesgo determinado por el método de Dow (tabla 3.8), en el cual se determina a demás:

- Caudal total de agua para formación de espuma;
- Caudal total de agua para enfriamiento;
- Caudal total de agua.

9) Bombas del sistema contra incendio

La instalación debe ser conformada por al menos dos grupos de bombeo, accionados por sistemas motrices diferentes. Petroecuador (1992a) literal 5.1 especifica que el tipo de bomba no sea recíproca más bien de tipo centrífuga ya que garantiza una presión estable para diferentes caudales, pudiendo operar de manera simultánea con varias bombas.

10) Tuberías para la solución agua – espuma

Las tuberías de esta red de distribución se conforman de acero al carbono. En base a la norma ASTM A-53 grado B que establece longitudes y diámetros, ver tabla 3.15.

Tabla 3. 15. Diámetro de tuberías para el sistema agua - espuma

Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)
4	4,026
5	5,047
6	6,065

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (ASTM A-53, 2000)

11) Tuberías para la línea de agua

Las tuberías de esta red de distribución se conforman de acero al carbono. En base a la norma ASTM A-53 grado B que establece longitudes y diámetros, ver tabla 3.16.

Tabla 3. 16. Diámetro de tuberías para la línea de agua

Diámetro nominal (in)	Diámetro interno (in)
6	6,065
8	7,981
10	10,020

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (ASTM A-53, 2000)

La selección de tubería es realizada en base al análisis de pérdidas de presión por fricción y altura (establecido en salidas de diseño).

12) Protección con mangueras

La conexión de mangueras a la red de distribución de tuberías ofrece mayor protección por lo tanto es importante conocer la duración de descargas, ver tabla 3.17.

Tabla 3. 17. Protección con mangueras

Diámetro de tanque (ft)	# Mangueras	Duración mínima de descarga (min)
$\varnothing \leq 35$	1	10
$35 < \varnothing \leq 65$	1	20
$65 < \varnothing \leq 95$	2	20
$95 < \varnothing \leq 120$	2	30
$\varnothing > 120$	3	30

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

Detección y Control del Sistema Contra Incendio

Cuando empieza la etapa inicial del fuego se desarrolla una gran variedad de cambios alrededor del ambiente involucrado, estas características de fuego generan un cambio medible en condiciones del medio ambiente, a través de dos variables:

Señal: Magnitud de cambio del ambiente;

Ruido: Variación del ambiente en condiciones normales.

En la Estación de Producción Lago Central solo se dispone de detectores en el área de bombas de inyección y el sistema de transferencia al terminal. Se encuentran detectores de humo del tipo UV/IR, por lo que es necesario actualizar el sistema de detección y alarma para la instalación de componentes dentro de todas las áreas que se encuentran dentro de LAC.

El sistema de detección debe accionarse cuando la magnitud de la señal es mayor al ruido y sus características podrán ser monitoreadas mediante detectores, por lo tanto, se considera como el punto de partida en una prevención de incendio o explosión. La relación señal / ruido de la característica ultravioleta es menor que la infrarroja, por lo tanto la característica UV es usada para detección de llama (Puente, 2000).

De acuerdo a Carrión & Piruch (2009) los detectores de fuego se activan debido a proceso físico – químico de combustión (calor, llama, humo), midiendo los siguientes parámetros:

- Calor por convección (sensibilidad al calor);
- Partículas de humo (sensibilidad al humo);
- Energía radiada por la masa o energía liberada por combustión (sensibilidad a la radiación).

El fuego es más fácil de detectar ya que genera varias características sensibles. Los humos serán detectados con detectores de humo mientras que para detectores de UV e IR el proceso será mucho más rápido y eficiente.

Se considera todas las características en la detección, ya que existen varias fuentes de fuego secundarias dentro de la estación, como por ejemplo las facilidades de superficie y otros factores menos inherentes como la radiación solar, temperatura del aire y su movimiento, así como trabajos a la intemperie donde se generen partículas de humo y se acumulen en los detectores y afecten su sensor óptico.

En referencia a Petroecuador (1992c) el sistema de detección y alarma activa sistemas de prevención, como:

- Sistema de alerta de emergencia;
- Sistema de agua contra incendio;
- Sistema de espuma contra incendio;
- Sistemas especiales de extinción de incendio.

El suministro de energía para el tablero central de control proviene de:

- **Fuente principal:** Red general de energía eléctrica;
- **Fuente secundaria:** Generador eléctrico para alimentar la fuente durante 24 hrs.

En la tabla 3.18 se describen distintos tipos de detectores, características y procesos.

Tabla 3. 18. Características de los tipos de detectores

Detector	Características	Clasificación	Funcionamiento
Calor	<ul style="list-style-type: none"> • Mide el calor producido por sustancias de combustión. 	Temperatura fija	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa cuando la temperatura en el sensor llega a niveles predeterminados.

	<ul style="list-style-type: none"> • Capta el aumento de temperatura hasta cierto nivel (set-point) a través de convección. • Pueden ser de dos tipos: <ul style="list-style-type: none"> – Spot: ocupan un punto específico; – Line: mide el calor a lo largo de una longitud conformada por conductores eléctricos. • Confiables. 		<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de medida son: bimetálicos, conductividad eléctrica, aleación fundible, cable sensitivo al calor, expansión de líquido.
		Compensación de variación	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa cuando la temperatura del aire llega a valores predeterminados. • No depende de la variación normal de temperatura
		Incremento de variación	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa cuando la temperatura incrementa a una velocidad mayor a la predeterminada. • Detector lineal tipo tubo neumático el cual debido a la variación de temperatura detecta la disminución o aumento de presión del aire dentro del tubo mediante un presostato. • Detector de efecto termoeléctrico, que inicia la alarma cuando el potencial eléctrico aumenta a una velocidad anormal debido al aumento de temperatura. • No depende de la variación de velocidad normal de T°.
Humo	<ul style="list-style-type: none"> • Mide la existencia de productos derivados de una combustión ineficiente con partículas en suspensión. • Las partículas son producidas posteriormente en el conato de incendio. 	Iónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Se activa cuando las partículas de humo entran a la cámara de ambiente ionizado con material radioactivo entre dos electrodos cargados diferencialmente. • Cuando entran las partículas de humo, se reduce la conductancia eléctrica del

			<p>aire por la reducción de movilidad de iones, lo cual es medido por el detector para activar las alarmas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidad a partículas invisibles (< 1 micrón). • Baja sensibilidad a partículas grandes, típico de fuegos con poca llama y mucho humo.
		Dispersión de luz	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo fotoeléctrico con sensor fotosensitivo. • Se activa cuando las partículas de humo se emparejan en la dirección de la luz provocando que ciertos rayos se dispersen por reflexión y refracción dentro del sensor. • Alta detección debido a sensores fototransistor que funcionan con luz punzante de alta intensidad. • Sensible a partículas visibles (> 1 micrón) (fuegos lentos). • Baja sensibilidad a pequeñas partículas (humos negros).
		Oscurecimiento de luz	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo fotoeléctrico con sensor fotosensitivo. • Se activa cuando partículas de humo se emparejan con la dirección de la luz y los rayos son dispersados u absorbidos, reduciendo de este modo la cantidad de luz en el sensor.

			<ul style="list-style-type: none"> • Baja sensibilidad a pequeñas partículas de humos negros.
		Cámara de niebla	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo fotoeléctrico con sensor fotosensitivo. • Se activa cuando las partículas de humo entran al ambiente húmedo dentro de la cámara de detección, donde la mezcla de aire se condensa formando niebla.
Llama	<ul style="list-style-type: none"> • Se conoce como detector de chispa. • Son sensibles a radiación IR y UV. • La combustión emite una pequeña cantidad de energía radiante. • La sensibilidad del detector depende del tamaño y tipo de combustible. • Las señales de espectro son medidas por su longitud de onda en micrones. • Puede operar en ambientes con luz o muy iluminados. • Efectiva protección en aplicaciones de rápida respuesta. • Ciertos gases pueden inhibir el funcionamiento de detección los cuales absorben radiación UV. 	Ultravioleta (UV)	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de onda (rango de detección) 0,1 – 0,35 micrones. • Captan radiaciones por debajo de 4000 amstrongs. • Se activa cuando el número de ráfagas de corriente a través de un tubo fotodiodo (fotones ultravioleta). • Sensibles a tormentas eléctricas, rayos gamma y X, arcos de soldadura. • Su velocidad de respuesta será de 10 milisegundos. • Incendios clase A y B (ambientes abiertos y cerrados).
		Infrarroja (IR)	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de onda (rango de detección) 0,76 – 220 micrones. • Captan radiaciones por encima de 7700 amstrongs. • La detección IR de frecuencia individual se activa con el uso de uno de varios tipos de fotocelda por

	<ul style="list-style-type: none"> Sustancias como metano, propano, butano, hexano, camphor, y octano, no absorben radiación UV. 		<p>medio de una banda de longitud de onda individual, con una velocidad de respuesta de 3 – 5 seg.</p> <ul style="list-style-type: none"> La detección IR de frecuencia dual se activa al comparar las emisiones de dos o más bandas de longitud de onda en el espectro, con una velocidad de respuesta de 1 – 5 seg. Son propensos a falsas alarmas por destellos o reflejos de luz. Incendios clase A y B (ambientes cerrados, ductos de aire).
		<p>Ultravioleta Infrarroja (UV/IR)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se conforma de sensor IR y UV. Se activa al medir la radiación UV por medio de un fotodiodo y una longitud de onda de radiación IR por medio de una fotocelda, y combinando la señal. Se requiere ambas radiaciones para activarse. Posee una velocidad de respuesta de 1 – 5 seg.

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Puente, 2000)

Selección del Sistema de Detección Contra Incendio

El sistema de detección contra incendio otorga tiempos de respuesta rápidos frente a un incendio o explosión, así como la activación de distintos detectores ante un incendio generalizado. El tipo y cantidad de detectores se basa en análisis de riesgos, mientras que para seleccionar detectores que captan la energía radiante, se considera:

- Capacidad de respuesta a emisiones espectrales del fuego;

- Adaptación a falsas alarmas en condiciones donde no exista fuego.

La manera más efectiva de respuesta es con la instalación de controladores electrónicos que emiten la señal de alarma de una manera rápida, este controlador dispondrá de configuración electrónica mediante hardware y software y una correcta señalización de alarma, sonora, visual, paro y accionamiento manual.

En función a recomendaciones especificadas por Petroamazonas EP y con base a la norma SHI – 022 de acuerdo con el compendio proporcionado por Petroecuador EP, la selección de detectores del sistema de protección contra incendio de la estación LAC se conformará de:

- Detectores de llama:
 - Instalados en zonas de alto riesgo (separadores, tanques de almacenamiento, generadores, bombas, etc.).
 - Visualización sin obstrucciones entre detector y área a proteger.
 - Detector tipo multiespectro de alta velocidad, inmune a falsas alarmas.
 - Detector modelo X3301 multiespectro Flame Detector con sensor IR sensitivo de frecuencia individual de 4,4 micrones de sensibilidad a bandas angostas de radiación.
 - Tiempo de respuesta de 1 segundo.
 - Temperatura de trabajo -40 a 75 °C.
- Detectores de Humo:
 - Instalados en zonas cerradas de bajo riesgo (oficinas, laboratorios, dormitorios, etc).
 - Recomendable para incendios en equipos eléctricos.
 - Su diseño es estandarizado y no genera riesgos ni es susceptible a actualización.
 - Susceptible a falsas alarmas.
- Detectores de Gas combustible:
 - Instalados en zonas de alto riesgo a fugas de hidrocarburos o gases inflamables (compresores de gas, separadores, bota de gas, etc).
 - Detectores ópticos de tipo IR para vapores de hidrocarburos y gases como el GLP, hidrógeno, etc.
 - Detector modelo IR PIRECL de monitoreo continuo de gases inflamables de hidrocarburos con sensor IR de rango de sensibilidad espectral de 0 – 100% con un bajo límite explosivo.

- Tiempo de respuesta < 30 seg.
 - Temperatura de trabajo -40 a 75 °C.
 - Señal de 4 – 20 mA.
- Estaciones manuales de alarma:
 - Instalados en zonas visibles de alto riesgo (áreas de almacenamiento, bombas, áreas de generación eléctrica, sistemas de control, compresores y separadores).
 - Su ubicación será en zonas periféricas de instalaciones al aire libre.
 - La distancia máxima de recorrido para su accionamiento a la zona periférica será de al menos 40 metros.
 - Su uso se restringe a lo dispuesto en planes de emergencia.
 - Controlador electrónico:
 - Controlador lógico programable (PLC) monitoreado por medio de un panel de control.
 - Los detectores envían la señal hasta la central de señalización para activar el sistema de alarmas y la señal seguir el siguiente camino:
 1. Cuerpo de bomberos;
 2. Sala de máquinas;
 3. Tablero de control de procesos;
 4. Encendido de sistema de agua y espuma contra incendios;
 5. Apertura y cierre de válvulas
 6. Activación de alarma sonora y visual en todos los departamentos.

En la figura 3.3 se muestra la distribución actual del sistema de detección y alarma, especificando que; equipos de color rojo son los que se propone instalar dentro de las zonas que componen la Estación de Producción.

