

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL DE PETROPRODUCCIÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS EN PETRÓLEOS

JOHANA JACKELINE CARRIÓN PORRAS

johanacapo@hotmail.com

ALEX OMAR PIRUCH TSAWANT

piruch_alex@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JOSÉ CEPEDA MSc.

pepecepe2004@yahoo.com

Quito, septiembre de 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Johana Jackeline Carrión Porras y Alex Omar Piruch Tsawant, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración sedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Johana Jackeline Carrión Porras

Alex Omar Piruch Tsawant

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Johana Jackeline Carrión Porras y Alex Omar Piruch Tsawant, bajo mi supervisión.

Ing. José Cepeda MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme dado las fuerzas necesarias para poder culminar mi carrera, por ser tan bueno conmigo y haberme regalado una familia maravillosa.

A mis padres, hermana, tíos, primos y compañeros que de alguna u otra manera han sido mi soporte.

A mis abuelitos, Eldita Porras, Segundo Porras y Segundo Carrión por sus consejos, su grata compañía y por darme la dicha de contar aún con su amor.

A mis buenos amigos de siempre: César Cando, Wendy Cuenca, Diana Ordóñez, Julio Quinga, Diego Chanatásig, Daniel Sabando, Jenny Topón, Andrés Guerrero, Ricardo Alvear, Edison Jiménez, Mario Chango y Marianitos por haber estado junto a mi durante cinco años, pese a nuestras discrepancias, gracias por ser mis hermanos.

A los Ingenieros: José Cepeda, Eduardo Rodríguez, Raúl Valencia, Danny Fiallos y Salomón Narváez, por haberme guiado en el desarrollo del Proyecto de Titulación.

A mi facultad, por haberse convertido en mi segundo hogar y abrirme las puertas para poder prepararme, enfretarme a los nuevos retos y brindarme la posibilidad de superación.

Y finalmente, pero no con menos importancia, a quien fue mi enamorado, Alex Piruch, gracias por tu amor incondicional, por tu simpatía y cariño, por haber sido mi verdadero amor, pero sobre todo por brindarme tus brazos en señal de refugio y protección.

Johana

AGRADECIMIENTO

A mi familia, quien siempre estuvo presente a lo largo de toda mi vida estudiantil y me brindaron todo su apoyo incondicional para que pueda culminar una etapa de mis estudios.

A mi hermano Edwin y su familia quien me supo guiar, y ayudarme cuando inicie mi vida universitaria.

Al ingeniero José Cepeda por su excelente dirección en el desarrollo del presente proyecto.

Al ingeniero Eduardo Rodríguez por compartir su tiempo y conocimiento dedicado en guiarnos en el desarrollo del proyecto.

A la Johana Carrión por ser fuente de apoyo, ayuda e inspiración y amor durante los últimos años en la universidad.

A los Judas, al Clan y demás mis amigos con quienes pasamos juntos muchas situaciones de la vida,

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación del presente proyecto

Alex Piruch

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de Titulación a mi madre querida, *Lely Porras*, a mi padre y amigo, *Saúl Carrión*, por haber estado a mi lado en cada etapa de mi vida pese a la distancia física que nos separa, por haberme inculcado valores y principios, por su apoyo incondicional, por haberme hecho la persona que soy, y sobre todo por haber confiado en mí.

A mi hermana, *Jesika Carrión*, por su ternura y amor, apoyo moral y espiritual cuando creí que no podía más, y por ser mi ejemplo de superación.

A mi tía *Bertha Porras*, por su preocupación, apoyo incondicional y por haberme transmitido seguridad y confianza.

A mi tío, *Lucho Porras*, por su estímulo, preocupación constante y por su alegría brindada en mis días de estudio.

A la persona que permaneció a mi lado en los buenos y malos momentos, soportando mi impulsivo carácter, gracias por enseñarme a ser mejor persona, gracias por tu amor y amistad, *Alex Piruch*.

En señal de mi admiración a su trabajo, lucha incansable ante la vida, por cuidarme y darme las fuerzas que necesito desde el cielo, este trabajo está dedicado a la memoria de mi segunda madre, *Regina Ochoa*.

Lo que soy se lo debo a ustedes.....Mil gracias

Johana

DEDICATORIA

A mis padres Rosa y Pedro quienes siempre me supieron guiar con sus consejos, por su sacrificio para que pueda culminar mi vida universitaria y que han sido desde toda mi vida fuente de admiración para seguir adelante sin importar los problemas.

A mis hermanos Edwin, Carlos, Iván, Karina y Jenny, con quienes juntos pasamos situaciones alegres, tristes y difíciles y quienes me brindaron apoyo cuando más lo necesite. a mi hermana Rosa Angélica quien no tuve la oportunidad de conocer.

A una persona muy importante en mi vida, con quien comparto el sacrificio y la dicha en la realización del presente trabajo, por los buenos y malos momentos, Johana Carrión.

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO I	1
FÍSICA Y QUÍMICA DEL INCENDIO	1
1.1 QUÍMICA DEL INCENDIO	1
1.1.1 FUEGO	1
1.1.2 ETAPAS EN EL DESARROLLO DEL FUEGO.....	3
1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS Y AGENTES DE EXTINCIÓN	4
1.1.4 ETAPAS DEL INCENDIO.....	6
1.1.5 RIESGOS DE INCENDIO	7
1.1.5.1 Clasificación de los Riesgos	7
1.1.6 CAUSAS Y EFECTOS DE INCENDIOS EN INSTALACIONES PETROLERAS.....	8
1.1.6.1 Causas de los incendios.....	8
1.1.6.2 Efectos de los incendios	11
1.2 FÍSICA DEL INCENDIO	13
1.2.1 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD.....	13
1.2.2 TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN O FLASH POINT.....	14
1.2.3 TEMPERATURA DE AUTOINFLAMACIÓN.....	14
1.3 ACCIDENTES EN INSTALACIONES PETROLERAS	15
1.3.1 TIPOS DE ACCIDENTES EN ESTACIONES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO	16
1.3.2 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN.....	19
1.3.2.1 Sistemas Contra Incendios Portátiles.....	21
1.3.2.2 Sistema Contra Incendios Fijos	24
1.3.2.2.1 Sistema de agua.....	24
1.3.2.2.2 Sistema de agua-espuma.....	26
 CAPÍTULO II	 31
DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL	31
2.1 ANTECEDENTES	31

2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	31
2.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA SHUSHUFINDI.....	33
2.4. ESTADO ACTUAL DE LOS POZOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EXISTENTES EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL..	33
2.4.2 DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL ...	37
2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN CENTRAL	42
2.4.3.1 Sistema de Recolección de Fluido Multifásico.....	44
2.4.3.2. Separación Bifásica (líquido-gas)	45
2.4.2.2.1 <i>Sistema de prueba de pozos</i>	46
2.4.3.3 Separación Crudo-Agua en el Tanque de Lavado (T-030)	46
2.4.3.4 Almacenamiento de Crudo en el Tanque de Reposo (T-031).....	47
2.4.3.5 Bombeo Tanque Reposo a Tanque Oleoducto.....	48
2.4.3.6 Sistema de Reinyección de Agua de Producción.	48
2.4.3.7 Balance de masas de la Estación Shushufindi Central.....	48
2.4.4 SISTEMA CONTRA INCENDIOS	52
2.4.4.1 Sistema Móvil Contra Incendios.....	52
2.4.4.2 Sistema Fijo Contra Incendios.....	54
2.4.4.2.1 <i>Descripción del Proceso</i>	56
 CAPÍTULO III.....	 63
ANÁLISIS DE LOS RIESGOS DE DESASTRES EN CASO DE UN INCENDIO DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL	63
3.1 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	69
3.1.1 MÉTODO DOW.....	70
3.1.2 CÁLCULO DE ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN (IEF) PARA LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL.....	78
 CAPITULO IV.....	 94
ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL.....	94

4.1 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA AGUA-ESPUMA.....	94
4.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE OLEODUCTO (T-032)	94
4.1.3 CANTIDAD DE SOLUCIÓN REQUERIDA AGUA-ESPUMA (Q _{ac}).....	95
4.1.4 PROTECCIÓN CON MANGUERAS	95
4.1.5 VOLUMEN DE CONCENTRADO DE ESPUMA REQUERIDO (V _e).....	97
4.1.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD TANQUE PROPORCIONADOR DE ESPUMA.....	97
4.1.6.1 Determinación del formador de espuma (Q _{ae})	98
4.1.7 VOLUMEN DE AGUA PARA LA FORMACIÓN DE SOLUCIÓN AGUA- ESPUMA (V _a).....	99
4.2 CÁLCULO DE AGUA PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	99
4.2.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA.....	102
4.3 CÁLCULO DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y BOMBAS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS	103
4.3.1 CÁLCULO DE TUBERÍAS	103
4.3.2 CÁLCULO DE BOMBAS	111
4.4 EQUIPOS DE EXTINCIÓN.....	114
4.4.1 HIDRANTES INDUSTRIALES	114
4.4.2 MONITORES	116
4.4.3 EXTINTORES	118
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN A IMPLEMENTAR EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL	119
4.5.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	125
4.5.2 SISTEMAS PARTICULARES DE DETECCIÓN.....	126
4.5.2.1 Detectores de Llama.....	126
4.5.2.2 Detectores de Humo	127
4.5.2.3 Detectores de Gas Combustible	128
4.5.2.4 Estaciones Manuales de Alarma.....	129
4.5.2.5 Controlador	130

4.6 PROCEDIMIENTO DURANTE UNA EMERGENCIA.....	135
CAPÍTULO V.....	137
ANÁLISIS COSTO–BENEFICIO DEL PROYECTO	137
5.1 TÉCNICA EMPLEADA	137
CAPITULO VI.....	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
6.1 CONCLUSIONES	148
6.2 RECOMENDACIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	152
ANEXOS	1

CONTENIDO DE TABLAS

CAPÍTULO I

TABLA 1.1: Clasificación de los incendios y agentes de extinción	5
TABLA 1.2: Causas de los incendios según su frecuencia de riesgo	9
TABLA 1.3: Temperaturas de inflamación de algunos materiales	14
TABLA 1.4: Temperaturas de autoinflamación de algunos materiales	14
TABLA 1.5: Tipos de extintores portátiles	22
TABLA 1.6: Propiedades físicas y químicas del agua	25
TABLA 1.7: Componentes del sistema de agua pulverizada	30

CAPÍTULO II

TABLA 2.1: Condiciones ambientales del área Shushufindi	33
TABLA 2.2: Pozos de producción que llegan a la Estación de Producción Shushufindi Central	33
TABLA 2.3: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Bombas	38
TABLA 2.4: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Intercambiador de Calor	39
TABLA 2.5: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Tanques	39
TABLA 2.6: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Recipientes de Presión	40
TABLA 2.7: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Compresores	41
TABLA 2.8: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Mechero	41
TABLA 2.9: Balance de masas en la Estación Shushufindi Central	49

CAPÍTULO III

TABLA 3.1: Categorías de riesgo en función del índice Dow (IFE)	73
--	----

TABLA 3.2: Factor de material (FM)	73
TABLA 3.3: Rango del factor de penalización para el cálculo del índice de fuego y explosión (IFE)	77
TABLA 3.4: Determinación del factor de penalización por cantidad de materia inflamable	83
TABLA 3.5: Resultados del cálculo de los índices de fuego y explosión (IFE)	84
TABLA 3.6: Índice de incendio y explosión en la Estación de Producción Shushufindi Central	85

CAPÍTULO IV

TABLA 4.1: Requerimiento de mangueras	96
TABLA 4.2: Sistema de proporcionamiento de presión balanceada (3%)	97
TABLA 4.3: Tipo y número de formadores de espuma	98
TABLA 4.4: Ubicación de los hidrantes	114
TABLA 4.5: Distancias mínimas de seguridad en instalaciones petroleras	116
TABLA 4.6: Aplicaciones para monitores	117
TABLA 4.7: Tipos de detectores	121
TABLA 4.8: Selección de detectores por tipo de instalación	124
TABLA 4.9: Características principales del detector de llama Multispectrum	127
TABLA 4.10: Características principales del detector de gas DET-TRONICS	128
TABLA 4.11: Características principales de la estación manual XAL-53	130
TABLA 4.12: Características principales de alarma sonora	132
TABLA 4.13: Características principales de alarma visual	132
TABLA 4.14: Resumen del dimensionamiento del Sistema Contra Incendios	133

CAPÍTULO V

TABLA 5.1: Factor de daño mediante el método de Dow	137
TABLA 5.2: Cálculo de área de exposición	138
TABLA 5.3: Factor de escala	138
TABLA 5.4: Valor de reposición	139
TABLA 5.5: Valor de daño a la propiedad	139

TABLA 5.6: Factor de Bonificación antes de las modificaciones	140
TABLA 5.7: Cálculo de DMPPo	141
TABLA 5.8: Parada probable de producción	142
TABLA 5.9: Determinación del lucro cesante	142
TABLA 5.10: Cálculo de PPT	143
TABLA 5.11: Factor de Bonificación después de las modificaciones	143
TABLA 5.12: Cálculo de DMPP después de las modificaciones	144
TABLA 5.13: Parada probable de producción	144
TABLA 5.14: Determinación del lucro cesante después de las modificaciones	145
TABLA 5.15: Cálculo de PPT después de las modificaciones	145
TABLA 5.16: Pérdidas antes de las mejoras	145
TABLA 5.17: Pérdidas después de las mejoras	146

CONTENIDO DE FIGURAS**CAPÍTULO I**

FIGURA 1.1: Tetraedro del fuego	2
FIGURA 1.2: Límites de inflamabilidad	13
FIGURA 1.3: Formación de la espuma	27

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1: Ubicación geográfica del Campo Shushufindi	32
FIGURA 2.2: Localización de los pozos que llegan a la Estación de Producción Shushufindi Central	35

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1: Procedimiento del método de índice Dow de incendio y explosión	72
---	----

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1: Radio de influencia 2D	100
FIGURA 4.2: Sistema de agua de enfriamiento	109
FIGURA 4.3: Sistema de agua-espuma	110
FIGURA 4.4: Central de señalización	131

CONTENIDO DE FOTOS**CAPÍTULO II**

FOTO 2.1: Separador de Producción	42
FOTO 2.2: Manifold de Producción	43
FOTO 2.3 Separadores de Producción	45
FOTO 2.4: Bota de Gas	45
FOTO 2.5: Tanque de Lavado	47
FOTO 2.6: Tanque de Reposo	47
FOTO 2.7: Caseta de Bombas de transferencia de crudo y medidores	48
FOTO 2.8: Extinguidor de 150 Lbs	53
FOTO 2.9: Muestra del polvo químico seco	53
FOTO 2.10: Extinguidor de PQS con cápsula de CO ₂	54
FOTO 2.11: Lanza monitora de agua	55
FOTO 2.12: Hidrante de agua	55
FOTO 2.13: Tanque de agua S.C.I	56
FOTO 2.14 Tanque de espuma	57
FOTO 2.15: Tanque de diesel	57
FOTO 2.16: Tanque de aire	58
FOTO 2.17: Tubería de agua	60
FOTO 2.18: Sistema de espuma	61
FOTO 2.19: Ingreso de espuma hacia Tanque	61
FOTO 2.20: Lanza monitora de agua en funcionamiento	62
FOTO 2.21: Lanza monitora de espuma	62

CAPÍTULO III

FOTO 3.1 Manifold y Separadores	64
FOTO 3.2: Separador de Producción	64
FOTO 3.3: Tanque de Lavado	65
FOTO 3.4: Tanque de Reposo	65
FOTO 3.5: Unidades de medición y Bombas de transferencia	66

FOTO 3.6: Unidades de medición	66
FOTO 3.7: Unidades de Oleoducto	67
FOTO 3.8: Piscinas de reinyección de agua	67
FOTO 3.9: Compresores	68
FOTO 3.10: Contadores y Bombas Booster de Oleoducto	68
FOTO 3.11: Tanques de diesel	69
FOTO 3.12: Detectores de gas sin funcionamiento	86
FOTO 3.13: Bomba eléctrica sin ensamblar	86
FOTO 3.14: Sala de Bombas del S.C.I	87
FOTO 3.15: Comunicación entre cubetos	88
FOTO 3.16: Cubeto con presencia de vegetación	89
FOTO 3.17: Tanque de almacenamiento de agua (parte posterior)	89
FOTO 3.18: Válvula de mariposa	90
FOTO 3.19: Válvula de compuerta	90
FOTO 3.20: Indicador de nivel de agua	91
FOTO 3.21: Tanque de diesel sin protección	92
FOTO 3.22: Filtro en posición incorrecta	92
FOTO 3.23: Operación incorrecta de monitores	93
FOTO 3.24: Rosca de hidrante sin protección	93

RESUMEN

En el presente proyecto “ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHIFINDI CENTRAL” se realizó el análisis de riesgos con el objetivo de brindar mayor seguridad a los equipos existentes de la siguiente manera:

En el Capítulo I se menciona toda la teoría referente a la química y física del incendio, causas y efectos de los incendios en las instalaciones petroleras y finalmente se dan lineamientos sobre los sistemas de protección contra incendios en las instalaciones de producción.

En el Capítulo II se presenta la descripción de la Estación de Producción Shushufindi Central en todo lo referente a los procesos de producción, el balance de masas, así como también el Sistema Contra Incendios Fijo instalado para la identificación previa de las condiciones actuales de seguridad existentes.

El Capítulo III encierra el análisis de riesgos, incendios y explosión que pudiesen suscitarse dentro de la Estación de Producción Shushufindi Central, para lo cual se contempla el análisis mediante el Método Dow (IFE) que determina las zonas de mayor peligrosidad, además de la inspección visual que nos demuestra el grado de vulnerabilidad de la ocurrencia de eventos no deseados de dichas zonas.

En el Capítulo IV se realiza la actualización del Sistema Contra Incendios con objeto de tratar de reducir en lo posible los eventos catastróficos analizados en el capítulo anterior mediante cálculos basados en las normas que rigen el sistema Petroecuador y la normativa internacional de la NFPA. Adicionalmente se propone la implementación de un nuevo sistema de protección, detección y control.

En el Capítulo V se mencionan los aspectos económicos que este proyecto encierra, por medio del Método Dow, el cual nos permite conocer si el incremento de la seguridad con respecto a la inversión es significativa para la realización de dicho proyecto.

Finalmente en el Capítulo VI se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

PRESENTACIÓN

La empresa estatal “PETROECUADOR” a través de su filial Petroproducción cuenta en la actualidad con estaciones de producción y bombeo de crudo, en donde localizamos facilidades de producción tales como: Líneas de Flujo, Manifolds, Separadores, Tanques, Botas de Gas, Bombas de Transferencia, Unidades de Medición, Generadores, Ductos secundarios, Obras Civiles, Sistemas de Tratamiento Químico, Sistemas de Levantamiento Artificial, Sistema de Inyección de Agua, Sistemas Contra Incendios, las mismas que fueron instaladas en la década de los 70 y parte de la década del 80.

Cada una de las estaciones de producción están provistas de un Sistema Contra Incendios (fijo y portátil), su diseño y construcción ha cumplido entre los 25 y 36 años de servicio, en los cuales no se ha realizado ningún diagnóstico, por lo que una parte de los equipos del mismo están deteriorados, llegando a la obsolescencia técnica y logística.

El presente proyecto se enfoca al estudio y planteamiento de solución del Sistema Contra Incendios de la Estación de Producción Shushufindi Central, la misma al igual que todas las estaciones de producción de petróleo, está expuesta a riesgos potenciales de incendios por el tipo de operaciones con líquidos inflamables que en ellas existen.

La Estación de Producción Shushufindi Central para su normal funcionamiento, requiere un rediseño total del Sistema Actual Contra Incendios, tomando en cuenta nuevas tecnologías y nuevos equipos instalados.

El fin de la implementación permitirá minimizar los conatos de incendio que pueden provocar la destrucción de la maquinaria e instalaciones y poner en riesgo la vida de las personas que laboran en el sector.

El cumplimiento del objetivo planteado estriba en conocer a cabalidad la Estación de Producción Shushufindi Central; analizar la situación del Sistema Contra Incendios (fijo y portátil); evaluar los riesgos que actualmente posee la Estación de Producción; seleccionar un óptimo Sistema Contra Incendios con tecnología actual; y, finalmente realizar el análisis costo-beneficio de este proyecto.

Las normas que se utilizarán en el diseño serán las que actualmente rigen para el sistema Petroecuador, además de normas internacionales como las NATIONAL FOAM y la NFPA. Considerando que la mayoría de los Sistema de Protección Contra Incendios están vulnerables por fallas permanentes o debido a la tecnología con la que fueron instalados inicialmente.

CAPÍTULO I

FÍSICA Y QUÍMICA DEL INCENDIO

Los conocimientos limitados que el hombre posee respecto a la generación del incendio han servido para desarrollar mecanismos de control aparentemente sofisticados, pero pese a esfuerzos no se ha logrado erradicar o minimizar sus efectos destructivos debido a la falta de tecnología o de medios disponibles.

En el presente capítulo se describe brevemente la naturaleza física y química de las reacciones a través de las cuales se inician, mantienen y propagan los incendios, tomando en cuenta los cuatro factores principales que son: combustible, comburente, energía de activación, y reacción en cadena, para luego analizar las consecuencias del incendio y las maneras de evitarlo.

1.1 QUÍMICA DEL INCENDIO

El incendio es fundamentalmente un fuego en grandes proporciones, que no está bajo el control de la mano del hombre, y que es considerado como el desarrollo de reacciones químicas fuertemente exotérmicas de oxidación-reducción.

1.1.1 FUEGO

Es una Reacción Química exotérmica resultante de la combinación de una sustancia combustible con oxígeno y calor.

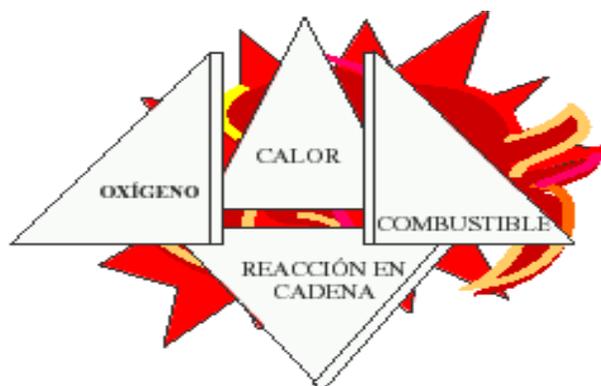
Elementos del Fuego

Un incendio se produce por la presencia de cuatro elementos básicos que constituyen el TETRAEDRO DEL FUEGO, teoría actualmente vigente para la

explicación de los fenómenos causantes de la generación de incendio, los cuales son:

- El oxígeno
- Calor o temperatura
- Material combustible
- Reacción química en cadena

FIGURA 1.1: Tetraedro del fuego



Fuente: Manual de brigadas contra incendios industriales.

➤ **Oxígeno**

Es el agente gaseoso de la atmósfera capaz de permitir el desarrollo de la combustión, para el caso se cita como el oxígeno como comburente ideal en todas las combustiones.

➤ **Calor o Temperatura**

El calor es la energía necesaria para elevar la temperatura del combustible a un punto en donde se den suficientes vapores para que ocurra la ignición.

Los mecanismos básicos de transferencia de calor son: conducción, radiación y convección.

a) Conducción

Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a alta temperatura, a otra parte del mismo a menor temperatura, o de un cuerpo a alta temperatura a otro cuerpo a menor temperatura, en contacto físico con él.

b) Radiación

Proceso por el cual el calor es transferido por ondas electromagnéticas debido a rayos emitidos por cuerpos calientes, en forma similar a la radiación solar.

c) Convección

Es la transferencia de calor desde una superficie hacia un fluido en movimiento en contacto con ella, o de una parte de un fluido en movimiento a mayor temperatura hacia otra parte del mismo fluido a menor temperatura.

➤ Material Combustible

El combustible es la sustancia que arde o se combina con un gas. Este puede ser cualquier material combustible, ya sea sólido, líquido o gas. La mayoría de los sólidos y líquidos se convierten en vapor o gas antes de entrar en combustión.

➤ Reacción Química en Cadena

Se considera una reacción en cadena al conjunto de sucesos, correlativos en el tiempo, que definen un incendio. Se distinguen las siguientes etapas: ignición, propagación y consecuencias.

1.1.2 ETAPAS EN EL DESARROLLO DEL FUEGO

Todos los incendios pueden pasar por cuatro etapas de desarrollo si no se interrumpen a tiempo, por lo que para detenerlo es importante conocer las siguientes etapas:

- **Incipiente:** Se caracteriza porque no hay llamas, hay poco humo, la temperatura es baja; se genera gran cantidad de partículas de combustión. Estas partículas son invisibles y se comportan como gases, subiéndose hacia el techo. Esta etapa puede durar días, semanas y en raros casos hasta años.
- **Latente:** Aún no hay llama o calor significativo; comienza a aumentar la cantidad de partículas hasta hacerse visibles; ahora las partículas se llaman humo. La duración de esta etapa también es variable.
- **Llama:** Según se desarrolla el incendio, se alcanza el punto de ignición y comienzan las llamas. Baja la cantidad de humo y aumenta el calor. Su duración puede variar, pero generalmente se desarrolla la cuarta etapa en cuestión de segundos.
- **Calor:** En esta etapa se genera gran cantidad del mismo, llama, humo y gases tóxicos.

1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS Y AGENTES DE EXTINCIÓN

Los fuegos según la clasificación europea¹ son:

- **Clase A:** Son los que se producen en materiales combustibles sólidos o en materiales celulósicos que pueden ser apagados por el efecto de una cantidad de agua o de alguna solución que contenga gran porcentaje de agua.
- **Clase B:** Son aquellos que se producen en combustibles líquidos, grasas, o ceras inflamables.

¹ Working Group on Fire Extinguishers of the Committee European of Normalisation

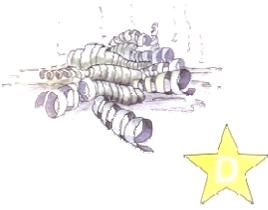
- **Clase C:** Son los que se producen en equipos eléctricos energizados, en los que es de gran importancia el uso de un extinguidor no conductor de la electricidad.
- **Clase D:** Incendios en los que intervienen metales combustibles especiales.

En la Tabla 1.1 se presenta en forma breve y específica los materiales que conllevan a la generación de los diferentes tipos de fuego y sus respectivos agentes extintores.

TABLA 1.1: Clasificación de los incendios y agentes de extinción

CLASIFICACIÓN	TIPOS DE MATERIALES	AGENTES EXTINTORES
<p style="text-align: center;">Clase A</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Madera ➤ Ropa ➤ Papel ➤ Plásticos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El agua (efectos del enfriamiento).
<p style="text-align: center;">Clase B</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Líquidos Inflamables: gasolina, kerosén. ➤ aceites ➤ grasas ➤ alquitranes ➤ bases de pinturas ➤ lacas ➤ gases inflamables ➤ aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polvos secos comunes, polvos secos multiusos, anhídrido carbónico, espuma e hidrocarburos halogenados (Efecto de sofocación por exclusión del oxígeno).

TABLA 1.1 Continuación

<p>Clase C</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipos Eléctricos ➤ Equipos Energizados. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agentes extintores no conductores.
<p>Clase D</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Magnesio ➤ Titanio ➤ Zirconio ➤ Sodio ➤ Potasio 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se da en ciertos metales combustibles. ➤ Existen agentes extintores especiales para el control de incendios para cada uno de los metales y son identificados específicamente para ese metal. ➤ Se puede extinguir con cloruro de sodio y grafito granulado.

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.1.4 ETAPAS DEL INCENDIO

Para realizar el análisis de un incendio podemos considerar tres etapas:

- **Ignición:** Se da por la conjunción de los cuatro factores fundamentales del tetraedro en el espacio y en el tiempo, con la intensidad necesaria para provocar la inflamación del material combustible y de los siguientes eventos:
 - ✓ Presencia de una proporción mínima de oxígeno en el ambiente.
 - ✓ Precisa concentración de materia combustible-comburente (aire).
 - ✓ Temperatura mínima a la que se emitan suficientes vapores de parte el combustible para alcanzar la concentración precisa.

- ✓ Energía de activación suficiente a aportar a la mezcla para que la reacción en cadena se inicie y continúe.
- **Propagación:** Es la evolución en espacio y tiempo del incendio.
- **Extinción:** Existen dos tipos de modelos de protección para evitar la propagación del incendio, éstos son:
 - a) Modelos Estáticos: Permiten el aislamiento del riesgo mediante protecciones estructurales.
 - b) Modelos Dinámicos: Permiten controlar y extinguir el incendio mediante la adopción de medidas de detección, alarma y extinción.

1.1.5 RIESGOS DE INCENDIO

Se considera como riesgo a la evaluación de posibilidad de incendios y/o explosión en función de combustibilidad de los materiales, exposición a la ignición, facilidades de propagación del incendio y colocación de los materiales dentro de una instalación o parte de la misma.

1.1.5.1 Clasificación de los Riesgos

Según el grado de afectación a los riesgos de un incendio se los puede clasificar como:

- **Riesgos Leves**

Presente en instalaciones donde se encuentran materiales de baja combustibilidad y no existen facilidades para la propagación del fuego.

➤ **Riesgos Moderados**

Presente en instalaciones donde se encuentren materiales que puedan arder con relativa rapidez o que produzcan gran cantidad de humo.

➤ **Riesgos Altos**

Presente en instalaciones donde se encuentran materiales que puedan arder con rapidez o donde se produzcan vapores tóxicos y/o exista la posibilidad de explosión.

1.1.6 CAUSAS Y EFECTOS DE INCENDIOS EN INSTALACIONES PETROLERAS

Debido a que la industria Petrolera tiene que manejar grandes cantidades de materiales inflamables, los incendios en sus plantas y Tanques son casi inevitables.

Una buena prevención y control de incendios involucra una capacitación de los trabajadores e implementación de todas las medidas de prevención y control que se exigen para que los incendios no ocasionen grandes pérdidas ya sean a las personas, materiales y equipos existentes.

Para cumplir con el objetivo de la prevención y control es preciso conocer cómo y dónde se origina un incendio para tratar en lo posible de eliminar sus causas y posibles efectos o incidentes tanto sobre el medio ambiente como en las personas.

1.1.6.1 Causas de los incendios

Tomando en cuenta que los incendios son causados por la acción de una fuente de calor lo suficientemente para iniciar una combustión, es imprescindible mencionar los principales factores considerados de riesgo en las actividades que manejan líquidos inflamables, dichos factores se mencionan en la Tabla 1.2 a continuación:

TABLA 1.2: Causas de los incendios según su frecuencia de riesgo

FACTOR	RIESGO (%)	ORIGEN	MEDIDAS PREVENTIVAS
Fumar	18	➤ Falta de concientización y desobediencia de normas de seguridad.	➤ Prohibir fumar en zonas peligrosas, donde hay líquidos inflamables, polvos y fibras combustibles.
Fricción	10	➤ Recalentamiento por roce.	➤ Ejecución de programas de inspecciones regulares, y un buen plan de mantenimientos.
Recalentamiento de materiales	8	➤ Temperaturas anormales en procesos con líquidos inflamables calientes y materiales en secadores.	➤ Supervisión cuidadosa y cumpliendo los actos y condiciones seguras.
Superficies calientes	7	➤ Calor proveniente de calderas, hornos, motores como también metales en procesos calientes que encienden líquidos inflamables y materiales combustibles.	➤ Ventilación adecuada y un buen mantenimiento de las cañerías de líquidos inflamables, dando amplitud de espacio de aislamiento y circulación de aire.
Llamas quemadoras	7	➤ Uso indebido de lámparas de soldar, defectos de quemadores de calderas, secadores, hornos y calefactores portátiles.	➤ Diseño correcto, un buen funcionamiento, buena ventilación y dispositivos de control para las llamas.

TABLA 1.2 Continuación

Cortes y soldaduras	4	➤ Por chispas, arcos provenientes de cortes y soldaduras.	➤ Aislar zonas de riesgo que estén en contacto con las chispas por soldadura
Exposición a incendios adyacentes	3	➤ Debido a los incendios que provienen de propiedades vecinas.	➤ Proteger las aberturas con rociadores o con vidrio armados, según sea la gravedad de la exposición.
Incendios premeditados	3	➤ Producidos por intrusos, adolescentes trabajadores descontentos y pirómanos.	➤ Se evita con vigilancia, instalando vallas y tomando medidas de prevención.
Chispas mecánicas	2	➤ Se origina por chispas de metales extraños en máquinas, particularmente en hiladoras de algodón y en operaciones de esmerilado y trituración.	➤ Se evita limpiando la materia prima y retirando los materiales extraños con separadores magnéticos u otros medios.
Rayos	1	➤ Debido a rayos de tormenta eléctrica, chispas inducidas por elevación de tensión, circuitos en equipos eléctricos y por rayos que caen en las líneas de transmisión de energía eléctrica	➤ Se evita instalando apartarrayos, capacitores de sobretensión y conexiones a tierra.

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.1.6.2 Efectos de los incendios

Las labores de la industria petrolera, producen efectos preocupantes que destruyen recursos naturales de valor y de gran importancia, además de ser generadoras de problemas que contribuyen con el desequilibrio ecológico, algunos de estos efectos se describe a continuación.

➤ Efectos sobre el suelo

El suelo quedará inerte en su microflora y microfauna a consecuencia de un incendio o de una explosión, por lo que el tiempo de recuperación será a largo plazo.

➤ Efectos sobre el agua

El agua luego de un incendio o de una explosión no será apta para el consumo humano y para otros usos debido a que contará con materiales en suspensión.

➤ Efectos sobre flora y fauna

El mayor problema de contaminación se debe presentar ante la presencia de cursos de agua, en tal sentido sería conveniente el desarrollo de soluciones para la identificación de la dispersión y arrastre de sustancias peligrosas en los cursos de agua

➤ Efectos sobre la vida humana

Los efectos sobre las personas son básicamente a consecuencia de los gases, vapores, humos generados en incendios o explosiones y del incremento de temperatura.

El grado de afectación estará determinado por las características de los gases y vapores, tiempo de exposición a estos gases, vía de exposición y del tipo de órgano afectado.

Básicamente son dos los efectos más nocivos sobre las personas, éstos son:

- a) **Irradiación de calor:** Puede producir daños físicos a las personas en mayor o menor magnitud, dependiendo del tiempo de exposición a la misma, al mismo tiempo que producir calentamientos estructurales, fatiga en las chapas de los Tanques, evaporación de líquidos contenidos en recipientes que pueden conducir a la explosión de los techos de los Tanques o a la generación de fisuras por la presión interna ejercida de los vapores.

Una intensidad de radiación equivalente a 440 BTU/ h. pies² es considerada como un nivel seguro para las personas durante un tiempo de exposición prolongado.

- b) **Sobrepresión:** La onda de sobrepresión generada por una explosión causa daños severos en las personas y en las estructuras que se encuentren en su viaje a través del aire.

Se considera que el ser humano al soportar una sobrepresión de 200 KPa prácticamente le originaría la muerte en un 99% de probabilidad, mientras que al soportar 16,55 KPa es el límite mínimo para ocasionarle la rotura del tímpano.

De esta manera tanto la irradiación como la exposición a la onda de sobrepresión deben ser parámetros a considerar en los diseños concernientes a seguridad dentro de las instalaciones petroleras.

1.2 FÍSICA DEL INCENDIO

Las constantes físicas enumeradas a continuación permitirán evaluar las variables de un incendio.

1.2.1 LÍMITES DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD

Son los límites extremos de concentración de un combustible dentro de un medio oxidante a través del cual la llama una vez iniciada continúa propagándose a las presiones y temperaturas específicas.

A la más pobre de las concentraciones se la denomina LII (Límite Inferior de Inflamabilidad) por debajo del cual la mezcla es demasiado pobre en combustible para arder, y a la concentración más rica LSI (Límite Superior de Inflamabilidad) por encima del cual la mezcla es demasiado pobre en oxígeno para arder.

Las mezclas capaces de entrar en combustión son las concentraciones comprendidas entre el LII y el LSI. Los límites de inflamabilidad se dan en porcentaje en volumen de combustible en su mezcla con el aire, por lo que a medida que la concentración de oxígeno sobrepase al 21%, concentración de oxígeno en el medio ambiente, la intensidad de la combustión aumenta.

