

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y COMPORTAMIENTO HUMANO

Trabajo de fin de carrera titulado

**“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS Y PROPUESTA DE UN PLAN DE
SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA UN CENTRO DE FACILIDADES DE UN
CAMPO PETROLERO, APLICANDO LA METODOLOGÍA HAZOP”**

Realizado por:

EDISON ROBERTO CHÁVEZ SIZALIMA

Director del proyecto:

ALONSO ARIAS B.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, 02 de Julio de 2016

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, EDISON ROBERTO CHAVEZ SIZALIMA, con cédula de identidad No. 2100202585, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Edison Roberto Chávez Sizalima

C.C.: 210020258-5

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS Y PROPUESTA DE UN PLAN DE
SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA UN CENTRO DE FACILIDADES DE UN
CAMPO PETROLERO, APLICANDO LA METODOLOGÍA HAZOP”**

Realizado por:

EDISON ROBERTO CHÁVEZ SIZALIMA

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Ha sido dirigido por el profesor

Alonso Arias B

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Alonso Arias B

DIRECTOR

DECLARATORIA PROFESORES INFORMANTES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

JUAN CARLOS CÁNCCHIG LOYA

ANTONIO R. GÓMEZ GARCÍA

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador

Juan Carlos Cáncchig Loya

Antonio R. Gómez García

Quito, julio de 2016

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a Dios y a mis padres quienes supieron inculcarme valores y principios que han guiado mi vida. Gracias Padres por estar siempre
junto a mí.

A mi esposa e hija, son las mejores fuentes de inspiración y apoyo incondicional, para
continuar alcanzando logros.

AGRADECIMIENTO

En especial al profesor Alonso Arias por su acertada dirección de la tesis. Su profesionalismo y entrega fueron determinantes a la hora de desarrollar este documento. A los profesores de maestría de la prestigiosa Universidad Internacional SEK, quienes supieron compartir sus conocimientos, para formarme como profesional de esta noble profesión. A mis familiares por su apoyo incondicional.

RESUMEN

A través de este trabajo de investigación técnica se identifican los riesgos basados en la premisa de que los accidentes que se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación en un Centro de Producción y Facilidades de crudo petróleo de un campo marginal. De acuerdo a los estándares de la metodología El HAZOP o AFO (Análisis Funcional de Operatividad). También se evalúa la posibilidad real de un incendio y explosión de los equipos, los procesos y su contenido en la industria petroleras con una herramienta para la evaluación objetiva paso a paso, método DOW (Dow Chemical Company's Fire and Explosion Index), además sirve como guía para seleccionar el método de protección contra incendios adecuado, además de ofrecer información clave para ayudar a evaluar el riesgo general de incendio y explosión de la industria antes mencionada, también se calcula el nivel de afectación de la población trabajadora según las notas técnicas preventivas NTP 291, 321, 326 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.

En base a los resultados reflejados del análisis realizado con los estándares para la evaluación del nivel de riesgo y explosión en la industria hidrocarburiífera, se precisa la necesidad de modelar e implementar un sistema contra incendios, siendo este uno de los mecanismos de la ingeniería básica para controlar un accidente mayor. Usando los estándares de la NFPA (National Fire Protection Association) como son la NFPA 10; NFPA 13; NFPA 15; NFPA 20 entre otras.

Palabras claves: Flujo, líquidos inflamables y combustibles, riesgo de incendio y explosión, sistema contra incendio.

ABSTRACT

Through this research, risks are identified based on the premise that accidents occur as consequence from a change of the normal variables on the process, in a Production an Facilities Center for oil. According to the standars on the HAZOP methodology. Also the possibility of a fire, explosion, from the equipment, the processes, and their content in the oil industry, with an evaluation step by step, DOW method is used as guide to select the best protection against fire and o her key information to evaluate the general risk of fire and explosion for the premously mentioned industry. The level of damage for the workers is also calculated, according to the technical preventive notes NTP

291, 321, 326 from INSHT National Institute of Security and Hygiene at the work place from the work and social affairs ministry of Spain.

Based on the results from the standard analysis for the evaluation of the risks, and explosion in the oil industry, is mandatory to create and execute a system against fire, being this one part of the basics to control a bigger incident. Using NFPA Standars; such as NFPA 10, 13, 15, 20 among other.

Key words: Flow, inflammable liquids and gas, , risk of fire and explosion, fire system.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.2 Objetivo general	4
1.1.3 Objetivos específicos.....	4
1.1.4 Justificaciones	4
1.2 MARCO TEÓRICO.....	6
1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema.....	6
1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica	25
1.2.3 Hipótesis.....	26
1.2.4 Identificación y caracterización de variables	26
CAPÍTULO II.....	29
MÉTODO	29
2.1 NIVEL DE ESTUDIO	29
2.2. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN	29
2.3 MÉTODO	30

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	30
2.5 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS INVESTIGACIÓN	30
CAPÍTULO III.	33
RESULTADOS	33
3.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
3.1.1 Palabra guía del estudio de los nodos	40
3.1.2 Índice DOW	49
3.1.3 Determinación de vulnerabilidad por sobrepresión e impacto – método Probit	72
3.1.4 Análisis de resultados.....	73
3.2 APLICACIÓN PRÁCTICA	77
3.2.1 Requerimientos para el sistema contra incendios	77
3.2.2 Propuesta para la implementación de controles operacionales	85
3.2.3 Costo beneficio.....	86
CAPÍTULO IV.	88
DISCUSIÓN	88
4.1 CONCLUSIONES	88
4.2 RECOMENDACIONES	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Palabras guías de HAZOP	10
Tabla 2. Formato de recogida del HAZOP	12
Tabla 3. Contenido HAZOP	12
Tabla 4. Accidentes Químicos entre 1974-2006	19
Tabla 5. Identificación y caracterización de variables	26
Tabla 6. Variables independientes	27
Tabla 7. Codificación de los nudos del proceso	33
Tabla 8. Codificación de flujos - Nodos.....	34
Tabla 9. Identificación y codificación de instalaciones extralocativas	35
Tabla 10. Palabra Guía del Estudio del Nodo F1CD.....	41
Tabla 11. Palabra guía del circuito F2GS.....	42
Tabla 12. Palabra guía del circuito F3DSL	44
Tabla 13. Palabra guía del circuito F4ADF	45
Tabla 14. Consecuencia del Estudio de los Nodos.....	47
Tabla 15. Aplicación de la metodología HAZOP.	48
Tabla 16. Caracterización de los productos.....	50
Tabla 17. Características de áreas de almacenamiento de combustibles.....	51
Tabla 18. Índice de incendio y explosión por unidad de proceso.....	53
Tabla 19. Radios de exposición (afectación).....	53
Tabla 20. Determinación del factor de daño.....	55

Tabla 21. Determinación del VAE y estimación del MPPD básico	55
Tabla 22. Determinación de factor de bonificación	56
Tabla 23. Caracterización del factor de bonificación efectiva y pérdida económica máxima probable efectiva.....	57
Tabla 24. Determinación de días máximos perdidos probables	58
Tabla 25. Características de tanques y cubeto	59
Tabla 26. Distancia del evento respecto al receptor	60
Tabla 27. Características de combustibles para la evaluación de afectaciones	60
Tabla 28. Altura de la llama para incendios que ocurre en el área de almacenamiento	63
Tabla 29. Coeficientes para el cálculo de factores de visión para eventos que ocurren en el área de almacenamiento.....	64
Tabla 30. Dosis de irradiación térmica por incendios en el área de almacenamiento	66
Tabla 31. Probabilidad de afectación por irradiación térmica y tiempo de exposición de 5 segundos	67
Tabla 32. Probabilidad de afectación por irradiación térmica hasta el escape al área de oficinas	68
Tabla 33. Datos para la evaluación por explosiones de diésel	69
Tabla 34. Escenarios considerados para evaluación de afectaciones por sobrepresión e impulso	69
Tabla 35. Consecuencia de las sobrepresiones	72
Tabla 36. Probabilidad de afectación por exposición a sobrepresión e impactos	73
Tabla 37. Resumen de las variables de incendio y explosión	74
Tabla 38. Determinación de caudal mínimo de agua	79

Tabla 39. Requerimiento de caudal de agua para sistema de protección	80
Tabla 40. Características y cantidad de espuma para la protección de los tanques.....	81
Tabla 41. Criterios y determinación de cantidad de espuma para cubeto	82
Tabla 42. Criterios y determinación de cantidad suplementario de espuma	82
Tabla 43. Requerimientos generales para el diseño del sistema de enfriamiento	84
Tabla 44. Requerimientos generales para el diseño del sistema de extinción espuma AFFF	84
Tabla 45. Presupuesto estimado para la implementación de controles operacionales	85
Tabla 46. Costo de producción del centro de producción y facilidades	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de crudo.....	2
Figura 2. Metodología HAZOP	15
Figura 3. Procedimiento para el cálculo del factor de riesgo de la unidad.....	21
Figura 4. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID del Centro de Producción y Facilidades CPF.....	34
Figura 5. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción de crudo	38
Figura 6. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del gas	38
Figura 7. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del agua de formación.....	39
Figura 8. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del diésel.....	40
Figura 9. Determinación del factor de daño para el tanque de almacenamiento de diésel y petróleo	54
Figura 10. Identificación del factor de bonificación efectivo para el tanque de diésel y petróleo	56
Figura 11. Máximos días probables perdidos (MPDO), tanque diésel y petróleo.....	58
Figura 12. Determinación del factor de visión horizontal para el tanque de diésel y el personal ubicado en las oficinas	65
Figura 13. Determinación del factor de visión vertical para el tanque de diésel y para el	

personal ubicado en oficinas.....	65
Figura 14. Parámetros de la deflagración en función de la distancia escalada.....	71

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1.1 Diagnóstico del problema

Las facilidades de superficie del centro de producción y facilidades CPF de un campo petrolero, es una estación de flujo donde se realiza el tratamiento del crudo que viene de las áreas de explotación. La producción de crudo se transporta desde los pozos hasta las estaciones, con el método de impulsión a través de un sistema de tuberías de sección circular.

El proceso de tratamiento en la estación se realiza mediante una serie de sub-procesos; entre ellos tenemos separación, deshidratación, almacenamiento, bombeo como se muestra en la figura 1, entre otros. Este sistema se inicia con la recolección del crudo a través del múltiple de producción, el cual está formado por uno o varios cabezales de producción y otro de prueba. El cabezal de prueba es utilizado para aislar individualmente la producción de un pozo con el objeto de evaluarlo.

Una vez recolectado en el tubo múltiple, el crudo se envía a la etapa de separación, donde se retiene un nivel de líquido específico por un tiempo determinado bajo condiciones controladas de presión y temperatura, esto con el objeto de separar los hidrocarburos más livianos de los más pesados. Al salir de esta etapa el crudo va a deshidratación, donde el sistema de

calentadores eleva su temperatura de entrada bajo un proceso de transferencia de calor, esto con el fin de lograr una separación más efectiva entre el petróleo y el agua. Al avanzar por el sistema el crudo llega al patio de tanques donde pasa inicialmente a un tanque de separación de petróleo y agua, conocido como tanque de lavado, y de allí pasa a los tanques de almacenamiento. Actividades de producción que encierran un alto riesgo de incendio y explosión en cada una de sus áreas operativas. Adicionalmente la estación cuenta con un área para el almacenamiento de productos químicos y áreas administrativas.

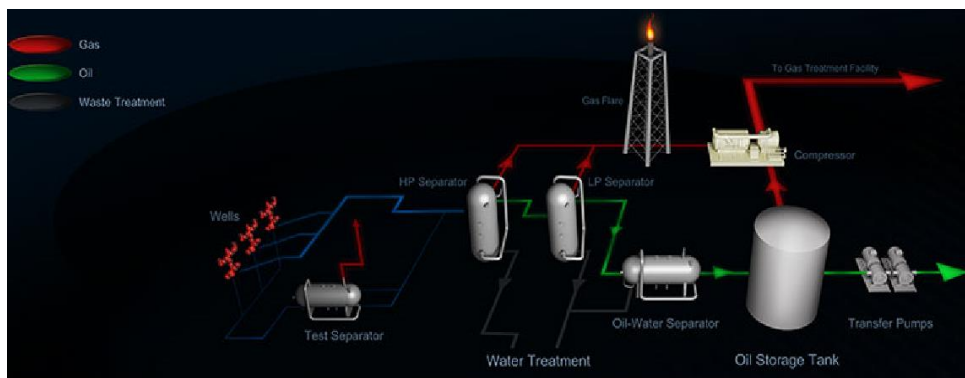


Figura 1. Producción de crudo

Fuente: COLFAX, Manejo de Fluidos. www.colfaxfluidhandling.com/multiphase-microsite/infographic_pipeline_boosting_large.jpg

En las instalaciones del centro de producción y facilidades de crudo – petróleo, se cuenta con equipos para la extinción de incendios, equipo que cuentan con un registro de inspección y mantenimiento periódico. En el campo marginal Tiguino, no se registra una evaluación de riesgo de incendio y explosión, adicionalmente teniendo en cuenta que las facilidades de superficie en una gran mayoría cuentan con un tiempo de operaciones de más de tres décadas, motivo por el cual se puede argumentar cual es el nivel de factibilidad del sistema de control de incendios con los que cuenta el centro de producción y facilidades (CPF) del campo maduro,

En base a la historia a nivel mundial de desastres suscitados en instalaciones industriales de similar características a las del centro de producción y facilidades de crudo, donde se produce crudo petróleo y donde se maneja un volumen considerable productos combustibles en un complejo industrial antes mencionado, se cree que existe riesgo de incendio y explosión, riesgo que se origina en un incumplimiento de los estándares alusivos de instalaciones y operaciones de un sistema contra incendios.