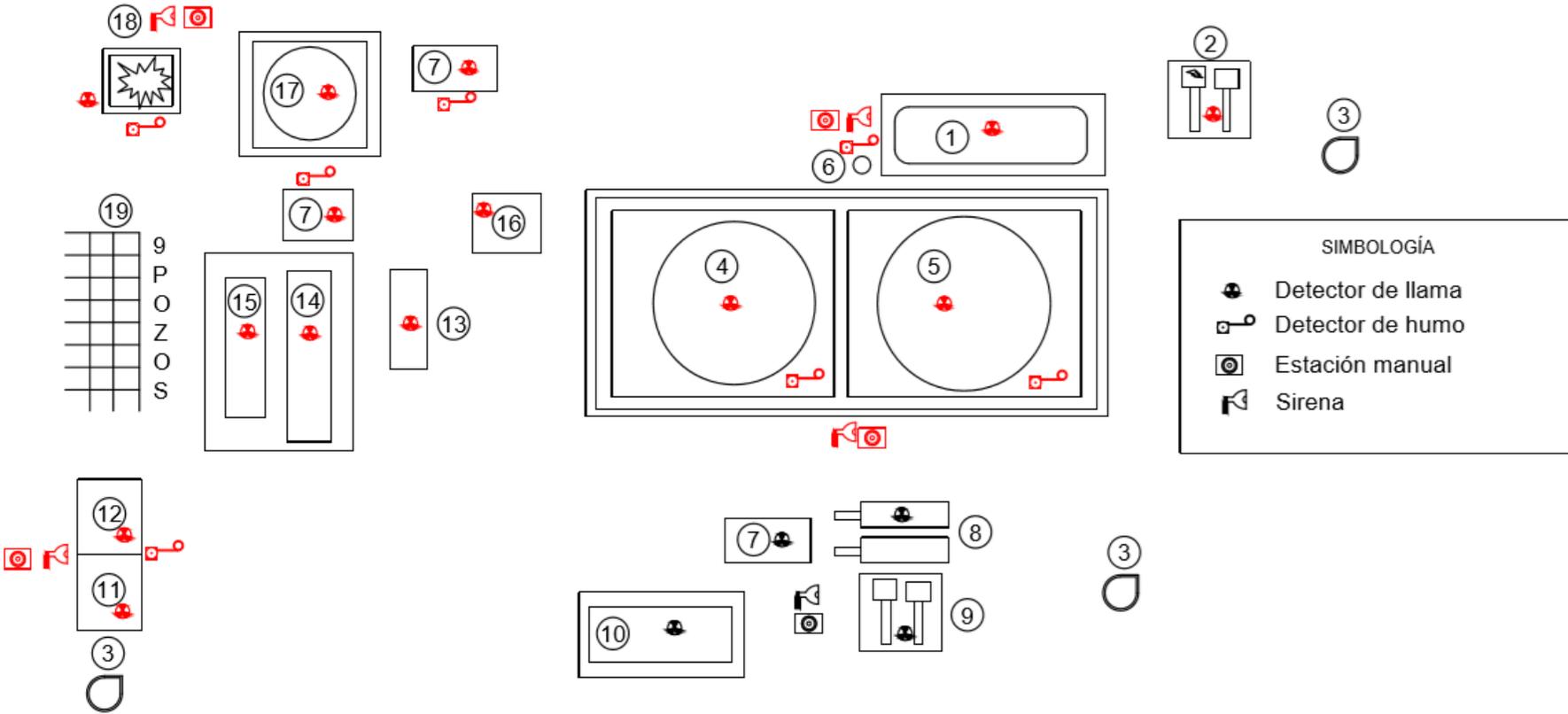


Figura 3. 3 Sistema de detección y alarma contra incendios en la estación LAC
Fuente: Petroamazonas, 2019

3.1.2.2. Salidas de Diseño

De acuerdo a los resultados del análisis IEF por el método Dow, establecido en la tabla 3.8, se puede observar que los tanques de lavado y reposo representan un riesgo importante y potencialmente peligroso para la estación de producción LAC, los cálculos que a continuación se detallan, se basan en los resultados del previo análisis, considerando tanto normas nacionales e internacionales, así como el compendio de normas de Petroecuador.

De acuerdo a lo determinado en la tabla 3.8 (análisis de índice de incendio y explosión IEF) se determinó que los equipos de mayor riesgo (importante) dentro de la estación LAC son: tanque de lavado y tanque de reposo siendo el tanque de reposo el de mayor incidencia debido a su mayor capacidad.

Cálculos para el Sistema Agua – Espuma, Agua – Enfriamiento y Capacidad del Tanque de Almacenamiento de Agua

En la tabla 3.19 se establecen cálculos de diseño para el funcionamiento previo del sistema contra incendio de la estación LAC, su análisis se basa en datos obtenidos en campo y dimensiones tomadas de hojas de diseño, lo cual se utiliza como base para la selección de tuberías y bombas.

Tabla 3. 19. Memoria de cálculo del sistema agua - espuma, enfriamiento y capacidad de almacenamiento

Requerimiento / Equipo	Características	Observaciones	Resultados
Tanque de Lavado	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro: 49 ft • Altura: 41 ft • Capacidad: 14 690 Bls 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de techo cónico. • Requiere protección anular. • Se considera ID y placa de retención de espuma. • Placa se encuentra a 20' de la plancha del tanque. 	<p>Área</p> $\text{Área} = \frac{\pi * \phi^2}{4}$ $\text{Área} = \frac{\pi * 49^2}{4} = 1885,74 \text{ ft}^2$ <p>Área de protección anular</p> $A_T = \frac{\pi * (OD^2 - ID^2)}{4}$ $A_T = \frac{\pi * (49^2 - 29^2)}{4} = 1225,22 \text{ ft}^2$

<p>Solución agua – espuma ($Q_{a,e}$)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rata de descarga: 0.3 gpm/ft² • Tiempo de descarga: 55 min (en petróleo crudo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma SHI – 019. • Descarga se da entre pantalla de represamiento y pared del tanque. 	<p>Caudal agua – espuma</p> $Q_{a,e} = \text{rata descarga} * A_T$ $Q_{a,e} = 0,3 * 1225,22 = 370 \text{ gpm}$ <p>Volumen agua – espuma</p> $V_1 = 370 * 55 = 20350 \text{ gal}$
<p>Solución agua – espuma total</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga mínima: 50 gpm • # mangueras de chorro espuma: 1 • Duración descarga mínima: 20 min (tabla 4.7) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma SHI – 019. • Descarga para tanques de techo fijo. 	<p>Caudal agua – espuma con protección adicional</p> $Q_{a,e,p} = \text{descarga min} * \text{\#mangueras}$ $Q_{a,e,p} = 50 * 1 = 50 \text{ gpm}$ <p>Volumen agua-espuma con protección adicional</p> $V_2 = Q_{a,e,p} * \text{tiempo min}$ $V_2 = 50 * 1 * 20 = 1000 \text{ gal}$
<p>Tanque de Reposo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro: 59 ft • Altura: 30 ft • Capacidad: 15 100 Bls 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de techo cónico. • Requiere protección anular. • Se considera ID y placa de retención de espuma. • Placa se encuentra a 20' de la plancha del tanque. 	<p>Área</p> $\text{Área} = \frac{\pi * \phi^2}{4}$ $\text{Área} = \frac{\pi * 59^2}{4} = 2733,97 \text{ ft}^2$ <p>Área de protección anular</p> $A_T = \frac{\pi * (OD^2 - ID^2)}{4}$ $A_T = \frac{\pi * (59^2 - 39^2)}{4} = 1539,38 \text{ ft}^2$
<p>Solución agua – espuma ($Q_{a,e}$)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rata de descarga: 0,3 gpm/ft² • Tiempo de descarga: 55 min (en petróleo crudo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma SHI – 019. • Descarga se da entre pantalla de represamiento y pared del tanque. 	<p>Caudal agua – espuma</p> $Q_{a,e} = \text{rata descarga} * A_T$ $Q_{a,e} = 0,3 * 1539,38 = 461,8 \text{ gpm}$ <p>Volumen agua – espuma</p> $V_1 = 465 * 55 = 25575 \text{ gal}$
<p>Solución agua – espuma total</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga mínima: 50 gpm • # mangueras de chorro espuma: 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma SHI – 019. • Descarga para tanques de techo fijo. 	<p>Caudal agua – espuma con protección adicional</p> $Q_{a,e,p} = \text{descarga min} * \text{\#mangueras}$ $Q_{a,e,p} = 50 * 1 = 50 \text{ gpm}$

	<ul style="list-style-type: none"> Duración descarga mínima: 20 min (tabla 4.7) 		<p>Volumen agua-espuma con protección adicional</p> $V_2 = Q_{a,e,p} * \text{tiempo min}$ $V_2 = 50 * 1 * 20 = 1000 \text{ gal}$
Máximo consumo	<ul style="list-style-type: none"> Solución agua – espuma Caudal agua – espuma del tanque de lavado <ul style="list-style-type: none"> $Q_{a,e} = 465 \text{ gpm}$ $V_1 = 20350 \text{ gpm}$ $V_2 = 1000 \text{ gpm}$ Caudal agua – espuma del tanque de reposo <ul style="list-style-type: none"> $Q_{a,e} = 370 \text{ gpm}$ $V_1 = 25575 \text{ gpm}$ $V_2 = 1000 \text{ gpm}$ 	3% concentración de espuma.	<p>Caudal máximo de solución</p> $Q_{t,c} = Q_{a,e} + Q_{a,e,p}$ $Q_{t,c} = 461,8 + 50 = 511,8 \text{ gpm}$ <p>Volumen total de solución</p> $V_{a,e} = (V_1 + V_2) + (V_1 + V_2)$ $V_{a,e} = 21350 + 26575 = 47925 \text{ gal}$ <p>Volumen de concentrado de espuma</p> $V_e = V_{a,e} * \%_{\text{concentrado}}$ $V_e = 47925 * 0,03 = 1438 \text{ gal}$ $V_e = 35 \text{ bls}$ <p>Volumen de agua para formación de solución</p> $V_a = V_{a,e} - V_e$ $V_a = 47925 - 1438 = 46487 \text{ gal}$ $V_a = 1106.833 \text{ Bls}$
Capacidad de tanque proporcionador de espuma	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo National Foam (1987) sección III, pág 3-5, el caudal de espuma cumple el rango entre $30 \leq 180 \text{ gpm}$ (tabla 3.13) La selección del proporcionador de espuma es: <ul style="list-style-type: none"> – Modelo: 2 RCT – Bomba: 15 gpm – Bomba: 150 psi – Motor eléct: 5 HP 	<ul style="list-style-type: none"> Norma SHI – 019. Método de presión balanceada para selección del proporcionador de espuma. Permite ajustarse a un amplio rango de caudales y presiones en la línea de agua. 	<p>Caudal de espuma</p> $Q_e = \frac{V_e}{\text{tiempo aplicación}}$ $Q_e = \frac{1438}{55} = 27 \text{ gpm}$ $27 \approx 30 \text{ gpm}$

<p>Formador de espuma</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad a cubrir: 945 ≈ 950 gpm (consumo de mayor riesgo). • De acuerdo con la tabla 4.6 la selección del formador de espuma es: <ul style="list-style-type: none"> – # foam makers = 4 – Modelo = PHB-25 A fijo – Capacidad = 250 gpm c/u – Presión entrada = 150 psi 		<p>Caudal de formador de espuma (Q_{f,e})</p> $Q_{f,e} = Q_{a,e} + Q_{a,e,p}$ $Q_{f,e} = (475 + 370) + (50 + 50)$ $Q_{f,e} = 945 \text{ gpm}$
<p>Sistema de agua para enfriamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de área de equipos dentro de zona de riesgo <ul style="list-style-type: none"> – A₁ = Área tanque de lavado – A₂ = Área tanque de reposo – D_C = Área total calentador de agua <ul style="list-style-type: none"> – D_{c1} = Área coil – D_{c2} = Área de transferencia – D_{c3} = Área calentador – D_B = Área bota de gas • Cálculo de caudal de agua para el sistema de enfriamiento. <ul style="list-style-type: none"> – Ta₁ = 0,2 gpm/ft² (Rata aplicación para consumo de agua del tanque incendiado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma SHI – 018. • Tanque incendiado. Se aplica una taza de 0,2 gpm/ft², considerando 50% del área total de las paredes del tanque. • Tanque adyacente. Se aplica una taza de 0,1 gpm/ft², considerando 50% del área total de las paredes del tanque. • Cálculos de diseño solo se basarán en los equipos que estén dentro del radio de influencia (anexo VI) 	<p>Área de tanque de reposo</p> $A_1 = \pi * D_1 * H_1$ $A = \pi * 49 \text{ ft} * 41 \text{ ft} = 6311,45 \text{ ft}^2$ $A_2 = \pi * D_2 * H_2$ $A = \pi * 59 \text{ ft} * 30 \text{ ft} = 5560,61 \text{ ft}^2$ <p>Áreas de zonas aledañas</p> $D_C = D_{c1} + D_{c2} + D_{c3}$ $D_C = 122 + 46 + (\pi * D * H)$ $D_C = 122 + 46 + (\pi * 8 * 3)$ $D_C = 243,4 \text{ ft}^2$ $D_B = \pi * D_B * H_B$ $D_B = \pi * 6 * 62 = 1168,67 \text{ ft}^2$ <p>Caudal de enfriamiento</p> $Q_1 = \frac{Ta_1 * A_1}{2} + \frac{Ta_2 * A_2}{2} + Ta_2 * \pi * \frac{D_1^2}{4}$ $Q_1 = \frac{0,2 * 5560,61}{2} + \frac{0,1 * 6311,45}{2} + 0,1 * \pi * \frac{49^2}{4}$ $Q_1 = 931,67 \text{ gpm}$ $Q_2 = Ta_2 * D_C$ $Q_2 = 0,1 * 243,4 = 24,34 \text{ gpm}$ $Q_3 = Ta_2 * D_B$ $Q_3 = 0,1 * 1168,67 = 116,87 \text{ gpm}$

	– $Ta_2 = 0,1 \text{ gpm/ft}^2$ (Rata aplicación para consumo de agua de equipos adyacentes)		Caudal de total $Q_{\text{Total}} = \sum_{i=3}^{i=1} Q_i = 1073 \approx 1100 \text{ gpm}$
Capacidad de tanque de almacenamiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo mínimo de almacenamiento: 3 hrs • Capacidad mínima del tanque de agua: 6097,17 \approx 6100 Bls 	• Norma SHI – 019	Volumen mínimo de agua $V = 1100 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{1 \text{ bl}}{42 \text{ gal}} * 3 \text{ hrs}$ $V_{\text{min}} = 4714,3 \text{ bls}$ Volumen total de agua $V_T = V_a + V_{\text{min}}$ $V_T = 4714,3 + 1382,87 \approx 6100 \text{ Bls}$

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroecuador, 1992b)

Cálculo para la Selección de Tuberías de Solución Agua – Espuma y Enfriamiento

Su selección o diseño debe representar el mayor redito económico para la empresa Petroecuador EP, con lo cual el análisis se basa en la variación de pérdidas de presión por fricción de acuerdo con el diámetro de tubería. Recordando que a mayor diámetro menor pérdida de presión, pero también mayor costo, debido a esto el análisis optimiza estos diámetros para evitar pérdidas económicas y presión, pero asegura su correcto funcionamiento. De acuerdo a la norma Petroecuador (1992a) se establecen dos factores para una red de tuberías consideradas como principales:

- Velocidad de agua $\leq 10 \text{ ft/s}$;
- Caudal total $\geq 1000 \text{ gpm}$ (entonces el diámetro de tubería deberá ser $> 8''$).