FIGURA 1.2: Límites de inflamabilidad



Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.2.2 TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN O FLASH POINT

Es la mínima temperatura a la cual un producto inflamable (sustancia combustible) emite una cantidad de vapores suficientes para que se produzca una llama instantánea en la superficie libre del líquido con el aporte de una energía de activación externa.

TABLA 1.3: Temperaturas de inflamación de algunos materiales

MATERIAL	TEMPERATURA (°C)
Asfalto	204
Aceite Lubricante	150 - 230
Kerosene	37
Petróleo Crudo	-7 a 32
Gasolina de aviación	-46

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.2.3 TEMPERATURA DE AUTOINFLAMACIÓN

Es la mínima temperatura en °C a la cual un combustible arde espontáneamente en el aire sin precisar de una energía de activación externa.

TABLA 1.4: Temperaturas de autoinflamación de algunos materiales

MATERIAL	TEMPERATURA (°C)
Madera	200
Gasolina Extra	200
Kerosene	210
Papel	230

Tabla 1.4 Continuación

Gasolina de aviación	440
Gas Natural	482 - 632
Amoníaco	650

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.3 ACCIDENTES EN INSTALACIONES PETROLERAS

Todos los proyectos industriales deben considerar las instalaciones de protección contra incendios cumpliendo estrictamente las consideraciones de seguridad respecto al control de incidentes y siniestros originados por incendios.

Considerando dentro de las actividades pertinentes, los siguientes aspectos:

- Análisis de riesgos.
- Rigurosidad en el diseño de las instalaciones peligrosas.
- Diseños que previenen la ocurrencia de incendios.
- Determinación de cargas de incendio.
- Sistemas de detección y alarmas normalizados.
- Procedimientos de operación normalizados.
- Asistencia en preparación y entrenamiento de personal de emergencia.
- Peritajes de siniestros.

Por lo tanto la capacitación es un agente permanente de prevención y control en materia de incendios como así también la mantención de equipos y de los mismos sistemas contra incendios.

1.3.1 TIPOS DE ACCIDENTES EN ESTACIONES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

Los accidentes en las estaciones de producción de petróleo pueden ser de varios tipos, siendo los riesgos más graves: pérdidas de líquidos o gases combustibles por emisión o derrame; incendio de líquidos o gases y construcciones que existen en la estación; y la explosión de sitios y locales que existen en la estación. Generalmente los accidentes en las estaciones de producción de petróleo suelen ocurrir de la siguiente forma:

- a) **Emisión:** Es todo fluido gaseoso, puro o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana.
- b) **Incendio:** Es una ocurrencia de fuego no controlada que puede ser extremadamente peligrosa para el factor biótico y las instalaciones aledañas.
- c) **Explosión:** es un efecto producido por una expansión violenta y rápida de gases. Los alcances de los accidentes en las áreas petroleras son de diferente magnitud y van desde el orden material y humano hasta las zonas periféricas a las instalaciones adyacentes donde también se producen este tipo de daños.

Además se debe considerar eventos que ocurren en una estación de producción los cuales ocasionan incendios y/o explosiones. Según la experiencia histórica y las características de los materiales, sustancias y procesos involucrados se han suscitado eventos como:

➤ **Incendios de líquidos en superficies extensas.**

Se originan en líquidos inflamables o combustibles, y para que ocurra incendio es necesario que exista contacto de los líquidos inflamables o combustibles

con el aire y elevación de la temperatura de la mezcla por un foco de ignición capaz de producir un incendio.

Es conveniente clasificar a los líquidos inflamables en tres grupos:

- a) Los que se pueden enfriar bajo el punto de ignición por transferencia directa de calor entre líquido inflamable y el agua que cae sobre él. La temperatura de ignición del líquido debería ser por lo menos de 25 °C más alto que la temperatura del agua.
- b) Los que se mezclan con agua, de tal forma que la temperatura de ignición se eleve hasta los 45 °C o más, por dilución.
- c) Los que se pueden extinguir mediante el enfriamiento directo de los vapores en la zona de combustión mediante la transferencia de calor al agua.

➤ **Rebosamiento violento de un líquido por ebullición (BOILOVER)**

Es un fenómeno que puede ocurrir como consecuencia de un incendio de larga duración en un Tanque de almacenamiento o reservorio, el mismo que contenga crudos o productos derivados del petróleo.

Se necesitan de las siguientes condiciones para su generación:

1. Varios puntos de ebullición del líquido.
2. Presencia de agua libre o emulsionada.
3. Aceites con productos pesados.
4. Incendios en forma de bola de fuego.
5. Explosión de una nube de gas no confinada (UVCE).

6. Explosión de los vapores en expansión de un líquido en ebullición (BLEVE).

➤ **Incendios en forma de bola de Fuego**

Este tipo de incendios suelen ocurrir como consecuencia de un escape masivo de un gas inflamable o gas licuado presurizado, en circunstancias en las que se produce la ignición espontánea de la masa de gas.

Se necesitan de las siguientes condiciones para su generación:

1. Fuga de gases inflamables almacenados al medio ambiente.
2. Entrega de energía a la mezcla inflamable.

➤ **Explosión de una nube de Gas no Confinada (UVCE)**

Es el fenómeno que puede ocurrir debido al escape de un gas o líquido volátil inflamable en circunstancias en las que no se produce la ignición espontánea de la masa de gas, formándose así una nube de gas en un área no confinada por obstrucciones (construcciones), la cual al encontrar un foco de ignición empieza a arder y culmina en una explosión o en un incendio espontáneo.

Se necesitan de las siguientes condiciones para su generación:

1. Formación de una mezcla inflamable homogénea.
2. Permanencia de la nube en el medio por largo tiempo.

➤ **Explosión de los vapores en expansión de un Líquido en Ebullición (BLEVE)**

Se conoce como BLEVE a un evento que puede ocurrir en un Tanque o en un recipiente a presión, con contenido de GLP o un líquido inflamable, sometido a fuentes de calor o fallas estructurales presentes.

Las condiciones necesarias para que este evento se genere son:

1. Sobrecalentamiento del líquido.
2. Bajada brusca de la presión.
3. Evaporación flash.

1.3.2 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN

Son variados los agentes extintores utilizados, por lo cual, resulta también variado el grado de efectividad de cada uno de ellos y las limitaciones en cuanto a su aplicabilidad.

Se pueden clasificar a los Sistemas de Protección Contra Incendios según tres puntos de vista:

a) Según su función

a.1 Medios para detección { Humanos
Automáticos

a.2 Medios para alarma { Pulsadores manuales
Automáticos

b) Según el medio extintor

b.1 Agua { Aplicada a chorro
Aplicada a pulverización
Aplicada a niebla

b.2 Espumas	<ul style="list-style-type: none"> De baja expansión ($CE^2 < 30$) De media expansión (CE: 30 - 250) De alta expansión (CE > 250) AFFF
b.3 Polvo Químico	<ul style="list-style-type: none"> Normal Especiales
b.4 Gases	<ul style="list-style-type: none"> Anhídrido carbónico Otros gases

c) Según la disposición y aplicación

c.1 Sistemas fijos

c.2 Equipos móviles o portátiles

Para objeto de nuestro estudio nos concentraremos a prestar mayor énfasis a la clasificación de los sistemas por su disposición y aplicación.

Es necesario además conocer las acciones extintoras de los distintos agentes (agua, espumas, polvo químico, gases), tales como:

➤ **Enfriamiento**

Permite eliminar el calor y bajar la temperatura de manera tal que se extinga la ignición continuada del combustible aún no quemado.

² CE= coeficiente de espumación, obtenido de dividir el volumen de espuma para el volumen de mezcla espumante.

➤ **Sofocación o eliminación o dilución del comburente**

Permite el desplazamiento del aire en contacto con el combustible ardiente e impide el acceso de aire nuevo.

➤ **Eliminación o dilución del combustible**

Permite eliminar o diluir el combustible para detener el incendio o evitar su propagación.

➤ **Inhibición química de la llama**

Consiste en aportar sustancias terminadoras de las reacciones en cadena.

1.3.2.1 Sistemas Contra Incendios Portátiles

Son todos los equipos que tienen que ser transportados, conectados y operados por personas de un lugar a otro, según las necesidades, para lanzar el agente extintor.

Para la selección de los extintores apropiados se deben tomar en consideración los siguientes factores:

- Naturaleza de los combustibles.
- Dimensión del incendio.
- Clase de fuego generado.
- Facilidad de acceso al extintor.
- Capacitación del personal para el manejo de los diferentes tipos de extintores.
- Seguridad en la utilización del tipo de extintor para la no generación de reacciones químicas entre el agente extintor y el material ardiendo.

Además, se deben tomar en cuenta las características detalladas de los tipos de extintores portátiles indicadas en la Tabla 1.5

TABLA 1.5: Tipos de extintores portátiles

TIPO	CARACTERÍSTICAS	USO	OBSERVACIONES
Agua presurizada	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Principal agente extintor es el agua y el agente impulsor el gas anhídrido carbónico. 	Fuegos clase A.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contraproducente en incendios de combustibles, líquidos inflamables y en fuegos en presencia de circuitos eléctricos o máquinas energizadas.
Espuma mecánica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Al agua se la dosifica un compuesto espumógeno, esta solución es agitada con aire para formar la espuma. 	Fuegos clase A.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Siempre y cuando los fuegos sean conatos y superficiales.
		Fuegos clase B.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No usar en fuegos causados por alcohol, éter, bisulfuro de carbono y lana.
Espuma AFFF	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilizan solución (ácido perfluorocarboxílico) como agente extintor en combinación con el aire y como agente expulsor al gas nitrógeno. ➤ La espuma es esparcida sobre el material ardiendo para penetrar y enfriar el combustible. 	Fuegos clase A y B	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conductores de electricidad, no deben usarse para apagar fuegos clase C. ➤ Susceptibles de congelación (instalarse en áreas cuya temperatura sea mayor a 40 °F).
Anhídrido carbónico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su principal agente extintor es el dióxido de carbono. ➤ La salida del gas se da por la presión a la cual está sometida el recipiente, el cual se transforma en partículas de hielo seco los mismos que al evaporarse absorben el calor del fuego. ➤ Su acción extintora se basa en la suplantación del aire, debido a que el fuego se apaga cuando una parte ha sido desplazada por el dióxido de carbono. 	Fuegos clase A, B y C.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puede originar muerte por sofocación si se emplea en un área confinada. ➤ Congelación de la mano del operador si están en contacto directo con la boquilla de descargue la cual se enfría a medida que el agente es liberado.

TABLA 1.5 Continuación

Polvo Químico seco	➤ Ordinario: compuesto por sales amoníacas o potásicas.	Fuegos clase B y C.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No se recomienda para fuegos de tipo A, por la ausencia de agua. ➤ Formado por sustancias químicas sólidas (sales amónicas o potásicas) que tienen gran fluidez para conducirles y lanzarlas contra el fuego. ➤ Tiene por objetivo romper la cadena de reacción del fuego, reducción del calor y el oxígeno, aísla el calor de los combustibles, formando una película sobre ellos.
	➤ Multipropósito: compuesto por fosfatos y sulfatos de amonio con ingredientes de fosfato de calcio, talco, mica y silicona.etc.	Fuegos clase A,B y C.	
Gases inertes e inhibidores (Halón 1211)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El agente extintor es el gas Halón 1211 que se almacena en forma líquida y se vaporiza al ser liberado. ➤ La autopropulsión de este gas se da con una carga del gas nitrógeno. 	Fuegos clase A, B y C.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tóxico al ser inhalado. ➤ Desgastan la capa de ozono. ➤ Consiste en cambiar las propiedades físicas del metano o etano, pasando de gases inflamables a agentes extintores con la adición de sustancias halógenas (fluor, cloro, bromo, yodo).

Elaboración:Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

1.3.2.2 Sistema Contra Incendios Fijos

Se debe poner en marcha el sistema contra incendio fijo cuando los sistemas portátiles no dan resultados positivos en cuanto a la extinción de conatos de incendio (consecución del incendio).

Los sistemas fijos contra incendios deberán ser operados manualmente ante la presencia de fuego que no se puede controlar por medio de equipos portátiles de extinción, algunos de los cuales son:

- a) Sistema de agua.
- b) Sistema de agua-espuma.

1.3.2.2.1 Sistema de agua

El agua por su rápida disponibilidad, bajo costo y el estar libre de toxicidad le aseguran un lugar principal entre los sistemas extinguidores de incendios, es por esto que resulta el más común en las operaciones de extinción. Su acción extinguidora está fundamentada en el enfriamiento de la materia en combustión. Se aplica bajo la forma de un chorro a presión, o también como un rocío muy fino sobre toda la superficie encendida. Es bien, en grandes cantidades arrojadas a través de mangueras o rociadores sobre cantidades de aceite relativamente pequeñas.

Vale la pena mencionar algunas propiedades físicas y químicas importantes de este agente extintor.

A continuación se presenta la Tabla 1.6 donde se describe ciertas características tanto físicas como químicas que se serán de nuestro interés.

TABLA 1.6: Propiedades físicas y químicas del agua

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES
Viscosidad estable	1 centipoise
Temperatura de ebullición	100 °C
Calor específico	1 cal/gr/°C
Calor latente de evaporación	540 cal/gr
Tensión superficial	72 dinas/cm ²
PROPIEDADES QUÍMICAS	DESCRIPCIÓN
Sofocación	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se produce cuando se logra generar vapor de agua en cantidad suficiente suprimiendo la presencia del aire (se puede usar agua para sofocar un incendio en un líquido combustible solo cuando su punto de inflamación es te sobre los 38 ° C y la densidad relativa del líquido sea mayor a 1.1).
Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Depende del enfriamiento del combustible hasta el punto donde no se produzcan vapores suficientes que se puedan encender. ➤ Los combustibles sólidos y líquidos, y gases inflamables con un bajo punto de ignición no pueden ser extinguidos por enfriamiento con agua debido a que la producción de vapor no puede ser reducida significativamente.
Dilución	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consiste en forma una buena mezcla entre los materiales inflamables hidrosolubles- ➤ Este método resulta peligroso al emplear grandes volúmenes de agua debido a que se podría rebosar el depósito, así como el de espumación, cuando la mezcla alcanza la temperatura de ebullición del agua.
Emulsión	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se logra agitando dos líquidos inmiscibles, en donde una de ellos se dispersa en forma de gotas en el interior del otro líquido (espeso).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Para combatir eficazmente un incendio el agua debe ser capaz de cumplir con los siguientes objetivos:

- Evaporización, este objetivo rara vez se logra por completo.
- Absorber al máximo el calor que se desprende del fuego y de las áreas metálicas.
- Desplazar el aire alrededor del fuego.
- Dilución del combustible.

Algunos de los inconvenientes al momento de emplear agua como agente extintor, son:

- Conducción de la corriente eléctrica.
- Es poco efectiva ante combustibles líquidos.
- Dispersa el combustible.
- No es recomendable frente a metales.
- Presenta riesgo de congelación.

1.3.2.2.2 Sistema de agua-espuma

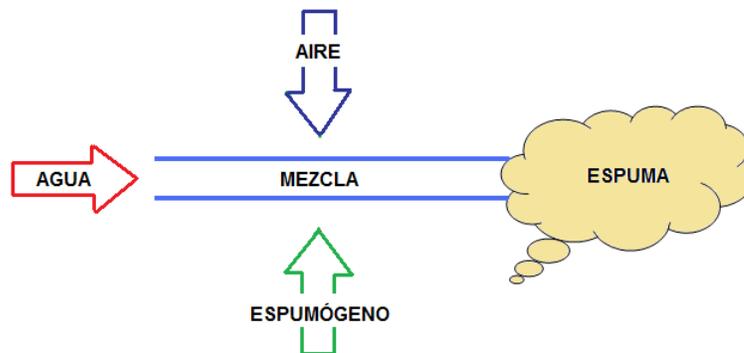
Las espumas son burbujas obtenidas mediante la mezcla del aire con una solución acuosa y concentrada de espuma, siendo este último un agente espumante en forma líquida que se lo utiliza para la generación de espuma contra incendio.

Básicamente el sistema de espuma funciona de la siguiente manera:

- El agua de la fuente ingresa a la instalación de espuma.
- Se produce la mezcla con un agente espumógeno en proporción estipulada por el dosificador o proporcionador.
- La solución espumante se dirige al generador de espuma en donde se crean las burbujas por el contacto con el aire sobre la solución.

- Al aplicar una presión la espuma es impulsada hacia orificios de descarga, que pueden ser boquillas, vertederos, etc.

FIGURA 1.3: Formación de la espuma



Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Entre las características principales de la espuma, en cuanto a extinción de incendios, se pueden destacar las siguientes:

- Capacidad de extinción por sofocación, mediante la cual la espuma impide el contacto del oxígeno del aire con la superficie de evaporación del líquido inflamable.
- Reprimen los vapores inflamables y evitan su descarga al ambiente (sellan la superficie del líquido).
- Separan las llamas de la superficie del combustible.
- Capacidad de extinción por enfriamiento, que consiste en la absorción del calor del combustible, de las paredes del recipiente y de la superficie del metal adyacente.
- Rapidez en la descarga y expansión que permiten una rápida extinción.
- Buena capacidad de penetración.
- No es tóxica ni dañina al ambiente.
- Capacidad para adherirse a superficies tanto horizontales como verticales.

Se debe considerar en cualquier instalación los requerimientos que debe cumplir un sistema de espuma contra incendio, éstos son:

- a) Temperatura óptima del agua: Entre 4° C y 37.8 ° C.
- b) Los valores de presión en cada uno de los dispositivos estén acorde con los indicados por el fabricante del equipo.
- c) El agua obtenida de la fuente natural deberá estar libre de inhibidores para que no creen efectos negativos en la formación o estabilidad de la espuma.
- d) Se deberá considerar el tipo de concentrado de espuma a utilizar según el tipo de riesgo a proteger.

La espuma tendrá una densidad menor que la del agua y los hidrocarburos, la cual forma una capa continua sobre los mismo impidiendo el contacto de los vapores inflamables con el aire.

En función de sus componentes se puede clasificar a las espumas en dos grandes grupos:

➤ **Espumas químicas**

Las espumas químicas se obtiene al reaccionar ciertos productos químicos con el agua, actualmente no son muy utilizadas por el hecho de ser corrosivas.

➤ **Las espumas mecánicas**

Las espumas mecánicas actúan directamente por sofocación, como si fueran una manta. Se generan de una gran variedad de concentrado de espuma especialmente formulados, pudiendo ser:

- a) **Fluoroproteínicas:** Elaborada a partir de una concentración de proteínas hidrolizadas con aditivos surfactantes fluorados, la cual presenta cierta

resistencia a la contaminación con hidrocarburos que lo hace óptima para su aplicación en la subsuperficie de Tanques.

- b) Película acuosa (AFFF):** Apagan el fuego produciendo una película acuosa, la cual es una capa delgada de agua.
- c) Universales:** Son las espumas formadas a partir de un concentrado especialmente formulado, que permite su aplicación tanto en incendios de hidrocarburos ordinarios, como en líquidos solubles en agua o solventes polares.
- d) Especiales:** Para incendios en líquidos solubles en agua o que ataca a los tipos de espuma anteriores.

Las características de la espuma mecánica son:

- Resistencia.
- Coeficiente de expansión alto.
- Densidad baja.
- Elasticidad.
- Acidez limitada.
- Impermeabilidad a vapores.

En función del coeficiente de expansión, siendo la expansión el volumen de la espuma producida dividida entre el volumen de la solución espumante de la cual está hecha, se puede clasificar a las espumas como:

- **Espumas de baja expansión:** Caracterizadas por su solidez y consistencia permiten alcances equivalentes al chorro de agua. Su coeficiente está entre 3 y 30 unidades.

- **Espumas de media expansión:** Se obtiene un menor alcance por el hecho de ser más ligeras (sobre los 5 metros). Su coeficiente está entre las 30 y 250 unidades.
- **Espumas de alta expansión:** Su alcance es muy reducido, aproximadamente 1 metro, pues son muy ligeras. Su coeficiente está entre 250 y 1000 unidades.

Las espumas de media y alta expansión se emplean para controlar incendios en combustibles sólidos y líquidos. Este tipo de espumas dependen en su rendimiento de una combinación de su efecto enfriador, debido al agua que impulsan hacia el incendio y de su efecto neutralizante sobre el mismo al reducir la presencia de oxígeno para que no exista combustión.

A continuación se elabora una tabla en donde se trata de resumir la idoneidad de los distintos agentes extintores, en base a la investigación realizada:

TABLA 1.7: Resumen de idoneidad de los agentes extintores

AGENTE EXTINTOR	CLASES DE FUEGO			
	A	B	C	D
AGUA:				
Chorro	√√			
ESPUMA MECÁNICA	√√	√√		
AFFF	√	√		
CO ₂	√	√	√	
PQS		√	√	
HALONES	√√	√√	√	

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

√ Altamente recomendado.

√√ Aceptable.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

2.1 ANTECEDENTES

El campo Shushufindi fue descubierto con el pozo exploratorio Shushufindi-1 en 1969 por el consorcio Texaco-Gulf, cuya perforación arrancó el 4 de diciembre de 1968 alcanzando una profundidad de 9772 ft. En abril de ese mismo año se completó el pozo exploratorio Aguarico-1.

En la fase de desarrollo inicial se calculó que el Petróleo Original en sitio era aproximadamente de 3.500 millones de barriles de petróleo. Las reservas originales del campo se calcularon en 1.589,25 millones de barriles de petróleo.

El promedio de las presiones iniciales de U y T fue de 3.867 psi y 4.050 psi respectivamente, dándose un descenso prácticamente estable de 60 psi por año.

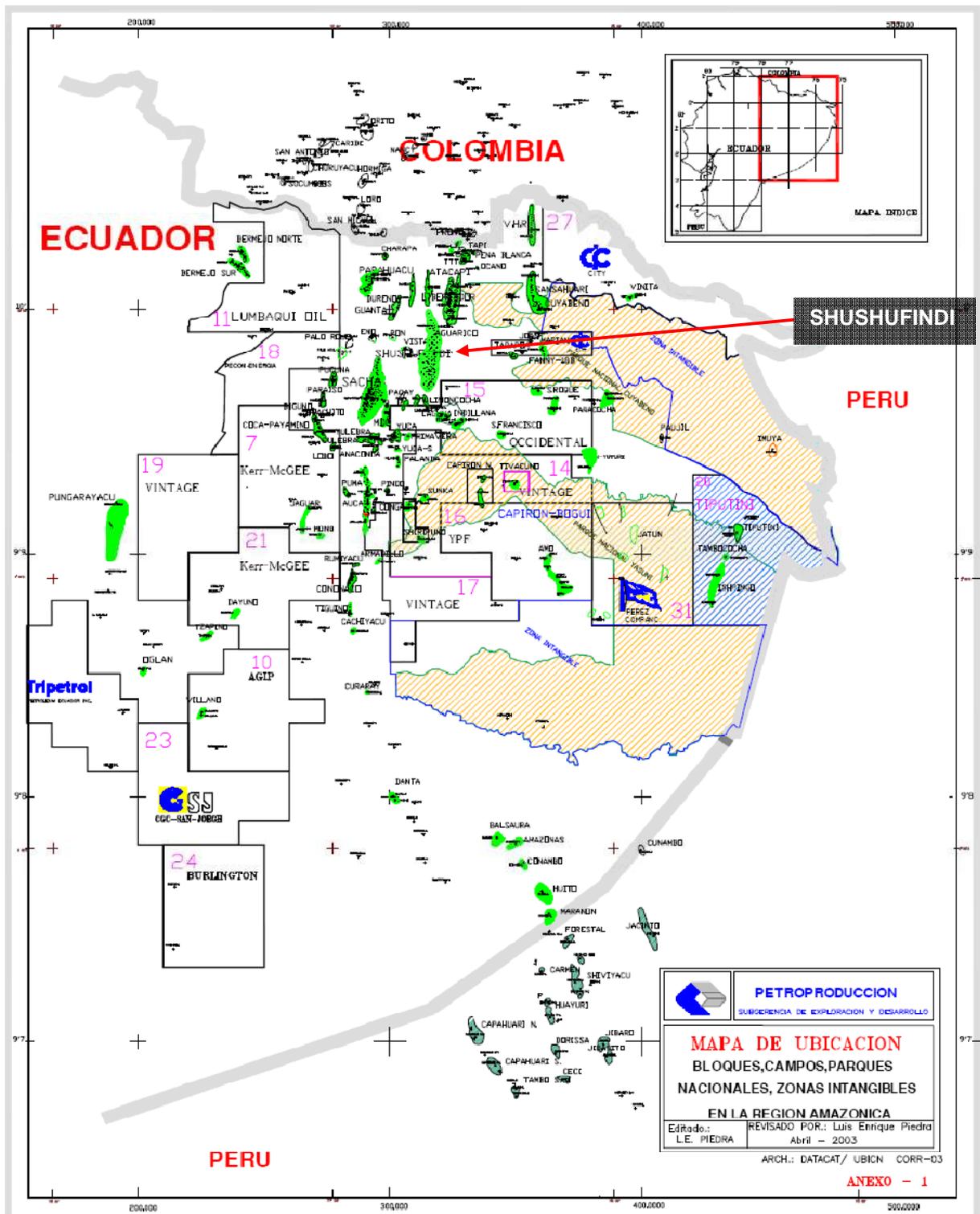
2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de producción Shushufindi se encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos, al nor-orienté de la Amazonía Ecuatoriana.

El campo Shushufindi se encuentra conformado por las siguientes Estaciones de Producción: Aguarico, Shushufindi Norte, Shushufindi Central, Shushufindi Sur, Shushufindi Sur-Oeste, Drago y Condorazo.

Limita: al Norte con el Campo Libertador, al Sur con el Campo Limoncocha, al Oeste con el Campo Sacha, al Este con una falla inversa de la subcuena cretácica Napo, como se muestra en la Figura 2.1.

FIGURA 2.1: Ubicación geográfica del Campo Shushufindi



Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

2.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA SHUSHUFINDI

La zona donde se encuentran las instalaciones, presenta las siguientes condiciones ambientales como se puede apreciar en la siguiente tabla:

TABLA 2.1: Condiciones ambientales del área Shushufindi

CONDICIÓN AMBIENTAL	UNIDADES	UNIDADES DE CAMPO
Elevación sobre el nivel del mar	200 m	656 pies
Presión barométrica	0,99 bar	14,34 psia
Temperatura (min/máx.)	21 / 39 °C	70 / 102 °F
Velocidad del viento	26,5 m / seg	87 pies / seg

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

2.4. ESTADO ACTUAL DE LOS POZOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EXISTENTES EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL.

En la Tabla 2.2 se señalan las producciones de cada uno de los pozos que llegan a la estación, así como el sistema de levantamiento existente, arenas productoras, porcentajes de sedimentos y agua presentes en los fluidos provenientes de los pozos.

TABLA 2.2: Pozos de producción que llegan a la Estación de Producción Shushufindi Central

ESTACION DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL						
POZO	N°	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ARENA	PRODUCCIÓN		
				BFPD	BPPD	BSW
DRG	1	HIDR. – JET	U Inferior	696	654	6
DRG	1	BES	U	1114	980	12
DRG	1	CERRADO		-	-	-

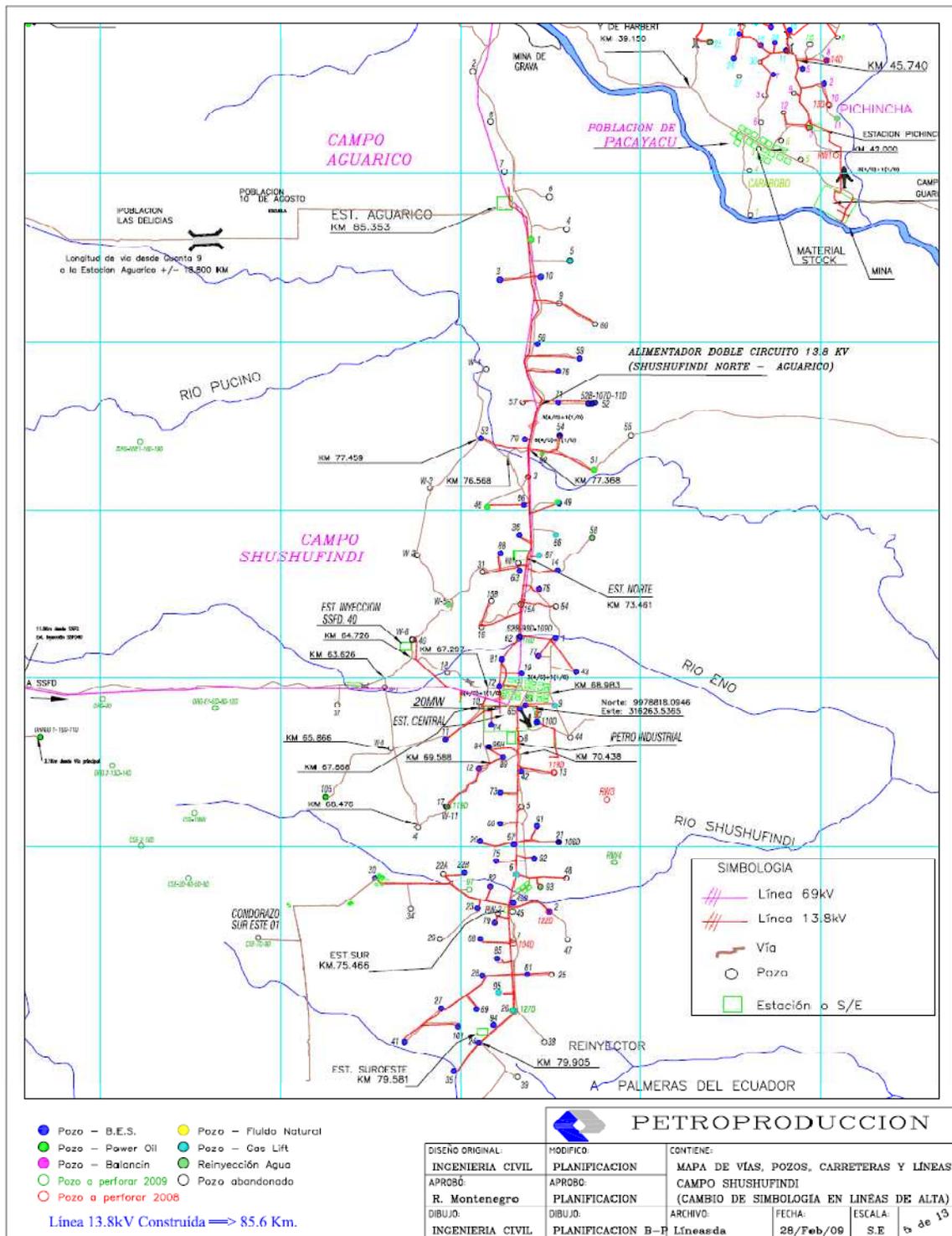
TABLA 2.2 Continuación

SSF	6	CERRADO- GAS LIFT		-	-	-
SSF	8	HIDR. – JET	T	378	33	91
SSF	9	GAS LIFT	U,T	874	376	57
SSF	10	CERRADO	U	467	355	24
SSF	11	BES	GU	346	152	56
SSF	12	GAS LIFT	T	2280	1322	42
SSF	12B	BES	T	2747	659	76
SSF	13	CERRADO		-	-	-
SSF	16	CERRADO		490	245	50
SSF	17	BES	T	1499	270	82
SSF	18	CERRADO		1171	129	89
SSF	19	BES	T	560	196	65
SSF	42B	BES	TS	1243	485	61
SSF	43	BES	U,T	2269	1316	42
SSF	44	CERRADO		80	34	58
SSF	45A	CERRADO		-	-	-
SSF	65	BES	G2	230	225	2
SSF	72	BES	T	543	304	44
SSF	73	BES	U	2599	1092	58
SSF	74	BES	T	3005	571	81
SSF	77	BES	U,T	1915	555	71
SSF	80	BES	TD	2659	452	83
SSF	81	BES	TD	3825	459	88
SSF	83	BES	U	189	642	18
SSF	84	BES	U	467	420	10
SSF	89	BES	U	285	103	64
SSF	90	BES	U	452	181	60
SSF	96H	BES	US	707	615	13
SSF	102H	BES	UD	827	670	19
SSF	105	CERRADO-JET	U,T	192	139	27,5
SSF	106D	BES	TI	946	464	51
SSF	110D	CERRADO-BES	UI	650	286	56
SSF	118D	BES	TI	1590	890	44

Fuente: Departamento de Producción (Estación Shushufindi Central).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

FIGURA 2.2: Localización de los pozos que llegan a la Estación de Producción Shushufindi Central



Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Lago Agrio).

A continuación se describen en forma breve los tipos de levantamiento artificial de los pozos que llegan a la Estación Central, con la finalidad de afianzar de manera general los conocimientos adquiridos:

➤ **Gas Lift**

Este tipo de levantamiento consiste en inyectar gas a alta presión dentro del tubing hacia el fondo del pozo, con la finalidad de aliviar la columna de fluido, para de esta manera ayudar a trasladar el fluido a superficie. Los principales componentes en este tipo de levantamiento son compresores para el gas, válvulas reguladores, líneas de inyección a alta presión, válvulas de gas lift, mandriles y packers de mandriles.

El gas antes de ser comprimido debe pasar por el depurador de succión, para poder eliminar partículas de gotas de agua y crudo existentes de la fase gaseosa. El gas es enfriado en el momento de la compresión para luego finalmente pasar por un depurador de descarga que elimina las gasolinas formadas en la compresión, enviando el gas a una estación central de compresión, es en ésta donde se eleva la presión del gas hasta aproximadamente 1500 psi, para luego ser distribuido a cada uno de los pozos del sistema gas lift.

➤ **Bombeo Hidráulico-Tipo Jet**

Este tipo de bombeo consiste en transmitir presión por medio de un fluido motriz, desde un sistema superficial a través de una tubería que se dirige hacia la bomba hidráulica tipo jet que se encuentra en el fondo del pozo. Los principales componentes de la bomba Jet son la boquilla, la garganta y el difusor.

El fluido motriz entra a la bomba por la parte superior de la misma, el fluido pasa a través de la boquilla o nozzle el cual es descargado en la entrada de la

cámara de producción conectada con la formación, la combinación de ambos fluidos entra a la garganta de la bomba debido a la alta presión del fluido proveniente del reservorio. La mezcla que sale de la garganta es capaz de fluir contra el gradiente de la columna de fluido de producción.

El Bombeo Hidráulico Tipo Jet puede manejar grandes cantidades de arena y partículas sólidas, además puede ser instalado a grandes profundidades (hasta 18000 pies). También es capaz de manejar crudos de alta viscosidad, siempre que se esté utilizando crudo como fluido de potencia.

➤ **Bombeo Eléctrico Sumergible (BES)**

El Bombeo Eléctrico Sumergible consiste en bajar una bomba accionada con un motor eléctrico hacia el fondo del pozo para impulsar el fluido hacia superficie. Los componentes principales son transformador, panel de control, caja de conexiones, cable de potencia, bomba, separador de gas, motor eléctrico y la unidad PSI.

Este método de levantamiento es adecuado cuando se desea producir grandes volúmenes de fluido, en pozos medianamente profundos y con grandes potenciales.

Sin embargo, presenta algunas desventajas en cuanto a los consumos de potencia por barril diario producido son elevados, especialmente en crudos viscosos. El equipo BES se puede operar dentro de diversas condiciones, en pozos desviados, y manejar cualquier fluido, partículas abrasivas y gas.

2.4.2 DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

La Estación Shushufindi Central presenta el siguiente listado de algunos equipos importantes los cuales se los detalla en las tablas siguientes con motivo de tener un mejor conocimiento de la estación.