1.1.1.2 Pronóstico

En el supuesto caso de llegar a materializarse un accidente mayor en las instalaciones del centro de producción y facilidades de crudo de un campo petrolero, los efectos serían nefastos, causando serios daños a integridad de los trabajadores con alteraciones físicas irreversibles, pérdidas materiales acompañada de daños al medio biótico y abiótico local, sin olvidar las indemnizaciones que se debería cubrir a los afectados. Situación que terminaría afectando así el prestigio y el buen nombre de la industria petrolera en el país.

1.1.1.3 Control Pronóstico

Mediante la evaluación del nivel de riesgo existente, cálculo y diseño e implementación de un sistema contra incendio, articulada por una serie de equipos y facilidades se evitará la ocurrencia de incendios y explosiones en el centro de producción de crudo, así como los efectos producidos a la seguridad y salud de los trabajadores, a los bienes materiales de la organización. La implementación de los controles operacionales que se propondrá, con la ayuda de metodologías empleadas como el análisis de riesgos y operabilidad “Hazop”, permitirá detectar fallas de equipos operacionales, tomando en cuenta los controles administrativos, los límites de operación y seguridad. Se propondrá la adquisición y provisión de equipo o herramientas adecuadas a los trabajadores para minimizar el riesgos de un accidente mayor en las

instalaciones de producción de la organización petrolera; en cuanto a controles de ingeniería se propone modificación en los procesos (cambio de equipo o máquina, cambio en las condiciones de operación, entre otras), mantenimiento predictivo y preventivo, haciendo más eficiente la operación con mejores prácticas de ingeniería.

1.1.2 Objetivo general

Establecer un sistema para minimizar y controlar el nivel de riesgo de incendio y explosión en el centro de producción y facilidades de hidrocarburos de un campo petrolero.

1.1.3 Objetivos específicos

- Determinar las desviaciones de las variables de los procesos productivos del centro de producción y facilidades de crudo – petróleo, en función de un sistema establecido con respecto de los parámetros normales de operación.
- Determinar el nivel de riesgo de incendio y explosión en el centro de producción y facilidades de crudo – petróleo y almacenamiento de productos químicos.
- Determinar parámetros de diseño para la operación adecuada del Sistema Contra Incendios bajo estándares de la normativa aplicable.

1.1.4 Justificaciones

Debido a los grandes volúmenes de combustibles que se manejan en el centro de producción de hidrocarburos, aproximadamente 4,200 barriles diarios; programas inadecuados de mantenimiento preventivo y predictivo de la facilidades de superficie del complejo de la industria petroquímica, sobrecarga de la capacidad nominal de la producción de equipos de control automático en mal estado, así como otras variables de producción, dan pie para que se justifique la aplicación del presente estudio de aplicación, análisis de riesgos y operabilidad “Hazop”, trabajo que ayudará a controlar el riesgo de incendio y explosión en la planta de

producción, el incremento de los costos de producción, afectación a la salud de los trabajadores, impacto ambiental al medio biótico y abiótico local y a problemas a la comunidades locales o aledañas a la producción, alterando así las buenas relaciones comunitarias de la industria petrolera.

El interés demostrado por los empresarios petroleros en promover una cultura de seguridad industrial entre sus colaboradores, así como el interés en la identificación de factores de riesgo, son un factor motivante para resolver problemas de seguridad industrial tanto en el ámbito interno propio de sus procesos clave, enfocado a mejorar el ambiente laboral. El presente estudio pretende contribuir al desarrollo técnico, económico en la aplicación de los análisis de riesgos en las plantas petroleras de producción en el Ecuador, mediante métodos probados (HAZOP y Dow); ya que los mismos incurren, más en la necesidad de preparación e instrucción en el personal antes que adquisiciones de máquinas y equipos puntuales para cubrir las necesidades ante la aparición de riesgos.

La historia de la industria petrolera a nivel mundial no goza de tanto prestigio, debido a las afectaciones que se han producido a los seres humanos y a su entorno debido a los accidentes mayores que se han suscitado en esta industria, motivo por el cual se justifica plenamente la necesidad de la evaluación del riesgo intrínseco de los procesos de producción de la industria hidrocarburífera, para esto se ha citado la metodología de evaluación cuantitativa.

Es imprescindible realizar un estudio de la efectividad del sistema contra incendios, áreas de operaciones de las unidades de negocio más sensibles y áreas administrativas, con los que se cuenta en un campo maduro petrolero, con el objeto de minimizar la afectación de un accidente mayor en caso de que este se materializara.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Estado actual del conocimiento sobre el tema

El último medio siglo, a consecuencia de la revolución industrial, la industrial se ha volcado hacia los mecanismos y métodos para la detección de riesgos y su corrección, con el fin de evitar la materialización de estos, reflejados como accidentes de trabajo.

El interés de la industria petroquímica es emplear técnicas que objetive la detección y valoración del riesgo y permita conocer qué medidas correctoras lo anulan o disminuyen hasta límites tolerables, haciendo uso de herramientas prácticas, con el objetivo de evitar respuestas desiguales, para la corrección de un mismo riesgo.

Debido a los accidentes de grandes magnitudes ocurridos a nivel mundial, se ha generado la necesidad de desarrollar métodos, cada vez más estructurados que permitan identificar la condición de peligro con el potencial de ocasionar un accidente grave. Siniestros que pueden evitarse si desarrolla una identificación oportuna de los peligros, para así tomar medidas de orden ingenieril, ya sean estas, normativas de diseño cubriendo así la acción subjetiva del técnico de la organización, en base a la experiencia compartida.

Los profesionales de hoy en día están enfrentándose a nuevos desafíos en plantas industriales, ya sean los de producir, fabricar, manufacturar, procesar, con una operación segura y eficiente, sin embargo, se debe considerar que en cada proceso productivo, se cuenta con un sinnúmero de equipos y maquinarias que pueden representar un riesgo potencial de accidentes graves, siniestralidad que ocurre por desviaciones en la funcionalidad de las unidades de proceso, con la finalidad de eliminarlos o en su defecto reducirlos y minimizarlos.

En la actualidad, casi en toda industria se necesita implementar procedimientos complementarios, orientados desde el punto de vista del proceso, que aseguren que los peligros potenciales puedan detectarse para plantear planes de acción para minimizarlos y controlarlos.

Hoy en día se prefiere la utilización de métodos de identificación de peligros abiertos y creativos, en donde se encuentra el Estudio de Peligros y Operabilidad (Hazard and Operability Study) o HAZOP, desarrollado en 1963 por la corporación Norte Americana Imperial Chemical Industries¹. Este método es aplicado a nuevos diseños, así como a modificaciones de instalaciones existentes. Para la identificación de los peligros potenciales que pudieran ocasionar la pérdida de un proceso o instalación industrial, en este sentido se han desarrollado diferentes técnicas o métodos de diversos niveles de complejidad.

Algunos peligros o problemas operacionales resultan obvios y no requieren de ninguna metodología especial para ser detectados; la necesidad de ese tipo de análisis de riesgo surge a raíz de los grandes y catastróficos accidentes ocurridos a nivel mundial como fueron los de FEYZIN (1966), FLIXBOROUGH (1974). Así también, los accidentes ocurridos en CIUDAD DE MEXICO (1984), BHOPAL (1984), PIPER ALFA (1988) y otros, donde hubo grandes pérdidas humanas, de la instalación y daños al ambiente con afectación a terceros, desde entonces ha surgido la necesidad del desarrollo de esta metodología más estructurada tomando como punto de referencia la técnica ¿Qué Pasa Si? ¿What If? Analysis. El Instituto Americano del Petróleo (API) en enero de 1990 creó la regla de Manejo de Procesos Riesgosos. Asimismo, la Organización de Seguridad, Higiene y Ambiente OSHA en marzo de 1992, estableció la regla de Manejo de la Seguridad de los Procesos Químicos Altamente Riesgosos, con el fin de poder predecir a tiempo a través de un Análisis de Riesgo, como el HAZOP, las desviaciones de

¹ http://www.proteccioncivil.es/guiatec/Metodos_cualitativos

proceso en una instalación, emitiendo recomendaciones oportunas y evitando consecuencias mayores.

Es de destacar que en el HAZOP es importante el análisis de la operabilidad de la instalación, así como la del peligro que en ella se presente. En la aplicación de esta técnica de análisis de riesgo en cualquiera de las etapas del proyecto, se asume que se ha tomado en cuenta las buenas prácticas de ingeniería y que la instalación será operada y mantenida según lo previsto en el diseño y de acuerdo con los estándares universalmente conocidos en el tipo de industria de que se trate.

La metodología HAZOP está basada en la premisa de que los riesgos, la accidentalidad y los problemas de índole operativo, se producen a causa de una desviación de las variables intrínsecas en los procesos productivos en relación a los principios de operación en un sistema establecido en una determinada, considerando que esta técnica también consistía en un análisis sistematizado de un problema a través del planteamiento y respuestas a una serie de preguntas.

El metodología HAZOP (Análisis Funcional de Operatividad) evolucionó en lo posterior y ha sido hasta ahora ampliamente utilizado en el campo de la industria de procesamiento químico como una técnica particularmente apropiada a la identificación de riesgos en un complejo industrial.

El HAZOP o AFO (Análisis Funcional de Operatividad) siendo una técnica científica de identificación de riesgos inductiva², basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los

² https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm

parámetros normales de operación. La característica principal del método es que es realizado por un equipo pluridisciplinario de trabajo.

Definición de los nudos: En cada subsistema se identificarán una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso. Unos ejemplos de nudos pueden ser: tubería de alimentación de una materia prima, un reactor aguas arriba de una válvula reductora, impulsión de una bomba o superficie de un depósito. Cada nudo será numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido de proceso para mayor comodidad. La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nudo vendrá caracterizado por unos valores determinados de las variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, estado, etc.

Los criterios para seleccionar los nudos tomarán básicamente en consideración los puntos del proceso en los cuales se produzca una variación significativa de alguna de las variables de proceso.

Es conveniente, a efectos de la reproducibilidad de los estudios reflejar en unos esquemas simplificados (o en los propios diagramas de tuberías e instrumentación), los subsistemas considerados y la posición exacta de cada nudo y su numeración en cada subsistema.

Es de notar que por su amplio uso la técnica tiene variantes en cuanto a su utilización que se consideran igualmente válidas. Entre estas destacan, por ejemplo, la sustitución del concepto de nudo por el de tramo de tubería o la identificación nudo-equipo.

Definición de las desviaciones a estudiar: Para cada nudo se planteará de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. En la tabla 1., se indican las principales palabras guía y su significado.

El HAZOP (Análisis Funcional de Operatividad), puede consistir en una aplicación exhaustiva de todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso³, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado. Alternativamente, se puede fijar a priori en una fase previa de preparación del HAZOP la lista de las desviaciones esenciales a estudiar en cada nudo.

Sesiones HAZOP: Las sesiones HAZOP tienen como objetivo inmediato analizar las desviaciones planteadas de forma ordenada y siguiendo un formato de recogida similar al propuesto en la Tabla 2 y Tabla 3., se describe el contenido de cada una de las columnas.

El documento de trabajo principal utilizado en las sesiones son los diagramas de tuberías e instrumentación aunque puedan ser necesarias consultas a otros documentos: diagramas de flujo o flow sheet, manuales de operación, especificaciones técnicas, etc.

Tabla 1. Palabras guías de HAZOP

PALABRA GUIA	SIGNIFICADO	EJEMPLO DE DESVIACIÓN	EJEMPLO DE CAUSAS ORIGINADORAS
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea	Bloque: fallo de bombeo, válvula cerrada o atascada; fuga, válvula abierta, fallo de control
MAS	Aumento cuantitativo de una variable	Más flujo (más caudal)	Presión de descarga reducida, succión presurizada, fuga, lectura errónea de instrumentos.
		Mas temperatura	Fuegos exteriores, bloque, explosión en reactor, reacción descontrolada.

³ http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/guiatec/Metodos_cualitativos

Continuación Tabla 1.

MENOS	Disminución cuantitativa de una variable	Menos caudal	Fallo de bomba, fuga, bloqueo parcial, sedimentos en línea, bloque de válvula.
		Menos temperatura	Pérdidas de calor, vaporización, fallo de sellado.
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende.	Flujo inverso	Fallo de bomba, sifón hacia atrás, inversión de bombeo, válvula antirretorno que falla o está insertada en la tubería en forma incorrecta.
ADEMAS DE	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño.	Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites, productos de corrosión, fallo de aislamiento, presencia de materiales por fugas interiores, fallos de la puesta en marcha.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Se obtiene solamente una parte de las intenciones del diseño.	Disminución de la composición en una mezcla.	Concentración demasiado baja en la mezcla, reacciones adicionales, cambio en la alimentación.
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal.	Cualquier actividad.	Puesta en marcha y parada, prueba e inspecciones, muestreo, mantenimiento, eliminación de tapones, corrosión, fallo de energía, emisiones indeseadas, etc.

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 2. Formato de recogida del HAZOP

Planta:								
Sistema:								
Nudo	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta Control	Señalización	Acciones a tomar	Comentarios

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 3. Contenido HAZOP

COLUMNA	CONTENIDO
Posibles causas	Describe numerándolas las posibles causas que pueden conducir a la desviación
Consecuencias	Para cada una de las causas planteadas, se indica con la consiguiente correspondencia en la numeración las consecuencias asociadas.
Respuestas del sistema	Se indicará en éste caso: 1. Los mecanismos de detección de la desviación planteada según causas o consecuencias por ejemplo: alarmas. 2. Los automatismos capaces de responder a la desviación planteada según las causas.
Acciones a tomar	Propuesta preliminar de modificaciones a la instalación en vista de la gravedad de la consecuencia identificada o a una desprotección flagrante de la instalación.
Comentarios	Observaciones que complementan o apoyan algunos de los elementos reflejados en las columnas anteriores.