1) Tuberías de agua para enfriamiento

Para determinar las pérdidas de presión por fricción en este tipo de tuberías se toma en cuenta los siguientes datos (Ingersoll – Dresser Pumps, 1996).

- Velocidad de succión de bomba (máxima permitida) = $V_s = 6 \text{ ft/s}$
- Velocidad de descarga de bomba (máxima permitida) = $V_d = 12 \text{ ft/s}$
- Caudal total de agua = $Q_{\text{Total}} = 1100 \text{ gpm}$
- Temperatura de agua = $T_a = 60 \text{ }^\circ\text{F}$
- Viscosidad de agua a $60 \text{ }^\circ\text{F}$ = $V_a = 1,13 \text{ cts}$
- Densidad de agua = $d_a = 1 \text{ gr/cm}^3$

Pérdidas de presión por fricción hasta la succión de la bomba. _ El diámetro de la tubería hasta la succión de la bomba es determinado mediante tablas de pérdidas por fricción para tuberías de acero con cédula 40 (anexo VII), considerando la velocidad de succión máxima permitida y el caudal total de agua, por lo tanto:

- Diámetro de tubería hasta la succión de la bomba = $d_s = 8''$
- Distancia de tanque de agua – bomba = 16 ft
- Relación de pérdidas = $R_p = 15,5 \text{ [ft]} / 1000 \text{ [ft]}$ de tubería respecto al diámetro

$$- R_{p, \text{ tubería de succión}} = \frac{15,5 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} * 16 \text{ ft} = 0,248 \text{ ft}$$

A lo largo de la tubería hasta la succión de la bomba, se tienen diferentes accesorios, como se indica en la tabla 3.20.

Tabla 3. 20. Pérdidas de presión por equipamientos en la succión de la bomba

Equipamiento	Cantidad	Distancia a bomba (ft)	Pérdidas (ft)
Válvula mariposa	1	18,75	1 * 18,75 = 18,75
Codos	2	9,5	2 * 9,5 = 19
Crossover	1	25	1*25 = 25
Tee	1	15,6	1 * 65,6 = 65,6
\sum pérdidas			128,35
$R_{p, \text{ accesorios de succión}} = \frac{15,5 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} * 128,35 \text{ ft} = 1,99 \text{ ft}$			

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

Por lo tanto, la pérdida total hasta la succión de la bomba es:

$$h_{fs} = R_{p, \text{ tubería de succión}} + R_{p, \text{ accesorios de succión}}$$

$$h_{fs} = 0,248 + 1,99 = 2,238 \text{ ft} \quad \approx \quad h_{fs} = 2,238 \text{ ft} * 0,433 \text{ psi/1 ft} = 2,423 \text{ psi}$$

Pérdidas de presión por fricción desde la descarga de la bomba. _ el diámetro de la tubería desde la descarga de la bomba es determinado mediante tablas de pérdidas por fricción para tuberías de acero con cédula 40 (anexo VII), considerando la velocidad de descarga máxima permitida y el caudal total de agua, por lo tanto:

- Diámetro de tubería desde la descarga de la bomba = $d_d = 6''$
- Distancia de bomba – monitor = 1850 ft
- Relación de pérdidas = $R_p = 62,3 \text{ [ft]} / 1000 \text{ [ft]}$ de tubería respecto al diámetro

$$- R_{p, \text{ tubería de descarga}} = \frac{62,3 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} * 1850 \text{ ft} = 115,26 \text{ ft}$$

Tabla 3. 21. Pérdidas de presión por equipamientos en la descarga de la bomba

Equipamiento	Cantidad	Distancia desde bomba (ft)	Pérdidas (ft)
Válvulas de compuerta	4	179,6	4 * 179,6 = 718,4
Válvulas check	2	49,7	2 * 49,7 = 99,4
Válvulas de mariposa	3	17,9	3 * 17,9 = 53,7
Válvulas de bola	2	31,5	2 * 31,5 = 63
Codos	10	17,9	10 * 17,9 = 179
Tee	7	59,7	7 * 59,7 = 417,9
\sum pérdidas			1531,4
$R_{p, \text{ accesorios de descarga}} = \frac{62,3 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} * 1340,86 \text{ ft} = 83,48 \text{ ft}$			

Elaborado por: Oscar Mesa

Fuente: (Petroamazonas EP, 2018a)

Por lo tanto, la pérdida total desde la descarga de la bomba es:

$$h_{fd} = R_{p, \text{ tubería de descarga}} + R_{p, \text{ accesorios de descarga}}$$

$$h_{fd} = 115,26 + 83,48 = 198,7 \text{ ft} \quad \approx \quad h_{fd} = 198,7 \text{ ft} * 0,433 \text{ psi/1 ft} = 86 \text{ psi}$$

La selección de diámetros de tuberías $\geq 8''$ en la descarga, es una opción muy recomendable, aunque su costo sea elevado, pero disminuye las pérdidas de presión por fricción.

2) Tuberías de solución agua – espuma

Los diámetros para esta tubería y las limitantes de velocidad de succión y descarga son determinados de la misma forma que se describe en anexo VII, por lo tanto, se toma en cuenta los siguientes datos (Ingersoll – Dresser Pumps, 1996).

- Velocidad de succión (máxima permitida) = $V_s = 6 \text{ ft/s}$
- Velocidad de descarga (máxima permitida) = $V_d = 12 \text{ ft/s}$
- Caudal máximo de solución agua – espuma = $Q_{t,c} = 511,8 \text{ gpm}$
- Diámetro de tubería hasta la succión del proporcionador = $d_{t,s} = 5''$
- Diámetro de tubería desde la descarga del proporcionador = $d_{t,d} = 4''$

Se aprecia que la tubería de succión del sistema agua – espuma es de diámetro 4 in y la tubería de descarga del sistema agua – espuma es de 6 in (figura 2.12).

Cálculo para la Selección de Bombas del SCI

Se considera el caudal que manejará la bomba en referencia a la tabla 3.19.

- Caudal agua – espuma = $Q_{a,e} = 461,8 \text{ gpm}$
- Caudal agua para enfriamiento = $Q_T = 1100 \text{ gpm}$

En el diseño de la bomba se toma el valor más crítico, por lo tanto, el caudal que manejará la bomba del SCI es la suma entre:

$$Q_{a,e} + Q_T = 461,8 + 1100 = 1561,8 \text{ gpm} \approx 1600 \text{ gpm}$$

En la tabla 3.22 se establece los cálculos requeridos para el diseño de la bomba.

Tabla 3. 22. Cálculo para selección de bomba

	Requerimientos	Cálculos	Observaciones
Altura de impulsión	$H_T =$ Altura total de impulsión (ft) $h_s =$ Altura de succión (ft) $h_d =$ Altura de la descarga (ft) $h_{fs} =$ Pérdidas succión (ft) $h_{fd} =$ Pérdidas descarga (ft)	$H_T = h_s + h_d + h_{fd} + h_{fs}$ $H_T = 0 + 230 + 86 + 2,42$ $H_T = 318,42 \text{ ft}$	$h_s = 0$, debido a que la bomba se encuentra al mismo nivel del tanque de agua
Potencia de bomba de agua	$Q =$ Caudal (gpm) $H_T =$ Altura total de impulsión (ft) $\eta =$ Eficiencia de bomba $\delta =$ Gravedad específica $P =$ Potencia de bomba (HP)	$P = \frac{Q * H_T * \delta}{3960 * \eta}$ $P = \frac{1100 * 318,42 * 1}{3960 * 0,70}$ $P = 126,36 \text{ HP} \approx 150 \text{ HP}$	Eficiencia de la bomba al 70%

Selección de bomba de agua	Datos para selección $Q = 1100 \text{ gpm} = 249,8 \text{ m}^3/\text{h}$ $H_T = 318,42 \text{ ft} = 97,05 \text{ m}$ $\delta = 1$ $P = 150 \text{ HP}$ $V_a = 1,13 \text{ ctk}$	Bomba Tipo: Centrífuga Horizontal Modelo: DN 150-50 Marca: Mark Grundfos Características Diámetro impeler: 18 pulg $\eta = 68\%$ Frecuencia: 1750 RPM	Modelo de selección según cartas de clasificación general de curvas características para cada modelo (anexo VIII).
Motor eléctrico		$P_{\text{motor eléctrico}} = \frac{\text{HP}_{\text{bomba}}}{\eta_{\text{motor eléctrico}}}$ $P_{\text{motor eléctrico}} = \frac{150 \text{ HP}}{0,95}$ $P_{\text{motor eléctrico}} = 157,89 \text{ HP}$ $\approx 160 \text{ HP}$	

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Carrión & Piruch, 2009)

En la tabla 3.23 se detalla un análisis comparativo de la situación actual versus los cálculos establecidos en las salidas de diseño del presente trabajo de investigación, con lo cual se establecen recomendaciones de diseño.

Tabla 3. 23. Comparativa actual vs calculada

Equipo	Actual	Cálculo
Tanque de almacenamiento de agua	Capacidad: 5146 [bls]	Capacidad: 6100 [bls]
Volumen requerido	Volumen de agua para la formación de solución: $V_a = 1060 \text{ Bls}$ Volumen de concentrado de espuma: $V_e = 32,8 \text{ Bls}$	Volumen de agua para la formación de solución: $V_a = 1106,83 \text{ Bls}$ Volumen de concentrado de espuma: $V_e = 35 \text{ Bls}$
Sistema de proporcionador de espuma	Proporcionador tipo: 4' RCF Espuma: fluoroproteínica 3% Cantidad espuma: 28 [bls] Capacidad tanque espuma: 55 [bls] Caudal de solución: 150–1200 [gpm]	Proporcionador tipo: 2' RCT Espuma: fluoroproteínica 3% Cantidad espuma: 28 [bls] Capacidad tanque espuma: 35 [bls] Caudal de solución: 30–180 [gpm]
Formador de espuma	Información no disponible	Modelo: PHB – 25A # Formadores: 4 Capacidad: 250 [gpm] c/u Presión entrada: 150 [psi]
Tubería de agua de enfriamiento	Diámetro succión: 8 [in] Diámetro descarga: 6 [in]	Diámetro succión: 8 [in] Diámetro descarga: 6 [in]

Tubería de solución agua – espuma	Diámetro succión: 4 [in] Diámetro descarga: 3 [in]	Diámetro succión: 5 [in] Diámetro descarga: 4 [in]
Bomba de agua	Marca: Pireless Pump Modelo: 8AEF20GH Diámetro impeler: 8 [in] Capacidad: 2000 gpm @ 1780 rpm Potencia: 500 HP (no exclusiva SCI)	Marca: Mark Grundfos Modelo: DN150-50 Diámetro impeler: 18 [in] Capacidad: 1100 gpm @ 1750 rpm Potencia: 160 HP (exclusiva SCI)
Sistema de detección	<p>Detectores tipo: UV/IR Marca: Det – tronics</p> <p>* Se encuentra únicamente en el área de bombas. * No cumple con detección y alarma para las demás áreas. * No cumple con las normativas PE SHI – 022 “sistemas de detección” y NFPA 72 “National fire alarm code”.</p>	<p>Detectores de llama:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zonas: separadores, detectores tanques, generadores y bombas; – Modelo: X3301 multiespectro con sensor IR. <p>Detectores de humo:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zonas: oficinas, laboratorios; – Tipo: ionización y fotoeléctrico. <p>Detectores de gas:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zonas: Compresores y bota de gas; – Modelo: IR – PIRECL con sensor IR.

Elaborado por: Mesa, 2020

3.1.3. Análisis Técnico – Económico

Para realizar inversión en un proyecto se deber considerar factores como el tiempo, recuperación y recursos a utilizar con el fin de brindar seguridad al personal de operación y réditos económicos a corto o largo plazo. En este caso el beneficio obtenido es intangible y se traduce en seguridad para el personal y las instalaciones.

La evaluación técnica se enfoca en el análisis de costos, estimados de manera exhaustiva con cálculos de rentabilidad aproximada e índice de interés no variable.

Este trabajo tiene como base analizar la factibilidad de la actualización del SCI en la estación de producción LAC e identificar un incremento de seguridad que justifique la inversión establecida, para así minimizar el riesgo de pérdidas humanas y económicas por incendio o explosión, basado en la selección del método de Dow para los equipos de mayor riesgo.

El análisis mediante el método Dow permite establecer que la inversión es justificada; alcanzando un objetivo de la investigación.

3.1.3.1. Análisis de Proyecto

En las tablas 3.24 y 3.25 se establecen diferentes costos estimados de equipos e instalación del sistema contra incendio de la estación LAC, en referencia al costo por barril actual.