TABLA 2.3: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Bombas

B O M B A S					
DESCRIPCIÓN	TIPO	MODELO	MARCA	SERIE	OBSERVACIÓN
BOMBA BOOSTER OLEODUCTO	CENTRIFUGA 8X6X14	MARK III	DURCO	403.289	-Potencia del motor 100 HP.
BOMBA OLEODUCTO	CENTRIFUGA	8 X 19 DA -4	8X19DA-4	0 476122	-Accionada con motor de combustión de 900 HP.
BOMBA SISTEMA CONTRA INCENDIO CON MOTOR DIESEL	CENTRIFUGA 10X8	S/INF	EMING PUMP	DC-517158	-Accionada con motor de combustión a diesel con una potencia de 268 HP.
BOMBA PRESURIZADO SCI	CENTRIFUGA 1.5X1X6	S/INF	ERSOLL RAND	0393/5115	-Accionada con motor eléctrico de 5 HP.
BOMBA PROPORCIONADORA DE ESPUMA	ENGRANES	S/INF	ROPER	G7379	-Accionada con motor de combustión a diesel con una potencia de 27 HP.
BOMBA CAPTACIÓN DE AGUA SUMINISTRAN AL TANQUE SCI	CENTRIFUGA 12H1105	S/INF	WORTHINGTON PUMP	VTP-62006A	-Accionado motor eléctrico de 100 HP.
BOMBA CAPTACIÓN DE AGUA SUMINISTRAN AL TANQUE SCI	CENTRIFUGA 12x8	S/INF	WORTHINGTON PUMP	VTP57404	-Accionado motor eléctrico de 100 HP.

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

TABLA 2.4: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Intercambiador de Calor

INTERCAMBIADOR DE CALOR						
DESCRIPCIÓN	TIPO	DIMENSIONES				OBSERVACIÓN
		LONGITUD	DIAM	ANCHO	ALTURA	
		pies	pies	pies	pies	
CALENTADOR	CARCAZA-TUBO	33,97	2	7,64	6,23	-Sin placa, intercambiador de calor con temperaturas, Temp. ent:130 °F, Temp sal: xxx °F

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

TABLA 2.5: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Tanques

TANQUES							
DESCRIPCIÓN	TIPO	CAPACIDAD Bls	DIMENSIONES			MATERIAL	OBSERVACIÓN
			DIAM		ALTURA		
			pulg	pies	pies		
TANQUE DE LAVADO	TANQUE DE TECHO CÓNICO FIJO	28790	840	70	42	ASTM A 283 Gr. C	-Construido bajo la norma:API-650
TANQUE DE REPOSO	TANQUE DE TECHO CÓNICO FIJO	72500	1440	120	36	ASTM A 283 Gr. C	-Construido bajo la norma:API-650
TANQUE DE OLEODUCTO	TANQUE DE TECHO CÓNICO FIJO	100000	1384	132	42	ASTM A 283 Gr. C/ ASTM A 36	-Construido bajo la norma:API-650

TABLA 2.5 Continuación

TANQUE DE AGUA SISTEMA CONTRA INCENDIO	TANQUE DE TECHO CÓNICO FIJO	5000	463	39	25	ASTM A 36	-Tanque en servicio, no existe pfd del sistema contra incendio
TANQUE DE DIESEL	TANQUE DE TECHO CÓNICO FIJO	1023	216	18'	20	ASTM A 36	-Construido bajo la norma:API-650
BOTA DE GAS	VERTICAL	-	150	12,5	48	ASTM A 36	-ASTM A 36

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

TABLA 2.6: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Recipientes de Presión

RECIPIENTES DE PRESIÓN											
DESCRIPCIÓN	TIPO	DIMENSIONES				PRESIÓN DE DISEÑO psia	TEMPERATURA DE DISEÑO °F	VOL. Bls	CAPACIDAD		MATERIAL
		LONG. S/S pies	DIAM		ALTO pies				MMPS	MBPD	
			pul	pies							
SEPARADOR DE PRUEBA	HORIZONTAL BIFÁSICO	20	60	5	-	130	155	70	S/INF	10	ASTM A-36
SEPARADOR DE PRODUCCIÓN	HORIZONTAL BIFÁSICO	24	72	6	-	155	160	121	S/INF	35	ASTM A-36
SEPARADOR (FWKO)	VERTICAL	42	126	195	-	100	180	648	S/INF	31,77	ASTM A-36

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

TABLA 2.7: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Compresores

COMPRESORES							
DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	SERIE	VELOCIDAD	MÁX. PRESIÓN	POTENCIA	OBSERVACIONES
				rpm	psi	HP	
COMPRESOR DE AIRE	S/INF	WORTH	EU8550	S/INF	S/INF	S/INF	-Accionado por motor eléctrico.
COMPRESOR DE AIRE	LS 10-40H AC	SULLAIR	003-114328	1770	115	40	-Accionado por motor eléctrico.

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

TABLA 2.8: Equipos existentes en la Estación de Producción Shushufindi Central: Mechero

MECHERO					
DESCRIPCIÓN	TIPO	DIMENSIONES			OBSERVACIONES
		BASE		ALTO	
		Longitud pies	Ancho pies	pies	
MECHEROS	STACK	13	13	72	-Las tuberías que llegan a la base del mechero son de 16 pulg.

Fuente: Departamento de Proyectos Especiales (Shushufindi).

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O Piruch.

2.4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN CENTRAL

La producción de la estación central³ está integrado por los pozos de producción activos: Shushufindi (ssf 09, 11, 12, 17, 18, 19, 37,42B, 43, 65, 72, 73, 74, 77, 80,81, 83, 84, 89, 90, 96H, 102H, 106D, 108D).

El fluido multifásico proveniente de los pozos activos que se conectan a la entrada de la estación a los múltiples de producción es conducido hasta los separadores de producción (V-018/019/020) y el Free Water Knock Out (V-021) actualmente operando como separador bifásico, donde se produce la separación bifásica líquido (crudo y agua)-gas

FOTO 2.1: Separador de Producción



El líquido separado se envía a la bota de gas (BO-005) en donde se separa el remanente de gas de la corriente líquida y posteriormente el gas de la bota se quema en el mechero (M-010) o se envía a Petroindustrial para su respectivo proceso.

³ . El diagrama de la estación Anexo B-1

El líquido desde la bota de gas (BO-005) se dirige al Tanque de lavado (T-030) en donde se realiza la separación crudo-agua. El crudo deshidratado es enviado por gravedad al Tanque de reposo (T-031) en donde se realiza la separación del remanente de agua. El crudo con un BS&W de 0.1 % es succionado por las bombas de transferencia (B-049/050/051/X01), las mismas que despachan el crudo al Tanque de Oleoducto (T-032) esta producción se une a las de las estaciones Aguarico, SSFD Norte, Sur y Sur Oeste antes de su ingreso al Tanque (T-032).

Las Bombas Booster de Oleoducto (B-052/053/054/055/056) despachan parte de la producción del Campo Shushufindi a Petroindustrial y la producción restante del campo se une con la producción del Bloque 15, y el crudo residual de Petroindustrial sirve para alimentar a las Bombas de Oleoducto (B-057/058/059/060/061/062).

El agua proveniente de la deshidratación del Tanque de lavado (T-030) es succionada por las Bombas Booster de agua (B-063/064/065) que empacan la succión de las Bombas horizontales Multietapa (B-066/067/068/069) que finalmente reinyectan el agua en los pozos 5, 13, 20, 21 y 33.

El agua que se forma en el fondo en el Tanque de reposo (T-031) es recirculada al Tanque de lavado (T-030) mediante la Bomba de recirculación (B-047).

La planta de generación de la Estación Central Shushufindi cuenta con turbinas duales (Diesel/Gas) que preferentemente operan a gas, el cual proviene de Petroindustrial que suministra gas residual (N_2 , CH_4 , C_2H_6)

El gas que proviene de los Separadores de producción alimenta en parte a Petroindustrial y a los compresores (CO-009/010/011/012), el remanente es quemado en el mechero (M-09).

El gas de alta presión proveniente de los Compresores es utilizado como gas combustible y para producción del pozo SSF 09 que trabaja con Gas Lift.

Para la prueba de pozos la Estación cuenta con un Separador de Prueba (V-017). La producción proveniente del pozo Drago es procesada también en la Estación la misma que se transporta mediante un camión de vacío (Vacum) Todos los drenajes provenientes de las estaciones Aguarico, SSFD Norte, Sur y Sur Oeste son recibidos en la estación para ser reprocesados.

2.4.3.1 Sistema de Recolección de Fluido Multifásico

El fluido multifásico proveniente de los 24 pozos de producción ssf 09, 11, 12, 17, 18, 19, 37,42B, 43, 65, 72, 73, 74, 77, 80,81, 83, 84, 89, 90, 96H, 102H, 106D, 108D, con una presión de 35-40 Psia @ 105 °F y una producción estimada de 30.000 BFPD (12.000 BPD de crudo y 18.000 BAD) y 4,96 MM PCS de gas, llega a los Múltiples y desde allí pasa a los Separadores de Producción (V-019/019/020/021) donde se produce la separación liquido-gas.

La inyección de químicos se realiza a la entrada de los separadores a una tasa estimada de 16 Gal/día de desemulsificante y 3 Gal/día de antiparafínico.

FOTO 2.2: Manifold de Producción



2.4.3.2. Separación Bifásica (líquido-gas)

Al momento que ingresa el fluido multifásico a los Separadores de Producción (V-018/019/020/021) se produce la separación líquido-gas.

FOTO 2.3 Separadores de Producción



La fase líquida (crudo+agua) ingresa a la Bota de Gas (BO-005) en la cual se separa el remanente de gas existente en la corriente líquida.

FOTO 2.4: Bota de Gas



El control de nivel de los Separadores se lo realiza mediante un flotador por alto nivel que activa un interruptor neumático que habilita el “Bypass” del Separador en caso de que éste se inunde y de esta manera evitar el paso de líquido a la línea de gas.

El Separador además cuenta con un flotador que se activa por bajo nivel, el cual cierra la válvula de descarga del líquido con la finalidad de evitar el paso de gas a la corriente líquida. En la parte superior de los mismos encontramos una válvula de presión “PSV” y un disco de ruptura ubicados en paralelo.

2.4.2.2.1 Sistema de prueba de pozos

El Separador de Prueba (V-017) de la estación central, está equipado con instrumentación neumática para el control de nivel, un medidor tipo turbina a la salida de la fase líquida y un medidor tipo placa orificio para la fase de gas, el flujo de gas se registra en una cartilla circular y se lo lleva a producción para su cálculo respectivo.

Cuando se realiza la prueba de producción de pozos se alinea el pozo a probar por un periodo de 12 a 24 horas, dependiendo de la mínima variación de flujo de producción en el tiempo, se mide la producción del mismo, así como también se miden propiedades como los grados API, BS&W, temperatura, etc.

2.4.3.3 Separación Crudo-Agua en el Tanque de Lavado (T-030)

Luego de la Bota de Gas (BO-005), el líquido (crudo+ agua) ingresa al Tanque de Lavado (T-030) donde se produce la separación crudo y agua, para lo cual el crudo sale por rebose a los 22 pies de altura al Tanque de reposo (T-031) y el agua se envía al sistema de reinyección de agua de producción.

El nivel del colchón de agua en el Tanque es monitoreado manualmente con la utilización de una cinta y asistido mediante un visor de nivel, el mismo que en operación normal debe mantenerse a una altura de 10 pies.

En el Tanque de Lavado (T-030) se realiza la medición de BS&W a 10, 15,20 pies y a la descarga, para monitorear la deshidratación y el desempeño de los químicos.

Es de esperar que el BS&W a la descarga esté por debajo del 1%, caso contrario se debe continuar la deshidratación en el Tanque de Reposo (T-031).

FOTO 2.5: Tanque de Lavado



2.4.3.4 Almacenamiento de Crudo en el Tanque de Reposo (T-031)

El crudo proveniente del Tanque de Lavado (T-030) es dirigido hacia el Tanque de Reposo (T-031) con la finalidad de realizarse la separación del remanente de agua que pueda quedar en crudo, hasta alcanzar un BS&W de alrededor del 0.1%

FOTO 2.6: Tanque de Reposo



La medición total del nivel del tanque se realiza mediante la utilización de la cinta.

2.4.3.5 Bombeo Tanque Reposo a Tanque Oleoducto

Las Bombas Booster de Crudo (B-049/050/051/X01) succionan del Tanque de Reposo (T-031); la descarga se une a la producción de los campos Aguarico, SSFD Norte, Sur y Suroeste para despachar el crudo al Tanque de Oleoducto (T-032).

FOTO 2.7: Caseta de Bombas de transferencia de crudo y medidores



2.4.3.6 Sistema de Reinyección de Agua de Producción.

El agua producida proveniente del Tanque de Lavado (T-030), previa inyección de químicos (Biocida, Antiescala, Inhibidor de corrosión y Surfactantes), es succionada por las Bombas Booster RYA (B-063/064/065). Las Bombas empujan la succión de las Bombas Multietapas de reinyección de agua de producción (B-066/067/068/069) e inyectan el agua en los pozos 5,13,20,21 y 33 a una presión aproximada de 1500 psia.

Cabe recalcar que el Tanque de almacenamiento de agua cruda, Tanque clarificador, Tanque sedimentador y Tanque de almacenamiento de agua tratada, están fuera de servicio por lo que no se realiza tratamiento físico-químico al agua salada producida.

2.4.3.7 Balance de masas de la Estación Shushufindi Central

En la siguiente tabla se muestra las variables básicas de los procesos de los fluidos que pasan a través de la Estación de Producción.

TABLA 2.9: Balance de masas en la Estación Shushufindi Central

SERIE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DESCRIPCIÓN	FLUJO MULTIFÁSICO ENTRADA AL MÚLTIPLE DE PRODUCCIÓN	FLUJO MULTIFÁSICO AL SEPARADOR V-021	FLUJO MULTIFÁSICO AL SEPARADOR V-020	FLUJO MULTIFÁSICO AL SEPARADOR V-019	FLUJO MULTIFÁSICO AL SEPARADOR V-018	LÍQUIDOS DESDE EL SEPARADOR V-021 A BO-005	LÍQUIDOS DESDE EL SEPARADOR V-020 A BO-005	LÍQUIDOS DESDE EL SEPARADOR V-019 A BO-005	LÍQUIDOS DESDE EL SEPARADOR V-018 A BO-005	LÍQUIDOS DESDE EL SEPARADOR V-018/019020/021 A BO-005
PRESIÓN (psia)	35 - 40	30	30	30	30	24	27	29	29	25
TEMPERATURA (°F)	105	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	105	S/INF	S/INF	120	S/INF
FLUJO TOTAL (BFPD)	30139	7536	7535	7534	7534	7536	7535	7534	7534	30139
FLUJO DE GAS (MMPCS)	6,33	1,59	1,58	1,58	1,58	0,07	0,06	0,06	0,06	0,25
FLUJO DE CRUDO (BPPD)	11862	2966	2966	2965	2965	2965	2966	2965	2965	11862
FLUJO DE AGUA (BAPD)	18277	4570	4569	4569	4569	4570	4569	4569	4569	18277

SERIE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DESCRIPCIÓN	LÍQUIDOS DESDE BO-005 A TANQUE DE LAVADO	LÍQUIDO SALIDA DE TANQUE DE LAVADO T-031	LÍQUIDO INGRESO AL TANQUE DE REPOSO T-031	CRUDO DESDE T-031 A BOMBAS BOOSTER B-049/050/051X01	CRUDO A TANQUE DE OLEODUCTO T-032	CRUDO DE ESTACIÓN NORTE Y AGUARICO	CRUDO DESDE ESTACION SUR Y SUROESTE	CRUDO DESDE TANQUE DE OLEODUCTO A BOMBAS BOOSTER DE OLEODUCTO	CRUDO A BOMBAS DE OLEODUCTO	CRUDO A REFINERIA PIN
PRESIÓN (psia)	17,73	15,73	15,73	3,80	S/INF	25	S/INF	S/INF	60	S/INF
TEMPERATURA (°F)	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	110	S/INF	S/INF
FLUJO TOTAL (BFPD)	30139	11884	11884	11884	11884	18075	17158	47177	26532	20533
FLUJO DE GAS (MMPCS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO DE CRUDO (BPPD)	11862	11860	11860	11860	11860	18051	17092	47003	26532	20471
FLUJO DE AGUA (BAPD)	18277	23,77	23,77	23,77	23,77	23,72	65,63	113,12	51,52	61,60

SERIE	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
DESCRIPCIÓN	GAS A S-X18	GAS A S-012	GAS A COMPRESORES CO-009/010/011/012	GAS DESDE COMPRESORES CO-009/010/011/012	GASODUCTO GAS LIFT	GAS A S-X13	GAS RESIDUAL PIN A S-X13	GAS A INTERSEC. DE CALOR IC-X013	GAS A S-X14/X15	GAS COMBUSTIBLE
PRESIÓN (psia)	24	40	32	1400	1400	1310	350	350	340	340
TEMPERATURA (°F)	S/INF	S/INF	120	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	82	91	S/INF
FLUJO TOTAL (BFPD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO DE GAS (MMPCS)	0	3,80	3,50	3,50	1,85	1,65	0,97	2,13	2,13	2,13
FLUJO DE CRUDO (BPPD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUJO DE AGUA (BAPD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SERIE	51	52	53	54	55	56	57	58	59
DESCRIPCIÓN	GAS A F-X01/X02	GAS COMBUSTIBLES A MOTOBOMBA	GAS A S-X16/S-X17	GAS A TURBINAS "TB"	GAS A TURBINAS "TA"	AGUA DESDE ATANQUES DE LAVADO ABOMBAS BOOSTER B-063/064/065	SUCCIÓN DE BOMBAS DE RYA B-066/067/068/069	AGUA DE REINYECCIÓN A POZOS SSF 005/013	AGUA DE REINYECCIÓN A POZOS SSF 033/021/020
PRESIÓN (psia)	35	S/INF	340	S/INF	340	15,73	60	1560	1460
TEMPERATURA (°F)	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	108,	109,8
FLUJO TOTAL (BFPD)	-	-	-	-	-	18255	18255	6050	12205
FLUJO DE GAS (MMPCS)	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	S/INF	-	-	-	-
FLUJO DE CRUDO (BPPD)	-	-	-	-	-	2,15	2,15	0,71	1,44
FLUJO DE AGUA (BAPD)	-	-	-	-	-	18253	18253	6049	12203

Fuente: Departamento de Proyectos especiales(Lago Agrio)

2.4.4 SISTEMA CONTRA INCENDIOS

El Sistema Contra Incendios de la estación está constituido por un Tanque empernado, una Bomba principal a diesel (P-002) y una Bomba de menor capacidad accionada eléctricamente (P-001), este sistema actualmente funciona manualmente, y se activa una vez a la semana para realizar un simulacro de un posible conato.

Antes de describir el Sistema Contra Incendios cabe recalcar la normativa de colores que rige en cuanto a tuberías:

- Amarillo: Circulación de gas (agente espumante).
- Rojo: Circulación de agua no potable.
- Verde: Circulación de agua potable.
- Azul: Circulación de aire.
- Naranja: Aire comprimido.

2.4.4.1 Sistema Móvil Contra Incendios

El sistema móvil en la Estación Shushufindi Central está constituido por:

- **Mangueras.-** pesan aproximadamente 9 Lbs. cuya longitud son de 50 metros, localizadas en las casetas. Se debe tener por lo menos una manguera por cada hidrante
- **Extintores.-** Existen extintores de polvo químico seco de 150 Lbs. y los extintores de polvo químico seco presurizados operados por una cápsula de CO₂ de alta presión (de 20 y 30 Lbs.), el cual es el agente expulsor.

Para que el polvo químico realice un buen trabajo, el manómetro debe marcar una presión de 150 Lbs., a este tipo de extintores se debe realizar un tipo de mantenimiento cada 6 meses que consiste en cernir el polvo (Tamizar) ya que

la humedad hace que se formen grumos y se taponen los conductos. Estos extintores no deben ocupar más de 4/5 partes de volumen total del recipiente.

El área de estudio está equipado con 8 extintores móviles de rueda ubicados en los diferentes lugares donde existe mayor riesgo de incendio, así como extintores de menor tamaño, 10 en total localizados en las diferentes áreas de la estación. Los valores estimados anteriormente no toman en consideración los extintores portátiles ubicados en otros lugares como las oficinas comedores, dormitorios, etc., ya que no son objeto de análisis a tratar en el proyecto.

FOTO 2.8: Extinguidor de 150 Lbs

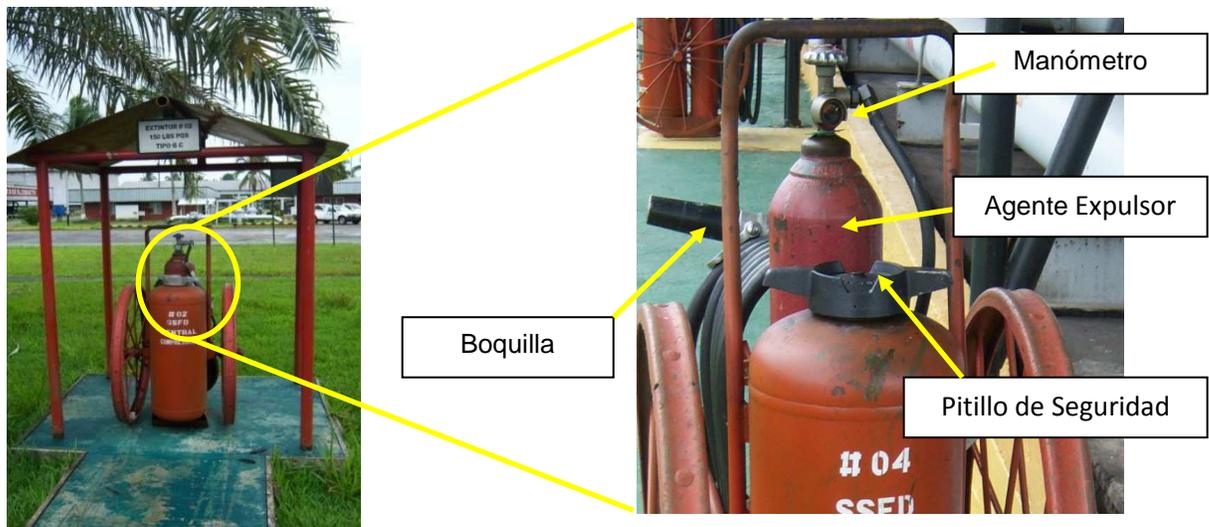


FOTO 2.9: Muestra del polvo químico seco

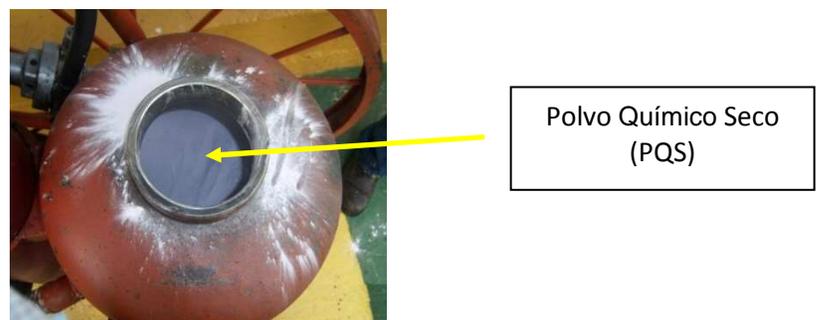
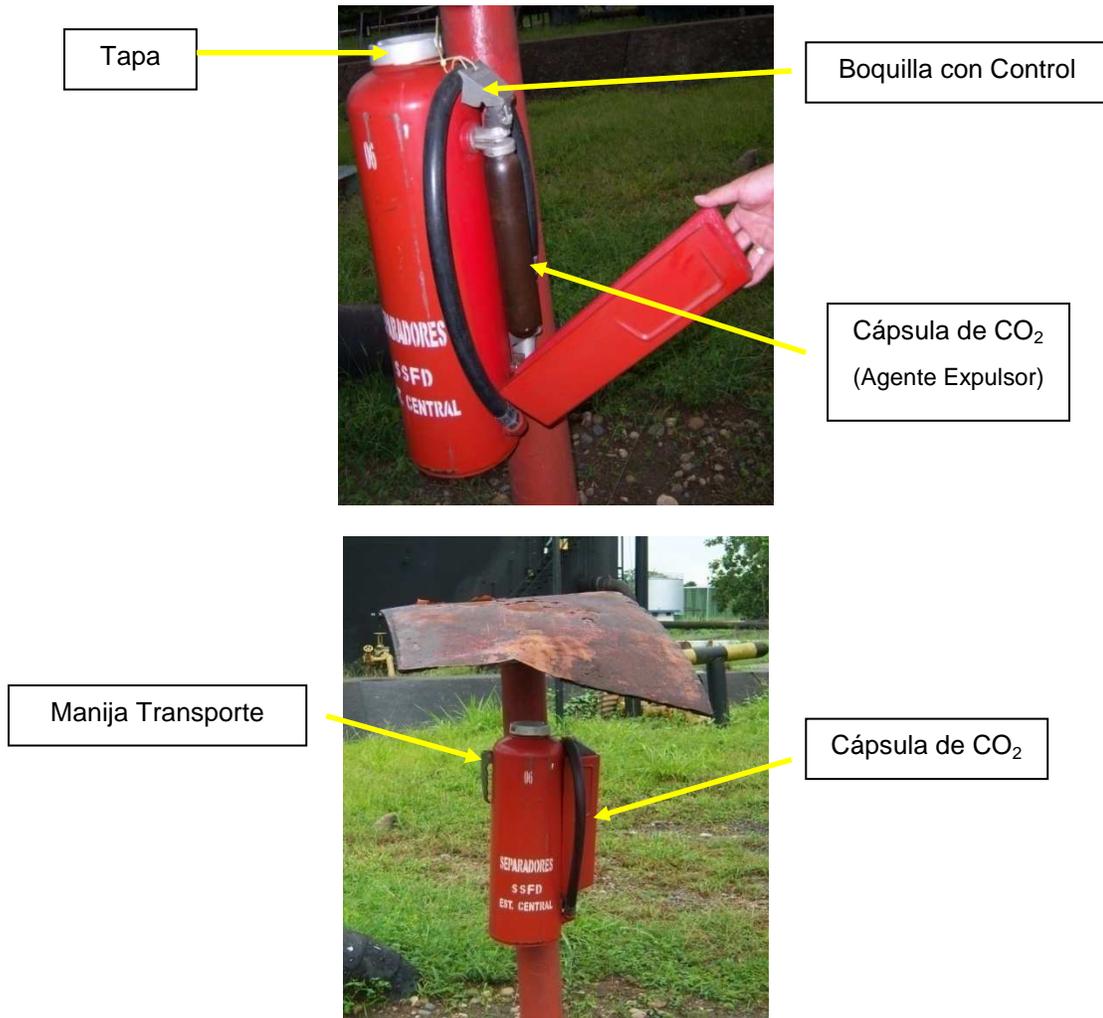


FOTO 2.10: Extinguidor de PQS con cápsula de CO₂.



2.4.4.2 Sistema Fijo Contra Incendios

- **Lanzas Monitoras.**-Existen 6 lanzas monitoras de agua (pintadas de color rojo) las cuales cumplen la función de enfriamiento en los Tanques u otros equipos, y 1 lanza de espuma (pintadas de color amarillo) que corta el oxígeno, se encuentran ubicadas en lugares estratégicos dentro de las diferentes áreas de peligro en la estación.

FOTO 2.11: Lanza monitora de agua



- **Hidrantes.-** Existen 16 hidrantes localizados en diferentes zonas analizadas dentro de la estación dentro de los cuales 9 están dentro del área de estudio, éstos se conectan a las mangueras descritas anteriormente(9 Lbs. y 5 metros)

FOTO 2.12: Hidrante de agua



2.4.4.2.1 Descripción del Proceso

El Sistema Contra Incendios está integrado por los siguientes elementos principales, cuyas características son las siguientes:

➤ **Tanque de Agua**

CAPACIDAD	: 5000 Bls.
DIÁMETRO	: 39 ft
ALTURA	: 25 ft
TIPO	: Tanque de Techo Cónico Fijo

FOTO 2.13: Tanque de agua S.C.I



➤ **Tanque de Espuma: XL-3**

El agente químico XL-3 es un formador de espuma, cuya proporción es de 3 a 100 que significa 100 Lts. de agua por cada 3 Lts. de espuma.

CAPACIDAD	: 1600 Gls.
-----------	-------------

FOTO 2.14:Tanque de espuma



➤ **Tanque de Diesel**

CAPACIDAD : 337 GlS.

FOTO 2.15: Tanque de diesel



➤ **Tanque de Aire**

FOTO 2.16: Tanque de aire



➤ **Bomba principal a Diesel (P-002)**

Bomba:

TIPO : Centrífuga 10 x 8

SERIE : DC-517158

MARCA : EMING PUMP

Motor de Combustión:

MODELO : 34066 PC

SERIE : 6TB02172

MARCA : CAT

POTENCIA : 268 HP

RPM : 1300

NORMA : NFPA-20

➤ **Bomba Presurizadora (P-001)**

Bomba:

TIPO : Centrífuga 1.5 x 1 x 6
SERIE : 0393/5115
MARCA : ERSOLL RAND

Motor Eléctrico:

POTENCIA : 5 HP
NORMA : NFPA-20
RPM : 3450
FRECUENCIA :60 Hz.

➤ **BOMBA PROPORCIONADORA DE ESPUMA**

TIPO : Engranés
SERIE : G7379
MARCA : ROPER
POTENCIA DEL MOTOR :27 HP

El agua dulce proveniente del río Secoya es almacenada en el Tanque emperrado de Agua del S.C.I, mediante Bombas captadoras de agua, en caso de existir un conato se procede de la siguiente manera:

Del Tanque de almacenamiento de 5000 Bls., el agua es succionada mediante las Bombas accionadas ya sea por un motor de combustión interna o por un motor eléctrico el cual no se encuentra operando actualmente.

Se verifica que la Bomba eléctrica mantenga presurizado todo el Sistema Contra Incendios a 140 psi, en caso de que la presión baje a menos de 30 psi, el sistema arrancará automáticamente la Bomba a diesel (cabe indicar que el sistema actualmente no funciona de manera automática como sería lo óptimo sino en forma manual).

Una vez accionada la Bomba, el agua ingresa al cabezal de descarga del cual salen dos derivaciones hacia la red de tuberías del Sistema Contra Incendios, una de las tomas de agua sirve como agua de enfriamiento de las instalaciones llegando hasta los monitores e hidrantes, mientras que la segunda toma sirve para alimentar la formación de espuma.

FOTO 2.17: Tubería de agua



El sistema de espuma está conformado por un Tanque de químico para la formación de espuma, una Bomba de inyección a diesel y el sistema proporcionador de espuma.

El agua se mezcla con la espuma concentrada por una Bomba presurizadora en una proporción adecuada, luego la mezcla se dirige hacia el formador de espuma, la cual induce aire a la corriente de agua concentrada que circula por éste, para luego generar y expandir el líquido espumógeno para combatir un posible incendio.

FOTO 2.18: Sistema de espuma

El sistema de espuma-agua alimenta a los monitores de espuma y a los Tanques de Almacenamiento de la estación pasando previamente por el foam-maker, la espuma ingresa a los Tanques de Lavado y de Reposo para formar un colchón de espuma que permitirá sofocar el incendio desde su interior, y los monitores enfriarán las paredes de los Tanques desde el exterior mediante chorros de agua a presión.

FOTO 2.19: Ingreso de espuma hacia Tanque

FOTO 2.20: Lanza monitora de agua en funcionamiento



Cabe recalcar que además que existe un monitor de espuma que funcionan de manera análoga a los monitores de agua.

FOTO 2.21: Lanza monitora de espuma



Para realizar el análisis planteado en el presente proyecto se tomará como referencia al Tanque de mayor capacidad el cual es el Tanque de Oleoducto de 100000 Bls.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LOS RIESGOS DE DESASTRES EN CASO DE UN INCENDIO DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

En la estación por la presencia y manejo de materiales inflamables se hace imprescindible la clasificación en zonas de las diferentes áreas que se desean proteger considerando su alto riesgo de explosión, para de esta manera estimar en el capítulo posterior los cambios pertinentes en el sistema de detección de incendios actualmente existente (detectores, estaciones manuales de alarma, señal visual y audible), así como su lógica de control.

La actualización del Sistema Contra Incendio implica no solamente la implementación de un sistema moderno de detección y alarma, sino la capacitación constante del personal de Petroproducción para garantizar su correcta funcionalidad y efectividad, suplantando de esta manera al precario sistema de monitoreo (vigilancia humana).

La parte de detección de incendios, estaciones manuales de emergencia y el sistema de comunicaciones de éstas alarmas deberán ser monitoreadas y supervisadas a todo instante en la casa de bomberos, la misma que es una estación de control y monitoreo de todas las áreas que han sido zonificadas por su riesgo elevado en cuanto a ocurrencia de desastres, este lugar cuenta con personal entrenado (1 supervisor, 5 personas de equipo técnico y 5 personas de cuadrilla) ante cualquier emergencia.

En este capítulo se tratará de realizar un diagnóstico en cuanto al estado de los equipos e instalaciones Contra Incendios actualmente existentes, es por eso se ha

sectorizado a la estación en 7 zonas descritas a continuación, las cuales se encuentran detalladas en **el Anexo B- 2)**:

➤ **ZONA A**

Manifold y Separadores de Producción

Dentro de esta zona se toma en cuenta el Scrubber y el FWKO, los cuales está rodeado de 3 hidrantes, 2 extinguidores de 30 Lbs., 1 extinguidor de 150 Lbs., 1 lanza monitora de agua y 1 caseta de mangueras.

FOTO 3.1 Manifold y Separadores



FOTO 3.2: Separador de Producción



➤ **ZONA B**

Tanques

En esta zona se encuentran distribuidos 3 hidrantes, 3 lanzas (2 de agua y 1 de espuma) y ninguna clase de extinguidor.

FOTO 3.3: Tanque de Lavado



FOTO 3.4: Tanque de Reposo



➤ **ZONA C**

Caseta de Unidades de Medición y Bombas de Transferencia de Crudo

Esta zona cuenta con 2 extinguidores portátiles (1 de 150 Lbs de rueda y el segunda 30 Lbs de polvo químico) y una lanza monitora de agua.

FOTO 3.5: Unidades de medición y Bombas de transferencia



FOTO 3.6: Unidades de medición



➤ **ZONA D**

Caseta de Bombas de Oleoducto.

En esta zona cuenta con 3 extintores de 30 Lbs, 2 extinguidores de 150 Lbs. y 1 lanza monitora de agua.

FOTO 3.7: Unidades de Oleoducto



➤ **ZONA E**

Caseta de Bombas de Reinyección de Agua.

Esta zona consta de las Piscinas, Bomba de reinyección de agua, Bombas de Reinyección Multietapas y las Bombas de Químicos, la cual cuenta con 1 extinguidor de 150 Lbs para su protección.

FOTO 3.8: Piscinas de reinyección de agua



➤ **ZONA F**

Compresores de Gas (gas lift).

Consta de 1 lanza de agua, 2 extintores de 30Lbs, 2 extinguidores de 150 Lbs 1 hidrante y 1 caseta de mangueras.

FOTO 3.9: Compresores



➤ **ZONA G**

Casetas de Bombas Booster de Oleoducto.

Esta zona cuenta con la protección de 2 extintores de 150 Lbs y 1 hidrante.

FOTO 3.10: Contadores y Bombas Booster de Oleoducto



➤ **ZONA H**

Tanques de Diesel para las Unidades de Generación.

Esta zona cuenta con 1 hidrante y 1 caseta de mangueras.

FOTO 3.11: Tanques de diesel



Con lo descrito anteriormente se puede observar que los equipos de protección Contra Incendios ubicados en principales zonas de interés no ofrecen una protección adecuada, ya sea por su mala distribución, no renovación de los equipos existentes, y por falta de implementación de un sistema de detección y alarma de incendio (actualmente no existente), por lo que se debe realizar la actualización del Sistema Contra Incendios de acuerdo a las Normas Petroecuador que contribuyen en la determinación de condiciones inseguras dando las pautas requeridas para reducir el nivel de riesgo presente en las instalaciones , objeto de nuestro estudio.

3.1 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Para realizar el análisis y evaluación de riesgos existen tres métodos,

➤ Métodos Cuantitativos :

Análisis mediante árboles de fallos (ACAF).

Análisis mediante árboles de sucesos (ACAS).

Análisis de causas y consecuencias (ACCC).