Elaboración: Edison Chávez

Documentación necesaria: El estudio HAZOP de un proyecto nuevo debe realizarse lo antes posible, siempre que se disponga de información con un nivel de detalle adecuado y no se prevean cambios sustanciales en el proceso y en el diseño de la unidad. La guía sobre estudios, establece los elementos documentales que pueden llegar a ser necesarios para realizar un estudio HAZOP. Los mínimos obligatorios son:

- **Fichas/Hojas de datos de seguridad** de los productos químicos manejados en el proceso. En proyectos nuevos pueden no estar disponibles las Hojas de Datos de Seguridad de los productos, en cuyo caso se sustituirán con la información aportada por el licenciataria.
- Diagrama **P&ID** que refleje de modo real los circuitos que se somete a revisión. En procesos complejos deberá ser completado con planos **PFD** para facilitar su interpretación.
- Plano actualizado de la **implantación** de la instalación.
- Documento **descriptivo del proceso** y de la **filosofía de control y bloqueo**. Para unidades en funcionamiento será necesario el manual de operación; para el caso de unidades nuevas la descripción del proceso y operación será facilitada por el licenciataria o la ingeniería. Esta descriptiva, junto con el P&ID, ha de permitir comprender a toda persona del grupo HAZOP el funcionamiento del proceso y su respuesta a las fluctuaciones de operación, incluyendo las actuaciones de bloqueo previstas por diseño.
- **Procedimientos** escritos para aquellos modos operativos especiales que se deseen incorporar al estudio HAZOP. Esta documentación sólo será obligatoria en caso de querer realizar una HAZOP específico de cada uno de los procedimientos disponibles.

Organización del estudio y equipo de trabajo: El desarrollo de un estudio HAZOP está sometido a las exigencias organizativas y de trabajo en equipo que establece la guía PHA (Process Hazad Analysis o análisis de los peligros de los procesos). Es obligatorio consultar dicha guía y cumplir con los requerimientos que se establecen en la misma, para garantizar la validez corporativa de método HAZOP que se presenta en los capítulos siguientes.

El método HAZOP se centra en el análisis de las desviaciones de las variables o parámetros característicos de la operación de una instalación respecto de la intención del proceso. La técnica HAZOP utiliza palabras clave (NO, MAS, MENOS, etc.) que aplicadas a los parámetros de proceso (CAUDAL, PRESIÓN, TEMPERATURA, etc.) dan lugar a desviaciones (MAS CAUDAL, MENOS PRESIÓN, etc.) de la intención o condición normal de proceso. Una vez determinadas las desviaciones de las variables de proceso, se determina la lista de posibles causas que las provocan, el escenario que se puede derivar y sus consecuencias.

Para cada causa-escenario-consecuencia se tendrán que identificar las salvaguardas que pueden prevenir, detectar, controlar y/o mitigar la situación identificada. Si las salvaguardas existentes no son suficientes para minimizar el riesgo que genera la situación planteada, el grupo de trabajo propondrá acciones encaminadas a disminuir la probabilidad de ocurrencia (P ej. actuando sobre las causas) o a reducir la gravedad de las consecuencias.

Se distinguen dos tipos de HAZOP:

- HAZOP Tradicional

Es la versión clásica del método de análisis de riesgo. El estudio realiza a partir de los diagramas de tuberías e instrumentos (P&IDS). Se utiliza en el análisis de procesos continuos y discontinuos.

- HAZOP de procedimiento

El estudio se realiza a partir de un procedimiento o instrucción escrita.

Básicamente se aplica a procesos discontinuos (de operación secuencial o por lotes) definidos por un procedimiento escrito.

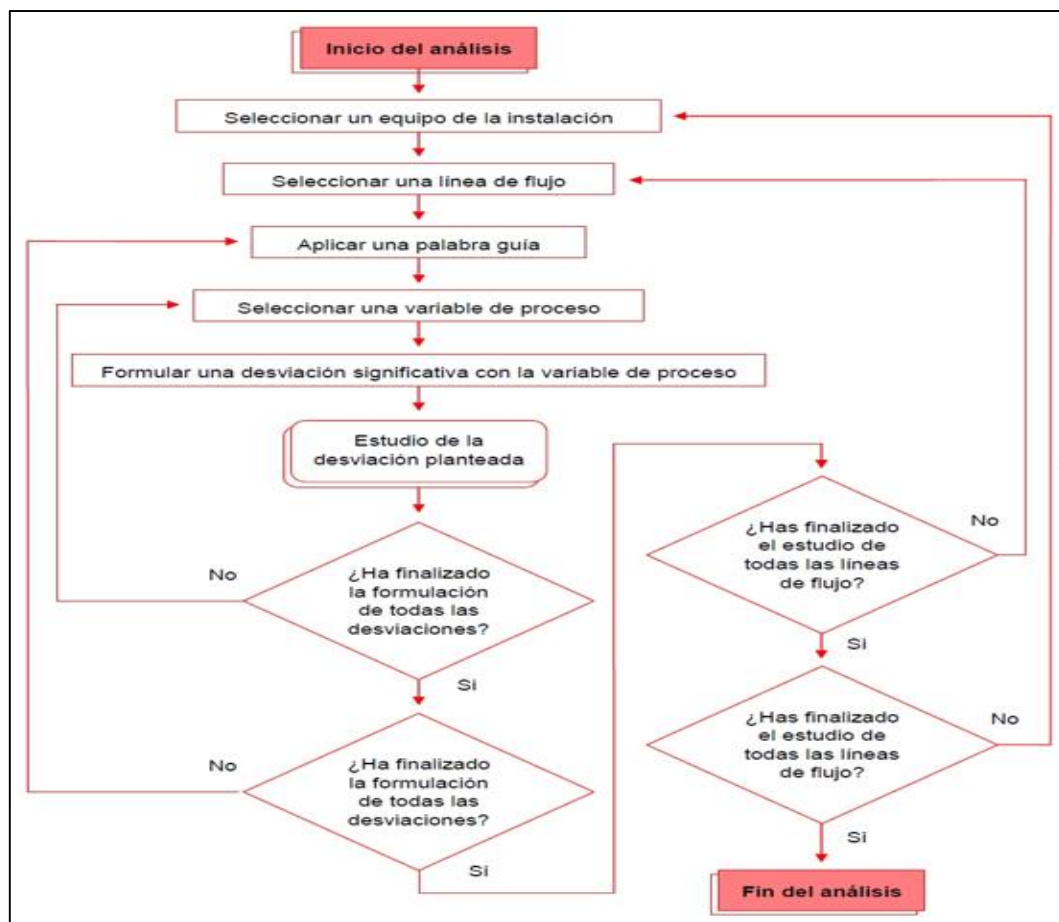


Figura 2. Diagrama de ejecución de análisis HAZOP

Fuente: <http://www.aulaprl.com/2015/10/evaluacion-de-riesgos-metodo-hazop.html>

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la sociedad se atemoriza más por los accidentes que representan un impacto social, la muerte simultánea de un grupo de personas trabajadoras, que no por los que golpean individuo a individuo y afectan de forma directa solamente a un colectivo, siendo esta la familia. Y esto ocurre aunque el riesgo de este accidente individual sea relativamente mayor que el que afecta al grupo. Es decir, pese a que estadísticamente se puede demostrar que este riesgo individual provoca, una a una, al cabo de cierto tiempo, más víctimas que el otro, ello no suele modificar el sentimiento colectivo (Casal, 1999).

En la industria petroquímica un sinnúmero de accidentes graves han sido ocasionados por incendios y explosiones, siniestros que han causado fatalidades humanas de cientos de

trabajadores y de daños a la propiedad, los cuales pudieron ser evitados, de haberse tomado las medidas de seguridad industrial.

En la industria ecuatoriana, no existe registro de estadísticas vinculadas con accidentes graves ocasionados por incendio y explosión.

El riesgo de incendio y explosión se nos presenta en el lugar de trabajo con un potencial intrínseco de pérdidas humanas y económicas; representan también un riesgo para la población en general. Con todo, no siempre se adoptan las medidas necesarias para prevenirlo o protegerse contra el mismo (MINISTERIO DE BIENESTAR SOCIAL , 1998).

Al referirnos a las previsiones que deberían tomarse en la fase de ejecución de cualquier proyecto de obra e instalaciones de cualquier empresa, no hacemos más que recordar la necesidad de actuar de forma preventiva.

Las medidas apropiadas para evitar el riesgo de incendios o explosiones pueden variar según las circunstancias en que se presente el riesgo, pero el incendio como fenómeno, su evolución y las medidas de seguridad admiten un tratamiento común.

Evitar los incendios, conocer los principios básicos de la detección y la extinción, así como de la evacuación de los edificios, son deberes sociales de primer orden por cuanto la seguridad es consecuencia de la suma de las actitudes de los individuos que integramos las colectividades. También aquí es necesaria la intervención de los delegados de prevención para la ejecución de planes, procedimientos y métodos de prevención de accidentes. En este campo, uno de los riesgos más graves para la seguridad de bienes y personas, es el de incendio y explosión. Algunos métodos utilizados para su valoración como los de Gustav Purt y Max Gretener, fueron diseñados para riesgos pequeños y medianos, y no son útiles para valorar las industrias de gran riesgo como las petroquímicas.

La Guía para la Clasificación de Riesgos, índice de incendio y explosión, que aquí se presenta, cubre esta laguna, siendo uno de los métodos de mayor predicamento internacional entre especialistas, no solo por su utilidad, sino por el ímprobo esfuerzo de concepción y actualización llevado a cabo por sus creadores. (DOW CHEMICAL COMPANY , 1980).

Es interesante por otro lado observar que en los últimos años ha aumentado la presencia en los medios informativos de referencia a catástrofes o a grandes accidentes relacionados con los riesgos tecnológicos. Y es que, realmente, ha habido un aumento del número de accidentes (motivado, entre otras razones, por el aumento del número de instalaciones y su tamaño). Esto ha contribuido a sensibilizar a la población y ha facilitado en algunos casos el crecimiento de alarma y el miedo y, en definitiva, el rechazo.

El rechazo o la aceptación de una determinada actividad están sujetos a la imagen que ésta ha adquirido a los ojos de la sociedad. En el caso de las centrales nucleares, por ejemplo, su imagen ha sido fuertemente afectada por el miedo al accidente. En el caso de la industria química, intervienen dos factores: la polución y el riesgo. Sin embargo, por lo que respecta al primero, hay un cierto efecto de dilución motivado por la problemática generalizada de la contaminación, por la dispersión de sus efectos sobre amplios sectores de la sociedad, y por la sensación, muchas veces falsa , de que antes de que estos efectos lleguen a ser realmente graves la situación estará controlada; si bien contribuye a dar una mala imagen de la industria química, sus efectos son en general menos agudos que los del miedo al riesgo de un accidente. (Casal, 1999)

Es obvio que el riesgo cero no existe y que debemos, pues, asumir unos determinados riesgos. En realidad, cualquier individuo es consciente de este hecho y acepta periódicamente, si no constantemente, un cierto número de riesgos a cambio de determinadas compensaciones.

Incluso se aceptan riesgos con una tasa de mortalidad relativamente alta, sin preocuparse demasiado. Así pues, en muchos casos el riesgo se acepta voluntariamente; es decir, el individuo piensa que, de alguna forma, lo controla, de manera que cuando quiera lo podrá eliminar; por otra parte, se trata generalmente de riesgos bien conocidos o, por lo menos, con los que se está familiarizado.

La situación se complica, como se ha dicho antes, cuando el riesgo no es voluntario y cuando, además, es conocido. No obstante, implícitamente los miembros de una sociedad industrializada como la nuestra son conscientes de las ventajas que representa la industria química, la generación de energía, etc.; esto supone que, paralelamente, están dispuestos a tolerar un cierto riesgo adicional a cambio de disfrutar de determinadas ventajas de la vida moderna.

El problema surge cuando el riesgo es realmente demasiado elevado o cuando un determinado sector de la sociedad considera que la cuota de riesgo que le corresponde es demasiado alta. Y aquí cabe contemplar dos aspectos: en primer lugar, que es prácticamente imposible que el riesgo de una determinada instalación, que en principio beneficia a un amplio sector de la sociedad, se reparta por igual entre todos los individuos, por razones evidentes de proximidad geográfica, etc. En segundo lugar, que desdichadamente, en un determinado número de casos esta percepción de la sociedad está correctamente fundamentada y el riesgo es ciertamente demasiado elevado.

Es evidente, que el control del riesgo y su mantenimiento dentro de unos límites tolerables tiene que ser a fuerza uno de los objetivos tanto de la industria como del gobierno de cualquier país, si bien hay que tener en cuenta que no se puede aspirar a tener determinadas instalaciones

sin aceptar un margen de riesgo, y que finalmente siempre quedan algunos factores de difícil o imposible control.

Si bien es difícil y complejo, se han realizado intentos para establecer valores para el riesgo tolerable. Éste es un terreno delicado, donde la unidad de medida, la vida humana origina la intervención simultánea de factores no sólo de orden práctico sino también de orden ético tolerable, y no parece que la tendencia futura vaya a esa línea. En unos pocos países se han establecido criterios oficiales.