Tabla 3. 24. Costo de equipos

	Equipo	Características	Unidad	Costo/U	Costo (\$)
SISTEMA DE ESPUMA	Tubería de acero	D=5 in, Sch-40, ASTM-A795	1	54,2	54,2
	Tubería de acero	D=4 in, Sch-40, ASTM-A795	129	40,65	5243,85
	Válvula de compuerta	D=5 in, ANSI-150 [brida]	2	5600	11200
	Válvula de compuerta	D=4 in, ANSI-150 [brida]	19	4200	79800
	Válvula de mariposa	5 in OS, ANSI-150	3	195,5	586,5
	Válvula check	D=5 in, ANSI-150 [brida]	2	1200	2400
	Válvula check	D=4 in, ANSI-150 [brida]	4	900	3600
	Tee	5 in	6	67,5	405
	Codo de acero	5 in x 90°, ANSI-B16.25	2	93,32	186,64
	Codo de acero	4 in x 90°, ANSI-B16.25	14	69,99	979,86
	Brida con cuello	4 in, ANSI-150, RF	12	31,5	378
	Bomba de concentrado	15 gpm	1	24162	24162
	Tanque de concentrado	2000 gal	1	22000	22000
	Espuma	Aer-O-Lite=3%AFF, GE=1.03, @25°C, ph = 8, μ =3stk, Tmin = -7°C, Tmax = 49°C	5000	28,8	144000
	Bomba Jockey	15 gpm, motor eléctrico	1	30000	30000
	Extintores PQS	30 lbs, calibre 16mm	7	240	1680
	Extintores PQS	150 lbs, calibre 3,1mm	5	640	3200
	Extintores CO2	20 lbs	4	260	1040
	Monitor	2-1/2 in, MNH	6	3420	20520

SISTEMA DE DETECCIÓN	Detector de llama	Multiespectro IR, X3301	30	3133,93	94017,9
	Detector de gas	PIRECL IR	16	1625	26000
	Estación manual	XAL-53	12	1122	13464
	Alarma sonora	NEMA 4X, 879EX	5	1653	8265
	Alarma visual	NEMA 4X, 58R-N5-100WH	5	1386	6930
	Solenoides	Agua y Espuma	37	300	11100
	CPU	Core2duo, 360GB, 4GHz	2	1920	3840
	PLC	MX	1	2732,67	2732,67
	Tableros de control	Cajas de aluminio	5	1250	6250
	Intouch	Runtme 3000	1	4513,6	4513,6
	Cables AWG	No 16,14, cubierta de AL, pvc	1600	14,2	22720
Total			6933	112853,86	551269,22

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Tabla 3. 25. Costo de instalación

Procesos	Costo (\$)
Instalación de material eléctrico	27605
Instalación de material de instrumentación y control	60000
Instalación de material mecánico	30650
Obra civil	30000
Total	148255

Elaborado por: Mesa, 2020

Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Se establece el costo total mediante la sumatoria de todos los costos de equipos, incluye su instalación y pruebas de operación.

$$\text{Costo total} = \sum \text{costo; equipos} + \text{instalación} \quad (3.6)$$

$$\text{Costo total} = 551269,22 + 148255 = 699\,524,22 \text{ [\$]}$$

3.1.3.2. Análisis Técnico – Económico por Método de Dow

Mediante el cálculo de IEF por medio del método de Dow, establecido anteriormente en la tabla 3.8, se identifica el análisis de la relación costo/beneficio para determinar la factibilidad de la inversión estimada en la actualización del sistema contra incendio de la estación LAC por medio del cálculo de un grado de seguridad en la zona de riesgo.

En la tabla 3.26 se establece una serie de pasos que determina en unidades de porcentaje, como incrementa la seguridad con referencia a la inversión realizada según el análisis IEF del método de Dow.

Tabla 3. 26. Análisis técnico-económico mediante el método de Dow

Requerimientos	Análisis	Cálculos
Factor de daño (FD)	<ul style="list-style-type: none"> • Representa el tanto por uno en dólares. • Determinado dentro del radio de exposición (RE). • Se obtiene a partir del factor de material (FM) y factor de riesgo (F3) (anexo IX). 	FD = 1
Radio de exposición (RE)	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene a partir de IEF (anexo X) 	RE = 120 [ft] RE = 36,57 [m]
Área de exposición (AE)	<ul style="list-style-type: none"> • Representa la parte afectada 	$AE = 3,14 * RE^2$ $AE = 3,14 * 36,57^2$ AE = 4200 m ²
Factor de escala (FE)	<ul style="list-style-type: none"> • Representa el tanto por uno entre el área expuesta (AE) y el área total de la planta (AP) 	$FE = \frac{AE}{AP}$ $FE = \frac{4200 \text{ m}^2}{100000 \text{ m}^2} = 0,04$
Valor de reposición (VS)	<ul style="list-style-type: none"> • La valoración económica se realiza dentro del área de riesgo. 	VS = 0,82 * FE * Costo instalación VS = 0,82 * 0,04 * 148255 VS = 4862,76 [\$]

	<ul style="list-style-type: none"> • 0,82 representa elementos no destructivos como obra civil. • Costo de instalación considera el capital inmovilizado. 	
Daño máximo probable a la propiedad (DMPP ₀)	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece como el valor básico provocado por el daño máximo. 	$DMPP_0 = FD * VS$ $DMPP_0 = 1 * 4862,76$ $DMPP_0 = 4862,76 [\$]$
Factor de bonificación (FB)	<ul style="list-style-type: none"> • Se cuantifica la influencia de protección (anexo XI). 	
Factor de bonificación efectivo (FBE)	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene en cuenta distintos procesos como: <ul style="list-style-type: none"> Control de proceso (C₁): <ul style="list-style-type: none"> – Generador eléctrico para emergencia; – Refrigeración; – Manuales de operación; – Inertización (disponibilidad de gas inerte); – Revisión química del reactivo; – Control de explosiones. Seleccionamiento de proceso (C₂): <ul style="list-style-type: none"> – Vaciado o despresurización; – Drenajes. Protección contra incendio (C₃): <ul style="list-style-type: none"> – Estructuras de acero protegido; – Suministro de agua; – Sistema de espuma; – Extintores y monitores manuales; – Cables protegidos. 	$FB = (C_1) * (C_2) * (C_3)$ $FB = (0,66) * (0,90) * (0,77)$ $FB = 0,46$ $FBE = 0,60$ (anexo XII)
Daño máximo probable a la propiedad (DMPP)	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece como el valor monetario real, provocado por el daño máximo. 	$DMPP = DMPP_0 * FBE$ $DMPP = 4862,76 * 0,60$ $DMPP = 2917,65 [\$]$

Tiempo de parada probable de la producción (PPP)	<ul style="list-style-type: none"> Se da por diferentes factores de pérdidas de tiempo, debido a reparaciones o falta de suministros. 	PPP = 15 [días]
Lucro cesante (LC)	<ul style="list-style-type: none"> Se considera como el costo asociado a la paralización de la actividad. VAP representa el valor anual de producción interrumpida. $\frac{VAP}{365,25} = \text{costo barril} * \text{producción diaria}$	$LC = 0,70 * PPP * \frac{VAP}{365,25}$ $LC = 0,70 * 15[\text{día}] * (61,1 * 1200) \left[\frac{\$}{\text{día}} \right]$ $LC = 769860 [\$]$
Pérdidas probables totales (PPT ₁)	<ul style="list-style-type: none"> Es el valor económico del riesgo considerado por el método de Dow. Establece rentabilidad en la inversión. 	$PPT_1 = DMPP + LC$ $PPT_1 = 2917,65 + 769860$ $PPT_1 = 772777,65 [\$]$
Análisis de pérdidas totales de las pérdidas después de las mejoras o modificaciones		
Factor de bonificación (FB)	Toma en cuenta distintos procesos:	FB = (C ₁) * (C ₂) * (C ₃)
Factor de bonificación efectivo (FBE)	<ul style="list-style-type: none"> Control de proceso (C₁): <ul style="list-style-type: none"> Generador eléctrico para emergencia; Refrigeración; Manuales de operación; Inertización (disponibilidad de gas inerte); Parada de emergencia; Revisión química del reactivo; Control por ordenador; Control de explosiones. Seleccionamiento de proceso (C₂): <ul style="list-style-type: none"> Vaciado o despresurización; Válvulas a control remoto; Drenajes. Protección contra incendio (C₃): <ul style="list-style-type: none"> Estructuras de acero protegido; Suministro de agua; Sistema de espuma; 	$FB = (0,77) * (0,90) * (0,81)$ $FB = 0,56$ $FBE = 0,72 \text{ (anexo XII)}$

	<ul style="list-style-type: none"> - Extintores y monitores manuales; - Cables protegidos; - Detección de fugas. 	
Daño máximo probable a la propiedad (DMPP)		$DMPP = DMPP_0 * FBE$ $DMPP = 4862,76 * 0,72$ $DMPP = 3501,18 [\text{\$}]$
Tiempo de parada probable de la producción (PPP)		$PPP = 17 [\text{días}]$
Lucro cesante (LC)		$LC = 0,70 * PPP * \frac{VAP}{365,25}$ $LC = 0,70 * 17[\text{día}] * (61,1 * 1200) \left[\frac{\text{\$}}{\text{día}} \right]$ $LC = 872508 [\text{\$}]$
Pérdidas probables totales (PPT ₂)		$PPT_2 = DMPP + LC$ $PPT_2 = 3501,18 + 872508$ $PPT_2 = 876009,18 [\text{\$}]$
Rentabilidad del proyecto		
<ul style="list-style-type: none"> • Los valores son seleccionados antes y después de las modificaciones. • El resultado se interpreta como el incremento de seguridad (en porcentaje) con respecto a la inversión. 		$R = \left(\frac{PPT_2 - PPT_1}{\text{Inversión}} \right) * 100$ $R = \left(\frac{876009,18 - 772777,65}{699\ 524,22} \right) * 100$ $R = 15 [\%]$

Elaborado por: Oscar Mesa

Fuente: (Petroecuador, 1992c)

De acuerdo a los cálculos obtenidos y comparado con las capacidades de los equipos actuales dentro de la estación LAC, se observa que la mayoría de equipos cumplen con la normativa a excepción del sistema de detección, el cual se encuentra ubicado en la zona

de las bombas y en las demás áreas no cumple con la normativa PE SHI – 022, por lo que se deberá adquirir un nuevo equipo para minimizar el riesgo a incendios.

Además, el sistema de tuberías del agua de enfriamiento se encuentra sobredimensionado, lo que no garantiza el funcionamiento óptimo en condiciones límite, ya que no cumple con las velocidades de succión y descarga establecidas en la normativa, lo que afecta a los caudales de operación a utilizar en el SCI en el caso que llegase a suscitar un incendio.

Como se observa dentro del análisis costo beneficio la rentabilidad del proyecto es del 15%, esto se debe a que la mayoría de equipos están dentro de los requerimientos y se tiene que hacer únicamente adecuaciones dentro de los sistemas de espuma y detección para cumplir con la normativa.

3.2. DISCUSIÓN

Para justificar la bomba seleccionada en la tabla 3.22, se realizó una simulación hidráulica en CFD (Computational Fluids Dynamics) a través del programa Paraview en la cual se observa perfiles de presión obtenidos, para esto se construyó un tramo de control y se analizó dos casos: el primero de flujo monofásico que corresponde al agua y el segundo de flujo bifásico (mezcla de agua – espuma). Con lo que se comparan pérdidas de presión para determinar en cuál de los dos casos es mayor.

Para ello, en ambos casos, las siguientes consideraciones como: el diámetro de la tubería, longitud del tramo de tubería, velocidad de descarga y caudal de entrada, serán los mismos; por lo que las pérdidas de presión varían por la densidad del fluido.

En la tabla 3.27 se presentan los parámetros de entrada utilizados en la simulación.

Tabla 3. 27. Parámetros de entrada

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Diámetro de tubería	D	6	in	Tubería de acero SCH-40
Caudal de entrada	Q_i	512	gpm	Caudal de la mezcla agua - espuma
Longitud de tramo	L	10	ft	Tramo de control
Velocidad descarga	V_d	12	ft/s	De la norma PE-SHI 018

Elaborado por: Mesa, 2020

Primer Caso: Agua

Con los datos de la tabla 3.27 se realiza la simulación en condiciones iniciales y se obtiene una presión de entrada, P_{e1} de 43000 Pa (6,25 psi).

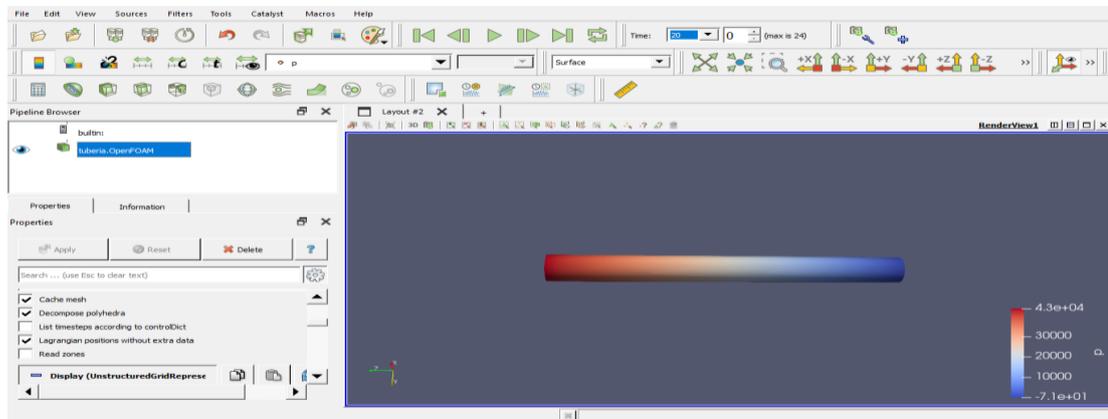


Figura 3. 4 Tubería con agua a las condiciones de entrada (inflow)
Fuente: (CFD, 2018)

Al final del tramo, se obtiene una presión de salida, P_{s1} de 71 Pa (0,02 psi)

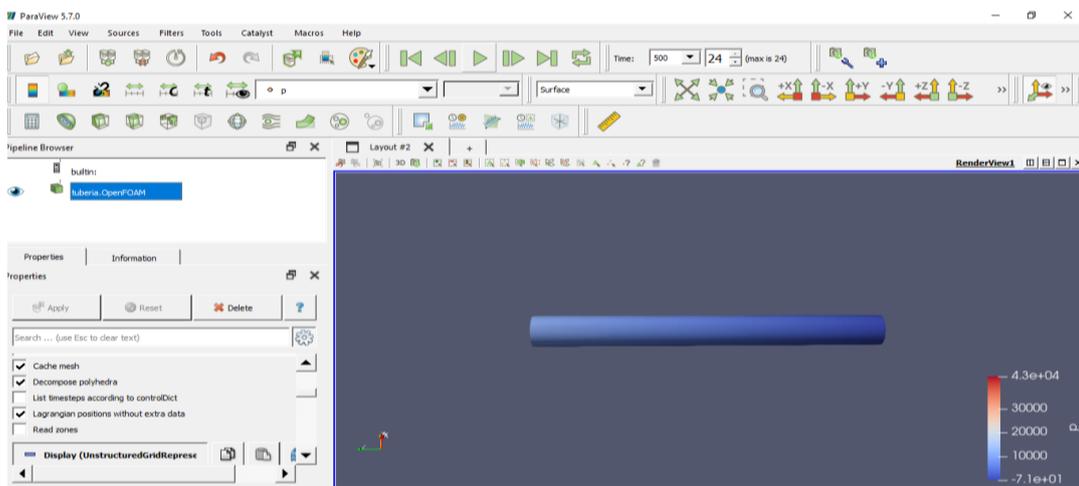


Figura 3. 5 Tubería con agua a las condiciones de salida (outflow)
Fuente: (CFD, 2018)

La variación de presión es:

$$\Delta P_1 = P_{s1} - P_{e1} = 6,25 - 0,02$$

$$\Delta P_1 = 6,23 \text{ psi}$$

Para el primer caso se obtiene una pérdida de 6,23 psi a lo largo de la tubería de 10 ft de longitud.