- Métodos Semicuantitativos: son técnicas de análisis crítico, que emplean índices globales del potencial de riesgo estimado a partir de las estadísticas, entre los cuales se encuentran los siguientes:
 - Índice de fuego y explosión (IFE).
 - Índice de Mond (ICI).
 - Análisis de los modos de fallos, efectos y criticidad (AMFEC).
 - Análisis de riesgos con evaluación del riesgo intrínseco.

- Métodos Cualitativos:
 - Análisis histórico de riesgos (AHR).
 - Análisis preliminar de riesgos (APR).
 - Análisis mediante listas de comprobación (ALC).
 - Análisis funcional de operabilidad (AFO).
 - Análisis de los modos de fallos y sus efectos (AMFE).
 - Análisis ¿Qué pasa sí? (QPS).
 - Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP).

Para el análisis de riesgos en la Estación de producción Shushufindi Central se utilizará el método semicuantitativo de índice Dow de incendio y explosión.

3.1.1 MÉTODO DOW

El índice de incendio y explosión Dow (IFE) es una herramienta adecuada para la evaluación preliminar de la posibilidad real de un incendio, explosión y reactividad de equipos de proceso, su propósito es servir como guía para seleccionar el método de protección contra incendios adecuado y ofrecer información clave para ayudar a evaluar el riesgo general en la industria.

Este método se basa en la asignación de penalizaciones a las instalaciones de un determinado establecimiento. Las penalizaciones se asignan en función de las

sustancias peligrosas presentes y de las condiciones de proceso, lo cual conlleva a la determinación de un índice de una instalación, pudiendo examinar, a la vista de estos índices, la importancia relativa de las partes estudiadas en función del riesgo asociado con ellas.

El método se desarrolla siguiendo una serie de etapas, las cuales son:

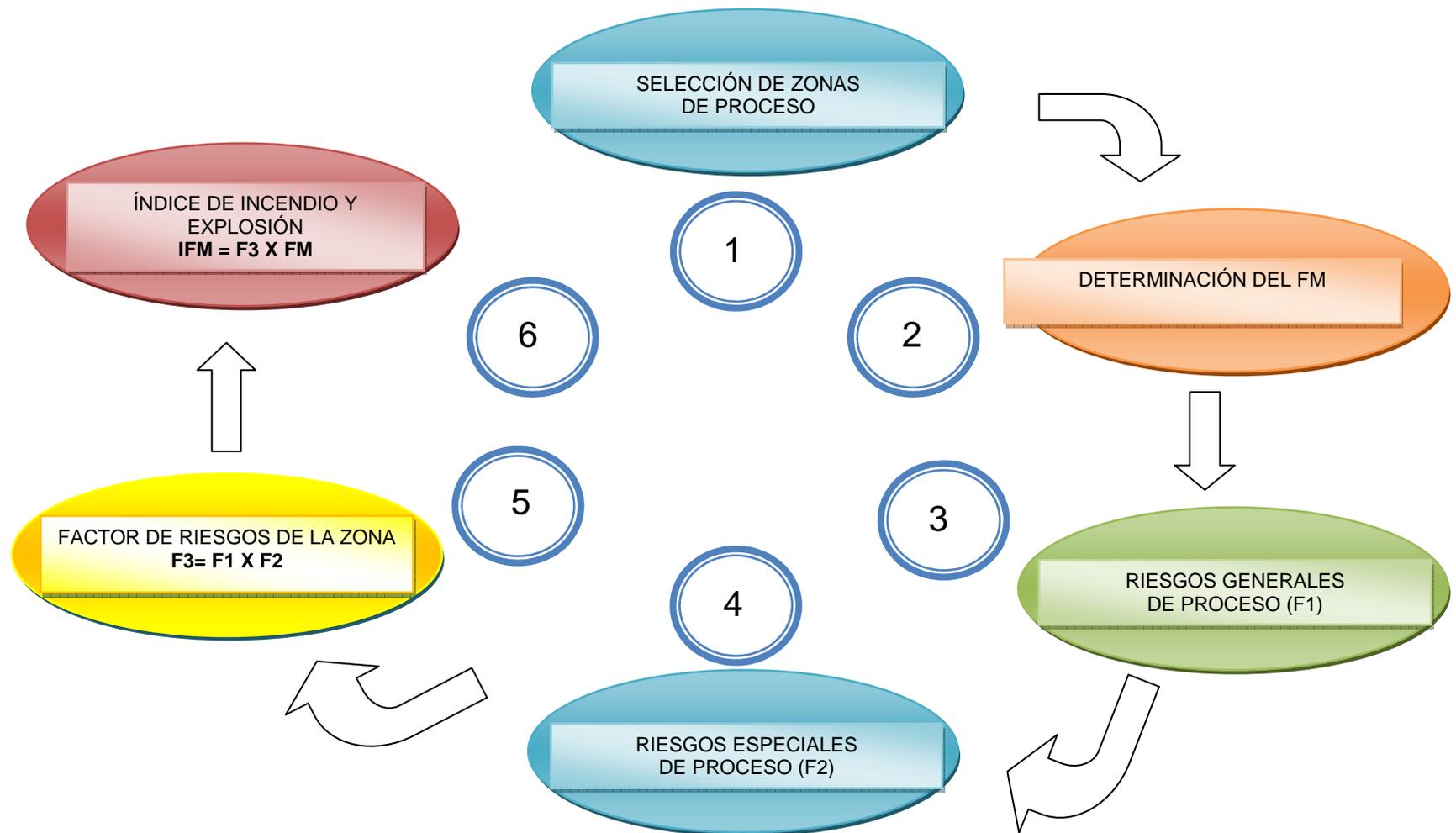
Dividir la planta en estudio en zonas de procesos para las que se determina su índice de incendio y explosión.

1. Determinar un factor material (FM) para cada zona de proceso.
2. Evaluar los factores de riesgo, denominadas F1 (riesgos Generales del proceso) y F2 (los riesgos especiales del proceso).
3. Determinar F3 (factor de riesgos de la zona de proceso).
4. Finalmente se obtiene el índice de incendio y explosión, (IFE).

En el paso 3 para el cálculo de F3, pueden existir varios factores generales como especiales, lo cual conlleva a realizar una suma individual de cada uno para obtener un total de F1 y F2.

El factor de riesgos de la zona de proceso (F3) equivale al producto de los riesgos generales y especiales ($F3=F1 \times F2$).

El índice Dow de incendio y explosión (IFE) es el resultado del producto del factor de riesgos de la zona del proceso (F3) y el factor de material (FM). ($IFE=F3 \times FM$).

FIGURA 3.1: Procedimiento del método de índice Dow de incendio y explosión

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Las categorías de riesgo previstas para el IFE se resumen en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1: Categorías de riesgo en función del índice Dow (IFE)

GRADO DE RIESGO	IFE
LIGERO	1-60
MODERADO	61-96
INTERMEDIO	97-127
IMPORTANTE	128-158
SEVERO	≥ 159

Fuente: Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, 7^a ed, 1994.

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex Piruch.

A continuación se describe algunos parámetros como son:

- Factor material
- Riesgos generales del proceso (F1)
- Riesgos especiales del proceso (F2)

Factor material (FM)

El factor de material proporciona una idea de la medida de la intensidad de liberación de energía de una sustancia o preparado. Toma valores entre 1 y 40 y existen valores para más de 300 sustancias usadas habitualmente en la industria.

En la Tabla 3.2 se detallan los valores de factor de material @ 60 °C para algunas sustancias.

TABLA 3.2: Factor de material (FM)

SUSTANCIA	FM
Aceite lubricante	4
Acetato de etilo	16
Acetato de vinilo	24
Acetona	16
Acrilonitrilo	24

TABLA 3.2 Continuación

Amoníaco	4
Benceno	16
Bióxido Sulfuroso	1
Butadieno	24
Butano	21
Cianuro de Hidrógeno	29
Ciclohexano	16
Cloro	1
Cloruro de vinilo	21
Diesel	10
Estireno	24
Etilenglicol	16
Fenol	4
Flúor	4
Fuelóleo	29
Gasóleo	10
Gasolina	10
Heptano	16
Hexano	16
Hidrógeno	16
Isopropanol	21
Metano	16
Metanol	21
Monóxido de carbono	16
Nitrato de amonio	16
Nitroglicerina	29
Óxido de propileno	40
Peróxido de hidrógeno	24
Petróleo crudo	16
Poliestireno	10
Poliestireno (espuma)	16
Polietileno	18
Propano	21
Sodio	24
Sulfuro de hidrógeno	21
Tolueno	16
Xileno	16

Fuente: Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, 6ta ed, 1994.

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex Piruch.

Se debe realizar un análisis de las condiciones de los diferentes procesos que pueden modificar el riesgo de las instalaciones como por ejemplo columnas, reactores, tanques, etc. o líneas de proceso que presenten condiciones operatorias semejantes y con implicación de sustancias inflamables.

Por lo cual se debe poner énfasis en el análisis de dos tipos de factores de riesgo fundamentales los cuales serán de mucha utilidad para el desarrollo del presente trabajo mediante el método Dow.

Riesgos generales del proceso (F1)

Los factores de riesgo generales evalúan la potencial peligrosidad de las operaciones normales de proceso. si un factor no es considerado, se aplicará el coeficiente 0. Los mínimos valores atribuidos en la Tabla 3.3 son los propuestos por el método como penalización más suave en el caso de considerar un factor de riesgo determinado.

El cálculo de F1 incluye un factor base de 1, con lo que su valor máximo, en el caso supuesto de que fueran consideradas todas las penalizaciones, es de 5,45.

El cálculo de F1 mezcla criterios que afectan a la frecuencia (manejo de materiales, reacciones, etc.) y criterios que afectan a su magnitud (drenajes, accesos, etc.).

Se consideran los siguientes factores como riesgos generales de un proceso:

A.- Reacciones químicas exotérmicas:

Hidrólisis, Isomerización, Oxidación, Condensación.

B.- Procesos endotérmicos:

Electrólisis, craquing.

C.- Manipulación y transporte de materiales:

Carga y descarga de líquidos, uso de centrífugas.

D.- Unidades de proceso confinadas:

Filtros y colectores de polvo combustible, equipos que procesan líquidos combustibles.

E.- Accesos inadecuados para el equipo de emergencia

F.- Control de drenajes y fugas:

Suelos y cubetos

Riesgos especiales del proceso (F2)

Los factores de riesgo especiales (F2) evalúan aquellas condiciones de proceso especialmente agravantes del riesgo de explosión y/o incendio.

El método considera un valor relativo a la toxicidad que no pretende evaluar el riesgo de contaminación del medio ambiente o la salud, sino que pretende considerar el factor agravante para la intervención en caso de emergencia que ello supone, al igual que los demás factores considerados en la Tabla 3.3. Se adopta como valor máximo de F2, 15,43.

Se considera los siguientes factores como riesgos especiales del proceso:

- A.- Sustancias tóxicas
- B.- Presión por debajo de la atmosférica
- C.- Operación en, o cerca del ámbito de inflamabilidad:
 - Tanques de almacenamiento, descargas de cisternas.
- D.- Explosión de polvo:
- E.- Presión
- F.- Temperatura muy baja
- G.- Cantidad de materia inflamable o inestable:
 - Líquidos o gases en almacenamiento
- H.- Corrosión y erosión
- I.- Juntas y empaquetaduras con fugas posibles
- J.- Empleo de equipo con fuego directo
- K.- Sistema de transmisión de calor por aceite térmico
- L.- Equipo rotativo:
 - Unidad de proceso con Bomba, unidad de proceso con compresor.

En el **Anexo A-1** se detalla en forma más específica los valores de riesgos generales y específicos para las diferentes industrias, para cualquier otro estudio

En la Tabla 3.3 se especifica el rango del factor de penalización para el posterior cálculo del índice de incendio y explosión (IFE).

Es necesario indicar que los valores inferiores del rango del factor de penalización indican que los diferentes factores de riesgo del proceso están en condiciones óptimas o protegidas mediante medidas de seguridad, sistemas de emergencia, etc. lo que hace disminuir el máximo daño probable a la propiedad en caso de un incendio, mientras que el mayor valor del rango indica que los factores de riesgos del proceso no está en condiciones óptimas, lo que en caso ocurrir un incendio representaría mayor peligrosidad a las instalaciones y/o sectores aledaños.

TABLA 3.3: Rango del factor de penalización para el cálculo del índice de fuego y explosión (IFE)

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (IFE)	FACTOR DE PENALIZACIÓN	
	RANGO	VALOR ESTIMADO
1.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1) Factor Básico	1	1
A. Reacciones químicas exotérmicas	0,30 a 1,25	
B. Procesos endotérmicos	0,20 a 0,40	
C. Manipulación y transporte de materiales	0,25 a 1,05	
D. Unidades de proceso confinadas	0,25 a 0,90	
E. Acceso	0,20 a 0,35	
F. Control de drenajes y fugas	0,25 a 0,50	
FACTOR GENERAL DE RIESGOS DEL PROCESO (F1) - SUMA		
2.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2) Factor Básico	1	1
A. Sustancias tóxicas	0,20 a 0,80	
B. Presión por debajo de la atmosférica	0,50	
C. Operación en, o cerca del ámbito de inflamabilidad		
1. Parques de almacenamiento de líquidos inflamables	0,50	

TABLA 3.3 Continuación

2.	Descontrol del proceso o fallo de purga	0,30	
3.	Siempre dentro del ámbito de inflamabilidad	0,80	
D.	Explosión de polvo	0,25 a 0,80	
E.	Presión: Presión operativa, Consigna de alivio		
F.	Temperatura muy baja	0,20 a 0,30	
G.	Cantidad de materia inflamable o inestable		
1.	Líquidos o gases en proceso		
2.	Líquidos o gases almacenados		
3.	Combustibles sólidos en almacenamiento. Polvo en proceso		
H.	Corrosión y erosión	0,10 a 0,75	
I.	Juntas y empaquetaduras con fugas posibles	0,10 a 1,50	
J.	Empleo de equipo con fuego directo		
K.	Sistema de transmisión de calor por aceite térmico	0,15 a 1,15	
L.	Equipo rotativo	0,50	
FACTOR DE RIESGO ESPECIALES DE PROCESO (F2) - SUMA			
FACTOR DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO (F3 = F1 X F2)			
INDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (IFE= F3 X FM)			

Fuente: Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, 7a ed, 1994.

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

3.1.2 CÁLCULO DE ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN (IEF) PARA LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

Con referencia a la Tabla 3.3 se procede a realizar el cálculo del índice Dow de incendios y explosión de acuerdo al procedimiento enunciado anteriormente.

1.- Después de haber realizado una inspección a la estación se determinó 7 zonas fundamentales donde se puede presentar riesgos, las cuales son:

- Área de Manifold y Separadores.
- Área de Tanques: Lavado, Reposo, Oleoducto.
- Área de Compresores de Gas Lift.
- Área de Piscinas de reinyección de agua.
- Área de Bombas de Oleoducto.

- Área de Unidades de Medición y Bombas de Transferencia de Crudo.
- Área de Tanques de Diesel para las Unidades de Generación.
- Área de Bombas Booster de Oleoducto.

Estas zonas se analizarán por el método Dow ya que existe el manejo de una gran cantidad de fluidos inflamables, tales como crudo, diesel y gas.

Las áreas de la Estación Shushufindi Central que no se considerará por su menor condición de peligrosidad son:

- Área en donde se maneja aire comprimido, el oxígeno pese a encontrarse en el ambiente en un porcentaje del 21%, no es representa un gran riesgo puesto que se encuentra en un porcentaje menor dentro de los compresores de aire.
- Los recipientes de presión (Scrubber, Pulmones de aire, Pulmones de agua, etc.) puesto que son recipientes cerrados que no presentan comunicación con la atmósfera.

2.- Para determinar el Factor del Material de cada unidad operativa se toma como referencia a la Tabla 3.2 ya que la temperatura promedio en la estación no sobrepasa los 60 °C.

3.-Se determina los valores de penalización para los riesgos generales del proceso (F1) y factores de riesgos especiales de proceso (F2) tomando en cuenta los de la Tabla 3.3.

En donde F1 y F2 son determinados de la siguiente manera:

$$F1 = 1 + \sum_{i=1}^{i=6} F1, i$$

$$F2 = 1 + \sum_{i=1}^{i=12} F2, i$$

Los riesgos fundamentales que se han evidenciado en las áreas con su respectivo factor de penalización se describen a continuación:

Riesgos generales del proceso:

- Acceso
- Control de drenaje y fugas

Riesgos especiales de proceso:

- Parque de almacenamiento de líquidos inflamables
- Dentro del Ámbito de inflamabilidad
- Equipo Rotativo
- Factor de penalización por factor de material inflamable.

Para establecer este último factor se procede a verificar la cantidad de materia inflamable que se procesa en las diferentes áreas de la Estación de Producción Shushufindi Central, es por ello que se debe realizar los cálculos respectivos para cada equipo:

Valores Promedios de Densidades y Capacidades Caloríficas que se manejan en la Estación Central:

- Densidad del Petróleo $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

$^{\circ}\text{API} = 29,2$ (manejada en la estación)

$$\gamma_o = \frac{141,5}{131,5 + \text{API}}$$

$$\gamma_o = \frac{141,5}{131,5 + 29,2} = 0,88$$

Por lo tanto la densidad del petróleo es:

$$\rho_o = 0,88 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 0,88 \times 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

➤ Densidad del Diesel $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$:

$$\rho_d = 0,84 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 0,84 \times 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

➤ Densidad del Gas $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$:

$$\rho_g = 1,23 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Valores de Capacidades Caloríficas $\left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right]$:

$$CC_o = 9673,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$CC_D = 10580,87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$CC_G = 12.800 \frac{Kcal}{Kg}$$

Cálculo de la Cantidad de Calor [Kcal] :

Donde:

Q = Cantidad de Calor

m = masa [Kg]

ρ_o = densidad del petróleo

ρ_d = densidad del diesel

ρ_g = densidad del gas

V = volumen

$$Q = m \times CC$$

En donde m se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Por tanto despejando de la ecuación:

$$m = \rho \times V \text{ [Kg]}$$

Con las fórmulas revisadas previamente y los respectivos resultados, procedemos a realizar los cálculos pertinentes del Índice de Fuego y Explosión (IEF).

TABLA 3.4: Determinación del factor de penalización por cantidad de materia inflamable

EQUIPOS	FLUIDO MANEJADO	DENSIDADES	CAPACIDAD			CAP. CALORÍFICA	MASA	Q	FACTOR DE PENALIZACIÓN POR CANTIDAD DE MATERIA INFLAMABLE
		Kg / m ³	Bls	SCF	m ³	Kcal / Kg	kg	x10 ⁹ Kcal	
Separador de Prueba	Petróleo	880	10000	--	1589,99	9673,25	1399192,024	13,53	0,400
Separador de Producción	Petróleo	880	35000	--	5564,97	9673,25	4897172,083	47,37	1,400
Separador de Producción	Petróleo	880	35000	--	5564,97	9673,25	4897172,083	47,37	1,400
Separador de Producción	Petróleo	880	35000	--	5564,97	9673,25	4897172,083	47,37	1,400
Separador FWKO	Petróleo	880	31772	--	5051,72	9673,25	4445512,898	43,00	1,271
Tanque de Lavado	Petróleo	880	28790	--	4577,58	9673,25	4028273,837	38,97	1,152
Tanque de Reposo	Petróleo	880	72500	--	11527,43	9673,25	10144142,17	98,13	2,900
Tanque de Oleoducto	Petróleo	880	100000	--	15899,91	9673,25	13991920,24	135,35	4,000
Tanque de Diesel (1)	Diesel	840	529	--	84,11	10580,87	70652,83724	0,75	0,022
Tanque de Diesel (2)	Diesel	840	1023	--	162,66	10580,87	136631,1011	1,45	0,043
Tanque de Diesel (3)	Diesel	840	1023	--	162,66	10580,87	136631,1011	1,45	0,043
Compresores de Gas lift	Gas Natural	1,23	--	2900000	82118,86	12800,00	101006,1918	1,29	0,038
Bombas de Oleoducto	Petróleo	880	100	--	15,90	9673,25	13991,92024	0,14	0,004
Bombas Booster de Oleoducto	Petróleo	880	100	--	15,90	9673,25	13991,92024	0,14	0,004
Piscinas de Reinyección	Petróleo (colchón)	880	421,13	--	66,96	9673,25	58924,8	0,57	0,017
Bombas Act	Petróleo	880	100	--	15,90	9673,25	13991,92024	0,14	0,004

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

TABLA 3.5: Resultados del cálculo de los índices de fuego y explosión (IFE)

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (IFE)	EQUIPOS											
	Separadores	Tanque de Lavado	Tanque de Reposo	Tanque de Oleoducto	Tanque de Diesel (1)	Tanque de Diesel (2)	Tanque de Diesel (3)	Compresores de Gas Lift	Bombas de Oleoducto	Bombas Booster de Oleoducto	Piscinas de Reinyección	Bombas Act
1.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)												
Acceso	0,2	0,2	0,2	0,35	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Control de drenajes y fugas	0,3	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,25
FACTOR GENERAL DE RIESGOS DEL PROCESO (F1) - SUMA	1,5	1,7	1,7	1,85	1,45	1,45	1,45	1,5	1,5	1,5	1,5	1,45
2.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2)												
Operación en, o cerca del ámbito de inflamabilidad												
- Parques de almacenamiento de líquidos inflamables	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5
- Siempre dentro del ámbito de inflamabilidad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cantidad de materia inflamable o inestable	1,17	1,152	2,9	4	0,021	0,04	0,04	0,068	0,004	0,004	0,001	0,004
Equipo rotativo	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
FACTOR DE RIESGO ESPECIALES DE PROCESO (F2) - SUMA	3,47	3,452	5,2	6,3	2,821	2,84	2,84	2,868	2,804	2,804	2,301	2,804
FACTOR DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO (F3 = F1 X F2)	5,205	5,8684	8,84	11,655	4,09045	4,118	4,118	4,1586	4,0658	4,206	3,4515	4,0658
ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN (IFE= F3 X FM)	83,28	93,89	141,44	186,48	40,90	41,18	41,18	66,54	65,05	67,30	55,22	65,05
GRADO DE RIESGO	MODERADO	MODERADO	IMPORTANTE	SEVERO	LIGERO	LIGERO	LIGERO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	LIGERO	MODERADO

VALORES DE FM DE LAS SUSTANCIAS A MANEJARSE

SUSTANCIA	FM
GAS	16
DIESEL	10
PETRÓLEO	16

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Luego de realizar un diagnóstico semicuantitativo del riesgo de las instalaciones mediante el Método Dow (IEF), se puede observar que existe un mayor riesgo de ocurrir un incendio en el Tanque de Oleoducto en donde se obtuvo un IEF de 186,48 y el menor riesgo en Tanque de Diesel 1 donde el IEF es de 40,90. En la Tabla 3.6 se muestra los el grado de riesgo de mayor a menor en la Estación de Producción Shushufindi Central.

TABLA 3.6: Índice de incendio y explosión en la Estación de Producción Shushufindi Central

EQUIPOS	IEF
Tanque de Oleoducto	186,48
Tanque de Reposo	141,44
Tanque de Lavado	93,89
Separadores	83,28
Bombas Booster de Oleoducto	67,30
Compresores	66,54
Bombas de Oleoducto	65,05
Bombas Act	65,05
Piscinas de Reinyección	55,22
Tanques de Diesel 2,3	41,18
Tanque de Diesel 1	40,90

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch

Para complementar el estudio realizado en la Estación de Producción Shushufindi Central se hace primordial realizar un diagnóstico visual de los equipos existentes en la estación, mencionando algunas de las normas de seguridad que no se cumplen actualmente y/o el mal estado de los equipos existentes:

- El manejo del Sistema Contra Incendios se lo realiza manualmente lo que dificulta la acción rápida ante un evento no deseado, y no se cuenta con

sistemas automáticos de detección y alarma en la estación. Los únicos detectores existentes son los detectores de gas que están presentes en la zona de compresores, pero hace 10 años que están sin operatividad por las múltiples falsas alarmas que éstos brindaban.

FOTO 3.12: Detectores de gas sin funcionamiento



- Actualmente no existe una Bomba de respaldo en el Sistema de Bombeo tal como lo establece la norma NFPA 20 “Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps”, en donde se especifica que se deberá contar con un sistema de respaldo tal que suministre el 100% del requerimiento de agua, cuando alguna de las mismas se dañe o salga a mantenimiento.

FOTO 3.13: Bomba eléctrica sin ensamblar



- El sistema actualmente existente no permite la optimización del agua debido a que no se encuentra sectorizada la Estación.

Para la sectorización de la Estación se necesita que la red de distribución forme lazos o anillos cerrados, debido a que así se garantiza más de una dirección para el suministro del caudal de agua a los equipos.

- La Sala de Bombas del Sistema Contra Incendios no presenta ningún tipo de protección pese a contar con Bombas, máquinas que generan una gran cantidad de calor y tanques de almacenamiento de combustible.

FOTO 3.14: Sala de Bombas del S.C.I



- De acuerdo con la norma Petroecuador SI-008: "Señales de Seguridad"⁴ (Anexo A-2), algunas de las instalaciones de superficie (equipos) no cuentan con letreros de seguridad, placas de seguridad y etiquetas de seguridad como lo establece la norma, lo que constituye un inminente peligro debido a la falta de advertencia de las condiciones de peligro existentes y las restricciones que se deben tomar en las diferentes zonas de trabajo.

⁴ Norma Petroecuador SI-008, Sección 2: Definiciones

- El espaciamiento que existe entre los Tanques-Hidrantes, Hidrante-Hidrante, no es el adecuado como lo sugiere la norma Petroecuador SI-006: “Distancias mínimas de seguridad que deben contemplarse en las instalaciones petroleras”, se encuentran mal distribuidos.
- En el rediseño del Sistema Actual Contra Incendios mediante el método Dow, el mayor índice de peligrosidad se encuentra en el Tanque de mayor capacidad (100000 Bls, no cuenta con la protección adecuada). Se debe recalcar que los cubetos de derrame actualmente no cumplen lo que indica la norma de seguridad que establece que los mismos alrededor de los tanques deben estar contruidos de forma que almacenen el 110% de la capacidad del tanque de mayor capacidad.
- Actualmente estos cubetos se encuentran con libre acceso para los vehículos, por lo que ante un posible derrame existiría comunicación con las zonas aledañas, lo cual causaría contaminación y en condiciones favorables un posible incendio.

FOTO 3.15: Comunicación entre cubetos



- La abundancia de vegetación en los cubetos genera condiciones inseguras, debido a que impide la visualización de los equipos (válvulas), obstrucción de las mismas o presencia de animales ponzoñosos (serpientes, arañas, escorpiones) que ponen en riesgo al operador.

FOTO 3.16: Cubeto con presencia de vegetación



- Existen conexiones permanentes en el Tanque de almacenamiento de agua para una finalidad diferente al combate de incendios, lo cual incumple lo establecido en la norma NFPA 20 “Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps”, la cual indica que no se podrá realizar conexiones permanentes en el Tanque de almacenamiento de agua para el combate de incendios, ya que esta agua deberá garantizarse para el combate de incendios exclusivamente.

FOTO 3.17: Tanque de almacenamiento de agua (parte posterior)



- La válvula principal de seccionamiento entre la succión de la Bomba del Sistema Contra Incendios y el Tanque de almacenamiento de agua es del tipo mariposa, la cual se interpone en el recorrido del flujo y tiende a cerrarse, ya

que es una veleta que corta el flujo. Si esta veleta se desvía hacia un lado es probable que la fuerza del flujo termine de cerrarla.

FOTO 3.18: Válvula de mariposa



- La válvula que suministra agua al sistema de espuma no tiene volante originando el retraso en la operación de la misma que podría poner en riesgo la protección de los equipos e instalaciones.

FOTO 3.19: Válvula de compuerta



- Existe un indicador de nivel de agua del Tanque de almacenamiento de agua del Sistema Contra Incendios que solo mide la parte baja del Tanque, es indispensable que sea medido el nivel del agua en toda su altura para garantizar que el Tanque de agua se encuentra totalmente lleno.

FOTO 3.20: Indicador de nivel de agua



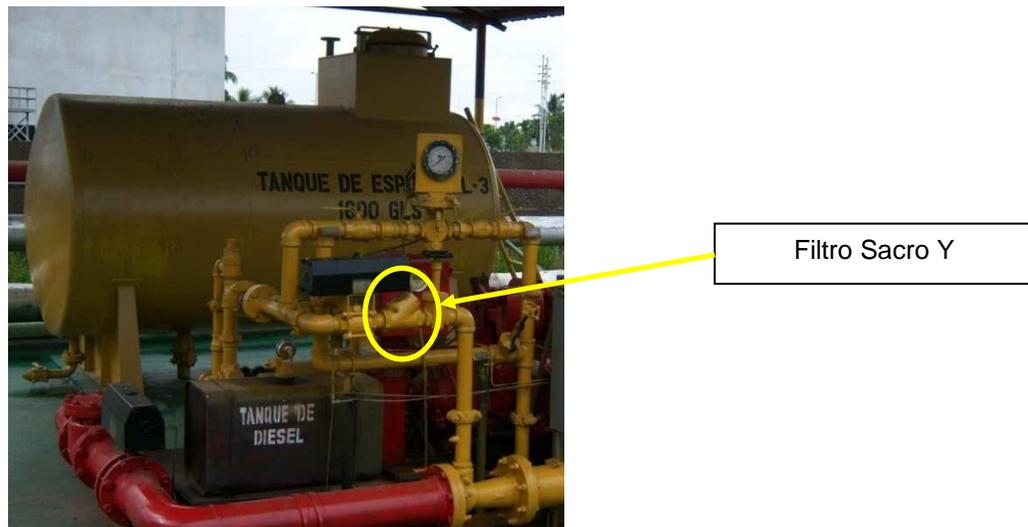
- El Sistema de enfriamiento del Motor a diesel no dispone de lazo de bypass, el cual consta con un solenoide eléctrico y un válvula de regulación automática, así mismo en caso de este presentar falla se deberá instalar un sistema manual por medio de un by-pass, según lo establece la NFPA 20 “Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps”.
- El tanque de diesel no dispone de un dique o cubeto de contención para casos de derrame accidental, lo que conllevaría a un derrame sobre el piso e impacto y degradación del ambiente.

FOTO 3.21: Tanque de diesel sin protección



- El filtro sacro (Y) que actúa como filtro esta colocado a la inversa en el suministro de espuma, lo que impide la decantación de los sólidos.

FOTO 3.22: Filtro en posición incorrecta



- El sistema de inyección de espuma por la base “sub-superficie” no está por encima del nivel de agua como lo establece la norma Petroecuador SHI-

019: "Sistema de Espuma Contra Incendios" a fin de permitir la descarga de la espuma sobre el nivel máximo del agua que pudiese existir en el fondo del tanque, garantizando que la espuma no se vea afectada por el contacto con el agua.

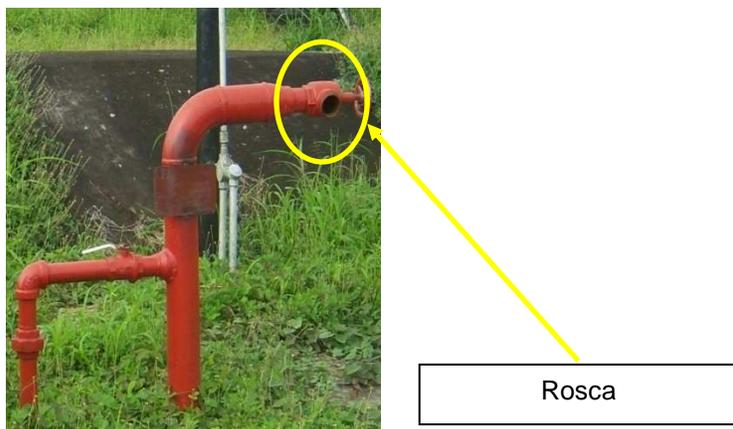
- La puesta en operación de los monitores se realiza caminando por medio de las diferentes tuberías, siendo ésta una acción insegura, debido a que el operador puede resbalar, caer y lesionarse.

FOTO 3.23: Operación incorrecta de monitores



- Las roscas de los hidrantes no tienen ninguna protección física, lo cual conlleva a su deterioro progresivo.

FOTO 3.24: Rosca de hidrante sin protección



CAPITULO IV

ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

4.1 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA AGUA-ESPUMA

Según el Método Dow el mayor riesgo de incendio lo constituye el Tanque de almacenamiento de Oleoducto de techo flotante, para realizar los cálculos pertinentes se asume que éste es el Tanque incendiado y en base a este Tanque se procederá a considerar el radio de afectación, que según la norma Petroecuador PE-SHI-018⁵, equivale a un radio dos veces el diámetro del Tanque de Oleoducto (**ver Anexo A-3**), el radio de acción afecta a las Bombas de Oleoducto, las Bombas Booster de Oleoducto, Laboratorio, Bomba de Espuma S.C.I, y Depuradores de gas combustible. Se debe considerar que se debe proteger solo la parte a ser afectada (50%) en caso de incendio del Tanque de Oleoducto.

4.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE OLEODUCTO (T-032)

Dimensiones

Diámetro : 132 pies. (1584 pulg).

Altura : 42 pies.

Capacidad : 100000 Bls.

Por ser Tanque de techo flotante se requiere proteger la parte anular del mismo, por lo que es necesario considerar su diámetro interior y la placa de retención de espuma.

⁵:Norma Petroecuador PE-SHI-018, Sección 4.7.3 Tanques de almacenamiento

Para el cálculo se considera que la placa se encuentra ubicada a 20 pies de la plancha del Tanque, por lo que:

$$\text{Área de la sección anular del Tanque} = A_T = \pi (D_e^2 - D_i^2)/4$$

$$A_T = \pi (132^2 - 112^2) / 4$$

$$A_T = 3832,74 \text{ pies}^2$$

4.1.3 CANTIDAD DE SOLUCIÓN REQUERIDA AGUA-ESPUMA (Q_{ac})

Según la norma Petroecuador PE-SHI-019, la tasa de aplicación y duración de la descarga para los Tanques de techo flotante es de 0,3 GPM/ pies² del área anular entre la pantalla de represamiento y la pared del tanque. El tiempo ha aplicarse debe ser como mínimo de 55 minutos.

Q_{ac} = Cantidad de agua – Concentrado de espuma

Q_{ac} = Tasa de aplicación x Área de la sección anular del tanque (A_T)

Q_{ac} = 0,30 GPM/ pies² x 3832,74 pies²

Q_{ac} = 1149,82 GPM

Q_{ac} = 1149,82 Gal/min x 55 min

Q_{ac} = 63240,26 galones de agua-espuma

4.1.4 PROTECCIÓN CON MANGUERAS

Se ofrece una protección adicional mediante la implementación de mangueras conectadas a las tuberías de distribución del sistema de espuma, por lo que para saber el número requerido de mangueras y la duración mínima de descarga, es necesario tener en cuenta los valores descritos en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1: Requerimiento de mangueras

DIÁMETRO DEL TANQUE (pies)	NÚMERO DE MANGUERAS	DURACIÓN MÍNIMA DE DESCARGA (min)
Hasta 35	1	10
Entre 35 hasta 65	1	20
Entre 65 hasta 95	2	20
Entre 95 hasta 120	2	30
Más de 120	3	30

Fuente: Norma Petroecuador -SHI-019:“Sistema de Espuma Contra Incendios”.

La descarga mínima según la norma PE-SHI-019⁶ se establece que las mangueras deben descargar como mínimo 50 GPM (189 Lts/min) lo cual se encuentra en el [Anexo A-4](#).