Los riesgos mayores y catástrofes, es lo que más preocupa a la población trabajadora, como más comunes podemos citar las explosiones, los incendios, las nubes tóxicas y la dispersión de productos radioactivos. La Tabla 4 presenta una lista de los principales accidentes con sustancias peligrosas ocurridas entre 1974 y 1988, comprende los accidentes con al menos 100 muertos, o 400 heridos, o 35.000 evacuados o 70.000 personas sin agua potable.

Tabla 4. Accidentes Químicos entre 1974-2006

Año	Lugar	Tipo de incidente	Sustancia química responsable	Victimas mortales	Heridos
1993	Remedios, Colombia	Vertido	Petróleo	430	
1996	Haití	Medicamento envenenado	Dietilenglicol	> 60	
2000	Kinshasa, El Congo	Depósito de municiones (explosión)	Municiones	109	216
2001	Toulouse, Francia	Fábrica (explosión)	Nitrato de amonio	30	>2500
2002	Lagos, Nigeria	Depósito de municiones (explosión)	Municione	1000	
2003	Gaoqiao, China	Pozo de gas (escape)	Sulfuro de hidrógeno	240	9,000
2005	Huaian, China	Camión (escape)	Cloro	27	300
2005	Graniteville, USA	Tren cisterna (escape)	Cloro	9	250
2006	Abidján, Côte d'Ivoire	Residuos tóxicos	Sulfuro de hidrógeno, mercaptanos,	10	>100,000

Fuente: <http://www.riesgoquimico.es/2010/10/15/accidentes-quimicos-entre-1974-2006>

Con un origen diferente, pero con algunas características semejantes a las de los denominados riesgos mayores, se encuentran los riesgos de catástrofes naturales (huracanes, terremotos, etc.).

Es por eso que en primer lugar, se presenta una metodología muy sencilla para identificar el peligro intrínseco de las sustancias implicadas en el proceso estudiado; éste sería el primer paso de cualquier estudio de la identificación. El análisis histórico de accidentes ha sido escogido como técnica representativa de las que ofrecen una primera aproximación y una visión general del riesgo de una instalación. Se ha hecho especial referencia al análisis HAZOP por ser éste, posiblemente, el método más reconocido y utilizado en la industria química, y porque es el que presenta más variantes metodológicas en la práctica.

El "Análisis del Riesgo" del capital invertido en una planta de procesos químicos es una parte necesaria de un programa de seguro del riesgo. Las tarifas de la prima del seguro se calculan sobre la Pérdida Posible Evaluada (E.P.L.). Actualmente, las compañías de seguros utilizan dos métodos para el cálculo del E.P. L. (DOW CHEMICAL COMPANY , 1980):

- a) Datos históricos de pérdidas.
- b) Daños producidos por la sobrepresión de una explosión de vapor inflamable.

Las variables que intervienen en los dos métodos anteriores reducen el valor de los resultados. La necesidad de un método sistemático para la identificación de áreas importantes de pérdida potencial ha sido el motivo para el desarrollo de un índice de Incendio y Explosión y una guía para el Análisis de Riesgos.

El cálculo del índice de incendio y Explosión (IIE) y su aplicación a la determinación del "Daño Máximo Probable de la Propiedad" (MPPD) se ha definido más claramente. Mediante este sistema se puede evaluar cualquier operación donde un material inflamable, combustible

o reactivo se almacene, maneje o trate con excepción las instalaciones generadoras de energía, edificios de oficinas o sistemas de tratamiento o distribución de agua. .

En la Figura 3 se incluye un diagrama que contiene las etapas necesarias para el cálculo del Factor de Riesgos de la Unidad, el índice de Incendio y Explosión IIE el: MPPD y el MPDO.

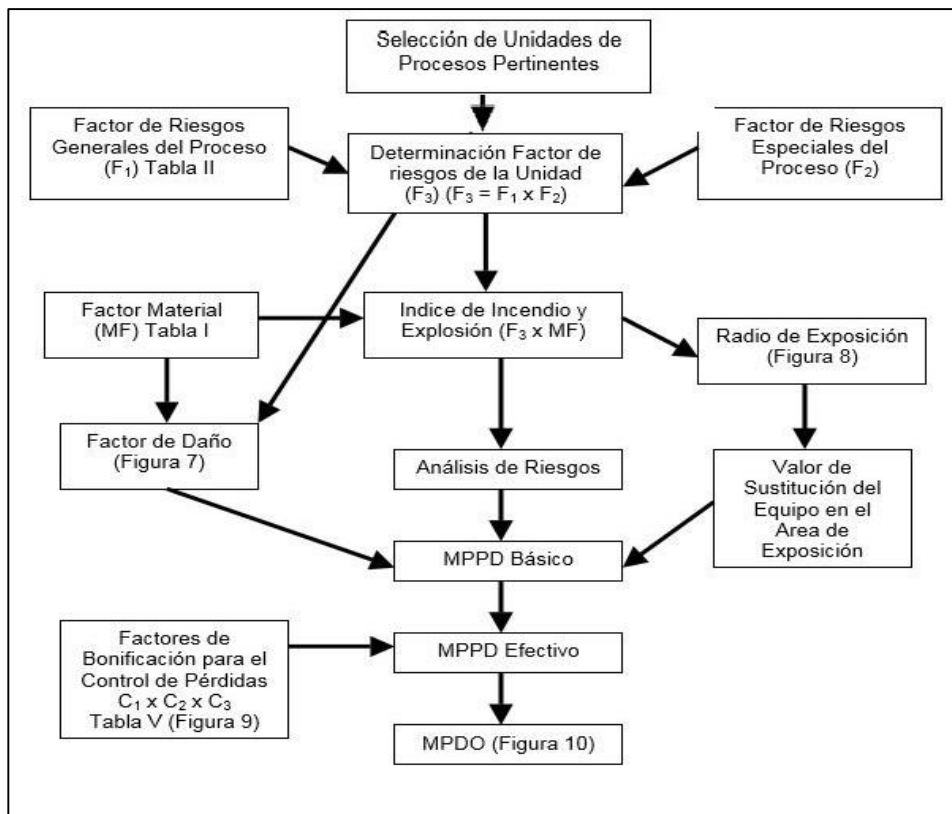


Figura 3. Procedimiento para el cálculo del factor de riesgo de la unidad.

Fuente: Método Dow. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO).

En el compendio Normativa nacional alusiva a incendios y explosiones, citamos las siguientes normativas:

- Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección de Incendios, publicado en el Registro Oficial No. 114 (MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL, 2009), establece directrices y requisitos mínimos a efectos de asegurar que las

edificaciones, según su uso, cuenten con dispositivos, infraestructura, equipos y otros que permitan una oportuna y pronta respuesta en casos de flagelos así como una evacuación rápida y eficaz de las personas. Este cuerpo legal incluye requisitos mínimos de cumplimiento EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN EN UN ÁREA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLES Y PRODUCTOS QUÍMICOS EN UNA EMPRESA HIDROCARBURÍFERA 24 obligatorio para estaciones de abastecimiento de combustibles y tanques de almacenamiento.

- Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador, emitido mediante Decreto Ejecutivo 1215 , que establece especificaciones para el manejo, almacenamiento de combustibles y productos químicos incluyendo requisitos para tanques de almacenamiento.
- Norma INEN 2266: 2013 Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 2266, 2010). La norma establece los requisitos que deben ser observados durante las actividades de transporte, almacenamiento y manejo de productos peligrosos.
- Norma INEN 2288 Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado de precaución. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 2288, 2000). Establece especificaciones inherentes a las directrices de etiquetado.
- Norma INEN 3864-1:2013 Símbolos gráficos. Colores de seguridad y señales de seguridad (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 3864-1, 2013). Establece los requisitos para los aspectos antes descritos con el fin de estandarizar aspectos de señalización.
- Norma INEN 739:1987, 1ra. edición, contiene disposiciones para la inspección, mantenimiento y recarga de extintores portátiles de todo tipo.

- Reglamento de Seguridad para Transporte de Combustibles, expedido mediante acuerdo Ministerial No. 184 y publicado en el registro Oficial 135.

El compendio de normativa alusiva a incendio y explosión de orden internacional es citada a continuación:

- NFPA 1 – Código Uniforme de Seguridad contra Incendios. El objetivo de la norma es determinar rangos razonables de seguridad y protección de la propiedad y seguridad humana contra incendio, explosión o condiciones peligrosas.
- NFPA 10 – Extintores portátiles contra incendios. Establece lineamientos para la selección, distribución, inspección, mantenimiento y recarga de extintores.
- NFPA 11 – Norma para espumas de baja, media y alta expansión. Incluye recomendaciones y criterios respecto al uso y dimensionamiento de sistemas de protección en base a estos productos.
- NFPA 13 – Norma para la instalación de sistemas de rociadores. Proporciona los requerimientos y criterios de diseño y disposición de rociadores tanto para enfriamiento como de protección contra incendios.
- NFPA 15 – Norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contra incendios. Comprende requisitos técnicos mínimos para el diseño, instalación y pruebas requeridas para sistemas fijos aspersores de agua y agua pulverizada.
- NFPA 20 – Bombas estacionarias de protección contra incendios. Contiene los lineamientos y requerimientos mínimos para la selección e implementación de bombas para la protección contra incendios.
- NFPA 30 – Código de líquidos inflamables y combustibles (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 1996) aplicable al almacenamiento, manipulación y uso de líquidos inflamables y combustibles.

- NFPA 72 – Código nacional de alarmas de incendio. Incluye los requisitos mínimos para la operatividad, funcionalidad de detectores automáticos de incendio y alarma, incluyendo requisitos de montaje, prueba y mantenimiento.
- NFPA 101 – Código de seguridad humana contra incendios en edificios y estructuras. Proporciona directrices para diseño, operación y mantenimiento de edificaciones y estructuras enfocadas a la seguridad de las personas contra el fuego.
- NFPA 130 – Símbolos de seguridad contra el fuego. Estandariza los símbolos empleados para representación de riesgos asociados con el fuego.
- NFPA 551 – Guía para la evaluación de riesgo de incendio. Provee métodos de evaluación de riesgos de incendio y requisitos para su aplicación.
- NFPA 704 - Clasificación de productos químicos y sustancias peligrosas. Comprende un sistema de identificación y rotulación de riesgos respecto del fuego.

A continuación normativa, guías y estándares alusivos a la prevención, evaluación y control de riesgo de incendio y explosión (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Gobierno de España INSHT):

- NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: enfocado en el método Probit, que relaciona estadísticamente la probabilidad de vulnerabilidad de personal expuesto respecto a la carga de exposición a un riesgo.
- NTP 092: Bocas e hidrantes de incendio. Condiciones de instalación. Incluye especificaciones de los diferentes componentes así como criterios de instalación de estos elementos de protección contra incendios.
- NTP 293: Explosiones Bleve (I): evaluación de la radiación térmica. Incluye sistemas simplificados de evaluación de daños que se generen por radiación térmica.

- NTP 294: Explosiones Blevé (II): medidas preventivas. La guía fija acciones de prevención que deberían ser consideradas en la fase de diseño de las instalaciones.
- NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO) La nota técnica presenta la metodología que permiten determinar las sobrepresiones que podrían generarse durante una explosión.
- NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases. La guía establece metodologías para la determinación de la intensidad de radiación que podría producirse en un incendio.
- NTP 420: Instalaciones de abastecimiento de agua contra incendios. Incluye los criterios que deben ser considerados para establecer caudales mínimos de agua; según el escenario donde ocurre el evento; y, el producto que genera el incendio.
- NTP 599. Evaluación del riesgo de incendio. Proporciona información de diferentes metodologías de evaluación.

1.2.2 Adopción de una perspectiva teórica

Entendiendo las instalaciones de un campo marginal petrolero que comprende el centro de producción y facilidades de petróleo, objeto de estudio en los nodos importantes que son parte de producción, se procederá con la evaluación del nivel de riesgo a través de la metodología HAZOP, técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, los que se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada del flujo.

Complementariamente se evaluará el nivel de riesgo a través de la metodología Dow (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO, 1980), ya que

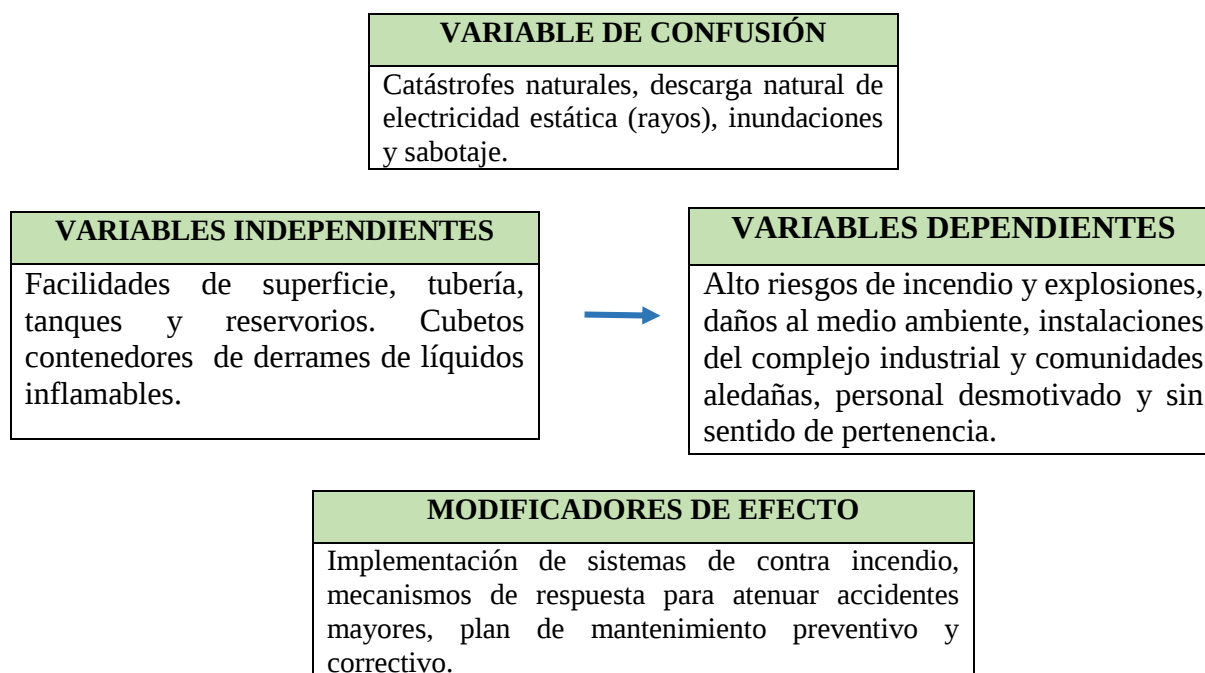
permite el análisis de cada una de las áreas más críticas que son parte del centro de producción y facilidades CPF de petróleo, definir el área de exposición, y estimación de pérdidas económicas.