Segundo Caso: mezcla agua – espuma

Con los datos de la tabla 3.27 se realiza la simulación en condiciones iniciales; se obtiene la misma presión de entrada P_{e2} , de 43000 Pa (6,25 psi).

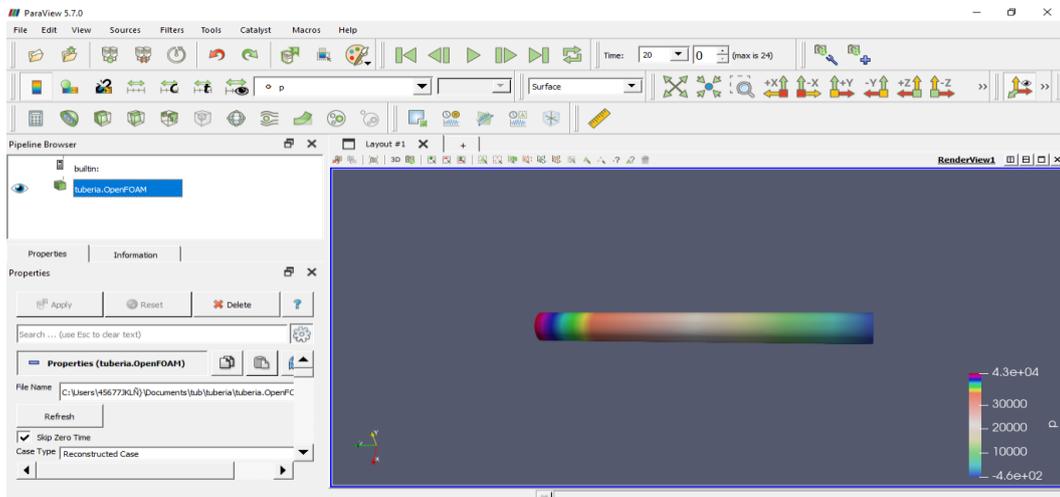


Figura 3. 6 Tubería con agua – espuma a las condiciones de entrada (inflow)
Fuente: (CFD, 2018)

Al final del tramo, se obtiene una presión de salida, P_{s2} de 460 Pa (0,07 psi).

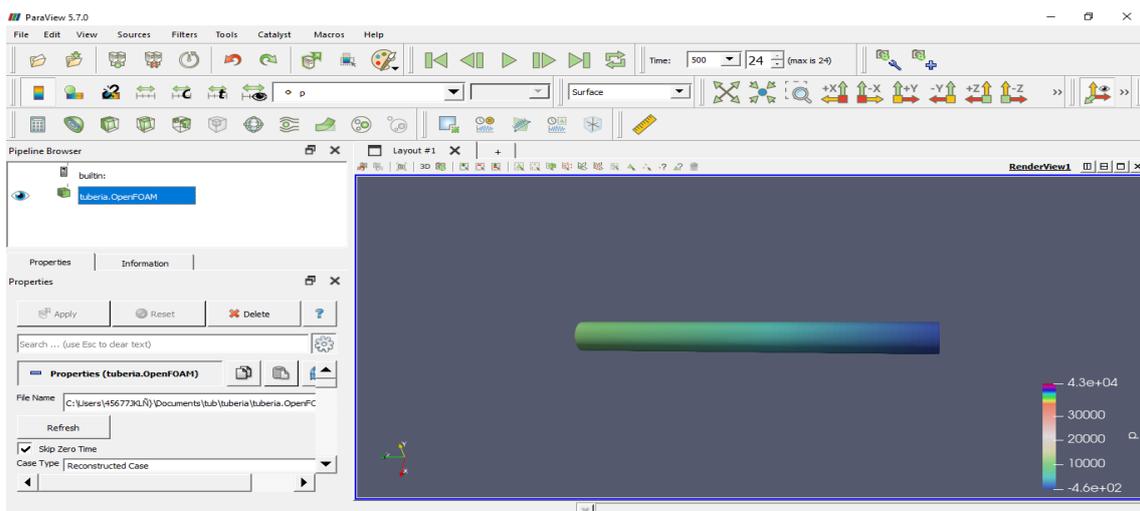


Figura 3. 7 Tubería con agua – espuma a las condiciones de salida (outflow)
Fuente: (CFD, 2018)

La variación de presión es:

$$\Delta P_2 = P_{s2} - P_2 = 6,25 - 0,07$$

$$\Delta P_2 = 6,18 \text{ psi}$$

Para el segundo caso se obtuvo una pérdida de 6,18 psi a lo largo de la tubería de 10 ft de longitud. En resumen, las pérdidas de presión son:

- **Primer Caso:** agua, $\Delta P_1 = 6,23 \text{ psi}$

- **Segundo Caso:** mezcla agua – espuma, $\Delta P_2 = 6,18$ psi

$$dP_T = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 6,23 - 6,18$$

$$dP_T = 0,05 \text{ psi}$$

De los resultados se observa que no existe diferencia entre las pérdidas de ambas presiones, esto se debe a que solo se escogió la tubería y el tipo de fluido a lo largo del tramo de control, pero no se consideró la instalación de accesorios. Con la comparación se establece que en el caso de agua existe mayor cantidad de pérdidas.

Por tanto, para la selección de la bomba se considera únicamente en el caso crítico (genera mayores pérdidas), por lo que se necesita una bomba de mayor tamaño para que pueda suplir con las demandas tanto de agua como de espuma.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante el método Dow se determina que las zonas de mayor riesgo e incidencia se encuentra dentro del área del tanque de lavado y tanque de reposo con valores de 144 y 147,2 respectivamente, que representa un riesgo importante dentro de la estación, esto para identificar el diseño y normativas del SCI a implementar.
- Se tiene un tanque de agua de 5146 Bls, y se determinó en la memoria de cálculo una cantidad de 6100 Bls para el SCI, pero debido a que la fuente de abastecimiento es cercana a la estación; la construcción de un tanque de 6100bls sería un gasto innecesario en la inversión del proyecto.
- Se determina un volumen requerido de agua y espuma para la formación de la solución, ligeramente mayor al diseño actual del SCI establecido en la estación LAC, esto debido a la necesidad de un mayor dimensionamiento en tuberías de succión del sistema agua – espuma.
- El sistema contra incendios de la estación LAC actualmente no garantiza un funcionamiento óptimo en condiciones límite, debido al mal dimensionamiento de sus tuberías, por lo que se deberá actualizar el sistema de espuma del SCI para que cumpla con los requerimientos detallados por la norma PE SHI – 019: “Sistema de Espuma Contra Incendio”.
- Con los cambios establecidos se determina un incremento de seguridad en porcentaje con respecto a la inversión, aproximadamente del 15% mediante el análisis técnico – económico por el método de Dow.
- La zona de compresores a pesar que maneja una cantidad importante de gas, no se considera área de riesgo como se determina en el método Dow, ya que en caso de fugas de gas generaría explosión solamente si entra en contacto con la parte caliente e interna del compresor lo cual no es probable debido al diseño de aislamiento del mismo.

4.2. Recomendaciones

- La succión del sistema agua – espuma es de un diámetro menor, por lo tanto en condiciones de operación crítica existirán daños, mientras que para la descarga se tiene un diámetro sobredimensionado, es recomendable instalar un sistema integrado de válvulas que controle el flujo desde un sistema principal PLC (cerca del SCI) y un sistema secundario de monitoreo (en oficinas de seguridad) conectado al sistema Scada de la estación de producción.
- Para el correcto funcionamiento del SCI se debe instalar una bomba de mayor capacidad, por ejemplo, una centrífuga horizontal DN 150 50 con 150 HP en vez de la previamente instalada de 100 HP, con lo cual se garantiza que cumpla con las demandas de agua y espuma dentro de la estación.
- En los tanques de lavado y reposo se recomienda considerar una placa de retención de espuma a 20 ft de la plancha del tanque, dado que brindará mayor seguridad y eficiencia en la inyección de espuma y equipos como el proporcionador.
- Se recomienda elaborar una matriz de riesgos en base a un plan de simulacro de contingencia del SCI cada 6 meses, lo cual permita disminuir o evitar accidentes por falta de conocimiento de operación.
- Establecer un plan de mantenimiento adecuado y de acuerdo a las normas para todos los equipos del sistema, como, por ejemplo, Se debe limpiar y verificar el correcto funcionamiento del filtro en el sistema de espuma para evitar taponamientos.

GLOSARIO

Concentrado de espuma. _ Concentrado en forma líquida para generar espuma, dosificado en forma continua a la corriente de agua para formar solución agua – concentrado, mediante un proporcionador de concentrado de espuma.

Espuma. _ Mezcla de aire con solución agua – concentrado de espuma que forman burbujas y una capa homogénea la cual debido a su densidad menor al hidrocarburo cubrirá al líquido inflamable impidiendo la salida de vapores.

Factor de expansión (FE). _ Relación entre volumen de espuma expandida y volumen de solución agua – concentrado antes del agregado de aire.

Espuma de baja expansión. _ $FE < 20$.

Espuma de media expansión. _ $20 < FE < 200$.

Espuma de alta expansión. _ $FE > 200$.

Espuma Fluoroproteínica. _ Formada por proteínas hidrolizadas con surfactantes fluorados, la cual tiene alta resistencia a contaminación por fluidos inflamables.

Espuma de película acuosa (AFFF). _ Formada por concentrado sintético de surfactantes fluorados generando una capa para no permitir la salida de vapores inflamables.

Espuma especial. _ Es de tipo solvente polar con una composición química variable, siendo mucho más eficaz, pero requiriendo mayor cantidad de taza de inyección.

Espuma universal. _ Formada por un concentrado especial que sirve para incendios de líquidos ordinarios (hidrocarburo) como líquidos solubles en agua o solventes polares.

Generador de espuma. _ Inyecta aire a la solución agua - concentrado para expandirla.

Punto de inflamación. _ Mínima temperatura para que un líquido genere vapores en concentraciones suficientes para formar una mezcla inflamable con el aire.

Líquidos inflamables. _ Punto de inflamación $< 100^{\circ}\text{F}$ y presión de vapor < 40 psi, se denominan como clase I.

Líquidos combustibles. _ Punto de inflamación $\geq 100^{\circ}\text{F}$, se denominan como clase II, clase IIIA, clase IIIB.

Solución agua – concentrado. _ Mezcla homogénea de agua y concentrado de espuma.

Monitor de espuma. _ Descargador de corriente de espuma mediante red de distribución de solución agua – concentrado, instalado de manera portátil o fija.

Boca de agua. _ Conexión entre mangueras contra incendio.

GLP. _ Gas licuado de petróleo componente formado por propano, propileno, butano y butilenos.

Gravedad específica. _ Es la relación de la densidad de una sustancia con otra de referencia (agua a 4°C). La gravedad específica o la densidad, denota la relación de peso específico y de la fluidez del crudo con respecto al agua (Carrillo, 2007).

Capacidad calorífica. _ Se establece cuando el sistema absorbe calor sensible (incremento de temperatura), es decir, la cantidad de calor necesaria para elevar 1°C la temperatura de un cuerpo. Depende de las condiciones que se suministre el calor (Godino & Olivia, 2011).

Cantidad de calor._ Es la energía acumulada, transferida entre un sistema y su entorno, debido a una diferencia de temperatura entre ellos, por lo tanto se entiende como forma de energía que no poseen los cuerpos, a diferencia, representa cantidad de energía transferida entre ellos (Godino & Olivia, 2011).

Gas natural. _ Tipo de gas compuesto por metano y pequeñas cantidades de etano, propano y nitrógeno.

Rociador. _ Equipo conectado al ramal de tubería para el riego de agua o espuma, su orificio puede estar abierto siempre o abrirse de manera automática por medio de un fusible de automatización, existen varios tipos de rociadores automáticos como se describe en la norma SHI - 018.

Ramal. _ Tramos de tubería conectados a la tubería principal.

Sistema de agua pulverizada. _ Permita la aspersion de agua en determinadas condiciones, de acuerdo a cantidad de gotas, velocidad, densidad, por medio de boquillas prediseñadas.

Detector lineal. _ Detección realizada en forma continua en un espacio grande.

Detector puntual. _ Detección realizada en punto específico de ubicación del sensor.

Iniciador de alarma. _ Activado en forma manual o automática, emitiendo señal al tablero de control para accionamiento de alarmas.

Estación central de alarma. _ Recepción de señales de alarmas.

Tablero central de control. _ Controla los dispositivos de detección de alarma para convertirla en audibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F. (2008). Prevención de Incendios de Acuerdo a las Pruebas de Eficiencia de los Sistemas Contra Incendios según la Reglamentación SHI de Petroecuador en las Estaciones de Producción Lago Central y Lago Agrio Norte. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Almeida, E. (2010). Elaboración de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para el Taller de Facilidades de Superficie de la Gerencia de Exploración y Producción en Lago Agrio. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE) (1994a). Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide (7th Ed.). New York, USA: AIChE.
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE) (1987). Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide (6th Ed.). New York, USA: AIChE.
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE) (1994b). Dow's Chemical Exposure Index Guide (1st Ed.). New York, USA: AIChE.
- Anchundia, V; Nieto, C; Ocaña, C. (2018). Diseño de un Sistema de Protección Contra Incendios en una Planta Envasadora de Gas Licuado de Petróleo. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- ASTM A-53 (2000). Standard Specification for Pipe, Steel, Black, and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless. Pensilvania, USA.
- Beltrán, F; Fierro, O. (2007). Análisis Técnico Económico para Optimizar el Sistema de Fluido Motriz, Aplicado en el Campo Lago Agrio Operado por Petroproducción. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Carlos, R; William, M; Héctor, R. (2003). Centralización del Bombeo Hidráulico en el Campo Lago Agrio. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Carrillo, S. (2007). Estudio y Evaluación de las Facilidades de Superficie para Optimizar el Sistema de Venteo de Gas en la Estación Villano a de Agip Oil Ecuador B.V. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- CFD. (2018). TCFD Manual Versión 18.06. Sokolovska. República Checa.