En este caso el número de mangueras de chorro de espuma para nuestro Tanque es de 3, siendo la duración mínima de descarga igual 30 minutos, para lo cual se procede a realizar el cálculo siguiente:

V_2 = cantidad agua-espuma debido a la protección adicional

V_2 =descarga mínima x # de mangueras x tiempo mínimo

V_2 =50 (Gal/min) x 3 x 30(min)

V_2 =4500 galones de agua-espuma

Entonces el volumen total agua-espuma (V_{ae}) para el Tanque de Oleoducto es:

$V_{ae} = Q_{ac} + V_2$

$V_{ae} = 63240,26$ galones de agua-espuma + 4500 galones de agua-espuma

$V_{ae} = 67740,26$ galones de agua-espuma

⁶ Norma Petroecuador PE-SHI-019,sección 7.2.2.1.5,Protección adicional

4.1.5 VOLUMEN DE CONCENTRADO DE ESPUMA REQUERIDO (V_e)

$$V_e = V_{ae} \times \% \text{ de concentración}$$

$$V_e = 67740,26 \text{ galones de agua-espuma} \times 0,03$$

$$V_e = 2032,21 \text{ galones de concentrado de espuma}$$

4.1.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD TANQUE PROPORCIONADOR DE ESPUMA

$$Q_e = \frac{V_e}{\text{Tiempo de aplicación}}$$

$$Q_e = \frac{2032,21 \text{ Gal}}{55 \text{ min}}$$

$$Q_e = 36,94 \text{ GPM}$$

Para dosificar la solución agua-espuma a los valores requeridos, se selecciona el proporcionador de espuma tipo Presión Balanceada, el cual según la Norma PE-SHI-019, es el más conveniente en sistemas fijos de espuma ya que permite ajustarse a un amplio rango de caudales.

TABLA 4.2: Sistema de proporcionamiento de presión balanceada (3%)

TAMAÑO Y MODELO DEL PROPORCIONADOR	RANGO DE FLUJO GPM (LPM)	BOMBA DE LÍQUIDO Y MOTOR
2"RCT	30-180 (114-681)	15 GPM (57LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 5 HP
2"RCV	30-180 (114-681)	15 GPM (57LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 5 HP
3"RCT	70-450 (265-1703)	25 GPM (95LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 5 HP

TABLA 4.2 Continuación

4"RCF	150-1200 (568-4542)	50 GPM (189LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 10 HP
6"RCF	300-2500 (1136-9464)	100 GPM (379LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 15 HP
8"RCF	850-5000 (3218-18927)	175 GPM (662LMP) a 150 Psi (1034KPa) con motor de 30 HP

Fuente: NATIONAL FOAM ENGINEERING MANUAL, Sección III, Páginas 3-5.

Con los cálculos realizados en el literal anterior se obtuvieron 36,94 GPM, cuyo valor está en el rango de flujo de 30-180 GPM por lo cual se escogió un proporcionador de espuma modelo 2"RCT impulsado con una bomba de 15 GPM a 150 Psi con motor eléctrico de 5 HP, indicado en la Tabla 4.2.

4.1.6.1 Determinación del formador de espuma (Q_{ae})

$$Q_{ae} = Q_{ac} + V_2$$

$$Q_{ae} = 1149,82 \text{ GPM} + 150 \text{ GPM}$$

$$Q_{ae} = 1300 \text{ GPM}$$

Mediante la capacidad que se tiene que cubrir de 1300 GPM (Q_{ae}) se procede a seleccionar el tipo y número de formadores de espuma de la Tabla 4.3.

TABLA 4.3: Tipo y número de formadores de espuma

FOAM MAKER MODEL N°	CAPACIDAD DE DISEÑO a 150 Psi (1034 kPa)		PESO	
	GPM	LPM	Lbs.	Kgs.
PHB-10 A (FIJO)	100	379	9	4,1
PHB-10 A (PORTÁTIL)	100	379	10	4,5
PHB-15 A (FIJO)	150	568	9	4,1
PHB-15 A (PORTÁTIL)	150	568	10	4,5
PHB-20 A (FIJO)	200	757	9	4,1

TABLA 4.3 Continuación

PHB-20 A (PORTÁTIL)	200	757	10	4,5
PHB-25 A (FIJO)	250	946	9	4,1
PHB-25 A (PORTÁTIL)	250	946	10	4,5
PHB-30 A (FIJO)	300	1136	9	4,1
PHB-30 A (MÓVIL)	300	1136	10	4,5
PHB-35 A	350	1325	40	18,1
PHB-40 A	400	1514	40	18,1
PHB-45 A	450	1703	40	18,1
PHB-50 A	500	1892	40	18,1
PHB-55 A	550	2082	40	18,1

Fuente: NATIONAL FOAM ENGINEERING MANUAL, Sección VI, Páginas 6-8.

La mejor alternativa es emplear 5 foam makers del modelo PHB-30 A (FIJO) con una capacidad de 300 GPM cada uno, con una presión a la entrada de 150 psi.

4.1.7 VOLUMEN DE AGUA PARA LA FORMACIÓN DE SOLUCIÓN AGUA-ESPUMA (V_a)

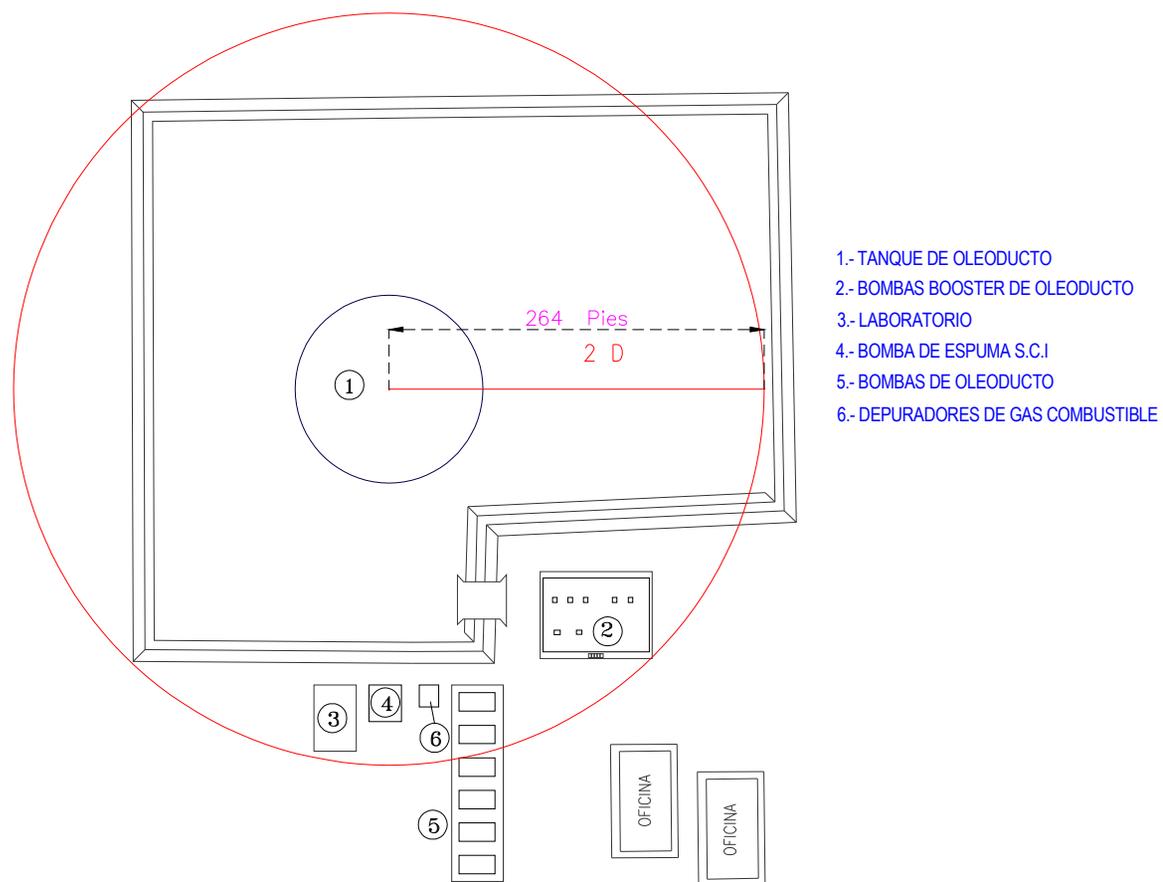
$$V_a = V_{ae} - V_e$$

$$V_a = 67740,26 - 2032,21$$

$$V_a = 65708,1 \text{ galones de agua} = 1564,47 \text{ Bls.}$$

4.2 CÁLCULO DE AGUA PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Considerando que el Tanque de almacenamiento de Oleoducto de techo flotante constituye el mayor riesgo se requiere agua para el enfriamiento de las paredes de dicho Tanque (incendiado) y de las zonas aledañas a éste ilustrado en la figura 4.1, además del agua necesaria para la generación de espuma.

FIGURA 4.1: Radio de influencia 2D

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

En esta estación, los Tanques de Lavado y de Reposo no se hallan dentro del radio de influencia del Tanque de almacenamiento de Oleoducto por lo que los cálculos a realizar no considerarán éstos Tanques, sino solamente se basarán en las instalaciones comprendidas en el radio 2D.

Cálculos en el Tanque de Oleoducto

A) Cálculo de Áreas

A	= Área del tanque incendiado	= $\pi \times D \times H$
D₁	= Área del laboratorio	= $B_1 \times H_1$
D₂	= Área de Bomba de Espuma (S.C.I)	= $B_2 \times H_2$
D₃	= Área Depuradores de gas combustible	= $B_3 \times H_3$
D₄	= Área de Bombas de Oleoducto	= $B_4 \times H_4$
D₅	= Área de Bombas Booster de Oleoducto	= $B_5 \times H_5$

$$A = \pi \times 132 \text{ pies} \times 42 \text{ pies}$$

$$A = 17416,98 \text{ pies}^2$$

$$D_1 = 15 \text{ pies} \times 30 \text{ pies} = 450 \text{ pies}^2$$

$$D_1 = 450 \text{ pies}^2$$

$$D_2 = 22 \text{ pies} \times 25 \text{ pies} = 550 \text{ pies}^2$$

$$D_2 = 550 \text{ pies}^2$$

$$D_3 = 8,53 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} = 120 \text{ pies}^2$$

$$D_3 = 120 \text{ pies}^2$$

$$D_4 = 100 \text{ pies} \times 30 \text{ pies} = 3000 \text{ pies}^2$$

$$D_4 = 3000 \text{ pies}^2$$

$$D_5 = 55 \text{ pies} \times 63 \text{ pies} = 3465 \text{ pies}^2$$

$$D_5 = 3465 \text{ pies}^2$$

B) Cálculo de Caudal de Agua necesario para el sistema de enfriamiento del Sistema Contra Incendio (Q_T)

Ta_1 = Tasa de aplicación para consumo de agua del Tanque incendiado

$$Ta_1 = 0,2 \text{ gpm/pie}^2$$

Ta_2 = Tasa de aplicación para consumo de las instalaciones adyacentes

$$Ta_2 = 0,1 \text{ gpm/pie}^2$$

$$Q_1 = (Ta_1 \times A)/2 = \frac{0,2 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 17416,98 \text{ ft}^2 = 1742 \text{ GPM}$$

$$Q_2 = (Ta_2 \times D_1) = \frac{0,1 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 450 \text{ ft}^2 = 45 \text{ GPM}$$

$$Q_3 = (Ta_2 \times D_2) = \frac{0,1 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 550 \text{ ft}^2 = 55 \text{ GPM}$$

$$Q_4 = (Ta_2 \times D_3) = \frac{0,1 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 120 \text{ ft}^2 = 12 \text{ GPM}$$

$$Q_5 = (Ta_2 \times D_4) = \frac{0,1 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 3000 \text{ ft}^2 = 300 \text{ GPM}$$

$$Q_6 = (Ta_2 \times D_5) = \frac{0,1 \text{ GPM}}{\text{ft}^2} \times 3465 \text{ ft}^2 = 346 \text{ GPM}$$

Q_T = Caudal de agua necesario Total = $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$

$$Q_T = 1742 \text{ GPM} + 45 \text{ GPM} + 55 \text{ GPM} + 12 \text{ GPM} + 300 \text{ GPM} + 346 \text{ GPM}$$

$$Q_T = 2500 \text{ GPM}$$

4.2.1 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Con el cálculo total de agua y mediante la norma PE-SHI-018, la cual indica que la capacidad mínima de almacenamiento de agua en zonas no remotas es de 3 horas

para estaciones de producción en un posible incendio que podría ocurrir en una instalación, entonces se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Volumen mínimo de agua} = 2500 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ barril}}{42 \text{ Gal}} \times 3 \text{ horas}$$

$$\text{Volumen mínimo de agua} = 10715 \text{ Bls.}$$

Total de agua = Agua para la formación de espuma + Agua para el enfriamiento

$$\text{Total de agua} = 1564,47 \text{ Bls.} + 10715 \text{ Bls.}$$

$$\text{Total de agua} = 12279,48 \text{ Bls} \approx 13000 \text{ Bls.}$$

Entonces el tanque debe ser de una capacidad de 13000 Bls.

4.3 CÁLCULO DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y BOMBAS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

Primero se analiza todo el caudal de agua que debe manejar la bomba.

$$\text{Caudal agua-espuma} = 1150 \text{ GPM}$$

$$\text{Caudal de agua para enfriamiento} = 2500 \text{ GPM}$$

Se considera sólo el caudal crítico (más representativo) entre el caudal agua-espuma y el caudal de agua de enfriamiento, por lo que en este caso el diseño de las dos Bombas se basará en el caudal de agua de enfriamiento.

Entonces el caudal que debe manejar la Bomba del Sistema Contra Incendios es de 2500 GPM aproximadamente.

4.3.1 CÁLCULO DE TUBERÍAS

Para determinar los diámetros de tubería a utilizarse en todo el sistema, se debe tomar en cuenta un factor muy importante el cual es las pérdidas de presión por

fricción ya que de esto depende cuanto se va a gastar en la adquisición de las tuberías de diferente diámetro, el cual nos permitirá optimizar la selección de las tuberías a menor costo posible.

a) Tubería principal de la red de agua del Sistema Contra Incendios

Para la determinación de tubería de red principal se debe considerar la norma PE-SHI-018, la cual indica que la velocidad de agua en las tuberías principales no debe ser mayor a 10 pies/s, de igual forma como en el presente caso el caudal total (2500 GPM) es superior a 1000 GPM el diámetro de la tubería no será menor a 8 pulgadas.

Pérdidas en Tuberías y Accesorios de la red principal Contra Incendios

Para calcular las pérdidas de fricción en tuberías tanto en las secciones tanto de la succión y de descarga de las bombas se deben tomar en consideración las restricciones en la velocidad, así como la cantidad total de agua calculada anteriormente.

Velocidad de succión = $V_s = 6$ pies/seg

Velocidad de descarga = $V_d = 12$ pies/seg

De acuerdo al valor del caudal total de 2500 GPM, y la velocidad máxima de succión permitida ($V_s = 6$ pies/seg) se procede a seleccionar el diámetro de la tubería hasta la succión de la bomba empleando tablas de pérdidas por fricción para tuberías de acero y cédula 40.

De igual manera, realizando el mismo procedimiento, se determina el diámetro de la tubería de descarga para lo que se considera la velocidad máxima de descarga permitida ($V_d = 12$ pies/seg).

$D_s =$ Diámetro hasta la succión de la bomba = 14 pulg.

D_d = Diámetro hasta la descarga de la bomba = 12 pulg.

El plano de la red de agua Contra Incendios se puede apreciar en el [Anexo B-3](#).

Pérdidas en Tuberías y Accesorios de la red principal Contra Incendios

Para realizar cálculos de pérdidas es necesario utilizar los siguientes datos⁷:

T_a	= Temperatura de agua	= 60 °F
V_a	= Viscosidad de agua a T_a	= 1,13 centistokes
d_a	= Densidad de agua	= 1 gr/cm ³

Primero se calcula las pérdidas en la tubería hasta la succión de la Bomba:

➤ **Pérdidas en la tubería hasta la succión de la Bomba**

Con las tablas de pérdidas por fricción para tubería de acero cédula 40, viscosidad cinemática, caudal total de agua, el diámetro hasta la succión, relación de pérdidas, y la distancia que existe entre el Tanque y las Bombas de 16 pies, se procede a realizar dicho cálculo:

Distancia Tanque de agua-Bomba	= 16 pies
V_a = Viscosidad Cinemática	= 1,13 centistokes
Q_T = Caudal total de agua	= 2500 GPM
D_s = Diámetro hasta la succión	= 14 pies
R_p = Relación de pérdidas	= 7,32 pies / 1000 pies de tubería

$$\text{Pérdidas en la tubería de succión} = \frac{7,32 \text{ pies}}{1000 \text{ pies}} \times 16 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas en la tubería de succión} = 0,12 \text{ pies}$$

⁷ Valores tomados del Manual CAMERON HYDRAULIC DATA.

➤ **Pérdidas por accesorios hasta la succión**

Los accesorios que se tiene hasta la succión de la Bomba son los siguientes:

CANTIDAD	ACCESORIOS DE 14 Pulg.	PÉRDIDAS (pies)
3	válvulas de compuerta	3 x 8,75 = 26,25
2	Codos	2 x 17,5 = 35
1	Tee	1 x 65,6 = 65,6
	TOTAL	126,85

$$\text{Pérdidas por accesorios} = \frac{7,32 \text{ pies}}{1000 \text{ pies}} \times 126,85 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas en accesorios hasta succión} = 0,93 \text{ pies}$$

De esta manera el total de pérdidas hasta la succión que es igual a:

$$h_{fs} = \text{Pérdida total hasta la succión de la Bomba.}$$

$$h_{fs} = \text{Pérdidas en la tubería de succión} + \text{pérdidas en accesorios hasta la succión.}$$

$$h_{fs} = 0,12 \text{ pies} + 0,93 \text{ pies}$$

$$h_{fs} = 1,1 \text{ pies.}$$

➤ **Pérdidas en la tubería desde la descarga de la Bomba**

Siguiendo el mismo procedimiento del literal anterior, pero con diámetro de la tubería de descarga igual a 12 pulgadas se procede a realizar los cálculos:

$$\text{Diámetro de la tubería desde la descarga} = 12 \text{ pulg.}$$

$$\text{Distancia Bomba-monitor} = 1922 \text{ pies}$$

(Se toma la distancia más lejana desde las bombas)

$$R_p = \text{Relación de pérdidas} = 11,8 \text{ pies}/1000 \text{ pies de tubería}$$

$$\text{Pérdidas en la tubería de descarga} = \frac{11,8 \text{ pies}}{1000 \text{ pies}} \times 1922 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas en la tubería de descarga} = 22,7 \text{ pies}$$

➤ **Pérdidas por accesorios desde la descarga**

Los accesorios que se tiene hasta la descarga de la bomba son los siguientes:

CANTIDAD	ACCESORIOS DE 12 Pulg.		PÉRDIDAS (pies)
23	Válvulas	21 Compuerta	21 x 7,96 = 167,16
		2 Check	2 x 49,7 = 99,4
15	Codos		15 x 15,9 = 238,5
17	Tee		17 x 59,7 = 835,8
TOTAL			1340,86

$$\text{Pérdidas por accesorios} = \frac{11,8 \text{ pies}}{1000 \text{ pies}} \times 1340,86 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas por accesorios desde la descarga} = 17,9 \text{ pies}$$

$$h_{fd} = \text{Pérdidas por descarga desde la descarga}$$

$$h_{fd} = \text{Pérdidas en la tubería de descarga} + \text{Pérdidas en la tubería desde la descarga}$$

$$h_{fd} = 22,7 \text{ pies} + 17,9 \text{ pies}$$

$$h_{fd} = 40,6 \text{ pies}$$

b) Tubería principal del sistema agua-espuma

Para determinar los diámetros de la tubería principal del sistema de agua-espuma se utiliza el mismo procedimiento empleado en el literal anterior, considerando lo que indica la norma PE-SHI-018, así como los limitantes en la velocidad de descarga y de succión de la tubería del sistema agua-espuma y la capacidad del formador de espuma.

$$Q_{ae} = 1300 \text{ GPM (capacidad de transporte de la línea de espuma)}$$

V_s = 6 ft/seg (velocidad de succión)

V_d = 12 ft/seg (velocidad de descarga)

Utilizando tablas de pérdidas por fricción en tuberías se selecciona los diámetros de tubería de succión y de descarga para lo cual se considera la tubería de cédula 40.

D_{ts} = Diámetro de principal de succión = 10 pulg.

D_{td} = Diámetro de principal de descarga = 8 pulg.

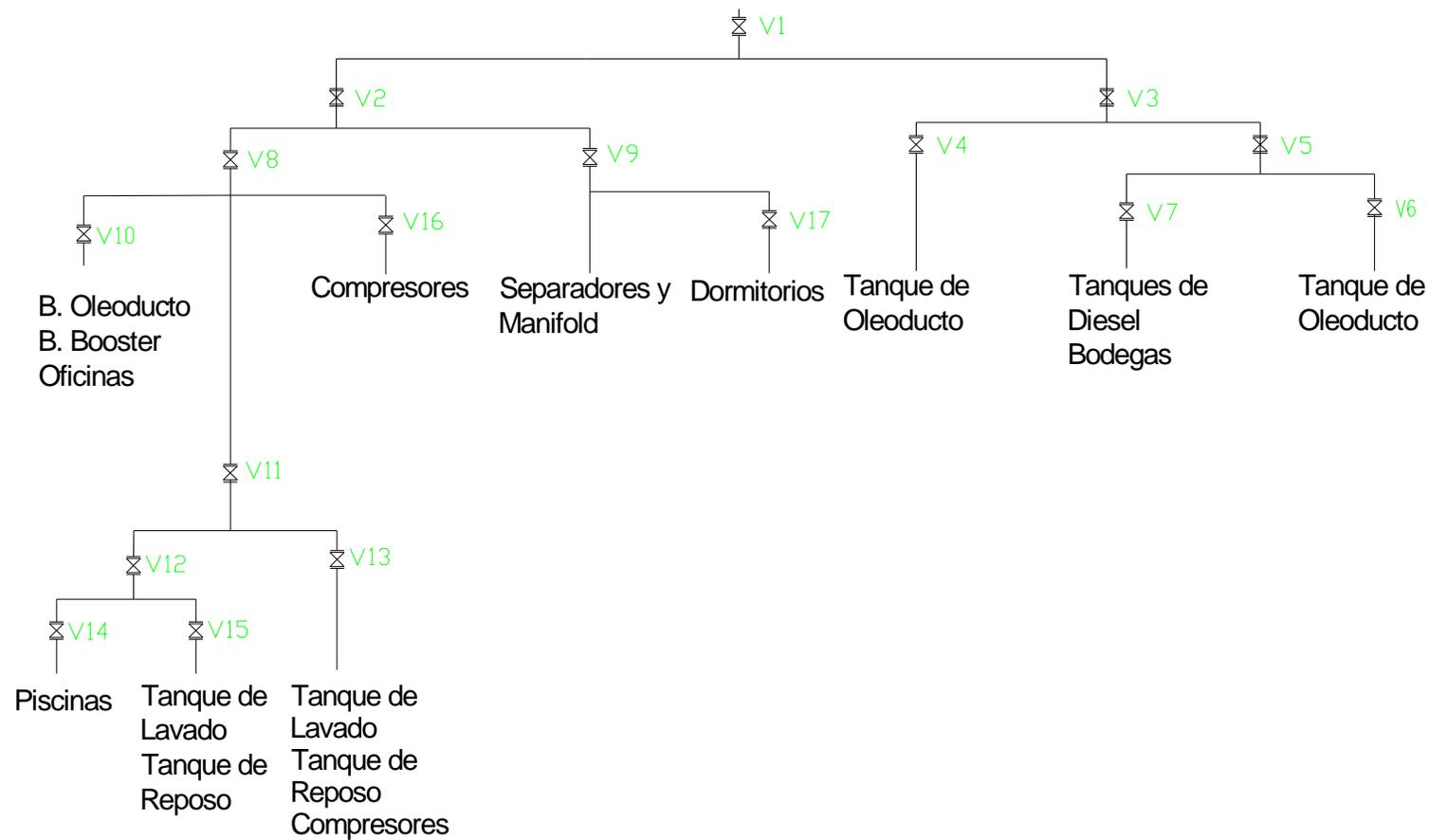
El plano de la tubería agua-espuma se puede apreciar en el [Anexo B-4](#). La parte de la succión comprende una pequeña parte del ramal de la tubería (12 pulg.) que se ramifica del caudal total de agua de refrigeración.

La tubería de descarga de 8 pulg. es la red de tubería principal del sistema agua-espuma desde el proporcionador de espuma hacia las instalaciones.

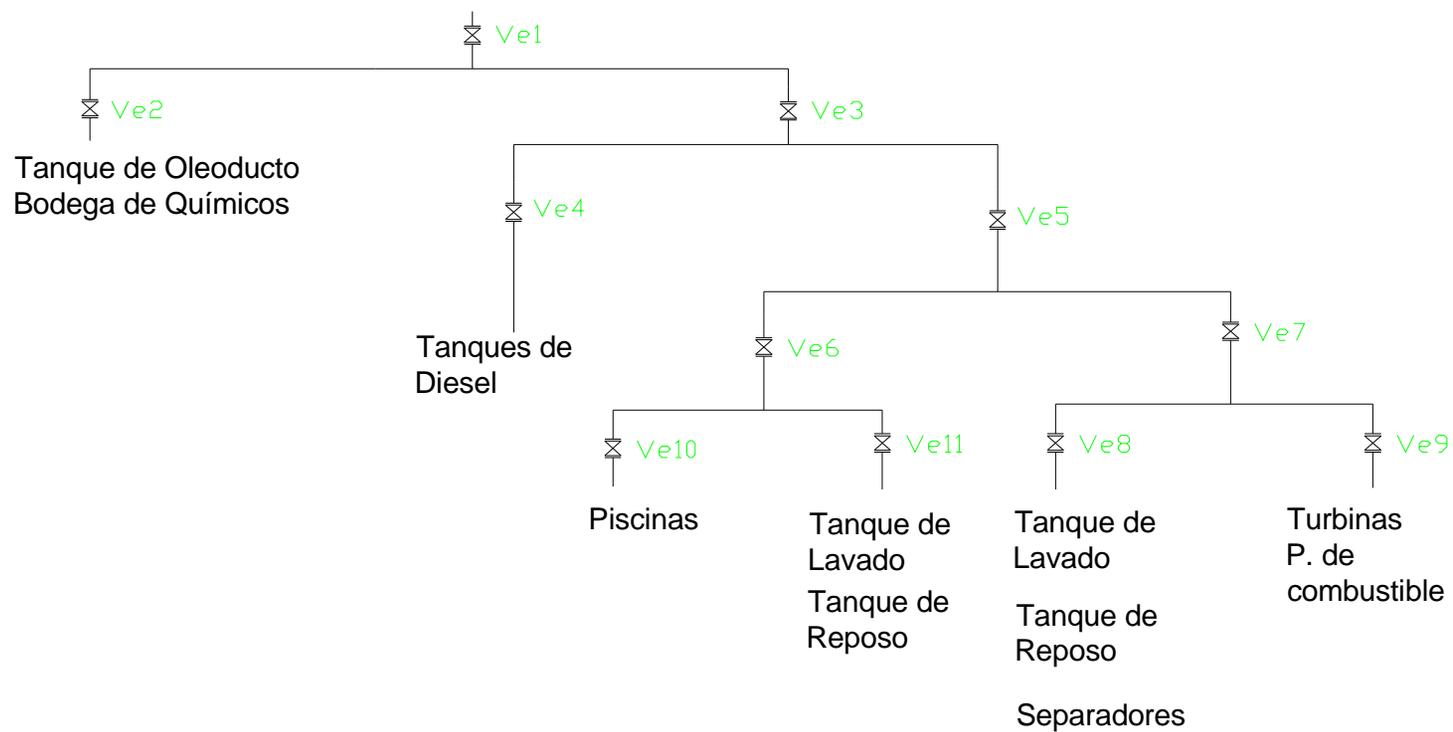
Debido a la falta de un Sistema seguro de Protección Contra Incendios en esta estación se ha realizado los cálculos y cambios respectivos en todo el sistema hidráulico, en la parte de detección de incendios y estaciones manuales de emergencia, así como también se busca implementar un nuevo sistema integrado de válvulas tanto para el sistema de enfriamiento de agua como para el sistema agua-espuma el cual es uno de los propósitos del presente trabajo debido a que la red de agua, agua-espuma permitirá direccionar el flujo en una manera más eficiente optimizando los recursos tanto de materiales, tecnológicos y humanos.

Este sistema integrado de válvulas deberá ser controlado desde dos posiciones, un terminal principal PLC (Ver Figura 4.4) ubicado en la caseta donde reposa el sistema de agua y una terminal de monitoreo y supervisión ubicado en las oficinas del Departamento de Seguridad Industrial que a su vez estará conectada al sistema Scada de la Estación de Producción Shushufindi Central. Los diseños del sistema de válvulas se proponen en las Figuras 4.2 y 4.3.

Figura 4.2: Sistema de agua de enfriamiento



Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Figura 4.3: Sistema de agua-espuma

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

4.3.2 CÁLCULO DE BOMBAS

a) Cálculo de la altura total de impulsión

H_T = Altura Total de impulsión (pies)

$H_T = h_s + h_d + h_{fd} + h_{fs}$

h_s = altura de succión (pies)

h_d = altura de la descarga (pies)

h_{fs} = pérdidas expresadas en el lado de succión (pies)

h_{fd} = pérdidas expresadas en el lado de descarga (pies)

$h_s = 0$ pies, por estar al nivel del tanque de agua y en la succión de la bomba.

$h_d = 230$ pies

$h_{fs} = 1$ pies

$h_{fd} = 23,05$ pies

$H_T = 0$ pies + 230 pies + 1,1 pies + 40,6 pies

$H_T = 271,7$ pies

b) Cálculo de la potencia de la Bomba de Agua

Para la realización del cálculo de la potencia de la bomba se asume una eficiencia del 70%, empleando los siguientes datos:

Q = Caudal (GPM)

H_T = Altura Total de impulsión (pies)

η = Eficiencia de la Bomba (70% = 0,7)

GE = Gravedad específica (adimensional)

P = Potencia de la Bomba (HP)

$$P_{Bomba} = \frac{Q \times H_T \times GE}{3960 \times \eta}$$

$$P_{Bomba} = \frac{2500 \text{ GPM} \times 271,7 \text{ pies} \times 1}{3960 \times 0,7}$$

$$P_{Bomba} = 245 \text{ HP} \approx \mathbf{250 \text{ HP}}$$

c) Selección del modelo de la Bomba de agua

El modelo de la selección de la Bomba se lo realiza según las cartas de clasificación general de las curvas características para cada modelo, ingresando con los siguientes datos provenientes de los cálculos realizados:

Q	= Caudal (GPM)	= 2500 GPM = 567,85 m ³ / h
H_T	= Altura Total de impulsión (pies)	= 271,7pies = 82,81 m
GE	= Gravedad específica (adimensional)	= 1
P	= Potencia de la Bomba (HP)	= 250 HP
V_a	= Viscosidad Cinemática	= 1,13 centistokes

➤ Modelo de Bomba seleccionada:

TIPO : Centrífuga Horizontal
MODELO : 8AE17
MARCA : MARK PEERLESS

➤ Con las siguientes características:

Diámetro del impeler = 432 mm = 17 pulg.
 η (Eficiencia de la Bomba) = 80%
 Frecuencia = 1770 rpm

El escogitamiento de la Bomba se puede apreciar en el [Anexo A-5](#).

$NPSH_R$ (altura de succión neta positiva requerida) = 6,56 pies \approx 7 pies

d) Cálculo del $NPSH_D$ (altura de succión neta positiva disponible)

El objetivo del cálculo del $NPSH_D$ es comprobar que la bomba seleccionada funcione, mediante la condición necesaria y suficiente:

$$NPSH_D \geq NPSH_R$$

En donde:

$$NPSH_D = h_a - h_{pv} - h_e - h_s$$

h_a = presión absoluta sobre la superficie del líquido (pies)

h_{pv} = altura correspondiente a la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (pies)

h_e = altura estática desde el nivel de abastecimiento del fluido al eje de la bomba (pies)

h_s = pérdidas en la línea de succión (pies)

Por lo tanto reemplazando tenemos:

$$NPSH_D = 33,96 \text{ pies} - 0,783 \text{ pies} - 0 \text{ pies} - 1,1 \text{ pies}$$

$$NPSH_D = 32,08 \text{ pies (pies de agua)} \approx 32 \text{ pies}$$

Verificando la condición necesaria y suficiente para el funcionamiento de la bomba, tenemos que:

$$NPSH_D \geq NPSH_R$$

$$32 \text{ pies} \geq 7 \text{ pies}$$

Por lo que la bomba **SI** funciona.

e) Cálculo del Motor Eléctrico

Para el accionamiento de la Bomba Contra Incendios tendremos que contar con un motor de la siguiente potencia:

$$P_{\text{Motor eléctrico}} = \frac{HP_{\text{Bomba}}}{\eta_{\text{Motor eléctrico}}}$$

$$P_{\text{Motor eléctrico}} = \frac{250 \text{ HP}}{0,95}$$

$$P_{\text{Motor eléctrico}} = 263,16 \text{ HP} = 270 \text{ HP (en el mercado)}$$

4.4 EQUIPOS DE EXTINCIÓN

4.4.1 HIDRANTES INDUSTRIALES

Su ubicación y distribución se realizará independientemente de la dirección del viento, y en lo posible en posiciones opuestas para proteger el área en cuestión desde dos direcciones opuestas. La ubicación, espaciamiento y localización recomendado de los hidrantes se lo puede apreciar en la Tabla 4.4.

TABLA 4.4: Ubicación de los hidrantes

ESPACIAMIENTO Y LOCALIZACIÓN DE HIDRANTES	
ÁREAS	REQUERIMIENTOS
Plantas de Proceso	Espaciadas cada 40 metros alrededor de las plantas y separadas de éstas a una distancia máxima que garantice que cualquier parte de la unidad pueda ser alcanzada por una longitud total de mangueras no superior a 70 metros.

TABLA 4.4 Continuación

Patio de Tanques de almacenamiento	<p>Ubicadas fuera de los muros de contención de los Tanques y separadas a 75 metros de las paredes de los Tanques y a un espaciamiento entre sí máximo de 90 metros.</p> <p>En Tanques dotados con sistemas de espuma, los hidrantes deberán localizarse en relación con las conexiones terminales del sistema de espuma, de tal manera que la longitud total entre el hidrante y el camión de bomberos no exceda de 7.5 metros y la descarga del camión a la conexión de espuma de los Tanques no exceda de 15 metros.</p>
Llenadores de camiones, separadores de efluentes.	Deberán ubicarse de tal manera que cubran por lo menos dos lados de estas instalaciones. Entre hidrantes deberá existir una distancia de separación de 15 metros.
Estaciones de flujo, plantas compresoras y de la inyección a gas, plantas de inyección a vapor.	Deberán ubicarse de tal manera que cubran por lo menos dos lados de estas instalaciones. La separación máxima entre hidrantes será de 15 metros.
Edificios, laboratorios, talleres, plantas envasadoras, depósitos y bodegas.	Los hidrantes se ubicarán a una distancia máxima de 15 metros de la edificación. La distribución y separación entre ellos deberá realizarse de acuerdo a la norma PE-SI-006 (Hidrantes Industriales).

Fuente: Norma Petroecuador SI – 018: “Sistemas de Agua Contra Incendio para Instalaciones Petroleras”.

Otro factor importante a considerar son las distancias mínimas de seguridad que debe existir entre equipos e instalaciones contra incendios, establecidas en la norma Petroecuador SI – 006: “Distancias mínimas de seguridad que deben contemplarse

en las Instalaciones Petroleras⁸ (Anexo A-6), las cuales se las resume en la Tabla 4.5.

TABLA 4.5: Distancias mínimas de seguridad en instalaciones petroleras

DE	A	DISTANCIA (m)
Sala de Bombas	Tanques	20 – 30 mínimo
Hidrante	Hidrante	30 mínimo
Extintores (donde no existen productos inflamables)	Extintores	20 máximo
Extintores (donde existen productos inflamables)	Extintores	15 máximo

Fuente: Norma Petroecuador SI – 006: “Distancias mínimas de seguridad que deben contemplarse en las Instalaciones Petroleras”.

El número de hidrantes a emplear será en relación del riesgo del área y de la disponibilidad de agua. Presentan una descarga de 185 Gpm por cada boca de descarga, a 100 Lbs. /pulg² (7 kg/ cm²).

Los hidrantes presentan un mínimo de dos descargas en ramales interiores, y 4 descargas mínimas en la red principal, cada una de ellas con un diámetro de 2.5 pulg.

4.4.2 MONITORES

- Los monitores fijos o cañones para el Sistema de Protección Contra Incendios, están montados sobre una estructura de soporte y conectadas permanentemente a la red del Sistema.