1.2.3 Hipótesis

Los procesos de un centro de producción y facilidades para un campo maduro petrolero, representa un potencial mayor para pérdidas materiales de la organización y paralización de operaciones, debido al manejo líquidos combustibles. Se precisa que el nivel de riesgo de incendio y explosión es grave, considerando que un pequeño derrame puede cubrir un área grande del banco de trabajo o del piso. Los líquidos que se queman pueden fluir por debajo de puertas, escaleras, repartiendo el fuego ampliamente, causando un incremento en los costos de producción, afectación a la comunidad local, impactos ambientales al medio biótico y abiótico local y afectación a la integridad de los colaboradores de la organización.

1.2.4 Identificación y caracterización de variables

Tabla 5. Identificación y caracterización de variables



Elaboración: Edison Chávez

Se ha realizado la conceptualización de las variables identificadas, se han definido los indicadores de la siguiente manera:

Tabla 6. Variables independientes

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	NIVEL DE MEDICIÓN	INDICADOR
VARIABLES INDEPENDIENTES				
Facilidades de superficie, tubería, tanques y reservorios. Cubetos contenedores de derrames de líquidos inflamables.	Obsolescencia de facilidades de superficie Tiempo de garantía caducada	Equipos fuera de vida útil, según el diseño del fabricante	Cuadro de vida útil	Registro de mantenimiento
Supervisión deficiente	Ningún cumplimiento de la norma	Verificación: • Procedimiento • Normas	Planes de supervisión	Check list
Sobrecarga de la capacidad nominal de operación de equipos	Volumen de equipos de almacenamiento	Volumen de procesamiento de separadores trifásicos	Barriles de producción	Barriles producidos
Programa inadecuado de mantenimiento preventivo y predictivo de facilidades de superficie	Programa de mantenimiento	Alargar la vida útil de los equipos	Rendimiento de los equipos	Tiempo de operación
Personal desmotivado, sin capacitado, sin sentido de pertenencia	Programa de desarrollo capacitación y competencias	Descripción del puesto de trabajo	Test	Población trabajadora capacitada

Continuación Tabla 6.

VARIABLES DEPENDIENTES				
Alto riesgos de incendio y explosiones	Explosión no controlado con alto poder de destrucción	Identificación de peligros y evaluación de riesgos	Hazop	Nivel de riesgo
Daños al medio biótico y abiótico	Contaminación de acuíferos, suelo con hidrocarburos	Identificación de aspectos e impactos ambientales	Matriz de identificación	Nivel de impacto ambiental
Personal desmotivado y sin sentido de pertenencia.	Clima laboral negativo	Identificación de factores de riesgo psicosocial	ISTAS 21	Nivel de riesgo

Elaboración: Edison Chávez

CAPÍTULO II.

MÉTODO

2.1 NIVEL DE ESTUDIO

La metodología particular de la investigación en el presente estudio, será de tipo descriptivo, que implica la descripción, registro, análisis e interpretación de datos.

2.2. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

Se recopilará información a través de diferentes instrumentos y técnicas, para posteriormente, inventariar y sistematizar, análisis e interpretar de los resultados, con la finalidad de obtener un diagnóstico de la situación actual del riesgo de incendio y explosión, en los tres nodos del flujo de procesos seleccionado, petróleo, gas y agua de formación.

El presente trabajo de investigación considerará la valoración probable de daños a la población trabajadora por exposición a una planta de procesamiento petroquímico.

Con los resultados impresos de las evaluaciones, se definirá si las medidas de prevención y control con las que cuenta el centro de producción y facilidades CPF de procesamiento de petróleo, son conforme a los requerimientos de protección y minimización del riesgo.

Desarrollando el análisis en cuestión, se establecerán las oportunidades de mejora que se establecerían para minimizar el nivel del riesgo latente; para por último incluir la evaluación del riesgo de las áreas más críticas.

2.3 MÉTODO

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se usó el método hipotético, deductivo correspondiente al sistema actual, en la que se reflejan desviaciones del proceso con respecto a los parámetros de operación y sus consecuencias, para obtener las conclusiones precisando como punto de partida, la observación, explicación y práctica.

- Metodología cualitativa.
- Listas de chequeos.
- Análisis preliminar de riesgos.
- Análisis de modo de falla.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

De acuerdo a las características particulares del estudio, no se requiere estudios por muestra y población, al ser un estudio de caso.

2.5 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación, se lo compuso por dos fases: la primera fase del estudio HAZOP (Análisis Funcional de Operatividad), consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una instalación de proceso, considerada como el sistema objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o unidades que corresponden a entidades funcionales propias; en la segunda fase comprenderá la sistematización, la interpretación y análisis de antecedentes; fase en la cual se considera las tareas de planificación como antesala a la etapa de campo, selección y estudio de material alusivo al tema de investigación.

Para la estimación del riesgo de incendio y explosión, en función de bibliografía actual, se dispone de varios métodos cualitativos, cualicuantitativos y cuantitativos, con medio y alto

nivel de dificultad, en función de la información y el alcance de los factores del procedimiento. Estos métodos en su gran mayoría, estiman el nivel de afectación relacionada de los mismos acontecimientos, sin considerar la probabilidad.

La información necesaria en el presente estudio, en cuanto a técnicas de investigación, estarán compuestas de:

- Observaciones: Mediante análisis de nudos o puntos claramente localizados en el proceso.
- Encuestas: Desarrollada a una población trabajadora.
- Fichaje: La recolección de información de campo será recabada en lista de chequeos, formularios y formatos de recogida del Hazop.

Se realizará la recolección de información documental de la organización, en función de demanda de la investigación.

Ya realizada la identificación los riesgos se evaluó los accidentes a consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación mediante la metodología Hazop, complementado con la evaluación del riesgo de incendio y explosión mediante la metodología DOW.

La información obtenida sirvió para llevar a cabo la evaluación cualitativa y cuantitativa de la evaluación de accidentes por desviación de variables operacionales así como el riesgo mediante uso de matrices, cuadros de palabras guías, hojas de cálculo dependiendo de ecuaciones.

A través de los resultados conseguidos, se identificó posibles desviaciones de operación, de acuerdo a la bibliografía actual, además se determinará los radios de exposición para las condiciones críticas identificadas.

Se propondrá oportunidades de mejora con el objetivo de prevenir la ocurrencia de accidentes mayores, articulados en un programa de acciones que consoliden los procedimientos y sistemas de prevención y control de accidentes mayores latentes en el proceso de producción de la industria petroquímica.

CAPÍTULO III.

RESULTADOS

3.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta la identificación de una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso, nudos que pueden ser: tubería de alimentación de una materia prima. En el presente caso se citarán los circuitos de crudo, gas, agua de formación y diésel como una materia prima considerada dentro de los procesos de apoyo.

En la Tabla 7 se definen los nudos, los cuales se refieren a que en cada uno de estos subsistemas se identificarán una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso de producción de crudo petróleo.

Cada nudo se identificó y se numeró correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido del proceso para mejor comprensión y comodidad.

Tabla 7. Codificación de los nudos del proceso

EMPRESA: PETROBELL INC.
EMPLAZAMIENTO: CENTRO DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES (C.P.F.) - CAMPO DE PRODUCCIÓN DE CRUDO
UNIDAD: EXPLATACIÓN & PRODUCCIÓN DE CRUDO PETRÓLEO
NODOS A ANALIZAR: CIRCUITO 1: FLUJO DE CRUDO CIRCUITO 2: FLUJO DE GAS CIRCUITO 3: FLUJO DE DIESEL CIRCUITO 4: FLUJO DE AGUA DE FORMACIÓN
CÓDIGOS: HAZOP TIG001 F1CD HAZOP TIG001 F2GS HAZOP TIG001 F3DSL HAZOP TIG001 F4ADF

Elaboración: Edison Chávez

En la siguiente Tabla 8. se presenta la codificación por cada uno de los circuitos previamente seleccionados, tomando la primera letra del código de la primera palabra, a continuación se asignará un número para estructurar de manera ordenada los circuitos. Finalmente se asigna las letras de la materia prima utilizada dentro de los procesos elegidos.

Tabla 8. Codificación de flujos - Nodos

Flujo de Crudo	Nodo 1: F1CD
Flujo de Gas	Nodo 2: F2GS
Flujo de Diésel	Nodo 3: F3DSL
Flujo de Agua de formación	Nodo 4: F4ADF

Elaboración: Edison Chávez

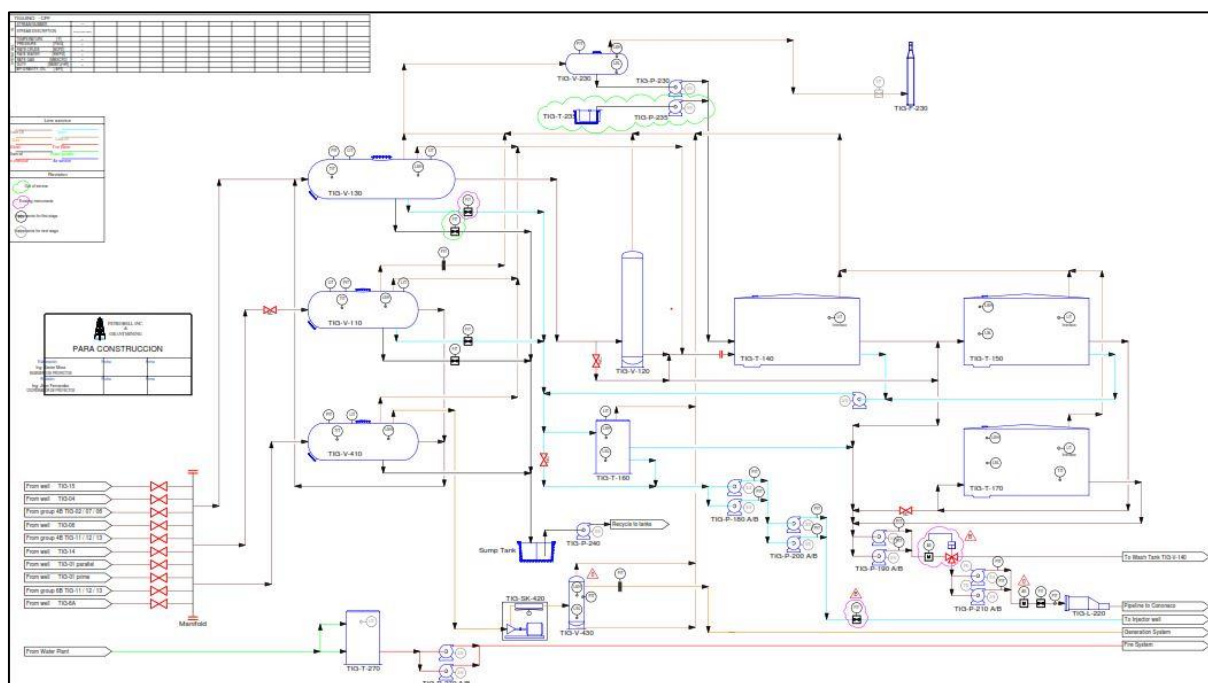


Figura 4. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID del Centro de Producción y Facilidades CPF.

Fuente: Petrobell Inc. Grantmining S.A.

En la siguiente Tabla se presenta la identificación y codificación de las instalaciones extralocativas, con el objeto de identificar todos los equipos, maquinaria y facilidades que existe en el centro de producción y facilidades de un campo petrolero.

Tabla 9. Identificación y codificación de instalaciones extralocativas

SISTEMA	PRODUCTOS	ELEMENTO	CÓDIGO	DETALLE
Deshidratación de Crudo	Crudo	Separador trifásico (FWKO)	TIG-V-130	FREE WATER KNOCK OUT (SEPARADOR TRIFÁSICO)
		Tanque de lavado	TIG-T-140	Contiene techo fijo
		Bota de Gas	TIG-V-120	Atrapamiento de partículas de gas
		Tanque Surgencia	TIG-T-150	Contiene techo fijo
		Tanque almacenamiento	TIG-T-170	Contiene techo fijo
		Bomba Booster	TIG-P-190 A/B	Bombeo de crudo
		Bomba de Transferencia	TIG-P-210 A/B	Bombeo de petróleo
		Bomba de crudo	TIG-P-230	Trasporte de crudo residual del condensador de crudo
	Agua	FWKO	TIG-V-130	Free water knock out (Separador trifásico)
		Separador de Prueba	TIG-V-110	Separador trifásico
		Tanque de Agua	TIG-T-160	Contiene techo fijo

Continuación Tabla 9.