- Godino, O; Olivia, A. (2011). Física II – Introducción a la Termodinámica. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.
- INEN, d. I (2013). NTE INEN-ISO 7202. Protección contra incendios — agentes para la extinción de incendios — polvo. Quito, Ecuador: del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).
- INEN-ISO (2019). Protección Contra Incendios-Extintores de Incendio-Portátiles-Desempeño y Construcción. Norma NTE INEN-ISO 7165 3ra Edición. Quito.
- Ingersoll – Dresser Pumps (1996). Cameron Hydraulic Data. New Jersey. USA.
- McCon, P. (2014). Fire Protection Systems An Important Part of Prevention through Design. American Society of Safety Engineers ASSE. Professional Development Conference and Exposition,. Orlando, Florida: Zurich Services Corporation.
- Ministerio de Inclusión Social y Economía. (2009). Reglamento de Prevención Mitigación y Protección Contra Incendios. Quito.
- National Foam (1987). Engineering Manual – Horizontal Pressure Supply Tanks. Texas. USA.
- NFPA (2009). Manual de Protección contra Incendio, Décimo Séptima Edición. Bogotá, Colombia.
- Sánchez, B. (2018). Intervención en Incendios Interiores. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Suardin, J. (2005). The Integration of Dow's Fire and Explosion Index Into Process Desing and Optimization to Achieve and Inherently Safer Desing. Texas A&M University. Texas. USA.
- Ramírez, L. (2009). Dimensionamiento de un Separador para la Estación Lago Agrio Central del Campo Lago Agrio. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Ortega, D; Rojas, M. (2012). Análisis Técnico Económico para Ahorro de Fluido Motriz, Utilizando Bombas Eléctricas Sumergibles en Pozos que tienen Baja Presión de Formación en el Área Lago Agrio. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

- Petroamazonas EP (2014). Listado oficial de empresa, país, bloque activo, facilidades de producción, campos, plataformas, pozos y zonas productoras. Quito, Ecuador.
- Petroamazonas EP (2016). Reservas 2016 Activo Lago Agrio. Quito, Ecuador.
- Petroamazonas EP (2017). Estudio Técnico para la Aprobación Ambiental de Inyección de Agua para Recuperación Secundaria del Pozo Gaunta-35 en Reservorio Napo U Inferior y Reinyección de Agua en Hollín. Quito, Ecuador.
- Petroamazonas EP (2018a). Informe Activo Lago Agrio. Quito, Ecuador.
- Petroamazonas EP (2018b). Reporte Gerencial Activo Lago Agrio. Quito, Ecuador.
- Petroamazonas EP (2019). Diagrama de Flujo de Procesos. Quito, Ecuador.
- Petroecuador EP (1992a). Sistemas de Agua Contra Incendios para Instalaciones Petroleras, Resolución No. 92010. Norma PE-SHI-018. Quito, Ecuador.
- Petroecuador EP (1992b). Sistemas de Espuma Contra Incendios, Resolución No. 92009. Norma PE-SHI-019. Quito, Ecuador.
- Petroecuador EP (1992c). Sistemas Automáticos de Detección y Alarma Contra Incendios, Resolución No. 92020. Norma PE-SHI-022. Quito, Ecuador.
- Carrión, J; Piruch, A. (2009). Actualización del Sistema Contra Incendios de la Estación de Producción Shushufindi Central de Petroproducción. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Puente, S. (2000). Diseño e Instalación de un Sistema Contra Incendios para la Estación de Producción Cononaco. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Rosero, S. (2018). Análisis de la Factibilidad Técnica Económica para la Selección de Pozos Re-entry en el Campo Lago Agrio. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Torres, J; Paredes, J. (2017). Análisis de Rentabilidad Económica de los Nuevos Alojamientos Turísticos Regulados por el Ministerio de Turismo en el Año 2015 para Determinar el Punto de Equilibrio en Puerto Ayora – Galápagos. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.

ANEXOS

Anexo I. Curva de Factor de Penalización

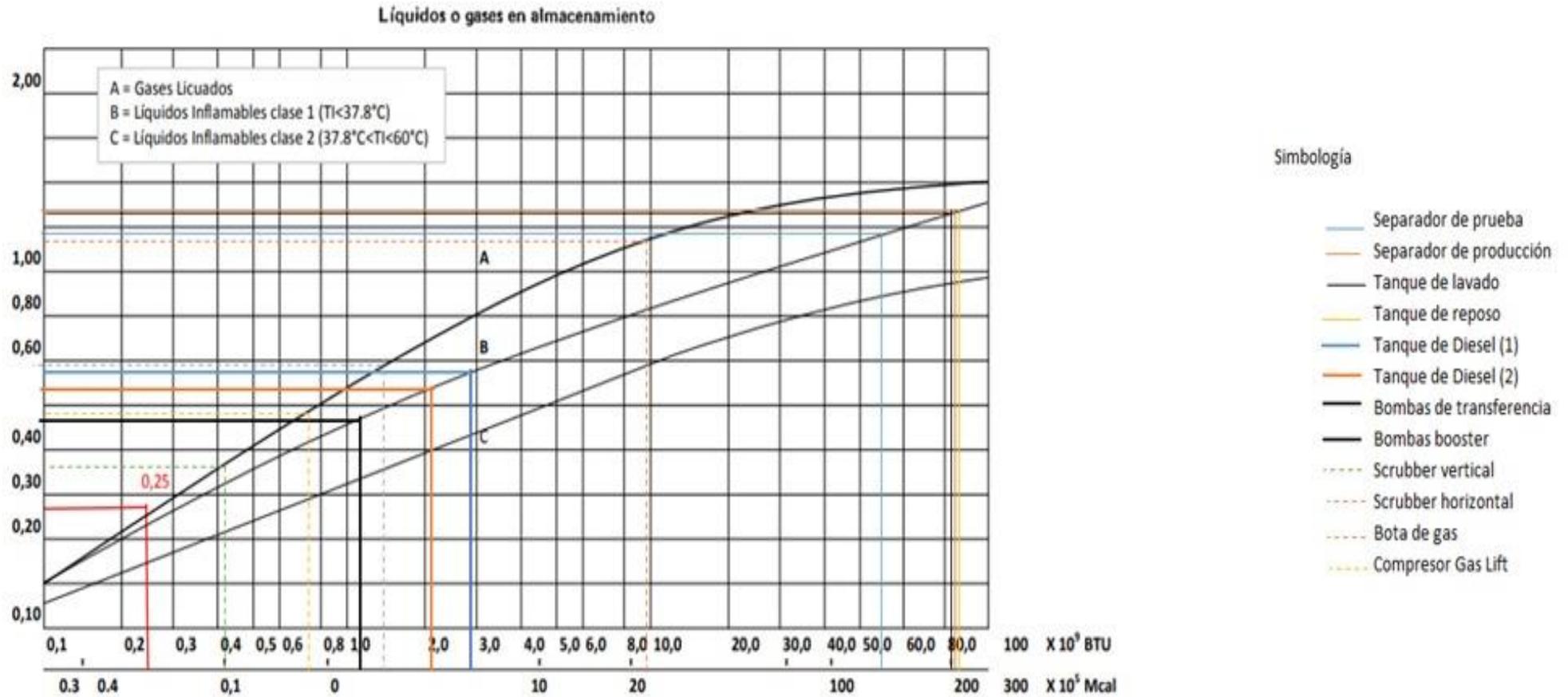


Figura A. I. Curva de Factor de Penalización
Fuente: (AIChE, 1994a)

Anexo II. Plano P&ID de Tanques de Almacenamiento de Diésel

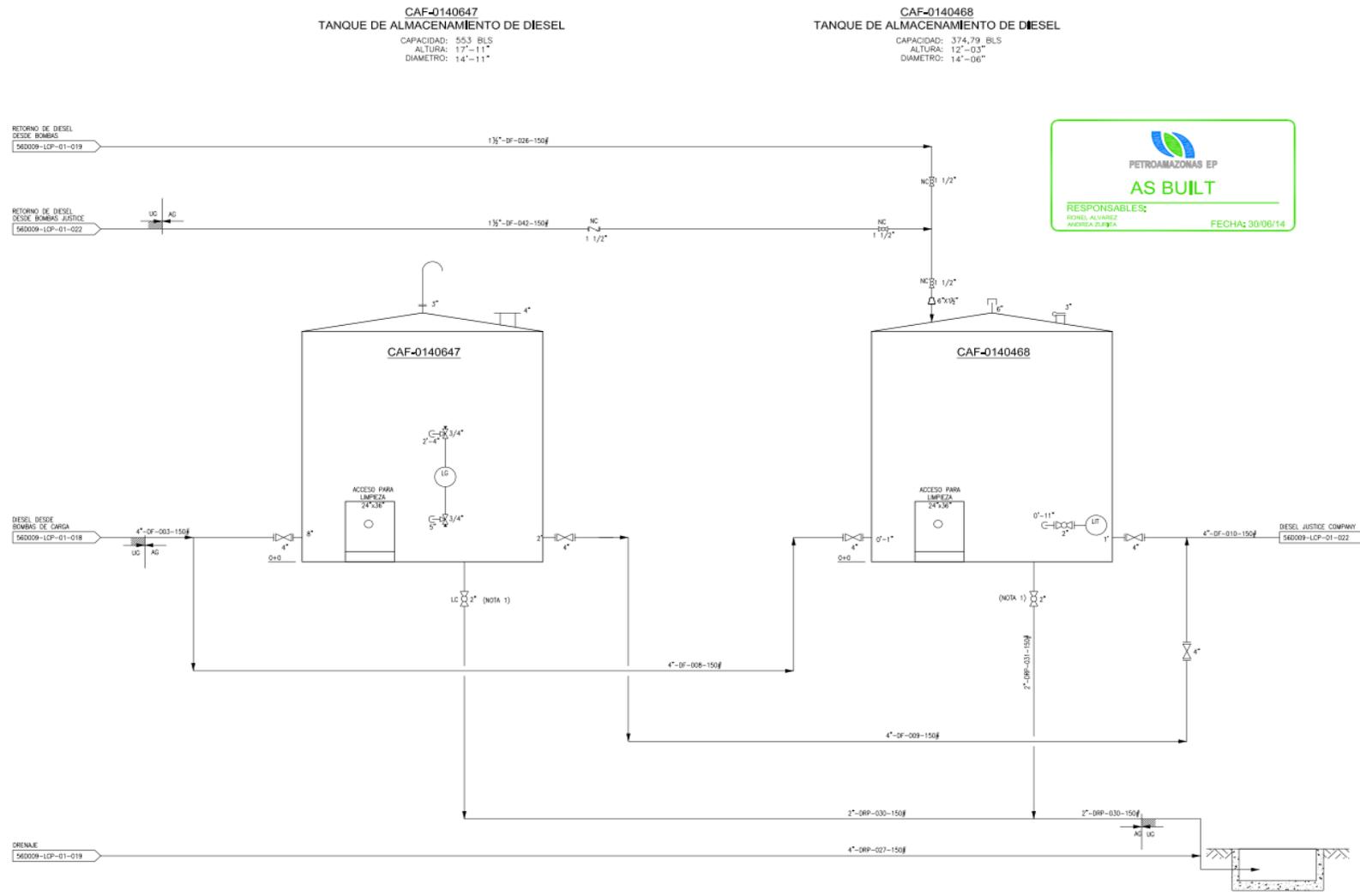


Figura A. II. Plano P&ID de Tanques de Almacenamiento de Diésel
Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Anexo III. Plano P&ID de Bota Desgasificadora y Tanque de Lavado

CAF-0158184
 BOTA DESGASIFICADORA
 ALTURA: 57'
 DIAMETRO: 4'

CAF-0016311
 TANQUE DE LAVADO
 CAPACIDAD: 14.690 BLS
 ALTURA: 41'-7"
 DIAMETRO: 49'-10"

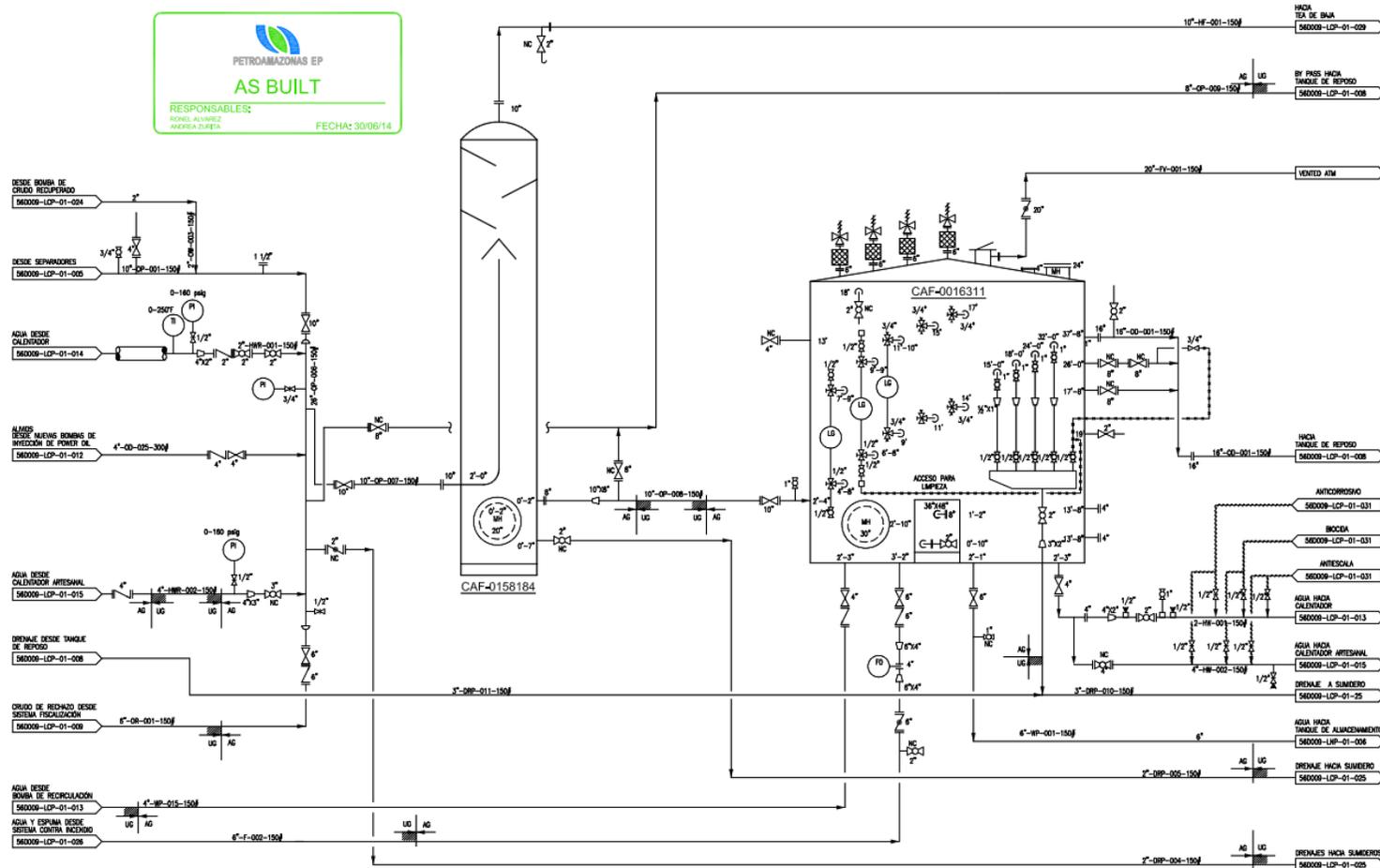


Figura A. III. Plano P&ID de Bota Desgasificadora y Tanque de Lavado

Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Anexo IV. Plano P&ID de Tanque de Reposo