⁸ Norma Petroecuador SI-006, Sección 6 Distancias mínimas

- Se consideran dispositivos básicos de protección que permiten la aplicación de agua-espuma para el combate de incendios en instalaciones de alto nivel de riesgo.
- Su ubicación estará en función de la presión de entrada a éstos y dirección del viento.
- Dotados con boquillas del tipo chorro-niebla, con capacidad de 500 Gpm a una presión de 100 Lbs/pulg².
- Son indispensables en instalaciones de difícil acceso, considerando su accionamiento a control remoto.

Se debe tener presente las aplicaciones de los monitores, establecidas en la Norma Petroecuador SI – 018: “Sistemas de Agua Contra Incendios para Instalaciones Petroleras”. En las Tabla 4.6 se muestra en resumen algunas aplicaciones de los monitores

TABLA 4.6: Aplicaciones para monitores

APLICACIONES PARA MONITORES	
EQUIPO	APLICACIONES
Columna y torres de proceso	Enfriamiento de las paredes del recipiente de proceso y equipos asociados (rehervidores, bridas de conexión).
Baterías de intercambiadores de calor	Cuando manejan líquidos inflamables o combustibles a temperatura superior a la Autoinflamación.
Enfriadores por aire	Cuando manejan líquidos inflamables o combustibles a temperatura superior a la Autoinflamación.

Estaciones de bomba y compresores	Cuando están ubicadas a la interperie y manejan productos inflamables a temperatura superior a la Autoinflamación.
Puente de tuberías	Cuando son vitales para la continuidad operacional de la instalación.
Plantas de proceso y almacenaje de gases inflamables licuados	Enfriamiento de las paredes del recipiente en donde pueda ocurrir eventualmente un Blevé.
Llenadores de camiones	Protección de los puestos de carga.

Fuente: Norma Petroecuador SI – 018: “Sistemas de Agua Contra Incendios para Instalaciones Petroleras”.

El Tanque de techo flotante según el análisis del proyecto constituye un potencial riesgo, por lo que deberá protegerse con un sistema fijo de espuma al poseer un diámetro mayor de 12 m, en donde la descarga de la espuma se llevará a cabo mediante las cámaras de espuma adosadas mediante pantallas de soporte a la parte superior de la pared del Tanque.

Para mayor detalle se hace referencia la norma Petroecuador SI – 019: “Sistema de Espuma Contra Incendios”, en el cual se describe criterios generales de diseño que permiten la aplicación efectiva de la espuma, como lo son la distribución de las pantallas de soporte y las pantallas de represamiento y tasa de aplicación.

4.4.3 EXTINTORES

Dos tipos de extintores son la propuesta a utilizar como parte del Sistema Contra Incendios en la Estación Shushufindi Central por ser los más recomendables, los cuales son:

Extintores de CO₂:

El tipo de protección fija mediante CO₂ debe estar presente en:

- Sala de transformadores.
- Caseta de Interruptores.
- Centros de control de motores.
- Equipos rotativos.
- Venteos y alivios de gases inflamables a la atmósfera.
- Líquidos inflamables y combustibles contenidos en recipientes abiertos.
- Depósitos de líquidos inflamables y/o combustibles, o sólidos combustibles ordinarios.

Extintores de PQS:

El polvo químico seco (PQS) al ser no tóxico, debe estar presente en:

- Recipientes abiertos que contienen líquidos inflamables o combustibles.
- Venteos y alivios de gases inflamables a la atmósfera.
- Riesgos electrónicos.
- Cocinas en comedores industriales.
- Estaciones de servicio para expendio de combustible.

En los planos de la (Anexo B-3, B4) se encuentra detallada la red de agua, espuma, y los dispositivos de protección mencionados (hidrantes, monitores y extintores).

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN A IMPLEMENTAR EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL

Las Instalaciones Contra Incendios actualmente existentes se consideran obsoletas ya que su diseño y construcción se realizó hace aproximadamente 30 años para el control de cierto grado de vulnerabilidad en la Estación Central, pero se evidencia la falta de protección adecuada en cada una de las instalaciones debido a que el sistema actual no cubre todas las áreas expuestas al fuego, lo que incrementa de esta manera las amenazas.

En el diseño de un Sistema de Protección Contra Incendios se debe tener en claro los productos y las características del fuego como son la generación del calor, humo y llama, así como también la presencia de otros factores y fuentes que podrían generar falsas alarmas en el proceso de detección, tales como: temperatura del aire, partículas de polvo, descargas eléctricas de rayos, destellos de luz solar, etc.

La instalación de los dispositivos denominados detectores, que indican o señalan el cambio de una variable física para la cual están diseñados, no constituyen una solución en cuanto la eliminación total de eventos catastróficos sino que son parte indispensable, en cuanto a prevención se refiere, dentro de los Sistemas Contra Incendios ubicados en las instalaciones petroleras, por lo que conocer el tipo, principio de funcionamiento y sus múltiples aplicaciones es vital para proponer el uso de los mismos en el diseño de prevención a implementar en una Estación de Producción.

Antes de entrar en el diseño de un Sistema Contra Incendios es conveniente tratar los tipos de detectores de fuego según su activación por los procesos físico-químicos de combustión (calor, humo y llama).

Los detectores de fuego reaccionan a uno de los siguientes parámetros:

- Calor por convección.
- Partículas de humo (visibles o invisibles).
- Energía radiante del fuego: detectores de llama y detectores ópticos de llama.

Se entiende como llama a la cadena de materiales gaseosos involucrados en el proceso de combustión y emisión de energía radiante en bandas de longitud de onda ultravioleta, visible e infrarrojo.

En la Tabla 4.6 se puede apreciar los tipos de detectores según su proceso de combustión.

TABLA 4.7: Tipos de detectores

PROCESO DE COMBUSTIÓN	CARACTERÍSTICAS	TIPOS	FUNCIONAMIENTO
CALOR	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Detecta únicamente el calor proveniente de un fuego que llega hacia él por convección. ➤ Dispositivo confiable por su forma de activación y funcionamiento. ➤ Respuesta lenta. ➤ Su ubicación puede ser puntual o en línea. Los puntuales sensan sobre el riesgo y los de línea sensan a lo largo de toda la longitud. 	Temperatura	<p>Se activa cuando la temperatura del sensor alcanza niveles altos de temperatura debido al incendio.</p> <p>Los elementos de sensado pueden ser: bimetálicos, de conductividad eléctrica, de aleación fusible, cable sensitivo al calor, entre otros.</p>
		Compensados de velocidad	<p>Se activa cuando la temperatura del aire alrededor del sensor alcanza un nivel determinado independientemente de la variación del incremento de temperatura.</p>
		Incremento de variación	<p>Activado cuando la temperatura aumenta con una velocidad que excede una cantidad predeterminada.</p>
HUMO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Responden a productos visibles e invisibles de la combustión que se producen en la segunda etapa del fuego. 	Por ionización	<p>Activado cuando las partículas de humo penetran en una cámara ionizada por la presencia de una pequeña cantidad de material radioactivo, disminuyendo la conductancia del aire pues se adhiere a los iones causando así una reducción en la movilidad de iones.</p> <p>Son sensibles a partículas invisibles (partículas menos de 1micrón) producidas por la mayoría de fuegos inflamables.</p> <p>Usualmente de disposición puntual.</p>

TABLA 4.7 Continuación

HUMO		Fotoeléctrico por dispersión de luz	El sensor se activa cuando las partículas entran en la luz, la cual se dispersa sobre el dispositivo fotosensible provocando la respuesta del detector. Sensibles a partículas visibles (mayores a 1 micrón) producido por fuegos lentos. Usualmente son de disposición puntual.
		Fotoeléctrico por oscurecimiento de luz	Cuando el haz de luz se interrumpe por el ascenso del humo, ésta se dirige a una fotocélula, algunos de los rayos son dispersados por reflexión y refracción dentro del sensor. Son de disposición tipo en línea.
		Fotoeléctrico por cámara de niebla	Activado cuando el humo entra a una cámara de alta humedad dentro del detector, la humedad se condensa sobre las partículas de humo.
LLAMA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sensibles a reaccionar ante la energía radiante del fuego, ya sea visible o invisible para el ojo humano. ➤ Respuesta rápida, utilizada en zonas altamente peligrosas. ➤ Diseñados para operar en ambientes iluminados. 	Ultravioleta (UV)	Se activa al localizar la energía incidente en una célula fotoeléctrica, sensible a esa energía infrarroja. RANGO DE DETECCIÓN: entre 1850 a 2490 Amstrons. VELOCIDAD DE RESPUESTA: 10 milisegundos.

TABLA 4.7 Continuación

LLAMA	Infrarroja de frecuencia individual (IR)	<p>RANGO DE DETECCIÓN: entre 0,76 a 220 micrones.</p> <p>Usa una o varias fotoceldas para detectar emisiones infrarrojas que emiten los fuegos, incorpora un filtro pasabanda de baja frecuencia de 1 a 20 Hz.</p> <p>VELOCIDAD DE RESPUESTA: 3 a 5 s.</p>
	Ultravioleta Infrarroja (UV/IR)	<p>Consiste en un sensor UV y un sensor IR adaptados en una unidad, la alarma de fuego se produce solamente cuando ambos sensores lo detectan.</p> <p>VELOCIDAD DE RESPUESTA: 1 a 5 s.</p>
	Infrarrojo de Frecuencia Dual	<p>Consta de dos sensores IR equipados con filtros pasabanda diferentes que permiten solamente longitudes de onda de radiación al ser alcanzadas por los sensores.</p> <p>VELOCIDAD DE RESPUESTA: 1 a 5 s.</p>

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

Para la selección de detectores por tipo de Instalación se hace referencia la guía de selección de la norma SHI-022⁹(Anexo A-7), que nos servirá de pauta para contemplar el tipo de detectores a emplear.

TABLA 4.8: Selección de detectores por tipo de instalación

GUIA PARA LA SELECCIÓN DE DETECTORES POR TIPO DE INSTALACIÓN			
INSTALACIÓN	TIPO DE DETECTOR		
	CALOR	HUMO	LLAMA
Plantas de Proceso	X		X
Estaciones de Generación Eléctrica		X	X
Estaciones de Bombeo	X		X
Islas de Carga	X		X
Instalaciones Portuarias	X		X
Estaciones de Flujo	X		X
Tanques de Almacenamiento	X		X
Salas de Control		X	
Salas de Cómputo/Almacenamiento de datos		X	
Centros de Distribución de Potencia Eléctrica		X	
Centro de Control de Motores		X	
Cuarto de Interruptores		X	
Laboratorios	X	X	
Bodegas:			
a) Madera y papel		X	X
b) Plásticos		X	
c) Alimentos		X	
d) Metales	X		
e) Líquidos y Gases Inflamables		X	X

⁹ Norma Petroecuador SHI-022, Sección 7.4 Sistema de alarma de Incendios.

TABLA 4.8 Continuación

Talleres de Pintura	X		
Sala de Reproducción/Archivo de Documentos		X	

Fuente: Compendio de Normas de Seguridad e Higiene Industrial, Norma SHI-022.

4.5.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

El sistema de protección de detección y alarma a implementarse debe ofrecer una alta confiabilidad, tiempos de respuesta óptimos a eventos no deseados, la identificación de la zona de alarma activada así la activación de los diferentes sistemas de extinción actuales y propuestos.

Los elementos primarios de seguridad total lo constituyen los detectores de fuego, detectores de gas combustible, las estaciones manuales, los cuales son fundamentales para determinar la activación de los sistemas de prevención y extinción de incendios, sistemas de alarma y bloqueo, así como el comando de los grupos motobombas contra incendios.

Para el diseño del Sistema de Protección a implementarse, se vincula éste a un controlador electrónico, el cual permitirá procesar la información y generar señales de salida garantizando así la protección de los equipos, al personal y al ambiente.

El sistema deberá estar compuesto de equipos (HARDWARE: dispositivos de entrada y salida, microprocesadores, comunicaciones, etc.) y programas (SOFTWARE: facilidades que permiten la configuración, pruebas y diagnóstico del sistema) que permitirán una operación más segura y confiable, detección inmediata de un conato de incendio, generación de paradas automáticas de emergencia de los diferentes equipos, activación de dispositivos de alarmas visual y sonora para cada área, así como su accionamiento manual en caso de ser necesario.

4.5.2 SISTEMAS PARTICULARES DE DETECCIÓN

El sistema a implementarse estará constituido en sí por:

- Detectores de llama.
- Detectores de humo.
- Detectores de gas combustible.
- Estaciones manuales de alarma.
- Controlador.

En el **Anexo B-5** se puede apreciar la distribución de los detectores de llama, gas combustible, además de la distribución propuesta de las estaciones manuales de alarma.

4.5.2.1 Detectores de Llama

Los detectores de llama serán instalados en donde exista un riesgo significativo de ocurrencia de incendio, tales como Separadores (Zona A), áreas de almacenamiento (Zona B), Tanques de diesel y Generadores (Zona H), Caseta de Bombas (Zona D), Unidades ACT (C), lo que conllevaría a daños materiales y humanos.

Se deben fijar de manera de que haya una visual directa y sin obstrucciones entre el detector y el área que se desea proteger.

Se utilizarán detectores de flama multiespectro por su alta velocidad de detección punto a punto, diseñado como detector de alta resistencia con un énfasis especial en la inmunidad a falsas alarmas. Su localización y espaciamiento serán dadas por el fabricante del detector.

Del catálogo de detectores de incendio DET-TRONICS, escogemos el modelo X3301 Multiespectrum IR Flame Detector, detector de flama que consiste en sensores IR

asociados al circuito de procesamiento de señales.un sensor IR (infrarrojo) de frecuencia individual sensitivo a una banda angosta de radiación alrededor del rango de 4.4 micrones (banda de emisión en fuegos de combustibles de hidrocarburos).

El detector IR responde solamente a fuegos de hidrocarburos, líquidos, gases y sólidos, con la más amplia gama de cobertura de detección en combinación con el más alto nivel de inmunidad de falsas alarmas.

TABLA 4.9: Características principales del detector de llama Multiespectrum

DETECTOR DE LLAMA	
MODELO	X3301
TIPO	Multiespectrum IR
TEMPERATURA PROMEDIA DE TRABAJO	-55°C a +85°C
TEMPERATURA DE TRABAJO	-40°C a +75°C
TIEMPO DE RESPUESTA	1 s

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

4.5.2.2 Detectores de Humo

Los sistemas de detección de humo serán utilizados principalmente en áreas cerradas como oficinas, laboratorios, bodegas, dormitorios, dispensarios, cocina, comedor, carpintería, salas de computación, entre otros lugares confinados, por su bajo riesgo de ocurrencia de incendio.

En el presente rediseño no se evalúa la disposición de estos detectores debido a que en la sectorización en la estación no existen áreas cerradas.

Este tipo de detectores son los más recomendables para la detección de incendios de materiales en sólidos y en equipos eléctricos.

4.5.2.3 Detectores de Gas Combustible

Los sistemas fijos de detección de gas combustible serán indispensables de emplearse en lugares donde exista la posibilidad de fugas con acumulación de gases o vapores inflamables o derrame de hidrocarburos líquidos que pudieran encenderse.

Los detectores que se deberán implementar en la estación deberán ser del tipo infrarrojo (IR), debido a que permiten la detección de gases tales como: hidrógeno, metano, propano, butano, etc., y cientos de vapores de hidrocarburos inflamables de una manera altamente confiable y con un tiempo de respuesta menor a 5 segundos.

Este tipo de detectores deberá ser implementado en la zona de Compresores de Gas Lift (zona F), en la zona de Separadores (zona A), y en las Botas de Gas, los cuales al igual que los otros tipos particulares de detección deben ser monitoreados continuamente desde la Estación Central para prever situaciones de riesgo.

Del catálogo de detectores de gas combustible de DET-TRONICS, debido a que el sensor de infrarrojos digital emplea un simple pero efectivo diseño óptico por lo que es una excelente opción para los ambientes más extremos y de alto riesgo, aplicaciones industriales tanto en interiores como al aire libre.

El detector de gas IR PIRECL provee un monitoreo continuo de gases inflamables de hidrocarburos con un límite de exposición del 0 al 100%.

TABLA 4.10: Características principales del detector de gas DET-TRONICS

DETECTOR DE GAS COMBUSTIBLE	
MODELO	PIRECL
TIPO	IR
RANGO DE SENSITIVIDAD ESPECTRAL	0 a 100% LEL(Límite explosivo bajo)

TABLA 4.10 Continuación

TEMPERATURA DE TRABAJO	-40 °C a 75 °C
TIEMPO DE RESPUESTA	Menor a 30 s
SEÑAL DE SALIDA	4 a 20 mA

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

4.5.2.4 Estaciones Manuales de Alarma

Son otro elemento primario de detección y deberán ser ubicados en sitios visibles en las áreas de gran potencial de riesgo de incendio, tales como: área de almacenamiento (Zona B) y Bombas (Zona D y E), área de generación eléctrica, cuarto de control, laboratorios, edificaciones, etc.

Se colocarán en las vías normales de salida del área protegida, de acuerdo a los siguientes criterios establecidos en la norma Petroecuador SHI – 022: “Sistemas Automáticos de Detección y Alarma de incendios”:

- En las áreas de procesos al aire libre, se ubicarán en la periferia de la instalación, junto a las vías normales de paso y en el exterior de las salidas del edificio de control.
- La distribución de las estaciones manuales, se realizará de forma que la distancia máxima de recorrer para su accionamiento sea de 40 metros en áreas de proceso y de almacenamiento.

Además en la norma SHI-022¹⁰ se especifican ciertos criterios en cuanto a la instalación.

¹⁰ Norma Petroecuador SHI-022, Sección 7.4.2

Los sistemas de alarma de incendios serán de tipo visual y sonoro, local y remoto, programados para generar alarmas audibles de notificación de alerta al personal en situaciones críticas.

La activación de alarmas auditivas y sonoras se da mediante la emisión de radiaciones de la llama, las cuales son captadas por los detectores UV/IR a través de las líneas de transmisión que llevan esta señal hacia la central de señalización, además del encendido de los grupos del sistema fijo contra incendio (agua y espuma), así como la apertura y cierre de las válvulas del Sistema Contra Incendios.

Del Catálogo EDWARDS se seleccionó la estación manual de alarma XAL-53, debido a que es muy recomendable en locaciones peligrosas donde existe la presencia de gases o vapores inflamables, fibras inflamables. Se suele instalar en refinerías, plantas petroquímicas, en nuestro caso se ubicará en los Compresores de Gas Lift y Separadores

TABLA 4.11: Características de la estación manual XAL-53

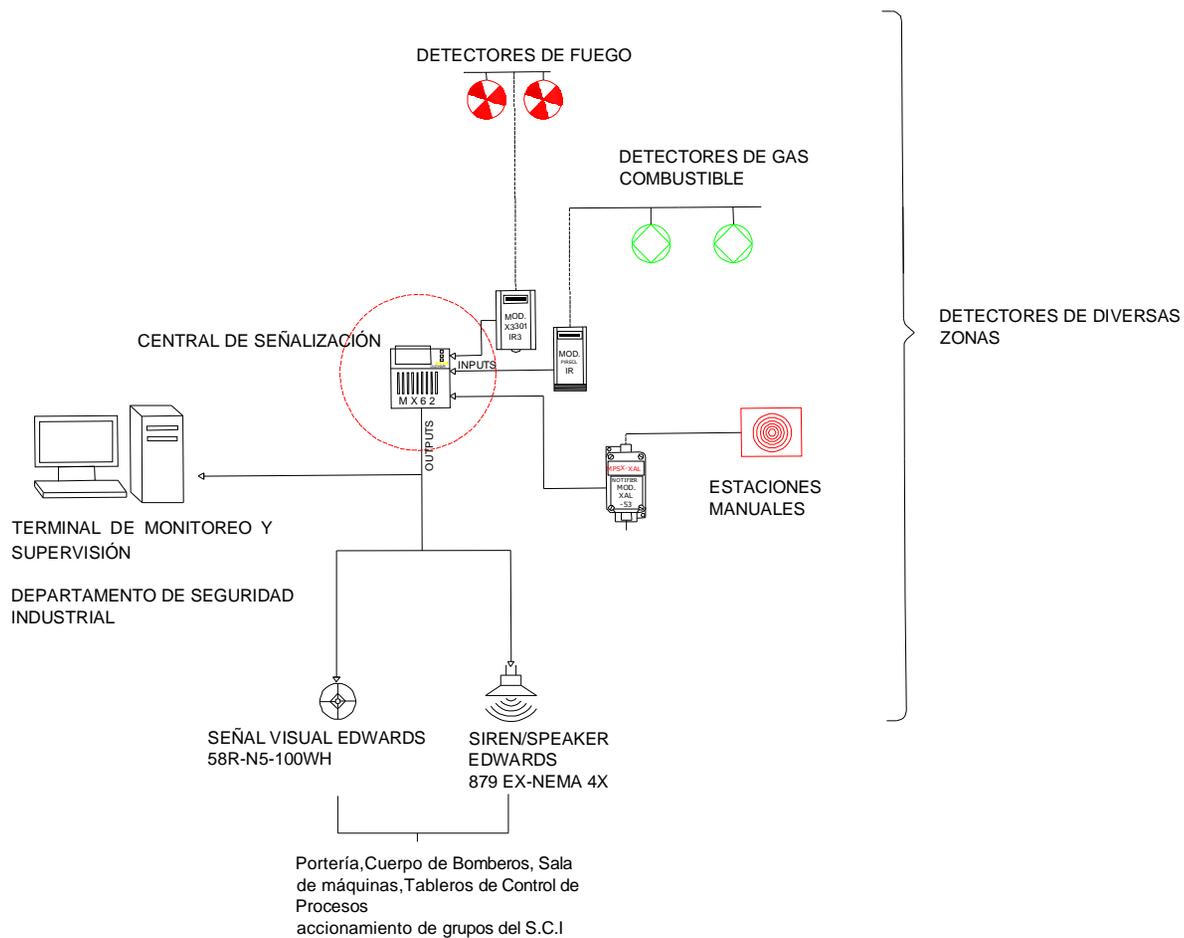
ESTACIÓN MANUAL DE ALARMA	
MODELO	XAL-53
COLOR	ROJO
VOLTAJE	120 V
AMPERAJE	10 A

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

4.5.2.5 Controlador

El control y monitoreo de los riesgos, como se mencionó anteriormente, se realizará por medio de un controlador lógico programable (PLC) el cual estará en una central de señalización o panel de control con luces y botones, permitiendo la interacción hombre-máquina para el control de eventos, el diagrama del monitoreo se puede apreciar en la figura 4.4.

Figura 4.4: Central de Señalización



Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch

El funcionamiento de la central de señalización una vez que se presenta la llama, las radiaciones de ésta captadas por los detectores IR3, a implementarse, a través de las líneas de transmisión llevan la señal hasta la central de señalización.

La Central acciona las diversas alarmas (sonoras y visuales) hacia la portería, cuerpo de bomberos, sala de máquinas y tableros de control de los procesos, permitiendo además el encendido de los grupos de agua y espuma contra incendios, abrir y cerrar las válvulas según el sector incendiado y den la señal de incendio al cuerpo de brigadistas y operadores para poner en marcha el plan de emergencia.

A continuación se detalla las alarmas sonoras y visuales marca EDWARDS que se propone ubicar dentro de la estación.

TABLA 4.12: Características de alarma sonora

A L A R M A S O N O R A	
MODELO	879 EX
TIPO	NEMA 4X
VOLTAJE	24 VDC
AMPERAJE	0,16
CARACTERISTICA	RESESTENTE A LA CORROSIÓN

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

TABLA 4.13: Características de alarma visual

A L A R M A V I S U A L	
MODELO	58R-N5-100WH
TIPO	NEMA 4X
COLOR DE FOCO	ROJO
RPM	75
VOLTAJE/FRCUENCIA/AMPERAJE	120 V AC/50-60 Hz/1 A

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

Para una mejor comprensión del rediseño del Sistema Contra Incendios se presenta los resultados obtenidos de los cálculos realizados en la Tabla 4.14.

TABLA 4.14: Resumen del dimensionamiento del Sistema Contra Incendios

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL DE PETROPRODUCCIÓN			
TANQUE DE MAYOR RIESGO	Características		Diámetro = 132 pies Altura = 42 pies Capacidad= 100.000 Bls
-Tanque de Oleoducto	Área de protección anular (AT)	$AT = \pi (D_e^2 - D_i^2) / 4$	AT = 3832,74 pies²
REQUERIMIENTO DE ESPUMA	Volumen de agua para la formación de solución agua-espuma (Va)	$Va = Vae - Ve$ Donde: Vae= Volumen total agua-espuma $Vae = Qac + V2$ Qac= Requerimiento de solución agua-espuma Qac= Tasa de aplicación * AT Qac = 63240,26 galones agua-espuma V2= cantidad agua-espuma por protección adicional V2= descarga mínima * número de mangueras* t mínimo V2= 4500 galones agua-espuma Ve= Volumen de concentrado de espuma Ve= Vae * % concentrado Ve= 2032,21 galones de concentrado de espuma $Qe = Ve / t \text{ aplicación}$	Va = 1504 Bls
	Capacidad del Tanque		Qe = 36,94 GPM
	Proporcionador de Espuma (Qe)	Características	MODELO : 2" RCT BOMBA : 15 GPM
			POT. MOTOR : 5 HP

TABLA 4.14 Continuación

	Formador(es) de Espuma	Qae = Capacidad del formador de espuma $Q_{ae} = Q_{ac} + V_2$	Qae = 1300 GPM
		Características	MODELO : PHP-30A (FIJO)
			CAPACIDAD : 300 GPM
			NÚMERO DE FORMADORES: 5
REQUERIMIENTO DE AGUA	Caudal de agua necesario (QT)		QT = 2500 GPM
	Volumen de agua requerida (VT)		VT = 13000 Bls
	Características	Características de la Bomba	POTENCIA : 230 HP ~ 250 HP
			MODELO: 8AE17/CENTRÍFUGA HORIZONTAL
			MARCA: MARK PEERLESS
Características del Motor	POTENCIA: 270 HP		
DIÁMETROS DE TUBERÍA	Sistema de agua		Φ = 12 "
	Sistema de agua-espuma		Φ = 8 "
RESUMEN DE REQUERIMIENTOS		Cantidad Total de Agua	13000 Bls.
		Potencia de la Bomba	250 HP
		Cantidad Total de solución Agua-Espuma	1612,86 Bls.
		Cantidad de Líquido Espumógeno	48,39 Bls.
		Capacidad del Tanque de Espuma	2032,21 Galones de concentrado de espuma

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

De manera simultánea al igual que los sistemas de detección y control se debe tener un plan de emergencia en caso de existir problemas en las diferentes zonas de peligro.

4.6 PROCEDIMIENTO DURANTE UNA EMERGENCIA

➤ **Manifolds**

- 1.- Alertar e informar de emergencia.
- 2.- Aislar el Manifold afectado con el cierre de válvulas.
- 3.- Controlar la emergencia a través del sistema de agua espuma (monitores).

➤ **Separadores**

- 1.- Alertar e informar de emergencia.
- 2.- Aislar los Separadores afectados con el cierre de válvulas.
- 3.- Aislar el separador afectado con el cierre de válvulas.
- 4.- Activar el Sistema Contra Incendios.
- 5.- Controlar la emergencia a través del sistema de agua espuma (monitores).

➤ **Tanques**

- 1.- Alertar e informar de emergencia.
- 2.- Aislar los Tanques afectado con el cierre de válvulas.
- 3.- Cerrar todas las válvulas de entrada de crudo al tanque afectado
- 4.- Apagar todos los equipos y pozos.
- 5.- Verificar que las válvulas de los canales de drenaje del cubeto estén cerradas.
- 6.- Activar el Sistema Contra Incendios.
- 7.- Evaluar la situación para las acciones de control.
- 8.- Controlar y extinguir la emergencia con el sistema de inyección de agua espuma.

9.- Enfriar con chorros de agua las instalaciones cercanas.

➤ **Bombas Act**

- 1.- Alertar e informar de emergencia.
- 2.- Apagar las Bombas.
- 3.- Cerrar línea de succión de las Bombas.
- 4.- Activar el Sistema Contra Incendios.
- 5.- Informar de la emergencia.
- 6.- Controlar la emergencia a través del sistema de agua espuma (monitores).
- 7.- Enfriar áreas circundantes.

➤ **Piscinas**

- 1.- Alertar e informar de emergencia.
- 2.- Informar sobre la emergencia.
- 3.- Bloquear cualquier filtración de crudo.
- 4.- Construir muros de contención provisionales, para controlar desbordamientos.
- 5.- Activar el Sistema Contra Incendios.
- 6.- Controlar la emergencia a través del sistema de agua espuma.
- 7.- Movilizar equipos portátiles al sitio de emergencia (autobomba, extintores).

CAPÍTULO V

ANÁLISIS COSTO–BENEFICIO DEL PROYECTO

En este capítulo se mencionarán todos los equipos necesarios para la actualización del Sistema Contra Incendios de la Estación de Producción Shushufindi Central planteados, con sus respectivos precios unitarios y características generales.

El objetivo de realizar el análisis costo-beneficio de este proyecto es demostrar mediante el Método Dow, que la inversión que conlleva la actualización del Sistema Actual Contra Incendios es justificada por el grado de seguridad y protección brindada a las zonas de la Estación, con las que se trata de minimizar al máximo posibles condiciones de peligrosidad.

5.1 TÉCNICA EMPLEADA

Una vez realizado el cálculo del índice de fuego y explosión (IFE) mediante el Método Dow desarrollamos los siguientes pasos:

1. Se determina el factor de daño (FD) (que representa el tanto por uno, del valor en dólares) que se estima destruido dentro del radio de exposición (RE) a partir de los factores de materiales (FM) y el factor de riesgo (F3) con ayuda de la figura mostrada en el [Anexo A-8](#). Se obtiene la Tabla 5.1

TABLA 5.1: Factor de daño mediante el método de Dow

EQUIPOS	FM	F3	FD
Tanque de Oleoducto	16	11,66	1
Tanque de Reposo	16	8,84	0,68

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

2. Cálculo del Radio de Exposición (RE) y cálculo del Área de exposición (AE) de las principales áreas de alto riesgo para lo cual se utiliza la figura mostrada en el **Anexo A-9**, denominadas así por el cálculo del IFE realizado en el capítulo 3. Se ilustra en la tabla 5.2.

El AE representa o da una idea de la parte afectada por un incendio o una explosión generada en la Unidad de Proceso estudiada.

TABLA 5.2: Cálculo de área de exposición

EQUIPOS	IEF	RE(m)	AE(m²) = 3,14 (RE)²
Tanque de Oleoducto	186,48	47,55	7099,5
Tanque de Reposo	141,44	35,36	3926

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

3. Se establece el factor de escala (FE), el cual representa el tanto por uno del área o superficie expuesta respecto a la superficie total de la planta (AP) de 142000 m².

$$FE = \frac{AE}{AP}$$

El cálculo de FE se indica en la Tabla 5.3

TABLA 5.3: Factor de escala

EQUIPOS	FE
Tanque de Oleoducto	0,05
Tanque de Reposo	0,03

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

4. Se realiza la valoración económica del valor de reposición del equipo (VS) incluido dentro del área expuesta.

$$VS = 0,82 \times FE \times \text{Valor de la instalación}$$

Donde el coeficiente 0,82 es para descontar elementos que no se destruyen como: obra civil, preparación de terreno, gastos de proyectos, etc., y donde el valor de instalación considera el capital inmovilizado original presente en cada zona de mayor riesgo según el método de análisis.

Los valores de la instalación a considerar fueron obtenidos de los registros contables de la Estación Shushufindi Central de Petroproducción.

TABLA 5.4: Valor de reposición

EQUIPOS	VS (USD)
Tanque de Oleoducto	883473
Tanque de Reposo	530083,8

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

5. Se calcula el valor básico (en dólares) del daño máximo probable a la propiedad (DMPPo).

$$DMPPo = FD \times VS$$

TABLA 5.5: Valor de daño a la propiedad

EQUIPOS	DMPPo(USD)
Tanque de Oleoducto	883473
Tanque de Reposo	360457

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

6. Se cuantifica la influencia beneficiosa de las medidas de protección existentes o previstas en la planta mediante la Tabla de coeficientes para bonificar (Anexo A 10), con lo cual se calcula los factores de bonificación (FB) y el

factor de bonificación efectivo(FBE)(Anexo A 11) para lo cual se deben tener presente los siguientes conceptos:

Control de proceso (C1): Se considera energía de emergencia, refrigeración, control de explosiones, parada de emergencia, control por ordenador, disponibilidad de gas inerte, manuales de operación, programas de revisión de procesos y operaciones.

Seccionamientos de proceso (C2): Se consideran válvulas de control remoto, vaciado o despresurización, drenajes, enclavamientos.

Defensa contra incendios(C3): Detectores, protección de estructuras, Tanques enterrados, suministro de agua contra incendios, sistemas especiales (Halón, CO₂, detectores de humos y de llama), rociadores, cortinas de agua, sistema de espuma contra incendios, extintores manuales, protección de cables eléctricos y de instrumentación.

Los factores C1, C2 y C3 siempre poseen valores menores que la unidad y variables desde 0,74 a 0,99.

TABLA 5.6: Factor de Bonificación antes de las modificaciones

Control del proceso	
Generador eléctrico para emergencia	0,98
Refrigeración	0,98
Manuales de operación	0,91
Inertización	0,94
Revisión química del reactivo	0,91
Control de explosiones	0,88
C1= 0,66	
Seccionamiento de proceso	
Vaciado o despresurización	0,97

TABLA 5.6 Continuación

Drenajes	0.93
C2=0,90	
Defensa contra incendios	
Estructuras de acero protegido	0,96
Suministros de agua	0,95
Sistema de espuma	0,93
Extintores y monitores manuales	0,96
Cables protegidos	0,95
C3=0,77	

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

$$FB = C1 \times C2 \times C3$$

$$FB = 0,66 \times 0,90 \times 0,77$$

$$FB = 0,46$$

$$FBE = 0,60$$

7. Se calcula el daño máximo probable a la propiedad (DMPP) expresado en unidades monetarias.

$$DMPP = DMPPo \times FBE$$

TABLA 5.7: Cálculo de DMPPo

EQUIPOS	DMPP(USD)
Tanque de Oleoducto	530083,8
Tanque de Reposo	216274,2

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch

8. Se establecen los días (tiempo) de parada probable de la producción (PPP), debido a reparaciones acopios, falta de suministro de materias primas a otras unidades, etc. (Anexo A-12).

TABLA 5.8: Parada probable de producción

EQUIPOS	PPP(días)
Tanque de Oleoducto	15
Tanque de Reposo	8

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

9. De determina el lucro cesante(LC) que se define como el costo asociado a la paralización de la actividad y se expresa en unidades monetarias, empleando la siguiente fórmula.

$$LC = 0,70 \times PPP \times \frac{VAP}{365,25}$$

$$\frac{VAP}{365,25} = \text{costo de barril} \times \text{producción diaria}$$

Siendo VAP el valor anual de la producción interrumpida, expresada en las mismas unidades monetarias que LC y DMPP. Los cálculos se indican en la siguiente Tabla.

TABLA 5.9: Determinación del lucro cesante

EQUIPOS	PPP(días)	$\frac{VAP}{365,25}$	LC(USD)
Tanque de Oleoducto	15	851070	8936235
Tanque de Reposo	8	851070	4765992

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

10. Se establecen las pérdidas probables totales (PPT) el cual se define como resultado económico del riesgo según Dow y permite establecer la rentabilidad de las inversiones en seguridad.

$$PPT=DMPP + LC$$

TABLA 5.10: Cálculo de PPT

EQUIPOS	PPT(USD)
Tanque de Oleoducto	9466318,8
Tanque de Reposo	4982266,2

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O. Piruch.

De manera análoga se procede a realizar los cálculos de las pérdidas totales de las pérdidas después de las mejoras desde el factor de bonificación.