		Bomba Booster	TIG-P-180	Bomba usada para el bombeo de agua.
		Bomba Inyección	TIG-P-200 A/B	Bomba usada para reinyección de agua a pozos reinyectores.
	Gas	FWKO	TIG-V-130	Free water knock out (separador trifásico)
		Tambor eliminación de flama (flare knock out drum)	TIG-V-230	Condensador de crudo y liberación de gas.
	Gas	Mechero (flare stack)	TIG-F-230	Quemador de gas
		Desgasificador	TIG-V-410	Desgasificador
		Planta tratamiento gas	TIG-SK-420	Planta de tratamiento de gas.
		Bota de gas	TIG-V-430	Filtro de gas de la planta de tratamiento para el sistema de generación.
Electricidad	Energía eléctrica	Tanque de diésel	TIG-T-250A	Combustible para generación eléctrica.
		Tanque de diésel	TIG-T-250B	Combustible para generación eléctrica.
		Tanque de diésel	TIG-T-250C	Combustible para generación eléctrica.
		Tanque de diésel	TIG-T-250E	Combustible para generación eléctrica.

Continuación Tabla 9.

		Tanque de diésel	TIG-T-250D	Combustible para generación eléctrica.
		GENERADOR SET	TIG-G-260A	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR SET	TIG-G-260B	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR SET	TIG-G-260C	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR BACK UP	-- --	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR SET	TIG-G-260D	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR	TIG-G-260F	Generadores del sistema de generación eléctrica.
		GENERADOR	TIG-G-260E	Generadores del sistema de generación eléctrica.

Elaboración: Edison Chávez

En la Figura 5, se muestra el diagrama de tubería e instrumentación en las instalaciones del centro de producción y facilidades para su producción de crudo petróleo.

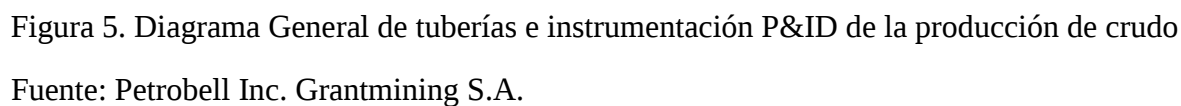


Figura 6. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del gas

Fuente: Petrobell Inc. Grantmining S.A.

En la Figura 7, se muestra el diagrama de tubería e instrumentación en las instalaciones del centro de producción y facilidades para su producción de crudo petróleo, donde se observa el circuito de agua de formación.

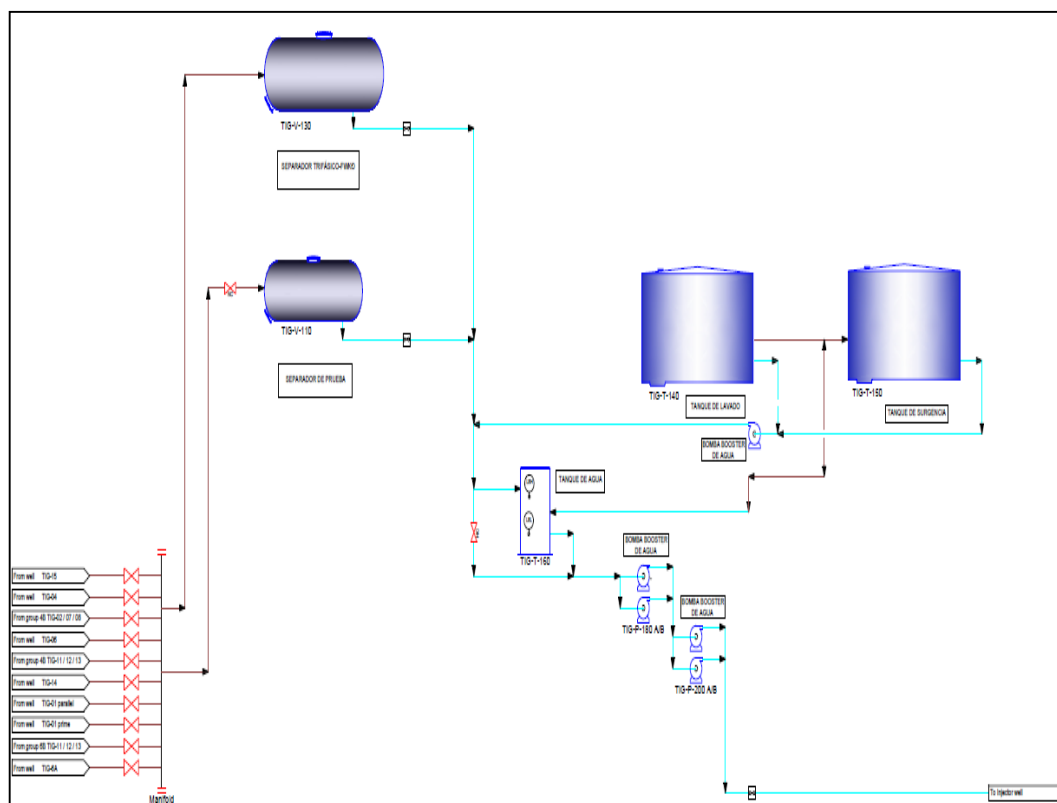


Figura 7. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del agua de formación.

Fuente: Petrobell Inc. Grantmining S.A.

En la Figura 8, se muestra el diagrama de tubería e instrumentación en las instalaciones del centro de producción y facilidades para su producción de crudo petróleo, donde se observa el circuito del diésel.

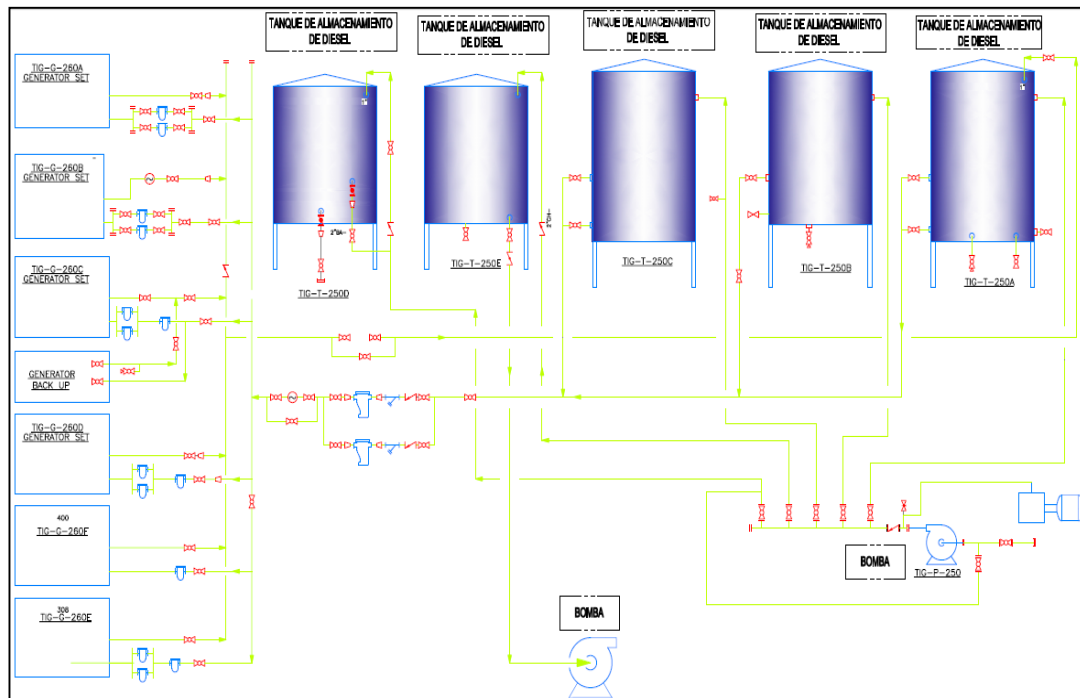


Figura 8. Diagrama General de tuberías e instrumentación P&ID de la producción del diésel.

Fuente: Petrobell Inc. Grantmining S.A.

3.1.1 Palabra guía del estudio de los nodos

En la Tabla 10. se recoge el HAZOP correspondiente al Nodo 1: F1CD que refleja las operaciones asociadas al procesamiento de crudo petróleo: deshidratación del crudo en el separador trifásico (TIG-V-130), para luego ser distribuido a un tanque de almacenamiento (TIG-T-170).

Palabra guía del estudio del nodo se utilizarán a continuación para indicar el concepto que representan cada uno de los nudos definidos anteriormente, que entran o salen de un elemento determinado.

Tabla 10. Palabra Guía del Estudio del Nodo F1CD.

PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F1CD	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo en la línea	Fallo de operación en el drenaje del separador (TIG-V-130)
		Falla de operación en la válvula de ingreso al separador FWKO(TIG-V-130) (TIG-V-110)
		Fallo en la válvula de control FWKO(TIG-V-130)
		Fallo indicadores de flujo LSH ⁴ de los separadores (TIG-V-130)
		Problema de filtros de bombas (TIG-P-190 A/B)
	No presión	Taponamiento de filtros aguas arriba de la bomba (TIG-P-190 A/B)
		Fallo de bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B)
		Falla operativa de válvulas de paso
Más y/o menos(2)	Más/Menos Presión	Fallo de las válvulas de ingreso bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B)
		Falla mecánica de bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B) (TIG-P-230)
		Fallo indicadores de presión PI (TIG-V-130) (TIG-V-110)
	Más / Menos flujo	Fallo de la válvula de control LCV aguas abajo de los separadores (TIG-V-130) (TIG-V-110)
		Mala operación de válvula de descarga de los tanques (TIG-T-150) (TIG-T-170)
Mayor que o así como (3)	Flujo/Presión	Fallo-atascamiento válvula de control FWKO (TIG-V-130)
		Fallo en la válvula de descarga (TIG-T-140) (TIG-T-150) (TIG-T-170)
		Fallo de válvulas de seguridad PSV (TIG-T-150) (TIG-T-170)

⁴ Interruptor de nivel alto

Continuación Tabla 10.

Menor que o parte de (4)	Flujo	Falla de operación de drenajes de separadores (TIG-V-130) (TIG-V-110).
		Filtros sucios.
		Fallo operativo en válvula ingreso al tanque y bombas de transferencia.
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo (fallo en válvula check)
		Giro Invertido bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B) (TIG-P-220)
De otra forma (6)	Parada	Paro programado.
		Paro emergente.
	No arranque	Falla sistema eléctrico.
		Problemas mecánicos bombas.
	Falta de energía eléctrica	Falla turbinas y/o generadores.
	Mantenimiento	Paro emergente.
		Paro programado.
	Contaminación de producto	Fallo en la válvula actuada aguas abajo del medidor de % BSW (Basic sediments and water).
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones sólidas, líquidas y gaseosas al ambiente.

Tabla 11. Palabra guía del circuito F2GS

PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F2GS	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo	Problema en la válvula de control BPCV (TIG-V-130) (TIG-V-410)

Continuación Tabla 11.

		Fallo en válvula actuada aguas arriba de los separadores (TIG-V-130) (TIG-V-410)
		Fallo en válvulas de paso
		Fallo de la bomba (TIG-P-230)
		Fallo mecánico en la planta de tratamiento de gas
	No presión	Fallo de válvulas
		Taponamiento de filtros
		Falla operativa
Más y/o menos(2)	Más/Menos presión	Fallo en las válvulas de seguridad PSV, GAS SCRUBBER (TIG-V-440)
		Taponamiento de filtros aguas arriba de las bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-190 A/B)
		Fallo indicadores de temperatura PI
	Más/Menos temperatura	Fallo indicador de temperatura separadores FWKO (TIG-V-130) (TIG-V-110) (TIG-V-410)
	Más / Menos flujo	Fallo válvulas de control BPCV separadores
		Daño de válvulas de control de los separadores
Mayor que o así como(3)	Flujo/Presión/ Temperatura	Fallo válvula PSV (TIG-V-430)
		Atascamiento de la válvula de control separadores
		Sobre carga de producción
Menor que o parte de (4)	Flujo	Fallo en válvulas de control FWKO (TIG-V-130)
	Presión	Fallo de indicadores de presión PI
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo (fallo en válvula check)
De otra forma (6)	Parada	Paro programado
		Paro emergente
	Mantenimiento	Paro emergente
		Paro programado
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones gaseosas al ambiente

Tabla 12. Palabra guía del circuito F3DSL

PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F3DSL	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo	Mala operación de las válvulas de paso
		Fallo en válvulas (cerrada o atascada)
		Fallo en bomba (TIG-P-250) (TIG-P-251)
		Taponamiento de filtros tipo “Y”, tipo canasto
	No presión	Fallo de bomba (TIG-P-250) (TIG-P-251)
		Falla operativa
Más y/o menos(2)	Más/Menos presión	Fallo indicadores de presión PI, aguas abajo de la bomba (TIG-P-250)
	Más / Menos flujo	Fallo indicador de flujo FIR, aguas abajo de los filtros Y
		Fallo de la bomba (TIG-P-250)
Mayor que o así como(3)	Flujo/Presión	Falla de operación de válvulas manuales aguas abajo de la bomba (TIG-P-250)
Menor que o parte de (4)	Flujo/Presión	Falla de operación en válvulas al ingreso bomba (TIG-P-250)
		Bajo inventario en el tanque de alimentación (TIG-T-250A/B/C/D/E)
		Fallo de válvulas aguas debajo de los tanques
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo, fallo en válvula check, aguas abajo de los tanques (TIG-T-250A/B/C/D/E)
De otra forma (6)	Parada	Paro programado
		Paro emergente
	No arranque equipos	Falla sistema eléctrico

Continuación Tabla 12.