CAF-0140653
 TANQUE DE AGUA DE FORMACIÓN
 CAPACIDAD: 500 BLS
 ALTURA: 16'
 DIÁMETRO 15'


 PETROAMAZONAS EP
AS BUILT
 RESPONSABLES:
 FOMEL ALVARO
 ANDRESA ZURITA
 FECHA: 30/06/14

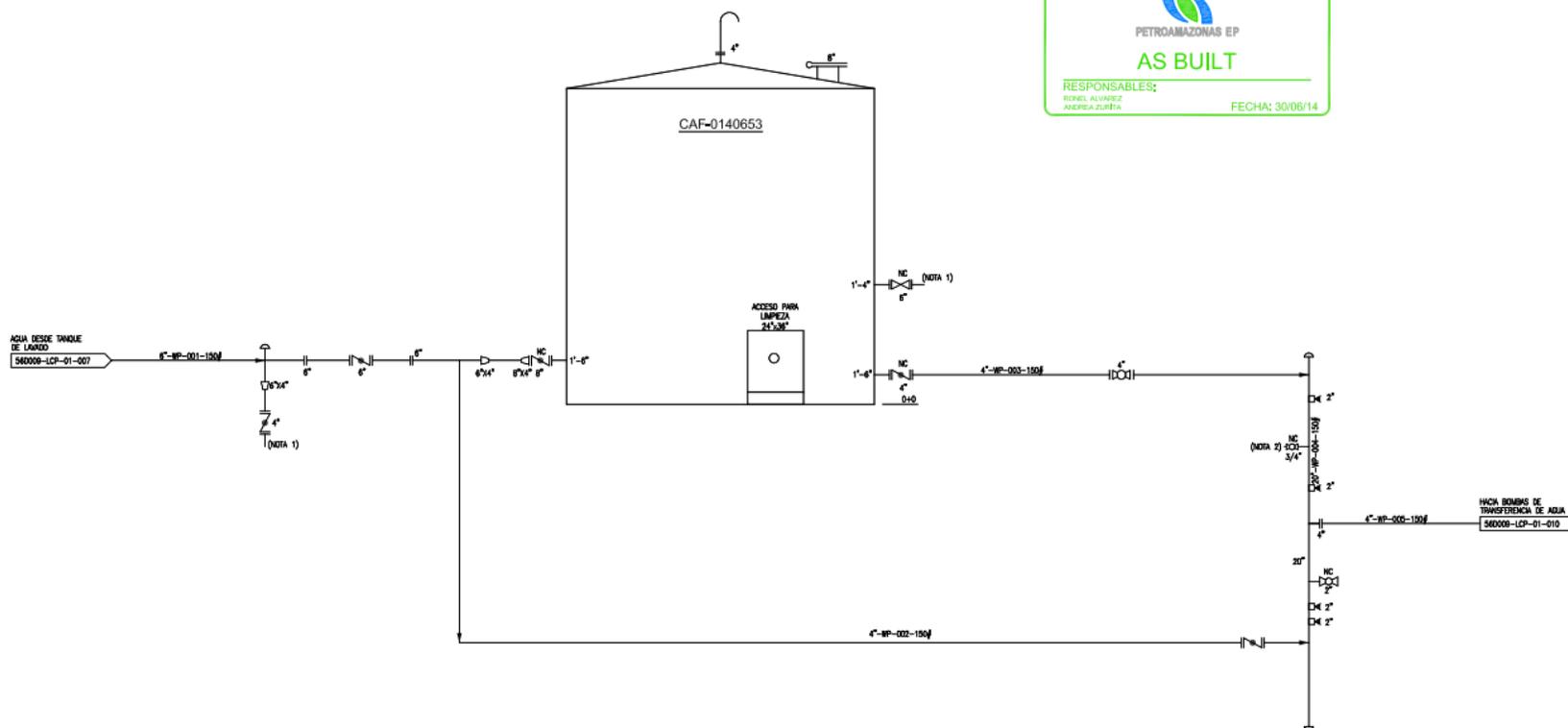


Figura A. IV. Plano P&ID de Tanque de Reposo
 Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Anexo V. Plano P&ID de Tratamiento de Gas de Generación

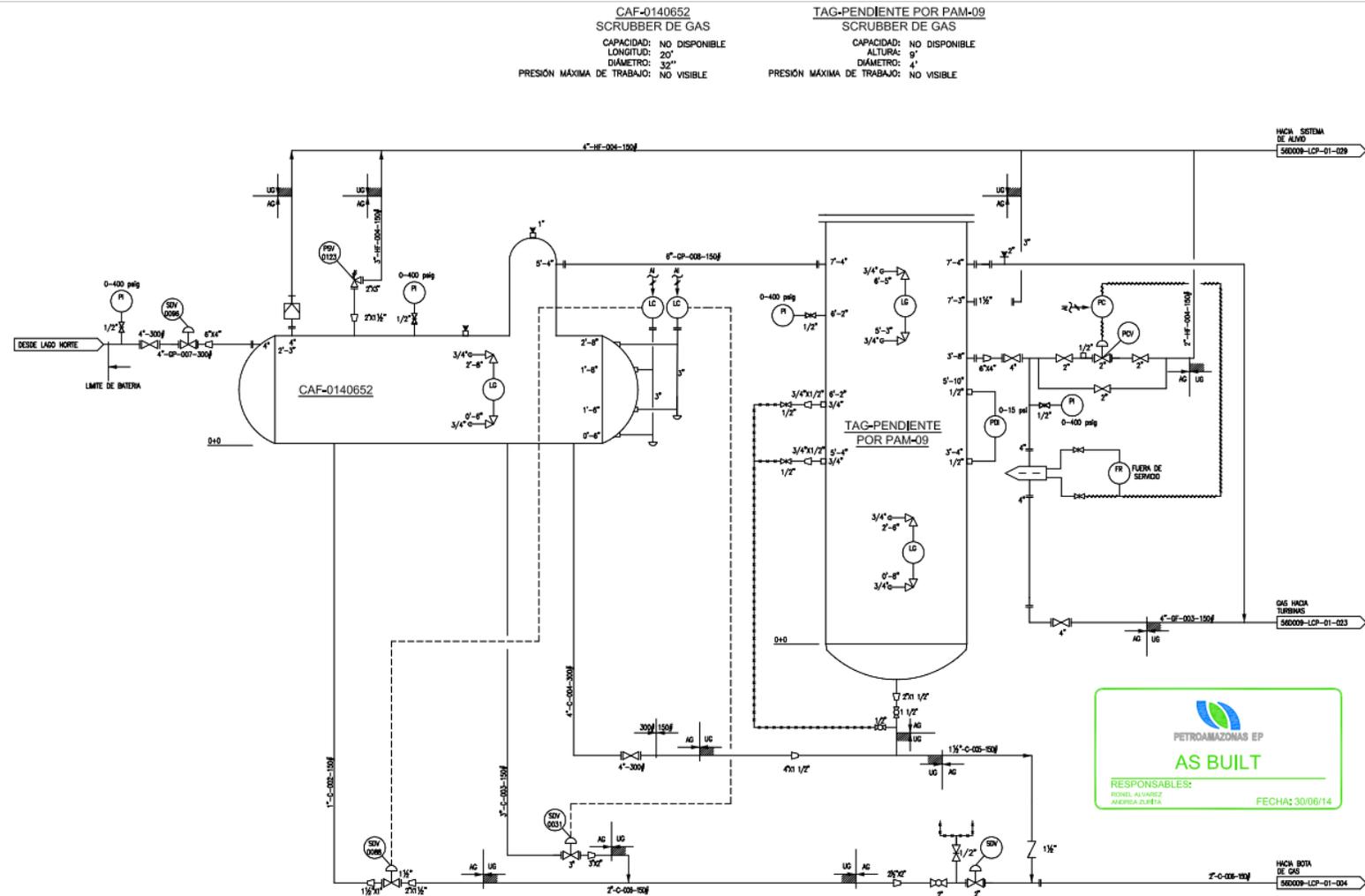


Figura A. V. Plano P&ID de Tratamiento de Gas de Generación
Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Anexo VI. Diagrama de Radio de Influencia 2D del Tanque de Reposo

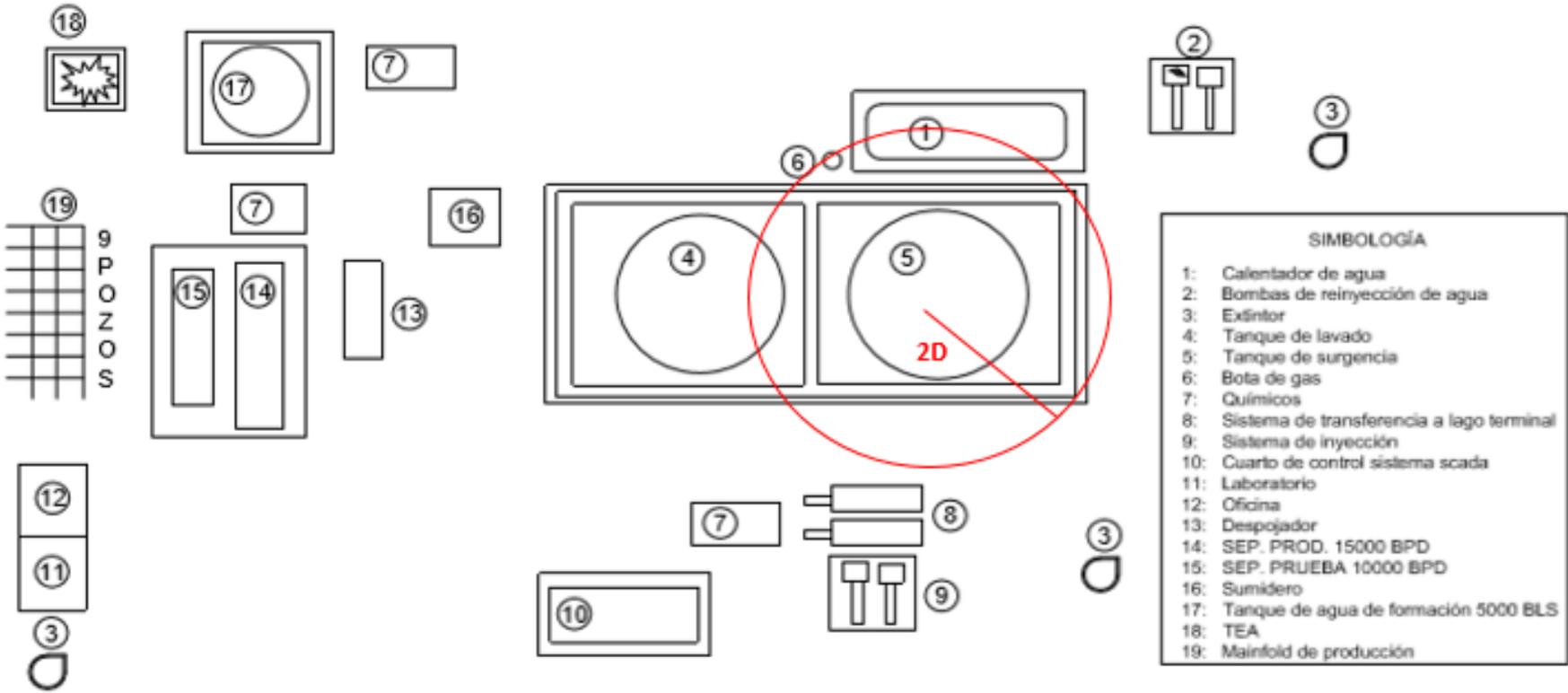


Figura A. VI. Diagrama de Radio de Influencia 2D del Tanque de Reposo
 Fuente: (Petroamazonas EP, 2019)

Anexo VII. Pérdidas de Presión por Fricción de Agua de acuerdo al Diámetro de Tubería

Caudal (gpm)	OD (pulg)	ID (pulg)	Velocidad (ft/seg)	Pérdidas (ft/100 ft)
1100	8	7,981	7,05	1,86
1100	6	6,065	12,2	2,32
1000	8	7,981	6,41	1,55
1000	6	6,065	20,8	6,23
550	6	6,065	6,11	1,97
550	5	5,047	8,82	4,99
550	4	4,026	13,9	15,8
500	6	6,065	5,55	1,64
500	5	5,047	8,02	4,15
500	4	4,026	12,6	13,1