11. Factor de bonificación

$$FB = C1 \times C2 \times C3$$

TABLA 5.11: Factor de Bonificación después de las modificaciones

Control del proceso	
Generador eléctrico para emergencia	0,98
Refrigeración	0,98
Manuales de operación	0,99
Inertización	0,94
Parada de emergencia	0,98
Revisión química del reactivo	0,95
Control por ordenador	0,98
Control de explosiones	0,95
C1= 0,77	
Seccionamiento de proceso	
Vaciado o despresurización	0,97
Válvulas a control remoto	0,97
Drenajes	0,96
C2=0,90	

TABLA 5.11 Continuación

Defensa contra incendios	
Estructuras de acero protegido	0,96
Suministros de agua	0,97
Sistema de espuma	0,96
Extintores y monitores manuales	0,98
Cables protegidos	0,96
Detección de fugas	0,97
C3=0,81	

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

$$FB = C1 \times C2 \times C3$$

$$FB = 0,77 \times 0,90 \times 0,81$$

$$FB = 0,56$$

$$FBE = 0,72$$

12. Daño máximo probable a la propiedad (DMPP)

TABLA 5.12: Cálculo de DMPP después de las modificaciones

EQUIPOS	DMPP(USD)
Tanque de Oleoducto	636100,56
Tanque de Reposo	259529

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

13. Parada probable de la producción (PPP)

TABLA 5.13: Parada probable de producción después de las modificaciones

EQUIPOS	PPP(días)
Tanque de Oleoducto	17
Tanque de Reposo	9

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

14. Lucro cesante(LC)

TABLA 5.14: Determinación del lucro cesante después de las modificaciones

EQUIPOS	PPP(días)	$\frac{VAP}{365,25}$	LC(USD)
Tanque de Oleoducto	17	851070	10127733
Tanque de Reposo	9	851070	5361741

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

15. Pérdidas probables totales (PPT)

TABLA 5.15: Cálculo de PPT después de las modificaciones

EQUIPOS	PPT(USD)
Tanque de Oleoducto	10763833,56
Tanque de Reposo	5621303

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

Para continuar con el análisis se procede a realizar dos Tablas donde se muestra las pérdidas totales antes y después de las mejoras para posteriormente calcular la rentabilidad o beneficio de la actualización del Sistema Contra Incendios propuesto.

TABLA 5.16: Pérdidas probables antes de las mejoras

Pérdidas probables antes de las modificaciones (PPT1)		
Factores	Tanque de Oleoducto	Tanque de Reposo
Índice de fuego y explosión (IFE)	186,48	141,44
Valor de capital inmovilizado original	1077406,1	646443,7
Valor total de la estación Shushufindi Central	21548121,8	21548121,8
Radio de exposición(RE) en m	47,55	35,36
Área expuesta (AE) en m ²	7099,5	3926
Área total de la estación (AP) en m ²	142000	142000

TABLA 5.16 Continuación

Factor de escala (FE)	0,05	0,03
Valor de reposición del equipo afectado(VS)	883473	530083,8
Factor de daño(FD)	1	0,68
Daño máximo probable a la propiedad(DMPP _o)	883473	360457
C1	0,66	0,66
C2	0,90	0,90
C3	0,77	0,77
Factor de Bonificación(FB=C1 x C2 x C3)	0,46	0,46
Factor de Bonificación efectivo (FBE)	0,60	0,60
Daño máximo probable a la propiedad(DMPP)	530083,8	216274,2
Parada probable de la producción(PPP) en días	15	8
Producción diaria de la Estación SSF en Bls/día	15474	15474
Costo del barril del petróleo (USD)	55	55
Valor diario de la producción interrumpida(VAP/365,25) en USD	851070	851070
Lucro cesante(LC) en USD	8936235	4765992
Pérdidas probables totales(PPT ₁) en USD	9466318,8	4982266,2

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch

TABLA 5.17: Pérdidas probables después de las mejoras

Pérdidas probables antes de las modificaciones (PPT1)		
Factores	Tanque de Oleoducto	Tanque de Reposo
Índice de fuego y explosión (IFE)	186,48	141,44
Valor de capital inmovilizado original	1077406,1	646443,7
Valor total de la estación Shushufindi Central	21548121,8	21548121,8
Radio de exposición(RE) en m	47,55	35,36
Área expuesta (AE) en m ²	7099,5	3926
Área total de la estación (AP) en m ²	142000	142000
Factor de escala (FE)	0,05	0,03
Valor de reposición del equipo afectado(VS)	883473	530083,8

TABLA 5.17 Continuación

Factor de daño(FD)	1	0,68
Daño máximo probable a la propiedad(DMPP _o)	883473	360457
C1	0,77	0,77
C2	0,90	0,90
C3	0,81	0,81
Factor de Bonificación(FB=C1 x C2 x C3)	0,56	0,56
Factor de Bonificación efectivo (FBE)	0,72	0,72
Daño máximo probable a la propiedad(DMPP)	636100,56	259529
Parada probable de la producción(PPP) en días	17	9
Producción diaria de la Estación SSF en Bls/día	15474	15474
Costo del barril del petróleo (USD)	55	55
Valor diario de la producción interrumpida(VAP/365,25) en USD	851070	851070
Lucro cesante(LC) en USD	10127733	5361741
Pérdidas probables totales(PPT ₂) en USD	10763833,56	5621303

Elaboración: Johana J. Carrión y Alex O.Piruch.

16. Se calcula la rentabilidad del proyecto comparando los valores de PPT antes y después de las mejoras.

$$R = \frac{PPT_2 - PPT_1}{\text{inversión}} \times 100$$

$$R = \frac{10763833,56 - 9466318,8}{1547374,43} \times 100$$

$$R=83,85\%$$

Este valor significa que se incrementaría en un 83,87% la seguridad con respecto a la inversión según el análisis del método Dow.

El valor total de la inversión se encuentra en el **Anexo A-13**.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema de extinción de incendios de la Estación Shushufindi Central actualmente no cumple con los requerimientos mínimos y necesarios para la extinción de incendios, por lo cual es imprescindible considerar los lineamientos indicados en el presente proyecto para minimizar los riesgos de incendios en la estación.
- El sistema de detección de fuego y gas combustible a implementarse deberá instalarse correctamente en cada una de las zonas de riesgo y funcionar automáticamente al momento de localizar un foco de incendio, el cual será monitoreado en las salas de control para la efectiva y rápida descarga de los diferentes agentes extintores.
- Los agentes de extinción propuestos a instalar en cada zona se hizo en función del tipo de fuego que puede suscitarse, se implementaron: 4 extintores de CO₂ de 20 Lbs., 5 extintores PQS de 150 Lbs., 7 extintores PQS de 30 Lbs., además de elementos fijos de protección, tales como: 6 lanzas de espuma, 9 lanzas de agua, 8 hidrantes con la respectiva ubicación de las casetas de mangueras, ubicados en las diferentes zonas de riesgo.
- La propuesta en las mejoras del Sistema Fijo Contra Incendios, además abarca el cambio de tuberías, accesorios, instalación de detectores de llama (30) y de gas combustible (16), PLC (2), alarma visual (5) y sonora (5),

estaciones manuales (12) las cuales se realizaron de acuerdo con las Normas Petroecuador y NFPA, ubicadas estratégicamente.

- La cantidad de agua necesaria para el sistema de enfriamiento y la formación de espuma deberá ser de 13000 Bls., la capacidad de la Bomba a diesel y eléctrica para esta cantidad de agua deberá ser de 2500 GPM con un motor de 270 HP.
- La cantidad de agua-espuma necesaria para la formación de solución de espuma empleada para la protección de los Tanques de reposo y de lavado mediante la inyección sub-superficial, y para el sistema catenario del Tanque de oleoducto deberá ser de 1613 Bls., para lo cual se necesita un Tanque de concentrado de espuma de 2000 Gls.
- El análisis económico también se lo realizó mediante el Método Dow, obteniéndose un incremento del 83,87% en la seguridad con respecto a la inversión.
- El área de compresores pese a que se maneja una significativa cantidad gas, no es una zona tan riesgosa como se puede evidenciar en el análisis realizado por el método Dow, ya que de existir una fuga de gas solamente se generaría una explosión en el caso de que éste entrase en contacto con las partes calientes del compresor, por lo que se procedería inmediatamente a aislar la zona y no se vería afectado el proceso de producción de la estación.

6.2 RECOMENDACIONES

- Las redes de tubería del sistema de enfriamiento y de agua-espuma deben formar anillos o lazos alrededor de los Tanques para el funcionamiento de los

respectivos hidrantes y lanzas. Los monitores deben estar ubicados a 120° tomando en consideración la dirección del viento.

- En el Tanque de Oleoducto se recomienda ubicar los detectores de fuego a 120°, de manera tal que se cubra en trate de cubrir la totalidad del Tanque.
- Se recomienda elaborar un plan de contingencias y simulacros al menos una vez al mes con el fin de garantizar el adiestramiento del personal de toda la planta.
- Se recomienda incluir electro válvulas para la automatización de los sistemas de detección y alarma para un mejor control mediante su monitoreo permanente de las señales emitidas por tales dispositivos.
- Se debe reemplazar la válvula tipo mariposa existente en la succión de la bomba por una válvula de vástago ascendente para evitar el cierre de la misma causado por su interposición en el flujo, además de eliminar las conexiones en el tanque de agua que no sean para el servicio de protección contra incendios.
- Instalar un indicador del nivel de agua con el fin de medir la totalidad de la altura del agua en Tanque, de tal manera que siempre se mantenga el mismo nivel mediante un sistema automático de llenado.
- Fabricar un dique alrededor del Tanque de diesel para albergar el 130% de su capacidad, minimizando el riesgo de contaminación y de la ocurrencia de eventos no deseados.
- El filtro en el suministro del sistema de espuma deberá ser colocado correctamente a fin de que los sólidos sean recolectados por decantación y se efectúe la limpieza del mismo.

- Se debe revisar periódicamente el PQS de los extintores con el fin de evitar la formación de grumos que retrasaría el proceso de protección de los equipos.
- El Tanque de almacenamiento de agua actual de 5000 Bls. se mantendrá puesto a que la fuente de suministro de agua es cercana a la estación, lo cual garantiza el abastecimiento del mismo, por lo que la construcción de un Tanque de 13000 Bls. significaría un gasto innecesario en la inversión del proyecto.
- Se debe realizar el mantenimiento respectivo de los cubetos para que el cual no exista vegetación y proliferación de insectos u otros animales y su respectivo drenaje de agua de lluvias.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Poveda Vargas Julio César, y Gutiérrez Riveros Lilia, QUÍMICA I. Ediciones Maya. 1994.
- Westaway C.R. & Loomis A.W., CAMERON HYDRAULIC DATA, 1984.
- Handley William, MANUAL DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, Primera Edición, 1980.
- Storch de Gracia, MANUAL DE SEGURIDAD INDUSTRIAL EN PLANTAS QUÍMICAS Y PETROLERAS, 1998.
- Petroproducción, MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD EN PETROPRODUCCIÓN, 2004.
- National Fire Protection Association, Seminario de Protección Contra Incendios.
- Grimaldi V. John, LA SEGURIDAD INDUSTRIAL-SU ADMINISTRACIÓN, Segunda Edición en Español, 1989.
- Almeida Hernández Jorge Patricio, LA INGENIERÍA APLICADA A LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO, 1974.
- Báez Arias Gonzalo Antonio, CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL DE UN TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO, 1996.
- Murillo Calles Francisco, ESTUDIO Y APLICACIONES DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS A LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y A LA INSPECCIÓN TÉCNICA EN LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS, 1982.
- Dávila S. Edmundo R. y Robalino L. Freddy F., CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO TIGUINO, 1988.
- Puente Vargas Stalin, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN CONONACO, 2000.

- Lema Julio, IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS LABORABLES EN EL ÁREA ENERGETICA EN EL CAMPO LAGO AGRIO DE PETROPRODUCCIÓN, 2008.
- Flor García Oswaldo & Rodríguez Páramo Eduardo, DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FIJO CONTRA INCENDIOS DE LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN CUYABENO, 2004.
- Norma Petroecuador SI-006, DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD QUE DEBEN CONTEMPLARSE EN LAS INSTALACIONES PETROLERAS, 1997.
- Norma Petroecuador SI-008, SEÑALES DE SEGURIDAD, 1997.
- Norma Petroecuador PE-SHI-018, SISTEMAS DE AGUA CONTRA INCENDIOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS, 1997.
- Norma Petroecuador PE-SHI-019, SISTEMA DE ESPUMA CONTRA INCENDIOS PARA INSTALACIONES PETROLERAS, 1997.
- Norma Petroecuador PE-SHI-020, SISTEMAS ESPECIALES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS, 1997.
- Norma Petroecuador PE-SHI-022, SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETECCIÓN Y ALARMA DE INCENDIOS, 1997.
- Catálogos DET-TRONICS, Detectores de gas combustible y de fuego.
- Catálogos EDWARDS, Estaciones manuales, alarmas visual y sonora.
- http://www.proteccioncivil.org/eu/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiatec/Metodos_cualitativos/cuali_221.htm
- http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/Ind_Riesgo.htm#Ind_Dow
- <http://www.edwards-signals.com/index.cfm?PG=3&level=8&pid=141&tab=1>
- <http://www.inalarm.com.mx/cgi-bin/Catalogo.pl?lin=F001>
- [www.peocities.com/automatizacion industrial](http://www.peocities.com/automatizacion_industrial)
- www.quiminet.com.mx

ANEXOS

ANEXOS A

ANEXO1: Lista de comprobación para la aplicación del índice DOW de incendio y explosión (6ª edición)

-----DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO

FACTORES GENERALES DE RIESGO

A. Reacciones químicas exotérmicas:

-Hidrogenación.....	0,30
-Hidrólisis.....	0,30
-Isomerización.....	0,30
-Sulfonación (ArH + H ₂ SO ₄ = RSO ₃ H + H ₂ O).....	0,30
-Neutralización (ácido + base).....	0,30
-Alquilación (R + grupo alquilo).....	0,50
-Esterificación (ácido orgánico + alcohol).....	0,50
-Adición (ácido inorgánico + R insaturado):	
-Moderada.....	0,50
-Fuerte.....	0,75
-Oxidación:	
-Proceso de combustión.....	1,00
-Combinación con O ₂	0,50
-Combinación con un agente vigoroso.....	1,00
-Polimerización.....	0,50
-Condensación (R ₁ + R ₂ = R ₃ + H ₂ O, HCl, etc.).....	0,50
-Halogenación (R + halógeno).....	1,00
-Nitración (RH + HNO ₃ = RNO ₂ + H ₂ O).....	1,25

B. Procesos endotérmicos (aplicar sólo a reactores):

-Energía con fuego directo (calcinación, pirólisis).....	0,40
-Energía sin fuego directo (incluido electrolisis).....	0,20
-Pirólisis o cráquing.....	0,20

C. Manejo y transferencia de material:

-Carga y descarga de líquidos con FP <= 37.8 C que implica co (desco) nexión de líneas (ej. mangueras)...	0,50
-Uso de centrifugas, reactores o tanques agitados semiabiertos con materiales inflam. a la temp. de proceso.....	0,50
-Almacenamientos (al exterior o a cubierto):	
-Gases inflamables (botellas, Nf= 3 ó 4).....	0,85
-Líquidos (bidones, garrafas):	
Con FP <= 37.8 C (Nf = 3 ó 4).....	0,85
Con FP entre 37.8 - 60 C.....	0,25
-Sólidos (cajas, sacos, pilas):	
Gránulos <= 40 mm (Nf = 2).....	0,40
Espumas, fibras, polvo (Nf=3).....	0,65
-Factor adicional por ausencia de rociadores.....	0,20

D. Unidades de proceso en zonas cerradas

(3 ó más lados cerrados sin aberturas en las bases):

-Filtros y colectores de polvo combustible.....	0,50
-Equipos que procesan líquidos combustibles:	
-Entre FP - BP.....	****
-A temp. >= BP.....	****
-Factor de reducción por ventilación mecánica adecuada.....	0,50

E. Accesos inadecuados para el equipo de emergencia:

-Área de proceso >= 930 m ² con un sólo acceso.....	0,35
-Almacén >= 2312 m ² con un sólo acceso.....	0,35

F. Drenaje:

-Cubeto sin drenaje.....	0,50
-Terreno plano o sin capacidad de drenaje.....	0,50
-El drenaje afecta a otras unidades o servicios.....	0,50
-Cubeto con drenaje sólo parcialmente adecuado.....	0,25
(El drenaje es plenamente adecuado si:	
i. Pendiente > 2% (tierra) o 1 % (solera)	
ii. Balsa a > 8 m o un diámetro de tanque	
iii. Capacidad balsa > 75% capacidad unidad + agua contra incendios durante 30 min)	

FACTORES ESPECIALES DE RIESGO

A. Toxicidad del material..... ****

B. Operación a vacío (no utilizar C y D):0, 300,00

-Material sensible a la humedad o el O ₂	0,50
-Riesgo de formación de mezclas inflamables.....	0,50

C. Operación en condiciones de inflamabilidad o próximas:

-En tanques de almacenamiento con pulmonación al aire que contienen líquidos con FP <= 37.8 C (Nf = 3 ó 4).....	0,50
-En caso de fallo de instrumentos, equipo o purga.....	0,30
-En procesos u operaciones de forma permanente.....	0,80
-Descarga de cisternas (con líquidos inflamables a la temp. de operación) en circuito cerrado o inertizado.....	0,30

D. Explosión de polvo (partículas<=420 micras según NFPA).... ****

-Factor de reducción por uso de atmósfera de inerte....	0,50
---	------

E. Presión de alivio (válvula seguridad, disco ruptura): Material:

-Líquido inflamable/combustible con FP <= 60 C.....	****
-Muy viscoso (breas, lubricantes, asfaltos).....	****
-Gas comprimido.....	****
-Gas licuado (presión de vapor >= 2.8 bar 37.8 C).....	****

F. Baja temperatura:

-Acero al carbono T < temperatura de transición.....	0,30
-Otros materiales a T < temperatura transición.....	0,20

G. Cantidad de material combustible:

-Líquidos o gases en proceso:	
-MATERIAL ESTABLE de FP<=60C o procesado a temp. >=FP.....	****
-MATERIAL INESTABLE (Nr = 2, 3, ó 4).....	****
-Líquidos o gases en almacenamiento:	
-MATERIAL ESTABLE:	
Gas licuado o gas.....	****
Líquido con FP <= 37.8 C.....	****
Líquido con FP entre 37.8 - 60 C.....	****
-MATERIAL INESTABLE.....	****
-Sólidos en almacenamiento:	
-MATERIAL ESTABLE:	
Anexo I 331	
Densidad >= 160 kg/m ³	****
Densidad < 160 kg/m ³	****
-MATERIAL INESTABLE (Nr >=2).....	****

H. Corrosión y erosión:

-Corrosión < 0.5 mm/año, picaduras o erosión local.....	0,10
-Corrosión entre 0.5 - 1 mm/ año.....	0,20
-Corrosión > 1 mm/año.....	0,50
-Riesgo de rotura por fatiga del material.....	0,75
-Uso de revestimientos para prevenir la corrosión.....	0,20

J. Pérdidas de fluido combustible por cierres y juntas:

-Pérdidas menores en sellos equipos rotativos y juntas.....	0,10
-Pérdida regular en sellos equipos rotativos y juntas.....	0,30
-Procesos con ciclos de presión o temperatura.....	0,30
-Pérdidas de fluidos penetrantes o abrasivos.....	0,40
-Presencia de mirillas o juntas de expansión.....	1,50

K. Presencia de hornos próximos a la unidad de proceso:

-Quemador estándar (cámara a depresión):	
-Material a temp. entre FP - BP.....	****
-Material a temp. >= BP.....	****
-Quemador a sobrepresión. Toma de aire elevada (>3 m):	
-Material a temp. entre FP - BP.....	****
-Material a temp. >= BP.....	****

L. Uso de equipos de intercambio con aceite térmico:

-Temp. operación entre FP - BP del aceite.....	****
-Temp. operación > BP del aceite.....	****

M. Equipos en rotación de gran potencia:

-Unidad de proceso con bomba >= 75 HP (56 kW).....	0,50
-Unidad de proceso con compresor >= 600 HP (447kW).....	0,50
-Agitadores y bombas de circulación cuyo fallo puede desarrollar un proceso exotérmico.....	0,50
-Equipos problemáticos con gran velocidad de giro (centrífugas, etc.).....	0,50

FACTORES DE BONIFICACION POR CONTROL DE PROCESO

a. Energía de emergencia (con conmutación automática) para los servicios esenciales de la unidad.....	0,98
b. Refrigeración durante 10 min. de condiciones anormales:	
-Capaz de evacuar el 100 % del calor previsto.....	0,99
-Capaz de evacuar el 150 % del calor previsto.....	0,97
c. Sistemas de alivio de:	
-Explosiones (de vapores o polvo).....	0,84
-Sobrepresiones por condiciones anormales.....	0,98
d. Parada de emergencia:	
-Automática activada por un sistema redundante.....	0,98
-De equipos rotativ. críticos (compresores,turbinas):	
MANUAL por alarma de detectores de vibración.....	0,99
AUTOMATICA por alarma de detectores de vibración.....	0,96
e. Control por computador:	
-Sólo para asistencia del operador.....	0,99
-Con lógica "fallo seguro" ("fail safe").....	0,97
-Puntos críticos con entradas ("inputs") redundantes..	0,93
-Impide salidas o señales de mando críticas.....	0,93
-Con posibilidad de mando directo por el operador....	0,93
f. Gas inerte:	
-Para "blanketing" o "padding".....	0,96
-Para inertización total rápida en caso de emergencia.....	0,94
g. Instrucciones de operación escritas para:	
-Puesta en marcha.....	0,50
-Parada rutinaria.....	0,50
-Condiciones normales.....	0,50
-Operación a baja capacidad.....	0,50
-Operación a reciclo total ("standby").....	0,56

-Operación por encima de la capacidad de diseño.....	1,00
-Puesta en marcha después de una breve parada.....	1,00
-Puesta en marcha tras parada por mantenimiento.....	1,00
-Procedimientos de mantenimiento.....	1,50
-Parada de emergencia.....	1,50
-Modificación o adiciones al equipo o tuberías.....	2,00
-Condiciones anormales previsibles.....	3,00
-BONIFICACION TOTAL CALCULADA (1-X/150).....	1,00
h. Revisión bibliográfica sobre procesos y reactividad:	
-Ocasional.....	0,98
-Periódica y al día.....	0,91

FACTORES DE BONIFICACION POR AISLAMIENTO DEL MATERIAL

a. Válvulas de aislamiento operadas a distancia:	
-Con revisión anual.....	0,96
-Sin revisión anual.....	0,98
b. Depósito trasvase para emergencia ó venteos conducidos:	
-Depósito en el área de la unidad.....	0,98
-Depósito fuera del área de la unidad.....	0,96
-Venteos conducidos a antorcha o tanque cerrado.....	0,96
c. Drenajes:	
-Suelo con drenaje capaz de evacuar:	
-El 75 % del contenido (pendiente >= 2 %).....	0,91
-El 30 % del contenido.....	0,95
-Cubeto con drenaje a balsa (a distancia>diám. tanque).....	0,95
d. Sistema de bloqueo que impide flujo incorrecto que podría dar reacciones indeseables.....	0,98

FACTORES DE BONIFICACION POR PROTECCION CONTRA EL FUEGO

a. Detectores de fugas:	
-Que activan una alarma e identifican la zona.....	0,98
-Que activan un sistema de protección.....	0,94
b. Acero estructural:	
-Con recubrimiento ignífugo hasta:	
-Altura <= 5 m.....	0,98
-Altura entre 5 - 10 m.....	0,97
-Altura > 10 m.....	0,95
-Con refrigeración por agua:	
-Sistema de inundación ("deluge").....	0,98
-Sistema de pulverización ("sprinklers").....	0,97
c. Tanques:	
-Con doble pared.....	0,91
-Enterrados.....	0,84
d. Agua contra incendio (autonomía >= 4 h, >=50 % con bombas diesel):	
-Presión <= 7 bar.....	0,97
-Presión > 7 bar.....	0,94
e. Sistemas especiales: halón,CO2,detectores humo y llama.....	0,91
f. Rociadores:	
-Sistemas de inundación ("deluge").....	0,97
-Sistemas de pulverización:	
-Tubería húmeda:	
Riesgo ligero. Capacidad <= 8.5 l/(min m2).....	0,87
Riesgo ordinario. Capacidad 8.5 - 15 l/(min m2).....	0,81
Riesgo extra. Capacidad >15 l/(min m2).....	0,74
-Tubería seca:	
Riesgo ligero. Capacidad <= 8.5 l/(min m2).....	0,87
Riesgo ordinario. Capacidad 8.5 - 15 l/(min m2).....	0,84
Riesgo extra. Capacidad >15 l/(min m2).....	0,81
-Factor multiplicador para área > 930 m2:	
930 - 1860 m2.....	1,06

1860 - 2790 m2.....	1,09
>2790 m2.....	1,12
g. Cortinas de agua (distanciadas a \geq 23 m):	
-1 cortina de altura \leq 5 m.....	0,98
-2 cortinas: 1a. de altura $H \leq 5$ m, 2a. de altura $\leq H+2$ m.....	0,97
h. Espuma:	
-Por rociadores ("sprinklers") de funcionamiento:	
-MANUAL.....	0,94
-AUTOMATICO.....	0,92
-En juntas techos flotantes de depósitos con disparo:	
332 <i>Análisis del riesgo en instalaciones industriales</i>	
-MANUAL.....	0,97
-AUTOMATICO (activado por detectores de llama).....	0,94
-En depósitos:	
-Dentro de la cámara de aire.....	0,95
-AUTOMATICO sobre la carcasa (monitores, etc.).....	0,97
-MANUAL sobre la carcasa (mangueras, etc.).....	0,94
j. Extintores portátiles - monitores:	
-Extintores portátiles.....	0,98
-Extintores portátiles y monitores manuales.....	0,97
-Extintores portátiles y monitores telecomandados.....	0,95
k. Protección de cables:	
-Bandejas con sistemas de agua pulverizada.....	0,98
-Bandejas enterradas.....	0,94

ANEXO 2: Norma Petroecuador SI-008

"SEÑALES DE SEGURIDAD"

1. OBJETO

1.1. Esta norma establece la forma, tamaños, colores y dimensiones de las señales de seguridad, determinadas a llamar la atención sobre los peligros existentes en las áreas de trabajo.

2. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

2.1. Letrero de seguridad.- Es un rótulo destinado a transmitir visualmente un mensaje de advertencia.

2.2. Placa de seguridad.- Es un rótulo generalmente sin texto, que sirve para identificar ciertos peligros y señales de tráfico.

2.3. Etiqueta de seguridad.- Es una lámina que se coloca en equipos e instalaciones, para indicar una restricción o advertir una condición peligrosa.

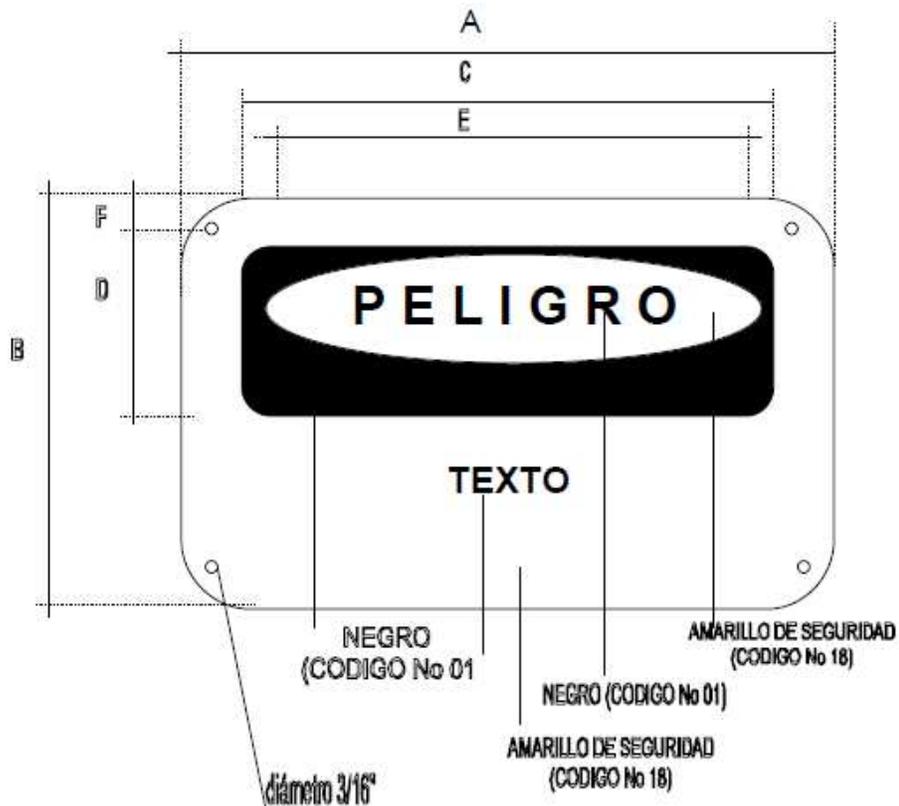
EJEMPLOS:

001	002
NO FUMAR	ALTO VOLTAJE
003	004
MATERIALES INFLAMABLES	ALEJESE,
005	CONTAMINACION DE GAS
MANTENGA SUS MANOS	006
LIBRES DE ESTA MAQUINA	NO ENTRE EN ESTA AREA
007	CON EQUIPO MOTORIZADO
HOMBRES TRABAJANDO	008
009	LINEA DE GAS
SIN PERMISO	010
NO FUMAR EN ESTA AREA	MANTENGA SU DISTANCIA
011	012

NO ENCIENDA FUEGO

NO TOCAR EQUIPO MOTORIZADOS

FIGURA 1
SERIE DE PELIGRO



MEDIDAS (mm)	LETREROS	
	Tamaño 1	Tamaño 2
A	1.22	810
B	610	405
C	1.12	750
D	240	160
E	1.05	705
F	50	30

ANEXO 3: Norma: SHI-018 Sistemas de Agua Contra Incendios para Instalaciones
Petroleras

SECCION 4.7.3 Tanques de almacenamiento

Los requerimientos de agua contra incendio para tanques de almacenamiento, se establecen en base al consumo de agua para la generación de espuma. Adicionalmente, se deberán agregar los consumos de agua de enfriamiento para el tanque incendiado y los tanques adyacentes.

El criterio antes señalado se aplica suponiendo que sólo el tanque de mayor exigencia de agua se incendiará en un momento determinado y que las distancias entre tanques cumplen con lo dispuesto en la norma PE-SI-006 "Distancias Mínimas de Seguridad que deben contemplarse en Industrias petroleras".

La aplicación del agua requerida para el enfriamiento del tanque incendiado y los tanques adyacentes, podrá efectuarse mediante el uso de monitores, mangueras, o sistemas fijos de agua pulverizada.

En ningún caso, el requerimiento total de agua contra incendios en una instalación de almacenamiento, será menor de 227 m³/h (2.000 GPM).

a) Tanques Atmosféricos de Techo Cónico.

a.1 Conteniendo Líquidos Inflamables Clase 1, Líquidos Combustibles Clase II y Crudos.

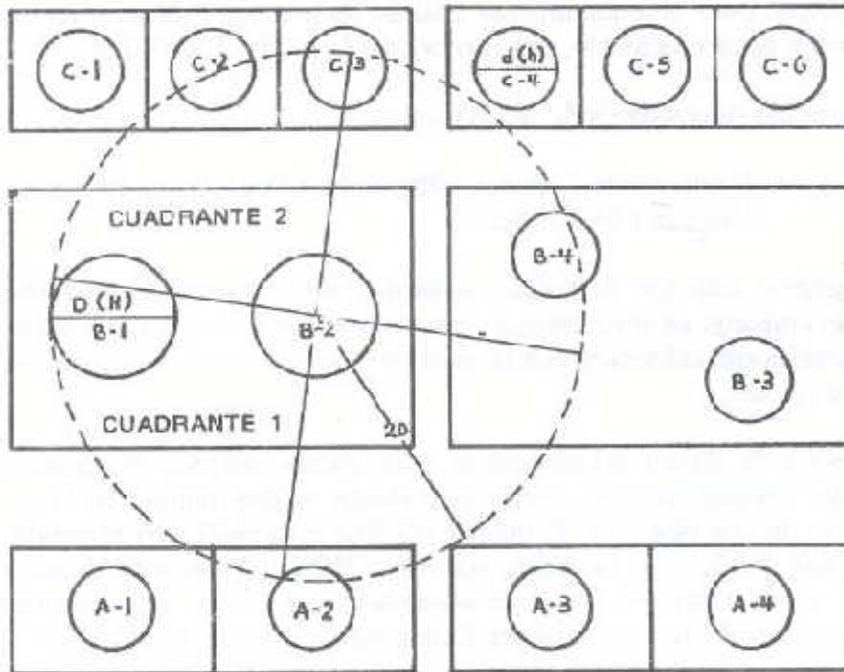
En general, este tipo de líquido se almacenará en tanques de techo flotante, sin embargo en circunstancias especiales (tanques de pequeño diámetro) o en instalaciones existentes, puede presentarse el almacenamiento en tanques de techo cónico.

A efectos de diseño del sistema de agua contra incendio, el consumo de agua para enfriamiento del tanque incendiado, se determinará en base a la aplicación de una tasa de $0,48 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ($0,2 \text{ gpm}/\text{pie}^2$) , considerando que sólo deberá enfriarse un cincuenta por ciento (50% del área total de las paredes del tanque. Este requerimiento se establece, ya que en caso de incendio, solamente deberá enfriarse la pared del tanque por encima del nivel del líquido contenido, y se supone que la situación prevaleciente es tener los tanques a no menos del 50% de llenado.

El consumo de agua de enfriamiento para los tanques adyacentes, se determinará en base a una tasa de aplicación de $0,24 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ($0,1 \text{ gpm}/\text{pie}^2$) , considerando sólo la protección de aquellos tanques que queden contenidos total o parcialmente en el cuadrante de mayor demanda de agua, obtenido al trazar un círculo concéntrico con el tanque incendiado, de radio $2D$, siendo D el diámetro de dicho tanque. Asimismo, se considera que sólo el cincuenta por ciento (50%) de las paredes de los tanques adyacentes requieren ser protegidos contra el calor del incendio.

En el Diagrama 1 se muestra una aplicación típica del criterio establecido.

DIAGRAMA 1



CUADRANTE 1:

TANQUES ADYACENTES A ENFRIAR: A-2/B-1
 CONSUMO DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO: Q1 (m³/h)

$$Q1 \left\{ \begin{array}{l} 1/2 (0.48 \times \pi \times D \times H) + 1/2 (0.24 \times \pi \times d \times h) \\ + (0.24 \times \pi \times \frac{d^2}{4}) + 1/2 (0.24 \times \pi \times d \times D \times H) \\ + (0.24 \times \pi \times \frac{D^2}{4}) \end{array} \right.$$

CUADRANTE 2:

TANQUES ADYACENTES A ENFRIAR: B-1/C-2/C-3
 CONSUMO DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO: Q2 (m³/h)
 $Q2 = (0.48 \times \pi \times D \times H) \frac{1}{2} + (0.224 \times \pi \times D \times H) \frac{1}{2} + (0.24 \times \pi \times \frac{D^2}{4})$
 $+ 2 (0.24 \times \pi \times d \times h) \frac{1}{2} + 2 (0.24 \times \pi \times \frac{d^2}{4})$

SE TOMA EL CUADRANTE DE MAYOR CONSUMO

a.2. Conteniendo Líquidos Combustibles Clase III

Normalmente estos tanques no requieren ser protegidos con sistemas de espuma. Sin embargo, éstos deben instalarse cuando la temperatura de almacenamiento está en un rango de hasta 8°C (15°F) como máximo, por debajo del punto de inflamación.

El consumo de agua para el enfriamiento del tanque incendiado y los tanques adyacentes, se determinará utilizando una tasa única de aplicación de $0,24 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ($0,1 \text{ gpm}/\text{pie}^2$).

b) Tanques Atmosféricos de Techo Flotante

Los requerimientos de agua para este tipo de tanques se establecen en base al consumo de agua del sistema de extinción a base de espuma, debiéndose agregar el consumo de agua para el enfriamiento de las paredes del tanque incendiado. A efectos de diseño del sistema de agua contra incendio, no se considera la aplicación de agua para enfriar los tanques adyacentes al incendiado, salvo que tales tanques se encuentren dentro del radio de influencia del incendio en un tanque de techo fijo.

b.1 Conteniendo Líquidos inflamables Clase I, líquidos Combustibles Clase II y Clase IIIA y Crudos.