		Problemas mecánicos bombas (TIG-P-250) (TIG-P-251)
	Falta de energía eléctrica	Falla turbinas y/o generadores
	Mantenimiento	Paro emergente
		Paro programado
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones, líquidas y gaseosas al ambiente

Tabla 13. Palabra guía del circuito F4ADF

PALABRA GUÍA	SITUACIÓN F4ADF	CAUSA POSIBLE
No(1)	No flujo	Mala operación de las válvulas de paso (TIG-V-130) (TIG-T-160)
		Fallo de bombas (TIG-P-170 A/B) (TIG-P-180 A/B) (TIG-P-200 A/B)
	No presión	Fallo de válvulas aguas abajo de los separadores (TIG-V-130)
		Fallos mecánicos
		Falla operativa
Más y/o menos(2)	Más/Menos presión	Problema mecánico para la carga y descarga(TIG-P-170 A/B) (TIG-P-180 A/B) (TIG-P-200 A/B)
		Fallo indicadores de presión PIT (TIG-P-180 A/B) (TIG-P-200 A/B)
		Falla operativa
	Más / Menos flujo	Fallo drenaje FWKO (TIG-V-130)
		Fallo indicadores de flujo (TIG-T-160)

Continuación Tabla 14.

Mayor que o así como(3)	Flujo/Presión	Fallo de las válvulas de control LCV-BPCV (TIG-V-130)
		Fallo en el drenaje (TIG-V-130)
		Fallo de indicadores de flujo y presión PI
		Sobrecarga de producción
Menor que o parte de (4)	Flujo	Taponamiento de filtros aguas arriba de la bomba (TIG-P-200)
		Fallo operativo en válvulas de paso
	Presión/Flujo	Fallo en la válvula actuada aguas arriba de del FWKO (TIG-V-130)
Inverso (5)	Flujo	Retorno flujo (fallo en válvula check)
		Giro Invertido bombas
De otra forma (6)	Parada	Paro programado
		Paro emergente
	No arranque	Problemas mecánicos bombas
	Falta de energía eléctrica	Falla turbinas y/o generadores
	Mantenimiento	Paro emergente
		Paro programado
	Contaminación ambiental	Alto grado emisiones líquidas y gaseosas al ambiente

Tabla 14. Consecuencia del Estudio de los Nodos

CONSECUENCIA
(1) Daño interno del separador, incumplimiento de especificaciones del crudo.
(1) Pérdida tiempo de recepción, pérdida de producción, parada de bombas sumergibles de los pozos productores.
(1) Variación de presión, flujo y sobrecalentamiento de bombas, posible rotura de sellos mecánicos derrame e incendio.
(2) Pérdida de nivel en el lado de interface; arrastre de crudo en fase agua.
(3) Daño de equipos de superficie, aguas debajo de los separadores trifásicos.
(4) Posible reboce de producto en tanques y demora en la entrega de producción; consecuentemente generación de incendio. Paro total emergente de la planta.
(2) Arrastre de agua a fase de crudo.
(5) Daño mecánico en bombas y daño mecánico del tanque.
(6) Pérdidas en la producción y por lo tanto económica por interrupción del proceso productivo en el CPF.
(5) Pérdida en el tiempo de operación y consecuentemente pérdidas económicas
(6) Paro total programado o emergente, pérdida en la producción y por lo tanto Económica.
(6) Riesgo al momento de realizar mantenimiento al equipo como sufrir golpes, quemadura, caídas, etc.
(6) Derrame de crudo al ambiente, aparecimiento de factores de riesgo en el trabajo, alto riesgo de sufrir enfermedades profesionales.

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 15. Aplicación de la metodología HAZOP.

MEDIDAS A TOMAR
(1) Elaboración de procedimientos de mantenimiento, incluir PDAH in bombas (TIG-P-190 A/B) (TIG-P-210 A/B)
(1) Elaboración de procedimiento operativos y manual de identificación de drenajes
(1) Actualización del PI&D TIG-R1-106A y el PI&D TIG-R1-107
(1) Implantar filosofía de control y seguridad a la existente en el FWKO TIG-V-130 y realizar las acciones lógicas adicionales
(1) Control de nivel y seguridad de interface en el Tanque T-140 (Agregar instrumentación electrónica)
(2) Mantener la operación de los equipos en los rangos de presión, flujo óptimos para una adecuada operabilidad en base a la información de diseño emitida por el fabricante (Manual de Operaciones)
(3) Vigilar de constantemente la instrumentación de superficie que forma parte de los equipos separadores de crudo y establecer un comunicación directa con la unidad técnica de mantenimiento (mecánico, eléctrico, instrumentos) y a la unidad de S.S.A (Seguridad, Salud y Ambiente) de las anomalías que se presentan los equipos para su inmediata reparación y así minimizar y en lo posible eliminar el riesgo de un incidente o accidente.
(4) Colocar válvulas automáticas para el llenado de Lavado T-140.
(5) Automatizar la operación de la bomba TIG-P-220 que transfiere el crudo desde el Tanque de Surgencia TIG-T-150 hacia el nuevo Tanque de Almacenamiento TIG-T-170
(6) Automatizar la operación del tanque de agua TIG-T-160 con control de nivel, incluyendo las bombas booster TIG-P-180 A/B y de inyección TIG-P-200 A/B
(6) La unidad técnica debe solucionar en la rápidamente el restablecimiento de energía eléctrica para el arranque de las Plantas siguiendo los procedimientos y los parámetros de seguridad industrial.

Continuación Tabla 15.

(7) En el Tanque de Almacenamiento de Crudo TIG-T-170 agregar además de las señales de alarma, acciones de control que automaticen el sistema
(6) Establecer que las emisiones solidas sean dispuestas de una manera adecuada ya se han enviados a hacer tratados, así como los líquidos vuelvan a hacer procesados.
(6) Implanta un sistema de parada de emergencia automatizado en base a: (6) Realizar un análisis cuantitativo de riesgos (ACR) en donde se definirán la secuencia de emergencia y sus jerarquías por áreas de operación. Implementar jerarquías de parada de emergencia en caso de incidentes o accidentes (fuegos, mezclas explosivas, etc) como la indicada: (6) Definición típica de jerarquías de parada de emergencia las mismas que van desde NIVEL 0 hasta NIVEL 3.
(8) Adicionalmente, se debe adquirir un sistema de control supervisor tipo SCADA que integre las señales del Tanque de almacenamiento de crudo TIG-T-170, así como de todo el proceso de los tanques hacia un sistema de control supervisor; además se debe adquirir todos los elementos adicionales tales como tarjetas de comunicación, entradas salidas analógicas digitales, etc.

Elaboración: Edison Chávez

Una vez desarrollado el análisis de las posibles desviaciones en la operación, en los circuitos seleccionados, se estiman una serie de consecuencias con alto grado de daño, sin existir una cuantificación específica, motivo por el cual se empleará el método DOW con la finalidad de determinar los daños probables en términos de costes económicos, afectación a la propiedad y afectación de la población trabajadora, a partir de lo cual se jerarquizan los planes de acción.

3.1.2 Índice DOW

La evaluación del nivel de incendio y explosión se desarrolló con la metodología DOW, la cual se aplicó a dos áreas de procesos del centro de producción de crudo CPF, las cuales representan riesgo inminente por sus condiciones de operación:

- Unidad de almacenamiento de diésel.

- Unidad de almacenamiento de petróleo crudo.
- Tanque de almacenamiento de crudo (TIG-T-170).
- Tanques verticales de almacenamiento de diésel (TIG-T-250A) (TIG-T-250B) (TIG-T-250C) (TIG-T-250E) (TIG-T-250D).

3.1.2.1 Determinación del índice de incendio y explosión

De acuerdo a la metodología DOW, se estructuró los procedimientos y métodos de evaluación según la versión número cinco del mismo método, mediante matrices, en función a los estándares y fases de la metodología.

Estimando los estándares y fases de calificación se recogió información articulada con:

- a) Descripción, diseño y estado de unidades seleccionadas.
- b) Características y volumen de los productos manejados.
- c) Características y estado de los materiales de los recipientes que contienen los productos.
- d) Facilidades locativas.

El área de almacenamiento de diésel, de acuerdo a la hoja de seguridad (HDS), es un líquido combustible, motivo por el cual será analizado.

La caracterización de los productos líquidos combustibles considerados y las áreas de manejo y almacenamiento serán representadas en la siguiente tabla, conforme a los apéndices del método DOW.

Tabla 16. Caracterización de los productos

PRODUCTO	UNIDAD	DIÉSEL	CRUDO PETRÓLEO
Temperatura de inflamación	°C	54	93

Continuación Tabla 16.

Temperatura de ebullición	°C	157	-
Temperatura de autoignición	°C	24 a 285	254
Tipo de combustible (NFPA 30)	-	Clase II	Clase III
Densidad	Kg/m ³	825 a 860	800
Capacidad energética	Mcal/Kg	10.3	11.8

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 17. Características de áreas de almacenamiento de combustibles

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	DIÉSEL	CRUDO PETRÓLEO
Cantidad de tanques por producto	U	3	1
Capacidad de almacenamiento por tanque	m ³	2,819.32	4,770
Cantidad almacenada por tanque	Kg	798.79	3,816,000
Cantidad energética total por tanque	Mcal	8,134,837	45,028,800
Total capacidad energética en el área de almacenamiento	Mcal	45,053,204.51	
Temperatura de operación	°C	20° - 40°	60°
Características del cubeto	-	Cubeto de hormigón y único para todos los seis tanques. Retine vertidos en caso de derrame.	
Accesibilidad	-	Libre de obstáculos	Libre de obstáculos
Normas construcción Tanque	-	API 650 - Vertical	API 650 - Vertical
Material de tanque	-	Acero al carbón	Acero al carbón
Presión de operación	atm	Presión ambiente	Presión ambiente

Elaboración: Edison Chávez

En la evaluación del riesgo de incendio y explosión, se ha considerado de 20° C a 40 °C como el grado de temperatura de operación, considerando que las operaciones son en la región oriente, se tomará en cuenta la presión ambiente, para la evaluación de los casos se estimarán los valores menos favorables, ya que estos significan mayor penalización según la metodología DOW.

Se estableció el índice de incendio y explosividad (IEE), por cada una de las unidades de proceso, empleando el método DOW, reflejado por la siguiente fórmula:

$$\text{Ec. 1. } \text{IEE} = \text{FM} \times \text{F3}$$

Donde,

IEE = Índice de incendio y explosividad.

FM = Factor de riesgo según el material.

F3 = Factor de riesgo de la unidad evaluada.

El factor de riesgo de la unidad (F3) es calculado con la ecuación:

$$\text{Ec. 2. } \text{F3} = \text{F1} \times \text{F2}$$

Donde,

F1 = Factor de riesgos generales del proceso

F2 = Factor de riesgos especiales del proceso

En la Tabla 18 se muestran los resultados del Índice de Incendio y Explosividad (IEE) por cada tanque de almacenamiento, dispensador y el área de químicos. Las matrices de evaluación para cada escenario, área y unidad de proceso se adjuntan en el ANEXO A.

Tabla 18. Índice de incendio y explosión por unidad de proceso

UNIDAD EVALUADA	FM	F3	IEE	GRADO DE PELIGROSIDAD
Tanque diésel	10	8.99	868	GRAVE
Tanque de crudo petróleo	16	11.44	542	GRAVE

Elaboración: Edison Chávez

3.1.1.1 Análisis de los riesgos

Una vez evaluado el nivel de riesgo de incendio y explosión (IEE) de las unidades de proceso identificadas, se procederá a definir el radio de exposición (RE), consecuentemente el área de afectación en supuesto de que llegue a materializarse el peligro.