Elaborado por: Oscar Mesa

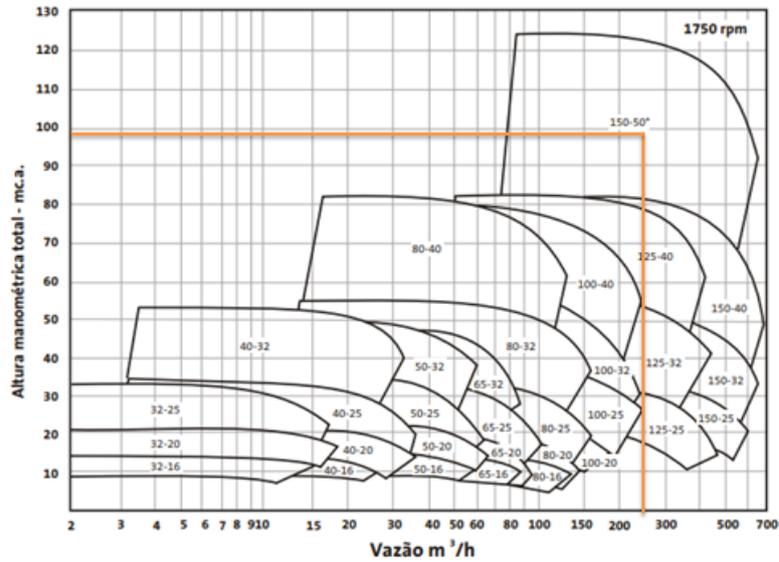
Fuente (Ingersoll – Dresser Pumps, 1996)

Anexo VIII. Selección de la Bomba Centrífuga Serie DN de Catálogo

Bombas Centrífugas Monoestágio Normalizadas

Série DN

Cobertura hidráulica



Bombas Centrífugas Monoestágio Normalizadas

Série DN

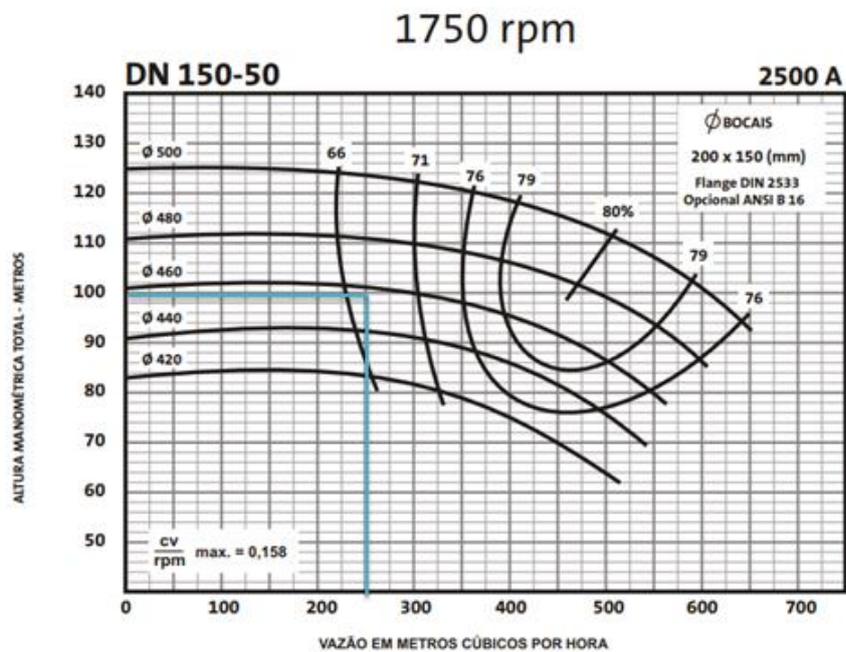


Figura A. 8. Selección de la Bomba Centrífuga Serie DN de Catálogo
Fuente: (Mark Grundfos, 2015)

Anexo IX. Factor de Daño

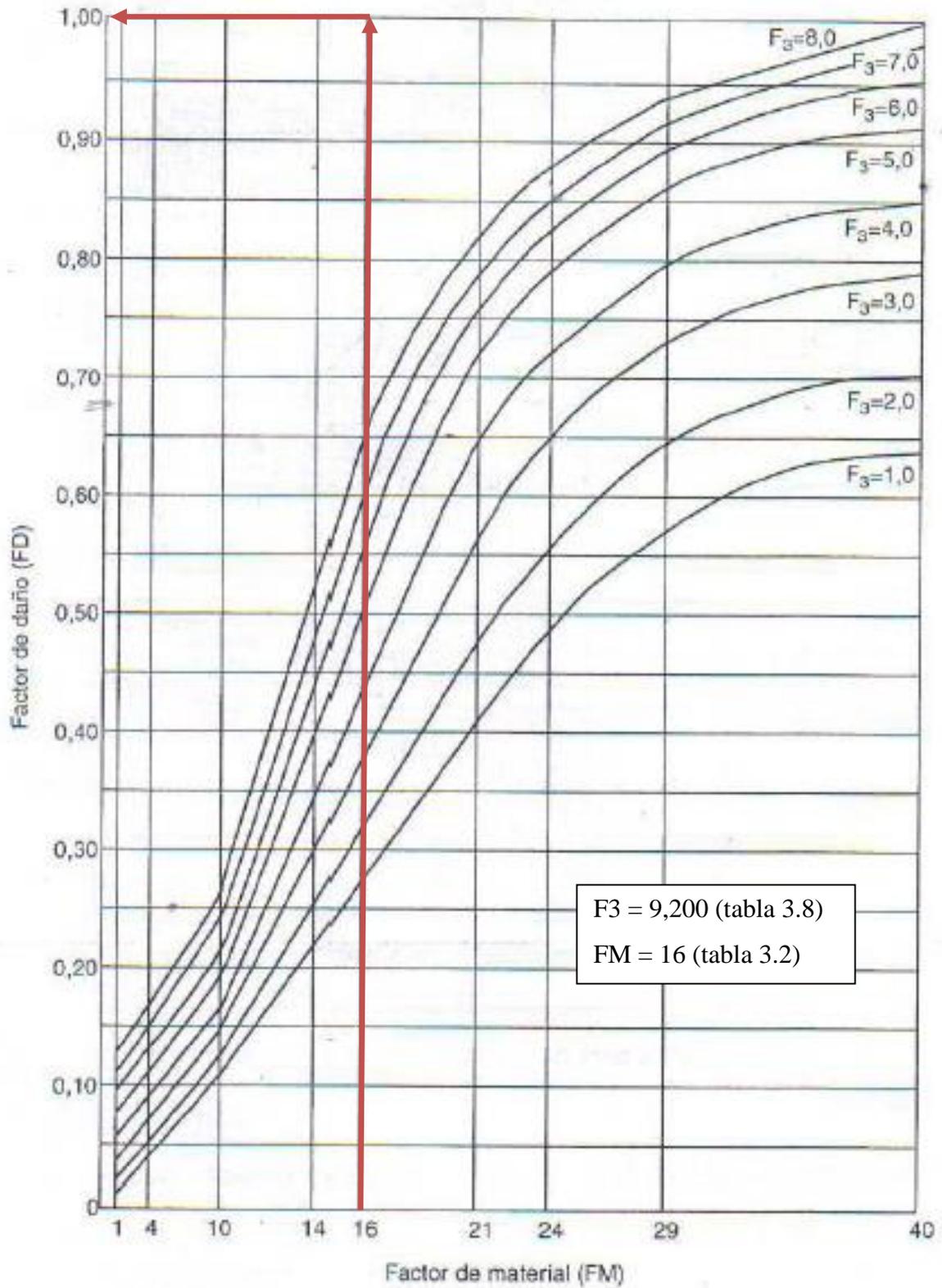


Figura A. IX. Factor de daño
Fuente: (AIChE, 1994a)

Anexo X. Radio de Exposición

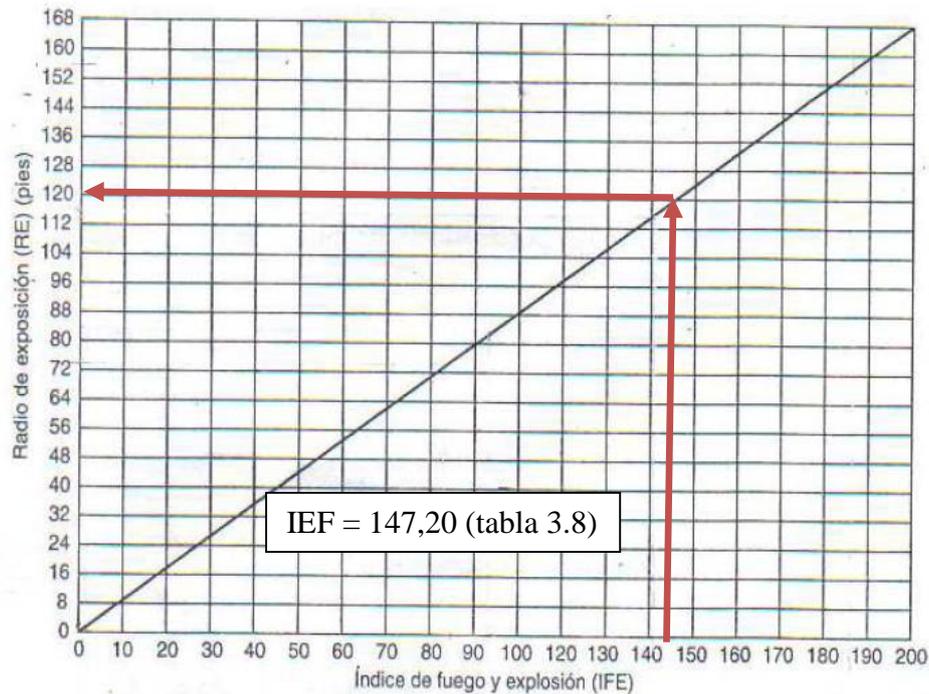


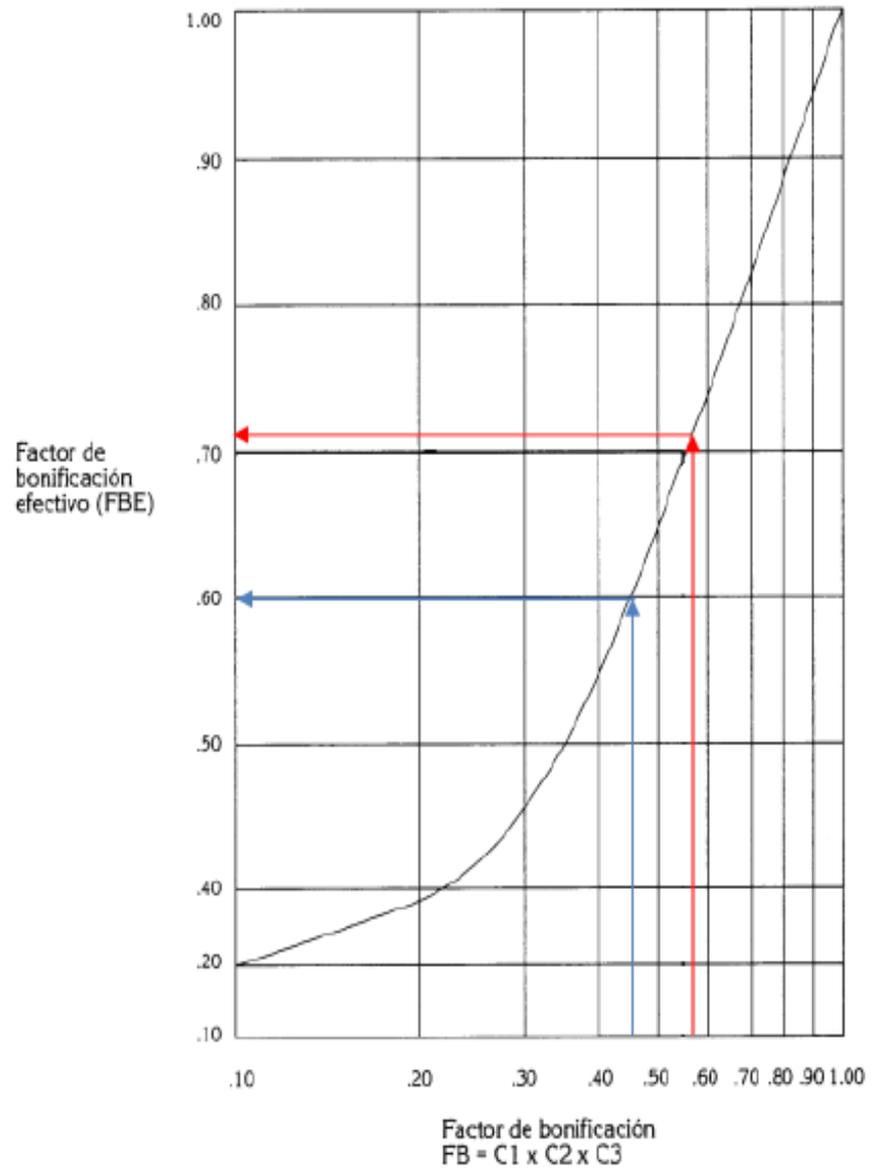
Figura A. X. Radio de exposición
Fuente: (AIChE, 1994a)

Anexo XI. Coeficientes de bonificación de la influencia de protección

1. Control del proceso			
	C_{11}		C_{12}
a) Generador eléctrico para emergencia	0,98	e) Control por ordenador	0,93-0,99
b) Refrigeración	0,97-0,99	f) Inertización	0,94-0,96
c) Control de explosiones	0,84-0,98	g) Manuales de operación	0,91-0,99
d) Parada de emergencia	0,96-0,99	h) Revisión química de reactivos	0,91-0,98
$C_1 = \Pi C_{1i} =$			
2. Seccionamientos de proceso			
	C_{21}		C_{22}
a) Válvulas a control remoto	0,96-0,98	c) Drenajes	0,91-0,97
b) Vaciado o despresurización	0,96-0,98	d) Enclavamientos	0,98
$C_2 = \Pi C_{2i} =$			
3. Defensa contra incendios			
	C_{31}		C_{32}
a) Detección de fugas	0,94-0,98	f) Sistemas rociadores	0,74-0,97
b) Estructura de acero protegida	0,95-0,98	g) Cortinas de agua	0,97-0,98
c) Tanques enterrados	0,84-0,91	h) Sistema de espuma	0,92-0,97
d) Suministro de agua	0,94-0,97	i) Extintores y monitores manuales	0,95-0,98
e) Sistemas especiales	0,91	j) Cables protegidos	0,94-0,98
$C_3 = \Pi C_{3i} =$			

Figura A. XI. Bonificación por protección
Fuente: (AIChE, 1994a)

Anexo XII. Factor de bonificación efectivo



Antes de las mejoras →

Después de las mejoras →

Figura A. XII. Factor de bonificación efectivo
Fuente: (AIChE, 1994a)