En general, los tanques de hasta 12 metros (40 pies) de diámetro no requieren de sistemas fijos o semifijos de espuma para su protección, debiendo protegerse a partir de equipos móviles o portátiles de extinción. Sin embargo, cuando condicione excepcionales así lo requieran, justificadas mediante un análisis de riesgos se deberá instalar un sistema fijo o semifijo de espuma.

El consumo de agua para el enfriamiento de las paredes del tanque que incendiado, se determinará aplicando una tasa de $0,48 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ($0,2 \text{ gpm}/\text{pie}^2$), considerando que solo se requiere enfriar el cincuenta por ciento (50 %) de la superficie total de las paredes del tanque.

c) Tanques Presurizados

c.1. Instalación de un sistema fijo de enfriamiento de agua pulverizada con boquillas distribuidas de tal forma, que garantice el enfriamiento uniforme de toda la superficie externa del tanque. El sistema de agua pulverizada se diseñará para una tasa de aplicación de $0.60 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ ($0.25 \text{ gpm}/\text{pie}^2$) de superficie del tanque. Este sistema podrá ser activación automática o manual.

c.2. Instalación de monitores o hidrantes, para los cuales se deberá disponer adicionalmente de un mínimo de $227 \text{ m}^3/\text{H}$ (1.000 gpm) de agua.

El consumo de agua, se determinará considerando la operación simultánea del sistema de enfriamiento del tanque incendiado y de los tanques adyacentes definidos, a este consumo se lo deberá agregar los $227 \text{ m}^3/\text{h}$ (1000 gpm) a ser

aplicados a partir de monitores o hidrantes, a fin de determinar el requerimiento total de agua.

Para el caso de baterías de tanques horizontales, se requeriría el enfriamiento del tanque incendiado y de los tanque adyacentes definidos, a este consumo se le deberá agregar los $227 \text{ m}^3/\text{h}$ (1000 gpm) a ser aplicados a partir de monitores o hidrantes, a fin de determinar el requerimiento total de agua.

Para el caso de baterías de tanques horizontales, se requeriría el enfriamiento de hasta tres tanques a cada lado del supuesto incendiado.

ANEXO 4: Norma: PE-SHI-019 Sistema de Espuma Contra Incendios

Sección 7.2.2.1.5 Protección adicional

Además del sistema fijo o semi-fijo de inyección instalado en el tanque, deberá disponerse de protección adicional para extinguir incendios de líquidos derramados en el cubeto del tanque.

La protección adicional se podrá efectuar por medio de mangueras conectadas a las tuberías de distribución del sistema de espuma del tanque, o a sistemas móviles de espuma.

Las mangueras deberán descargar como mínimo 189 L/min (50 gpm) de solución cada una. El número mínimo de mangueras requeridas y la duración mínima de la descarga variará de acuerdo al diámetro del tanque, tal como se especifica en la Tabla No. 8

Tabla No. 8

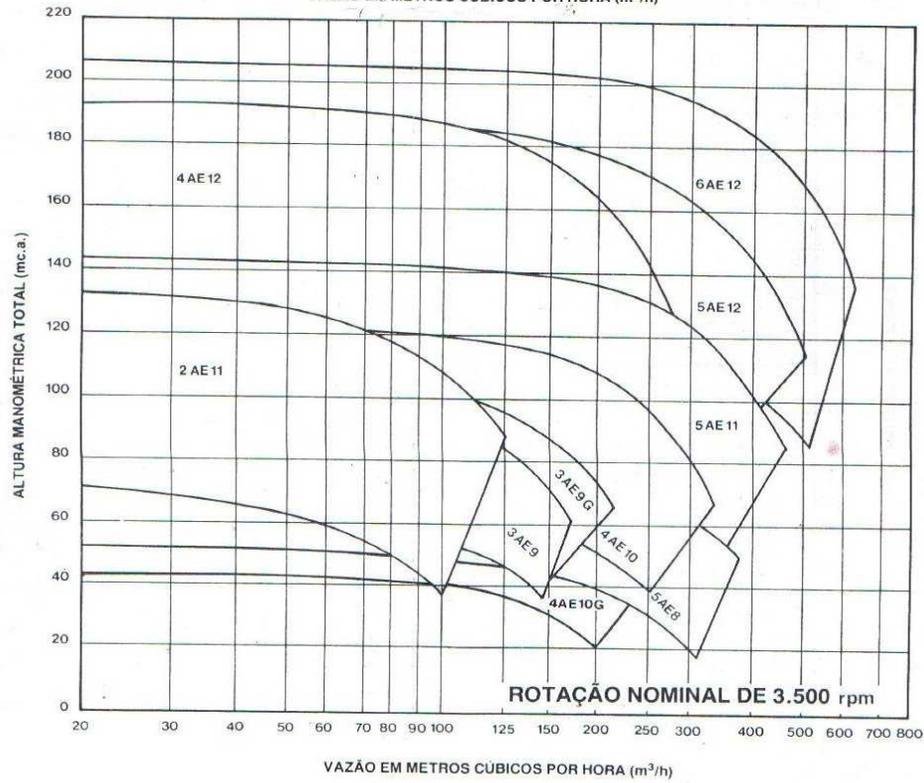
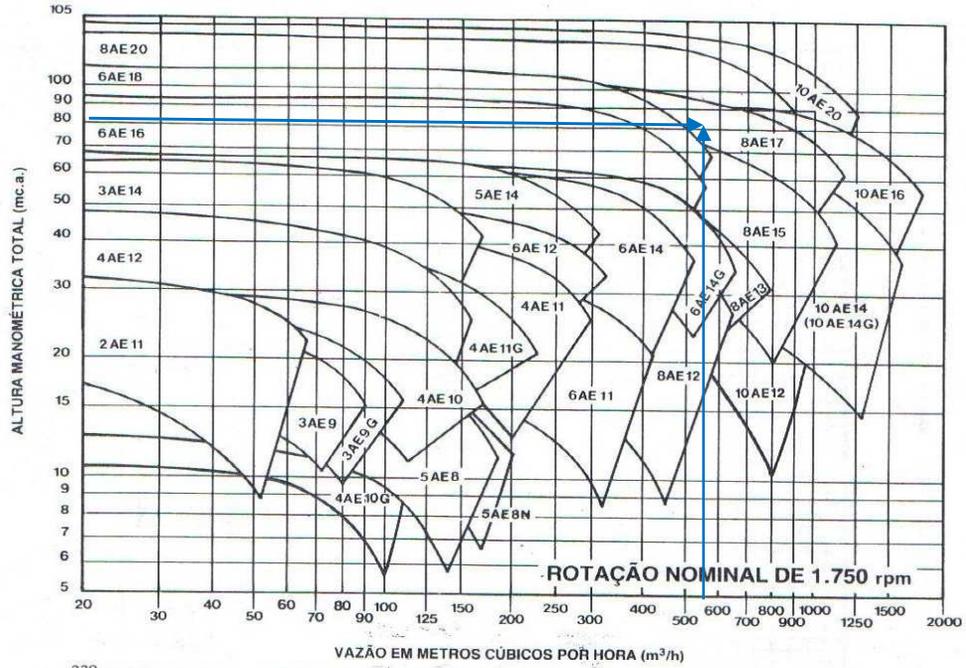
PROTECCION ADICIONAL CON MANGUERAS.

DIÁMETRO DEL TANQUE		NÚMERO DE MANGUERAS	DURACIÓN MÍNIMA DE DESCARGA (min)
(m)	(ft)		
Hasta 10	Hasta 35	1	10
Más de 10,5 hasta 19,5	Entre 35 hasta 65	1	20
Más de 19,5 hasta 28,5	Entre 65 hasta 95	2	20
Más de 28,5 hasta 36	Entre 95 hasta 120	2	30
Más de 36	Más de 120	3	30

ANEXO 5: Selección de la Bomba MARK PEERLESS del Catálogo



COBERTURA HIDRÁULICA



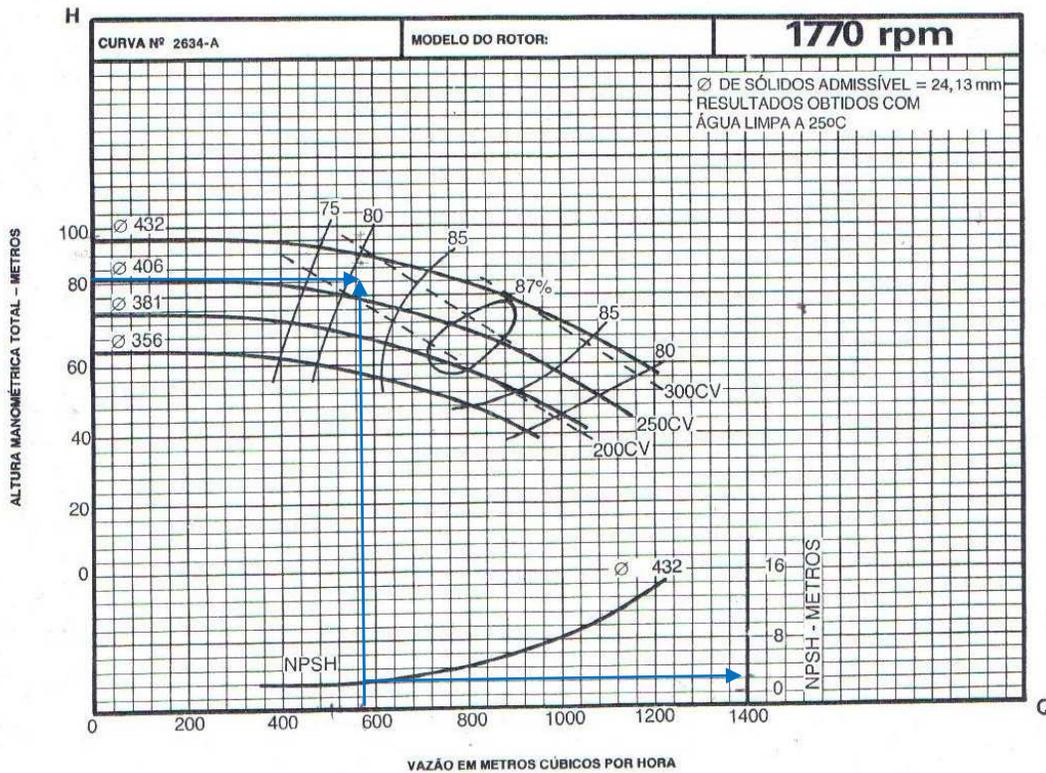
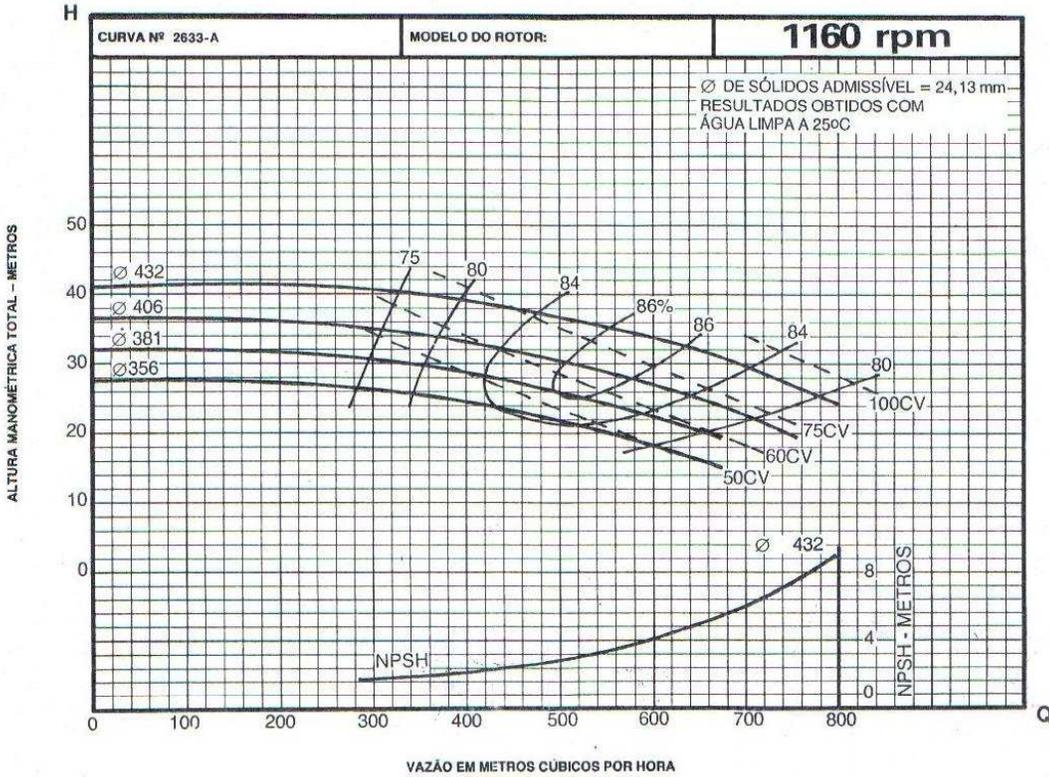


BOMBAS CENTRÍFUGAS HORIZONTAIS BI-PARTIDAS

VEDAÇÃO: Gaxeta Opcional: Selo mecânico
BOCAIS: 8" x 10"

MODELO:

8AE17



ANEXO 6: Norma: SI-006 “Distancias mínimas de seguridad que deben contemplarse en las Instalaciones Petroleras”

Sección 6 Distancias mínimas

Para la construcción y/o manejo de los equipos e instalaciones se deben contemplar las distancias mínimas de seguridad que se establecen a continuación:

[imprimir de archivo PDF](#)

ANEXO 7: Norma: SHI-022 “Sistemas de Detección y Alarma de Incendios”

Sección 7.4 Sistema de alarma de Incendios

Los sistemas de alarma de incendios permiten notificar los incendios producidos en una instalación, alertando al personal encargado del combate.

El sistema deberá ser lo más sencillo posible, a fin de evitar confusiones el momento de la emergencia. El diseño usualmente consiste en un sistema codificado de señales, con indicación en un lugar de presencia permanente de personal (sala de control, estación de bomberos), que permite activar uno o más difusores de sonido.

7.4.1 Alarma en Áreas Industriales

La señal de alarma general en instalaciones al aire libre, será acústica y su frecuencia y tono se ajustará lo establecido en los planes de emergencia de cada instalación. La señal puede provenir de sirenas eléctricas, pitos de aire o vapor, estratégicamente situados para asegurar una cobertura máxima.

7.4.2 Estaciones Manuales de Alarma

Las estaciones manuales de alarma son dispositivos que permiten transmitir una situación de emergencia en una instalación y se instalan en las áreas de mayor riesgo potencial, como: Unidades de procesos, áreas de almacenamiento, estaciones de bombas, laboratorios, islas de carga, etc.

Su uso debe estar restringido a lo dispuesto en los planes de emergencia.

7.4.2.1 Ubicación y Distribución

Se colocarán en las vías normales de salida del área protegida, de acuerdo a los siguientes criterios:

a) Deberá colocarse una estación manual de alarma en locales cuya área sea igualo mayor de 900 m².

b) En las vías de escape, cercanas a las salidas de la instalación.

c) En las áreas de procesos al aire libre, se ubicarán en la periferia de la instalación, junto a las vías normales de paso y en el exterior de las salidas del edificio de control.

d) En edificaciones y locales cerrados, en sitios visibles y de fácil acceso.

e) La distribución de las estaciones manuales, se realizará de forma que la distancia máxima de recorrer para su accionamiento sea de 40 metros en áreas de proceso y de almacenamiento.

7.4.2.2. Instalación

Las estaciones manuales de alarma podrán instalarse en paredes, postes o estructuras metálicas. Se recomienda pintar de color rojo los postes, o estructuras sobre las cuales se instalen, para facilitar su rápida localización.

Se colocarán a una altura mínima de 1,15 metros y máxima de 1,50 metros sobre el nivel del piso.

Las que necesiten ser empotradas para su instalación, deberán sobresalir como mínimo 1,5 centímetros de la superficie de empotramiento.

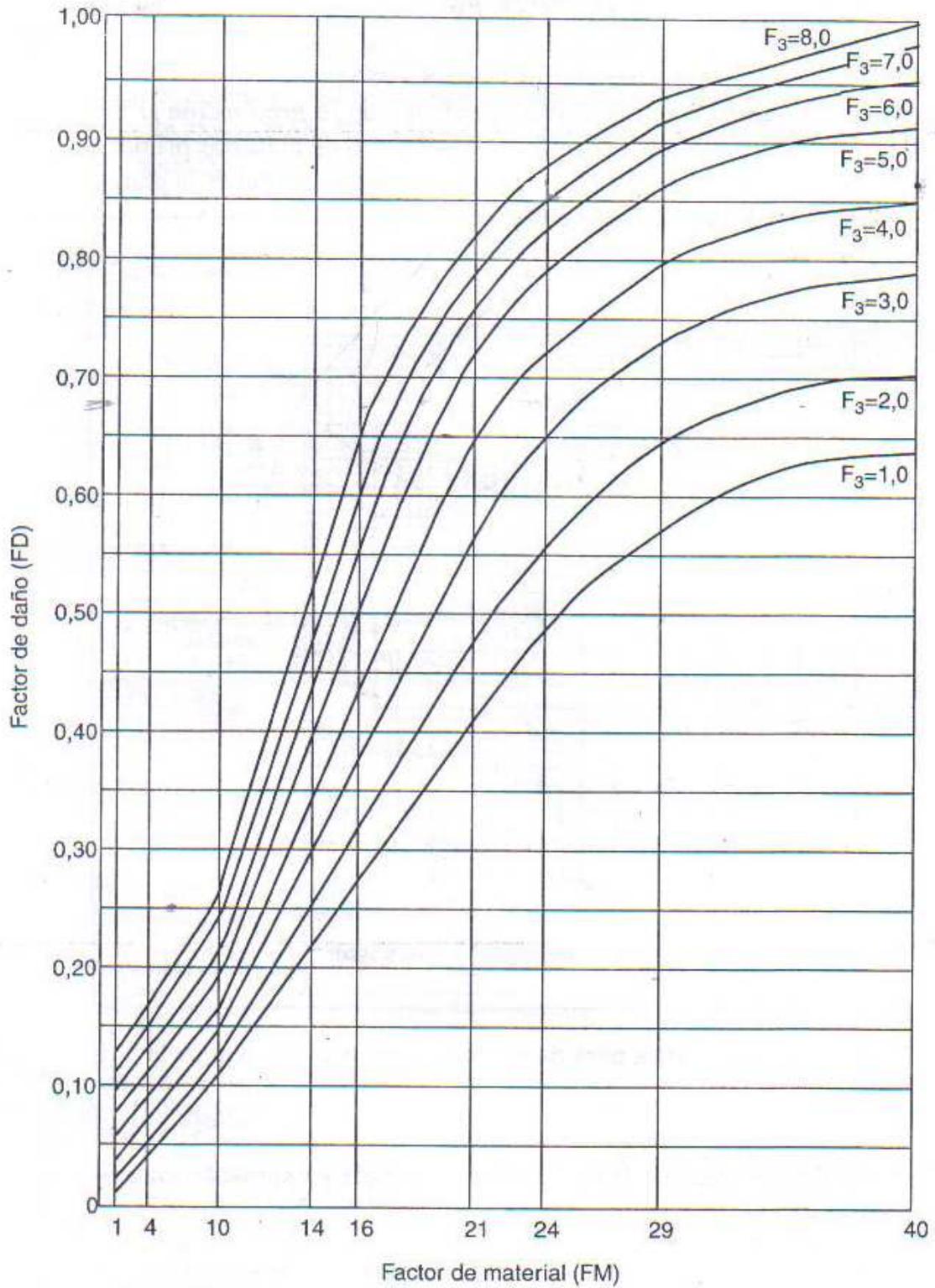
7.4.3 Sistema telefónico de alarma de incendios

La notificación de incendios podrá también realizarse mediante sistema telefónico conectado a un sistema de amplificación a través de un número de código dedicado y restringido para este uso únicamente.

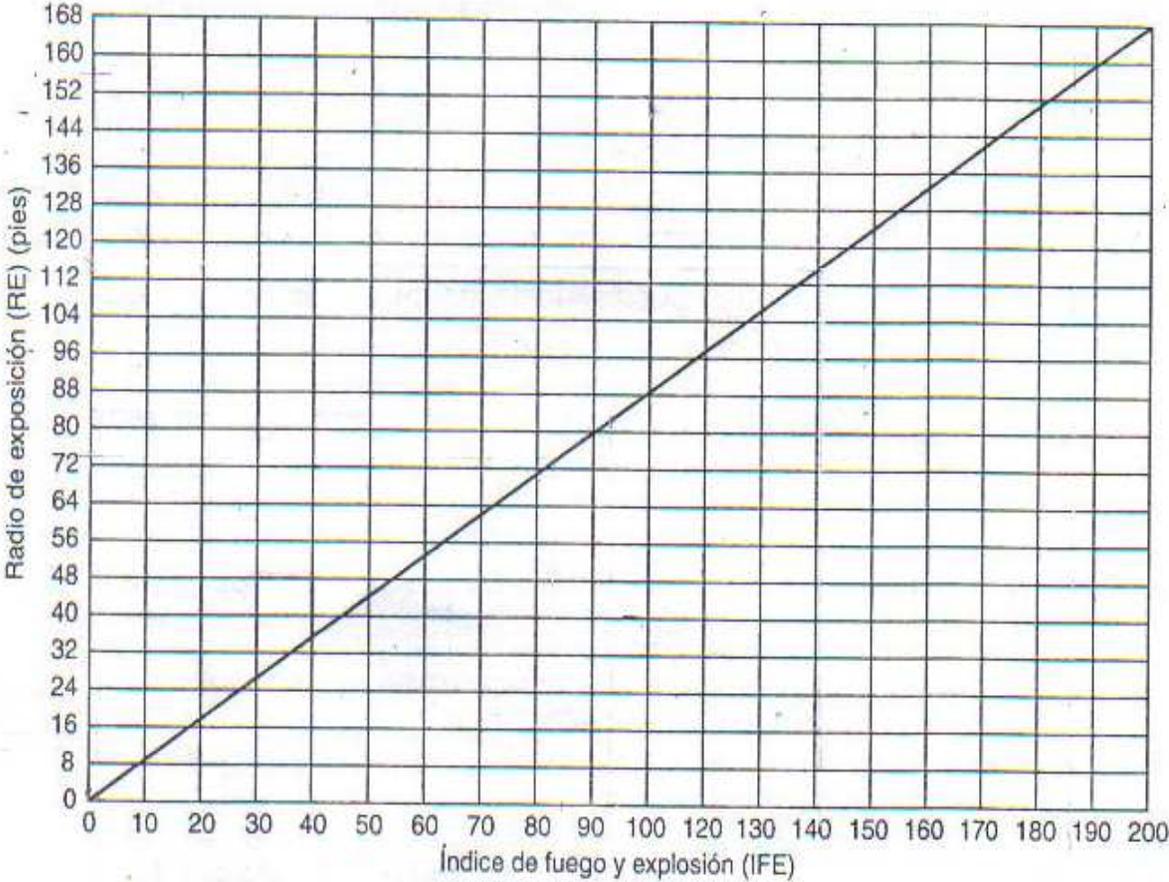
Cuando se utilice este sistema de notificación, deberá disponerse de teléfonos, ubicados en lugares estratégicos como: salas de control, oficinas de Seguridad Industrial, garitas de vigilancia, áreas de procesos y otros que se consideren necesarios.

[De aquí imprimir dos tablas de PDF](#)

ANEXO 7: Gráfica para determinar el factor de daño



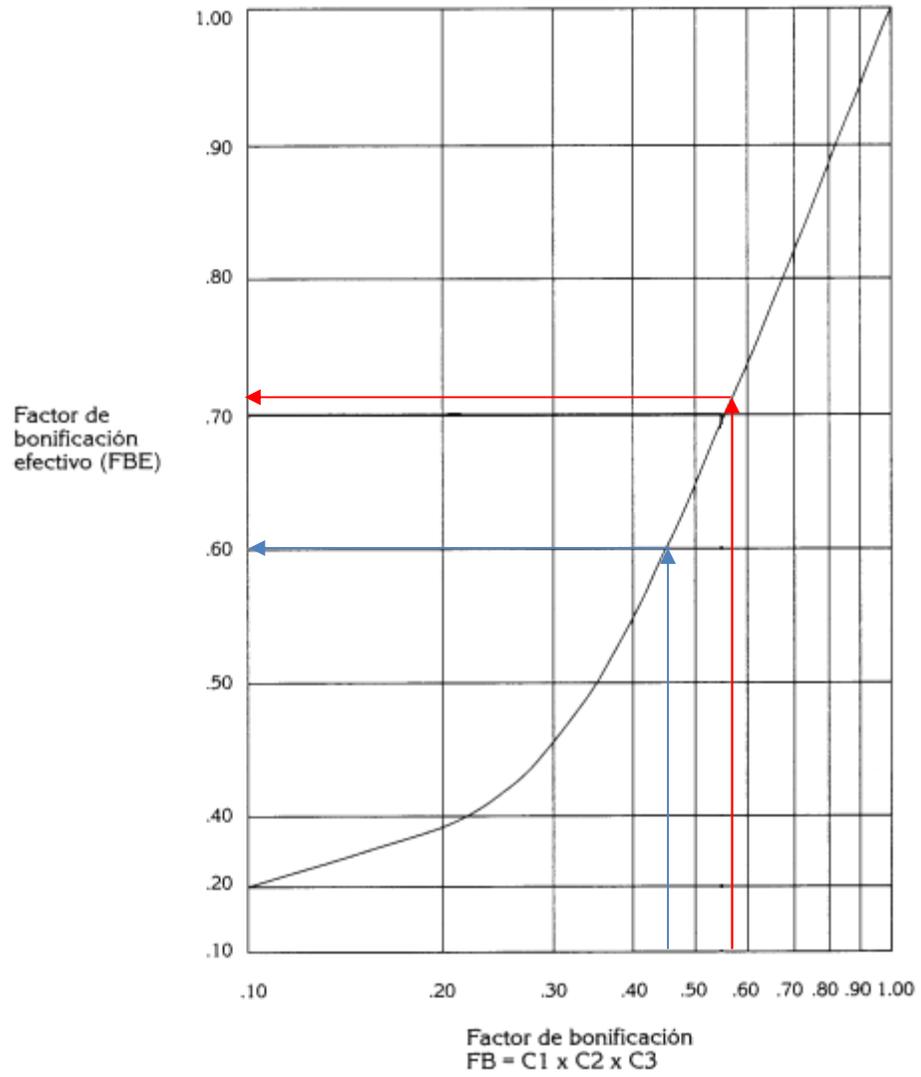
ANEXO 8: Radio de Exposición



ANEXO 9: Coeficientes para bonificar la disponibilidad de medidas de protección

1. Control del proceso			
	C_{11}		C_{11}
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
$C_1 = \prod C_{1i} =$			
2. Seccionamientos de proceso			
	C_{12}		C_{12}
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
$C_2 = \prod C_{12} =$			
3. Defensa contra incendios			
	C_{13}		C_{13}
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
$C_3 = \prod C_{13} =$			

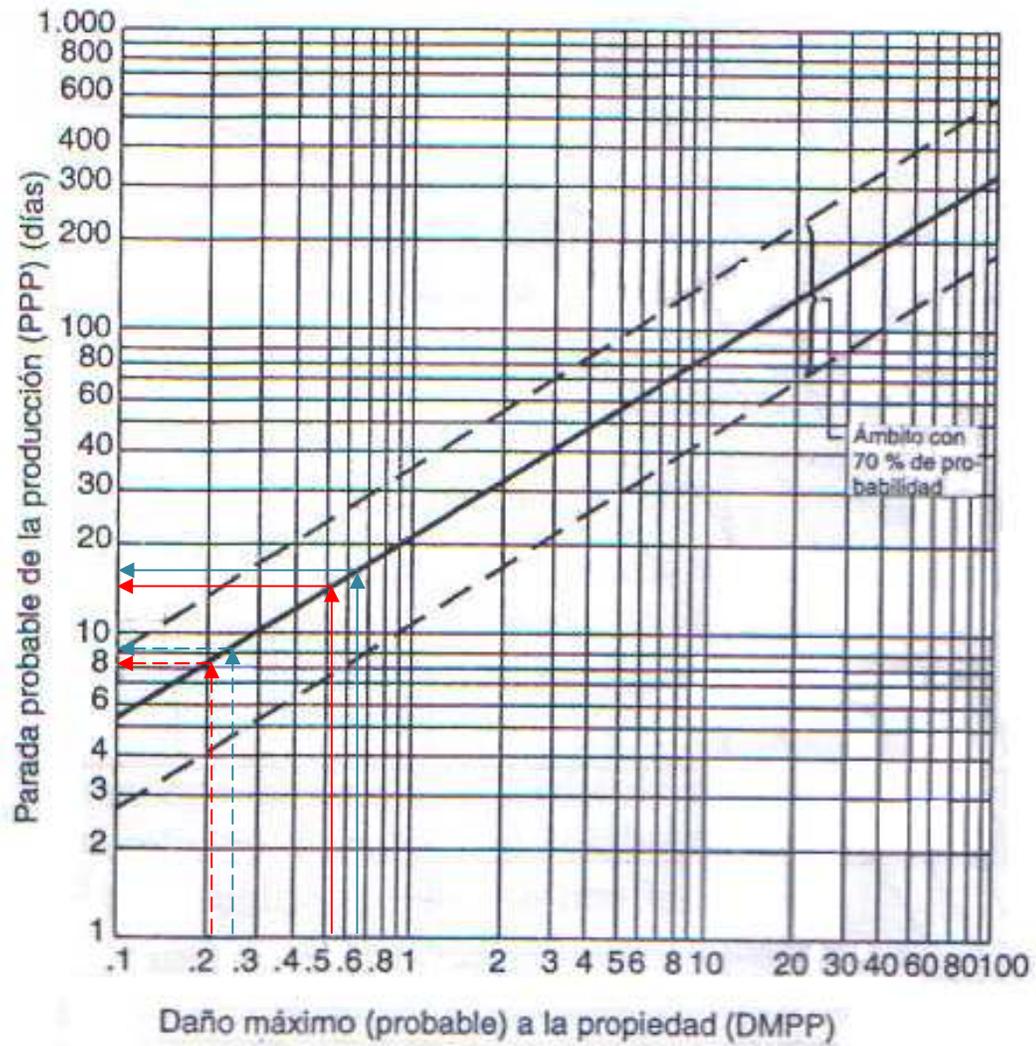
ANEXO 10: Factor de bonificación efectivo



Antes de las mejoras →

Después de las mejoras →

ANEXO 11: Máximos días de parada de producción debido a reparaciones



Antes de las mejoras

- Tanque de Oleoducto ———→
- Tanque de Reposo - - - - -→

Después de las mejoras

- Tanque de Oleoducto ———→
- Tanque de Reposo - - - - -→

ANEXO 12: Costo de las modificaciones para la actualización del S.C.I de la Estación Shushufindi Central

ITEMS	CANTIDAD	VALOR PARCIAL (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Sistema de enfriamiento			
Tubería de acero, ASTM-A795, D=14 pulg,Sch-40	3	252	756
Tubería de acero, ASTM-A795, D=12 pulg,Sch-40	216	93,33	20159,28
Válvula de Compuerta, D=14 pulg, ANSI-150 con brida	3	7406	22218
Válvula de Compuerta, D=12 pulg, ANSI-150 con brida	21	6000	126000
Válvula Check, D=12 pulg, ANSI-150 con brida	2	1800	3600
Tee STD reducción de 12 pulg x 12 pul x 8 pulg	2	240	480
Tee STD de 12 pulg	17	120	2040
Codo radio largo de 14 pul x 90° en acero,ANSI-B16.25	2	150	300
Codo radio largo de 12 pul x 90° en acero,ANSI-B16.25	15	127,7	1915,5
Bridas de 12 pul, ANSI-150,RF,con cuello para soldar	12	78	936
Monitor manual de bronce, MMB-3 x 2- 1/2 pulg.	9	3420	30780
Mangueras de longitud 50 pies x 1 ½ pulg, 200 si.	15	90	1350
Accesorios: empaques, tuercas, espárragos de 14,10 12,8 pulg.	1	3773,14	3773,14
Boquillas para agua TFT modelo: FQS-125-1 1/2 , 200 psi	15	480	7200
Hidrantes	8	750	6000
Sistema de espuma			
Tubería de acero, ASTM-A795, D=10 pulg,Sch-40	1	95.98	95.98
Tubería de acero, ASTM-A795, D=8 pulg,Sch-40	129	54.2	6991.8
Válvula de Compuerta, D=10 pulg, ANSI-150 con brida	2	4605	9210
Válvula de Compuerta, D=8 pulg, ANSI-150 con brida	19	5600	106400
Válvula de Mariposa 8 pul OS, ANSI 150	3	195,5	586,5
Válvula Check, D=10 pulg, ANSI-150 con brida	2	1407	2814
Válvula Check, D=8 pulg, ANSI-150 con brida	4	1200	4800
Tee STD de 8 pulg	6	90	540
Codo radio largo de 10 pul x 90° en acero,ANSI-B16.25	2	114,34	228,68

Codo radio largo de 8 pul x 90° en acero,ANSI-B16.25	14	93,32	1306,48
Bridas de 8 pulg, ANSI-150,RF,con cuello para soldar	12	42,8	513,6
Skid completo de presión balanceada, Bomba de Concentrado de espuma de 15 GPM	1	24162	24162
Tanque de espuma de 2000 Gal, NATIONAL FOAM	1	22000	22000
Espuma Aer-O-Lite 3% AFF; GE=1.03 a 25 °C, ph=8, μ=3 stk, tem. Min de uso= -7 °C, Tem máx. de uso=49°C,marca National Foam	5000	28,8	144000
Bomba Jockey, marca Aurora,15 GPM con motor eléctrico	1	30000	30000
Extintores PQS de 30 Lbs., con manguera, fabricado en lámina coled rolled calibre 16	7	240	1680
Extintores PQS de 150, fabricado en lámina calibre 3.1mm, con rueda de 35 pulg., cilindro de nitrógeno de 3m ³ , 15m de manguera ¾ pulg. de 300 Lbs, bajo la norma NFPA 10	5	640	3200
Extintores CO2 de 20 Lbs.	4	260	1040
Monitor 2- 1/2 pulg. MNH	6	3420	20520
Sistema de control y detección			
Detector de llama,multiespectrum IR, modelo X3301con accesorios para su instalación	30	3133,93	107284,94
Detector de gas,PIRECL, tipo IR, con accesorios para su instalación	16	1625	26391.74
Estación manual, XAL-53	12	1122	13464
Alarma sonora, 879EX, tipo NEMA 4X,accesorios para su instalación	5	1653	8265
Alarma visual, 58 R-N5-100WH,NEMA 4X, accesorios para su instalación	5	1386	7306.02
Solenoides para el sistema agua y espuma	37	300	11100
CPU, Core2duo, 360 GB, 4GHz	2	1920	3840
PLC,central de medición MX&"",con implementos para su instalación	1	2732,67	4424,17
Tableros de Conexión, cajas de aluminio.	5	1250	6250
Intouch runtime 3000	1	4513,6	4513,6
Cables AWG No 16,14,con cubiertas de aluminio, y chaqueta de pvc	1600	14,2	22720
Obra Civil y Mecánica			
Material eléctrico incluidos costos de instalación	1	227605	227605
Costo de instalación de material de instrumentación y control	1	145113	145113
Costo de material y obra civil	1	45000	45000
Costos de instalación material mecánico	1	306500	306500
TOTAL DE INVERSIÓN			1547374,43

ANEXOS B

ANEXO 1

Estación de Producción Shushufindi Central

Anexo 2

Sectorización de las zonas de riesgos

ANEXO 3

Diagrama del Sistema de Agua Contra Incendios

ANEXO 4

Diagrama del Sistema de Agua-Espuma Contra Incendios

ANEXO 5

Diagrama de la distribución de los detectores de llama, gas combustible y estaciones manuales