Radio que se definirá en función de la siguiente fórmula definida, expuesta a continuación:

$$\text{Ec. 4. RE} = \text{IEE} \times 0.84 \times 0,3048$$

Dónde,

RE = Radio de exposición (m)

IEE = Índice de incendio y explosión

En la Tabla 12 se presentan los radios de exposición calculados por cada unidad operativa evaluada:

Tabla 19. Radios de exposición (afectación)

UNIDAD EVALUADA	RADIO DE EXPOSICIÓN (m)
Tanque de diésel	218.83
Tanque de crudo petróleo	136.77

Elaboración: Edison Chávez

3.1.2.1 Determinación del Factor de Daño

Una vez determinada el factor de riesgo de acuerdo al material (FM) y el factor de riesgo de la unidad evaluada (F3) representada en la Tabla 12, índice de incendio y explosión por unidad de proceso, se determina gráficamente el factor de daño (FD):

FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD

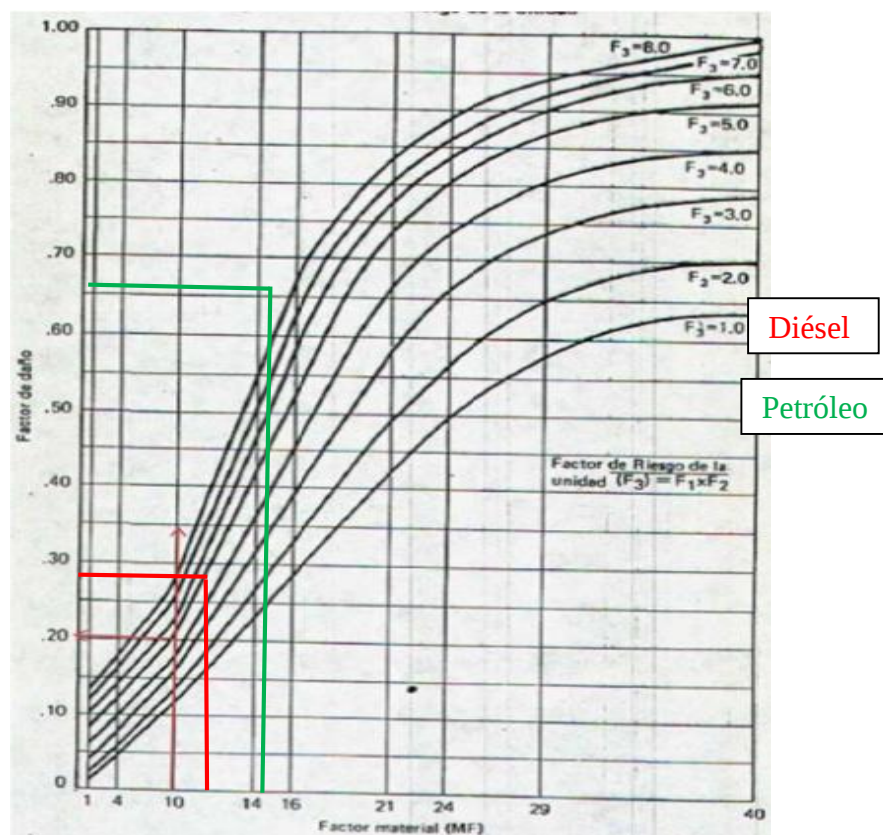


Figura 9. Determinación del factor de daño para el tanque de almacenamiento de diésel y petróleo

Fuente: Método Dow. (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO)

Tabla 20. Determinación del factor de daño

UNIDAD EVALUADA	FACTOR DE DAÑO
Tanque diésel	0.28
Tanque petróleo	0.67

Elaboración: Edison Chávez

3.1.2.2 Determinación del factor de bonificación y estimación del daño probable

Una vez obtenido el radio de exposición de cada unidad evaluada (Tabla 18), de acuerdo con el procedimiento de método, se desarrolló el cálculo de acuerdo a la base de los costos referenciales disponibles. El valor del área de exposición (VAE), considerando que toda la infraestructura de almacenamiento del CPF soportará daño en su totalidad.

$$\text{Ec. 4. } \text{MPPD básico} = \text{FD} \times \text{VAE}$$

Tabla 21. Determinación del VAE y estimación del MPPD básico

UNIDAD EVALUADA	VAE (USD)	MPPD BÁSICO (USD)
Tanque diésel	2'375,000	665,000
Tanque petróleo	1'870,000	1'252,900

Elaboración: Edison Chávez

Los factores de bonificación de acuerdo a la hoja de cálculo definida en el método, es determinada por los procedimientos de control de procesos existentes, los sistemas de detección y respuesta a combate de incendios.

El factor de bonificación por unidad estudiada se presenta a continuación:

Tabla 22. Determinación de factor de bonificación

UNIDAD EVALUADA	FACTOR DE BONIFICACIÓN
Tanque diésel	0.89
Tanque petróleo	0.71

Elaboración: Edison Chávez

Una vez obtenido el factor de bonificación para el control de pérdidas, se identifica el factor efectivo en la siguiente figura del factor de bonificación:

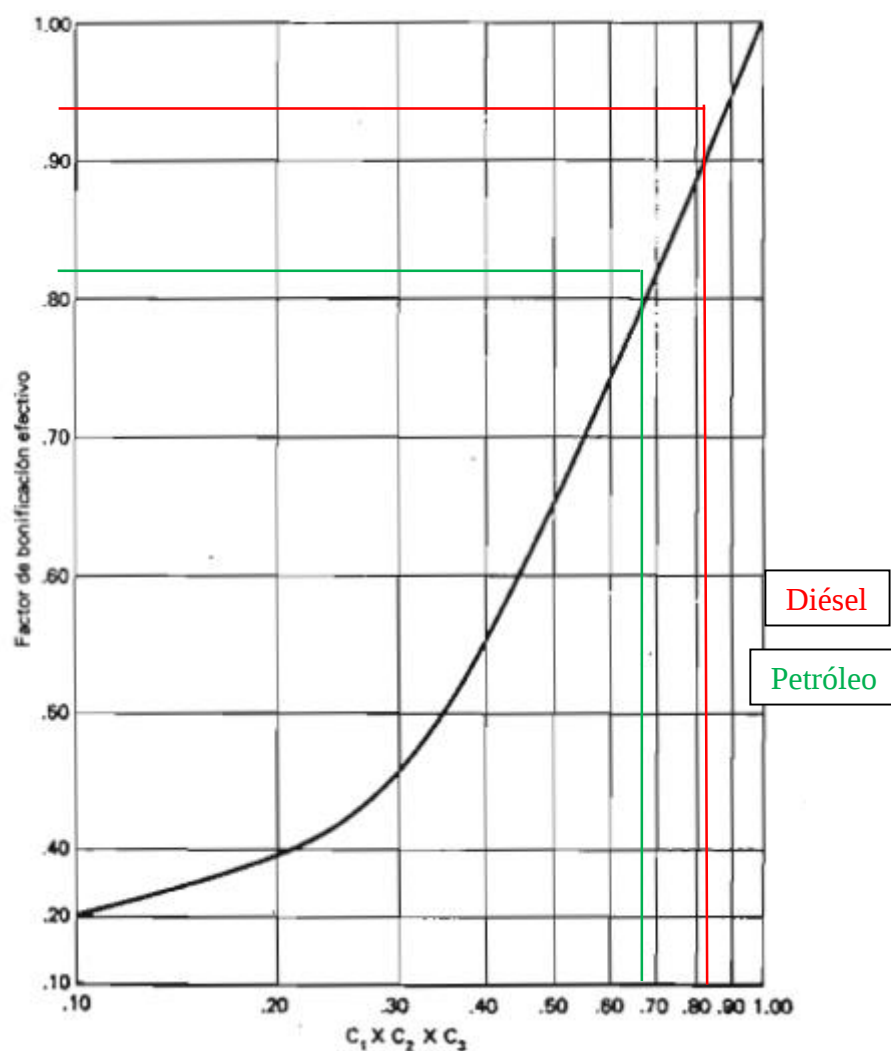


Figura 10. Identificación del factor de bonificación efectivo para el tanque de diésel y petróleo

Fuente: Método DOW (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO)

La pérdida económica máxima probable efectiva de la propiedad (MPPD Efectivo), se consigue en base al factor de bonificación efectivo (FBE) y el coste básico máximo probable (MPPD Básico), representado en la formula señalada a continuación:

$$\text{Ec. 4. MPPD efectivo} = \text{FBE} \times \text{MPPD básico}$$

Tabla 23. Caracterización del factor de bonificación efectiva y pérdida económica máxima probable efectiva.

UNIDAD EVALUADA	FACTOR DE BONIFICACIÓN EFFECTIVA (FBE)	PÉRDIDA ECONÓMICA MÁXIMA PROBABLE EFFECTIVA MPPD EFFECTIVO (USD)
Tanque Diésel	0.94	625,100
Tanque Petróleo	0.82	1,026,640

Elaboración: Edison Chávez

3.1.2.3 Determinación de días máximos probables perdidos

Con valor correspondiente a la pérdida económica máxima probable efectiva, se obtiene con el número de días máximos probables perdidos (MPDO), basándose en los términos referenciales del gráfico del método DOW.

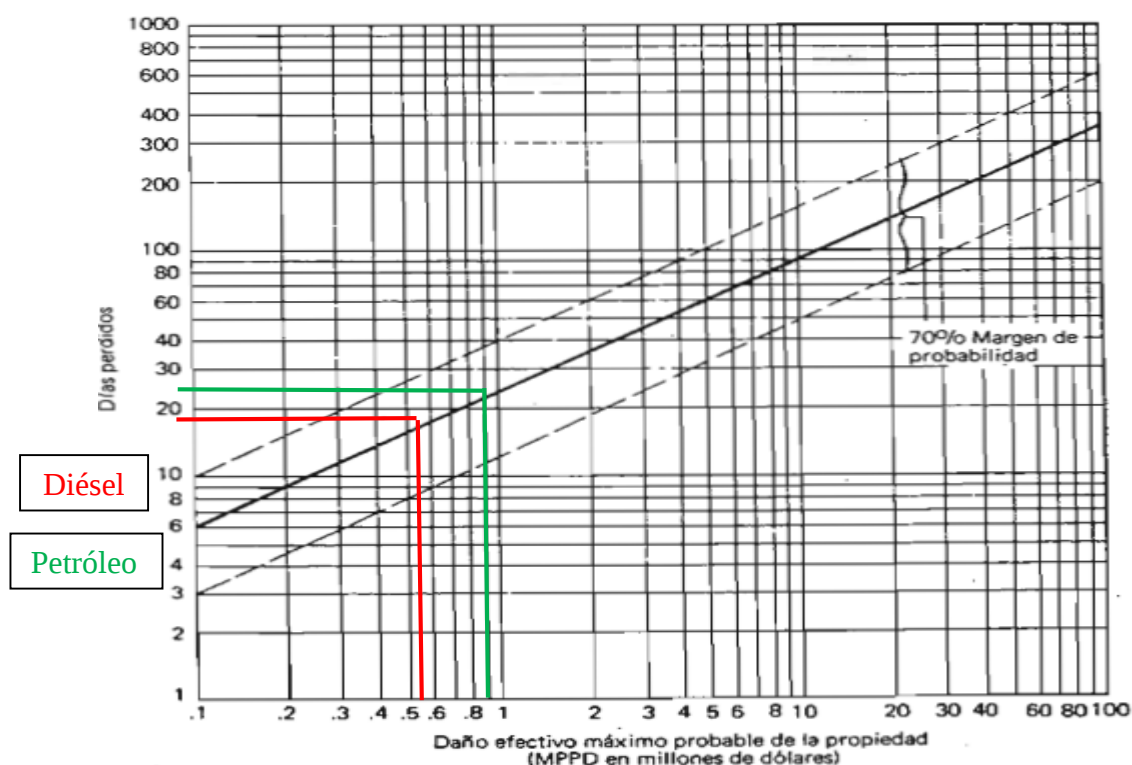


Figura 11. Máximos días probables perdidos (MPDO), tanque diésel y petróleo

Fuente: Método DOW (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO)

Tabla 24. Determinación de días máximos perdidos probables

UNIDAD EVALUADA	MÁXIMO DÍAS PROBABLES PERDIDOS
Tanque diésel	18
Tanque petróleo	26

Elaboración: Edison Chávez

3.1.2 Vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores

Con el fin de determinar la afectación a la población trabajadora, se consideró el modelo de vulnerabilidad con el fin de determinar las consecuencias a las personas expuestas a una determinada carga térmica, tóxica o sobrepresión, considerando que ya se cuenta con la evaluación del riesgo de incendio y explosión.

Para el desarrollo del correspondiente estudio, se consideró bibliografía del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, los cuales se detallan a continuación:

- a) NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores
- b) NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases

En base a la característica de los combustibles considerados en el presente estudio, se analizó el posible personal vulnerable, tomando en cuenta puntos de evaluación las áreas de almacenamiento de diésel y petróleo dentro de las instalaciones del centro de procesamiento y facilidades de un campo petrolero.

La información de los puntos para el estudio de afectación por radiación y sobrepresión se detallan a continuación:

Tabla 25. Características de tanques y cubeto

DATOS		UNIDAD	VALOR
ÁREA DE TANQUE DE DIÉSEL	Ancho cubeto (p)	m	6
	Largo cubeto (b_{rec})	m	24
	Altura tanque (h)	m	3
	Diámetro tanque	m	6
ÁREA DE TANQUE DE PETRÓLEO	Ancho cubeto (p)	m	100
	Largo cubeto (b_{rec})	m	92
	Altura tanque (h)	m	9
	Diámetro tanque	m	27

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 26. Distancia del evento respecto al receptor

UBICACIÓN INCENDIO	UBICACIÓN RECEPTOR	DISTANCIA EVENTO – RECEPTOR	
		UNIDAD	VALOR
Tanque diésel	Oficina	m	27
Tanque petróleo	Oficina	m	112

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 27. Características de combustibles para la evaluación de afectaciones

DATOS	UNIDAD	DIÉSEL	PETRÓLEO
Calor de combustión del producto evaporado (hc)	kJ/kg	41870	47000
Calor latente de vaporización (hv)	kJ/kg	233	335
Calor específico a presión constante (cp)	KJ/kg/°K	--	--
Temperatura de ebullición	°C	157	300
Temperatura ambiente mínima	°C	26.8	26.8
Temperatura ambiental máxima	°C	40.0	40.0
Humedad relativa (H)	%	78	78
Intensidad de radiación (E)	kW/ m ²	80	20
Presión de vapor saturado (Ps)	Pa	3520	3520
Cantidad de masa liberada	Kg	789.79	3,816,000

Continuación Tabla 27.

Calor inferior de combustión	kcal/kg	10000	11000
Calor inferior de combustión	kJ/Kg	41840	46024
Presión atmosférica	kPa	97	97

Elaboración: Edison Chávez

Se ha tomado como referencia las condiciones de la región oriental ecuatoriana, para considerar los datos de temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa.

La afectación en cuanto a sus variables de probabilidad y magnitud de daño o afectación están enlazados con la intensidad de la radiación térmica ante la ocurrencia de incendio y de la sobrepresión ocurrida en el transcurso de la explosión, así como el tiempo de exposición; estas variables han sido consideradas para el análisis a través del método Probit (Modelo de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores, NTP 291).

3.1.2.4 Irradiación térmica generada por incendios

La metodología de la nota técnica preventiva NTP 326: radiación térmica en incendios de líquidos y gases (INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO), ha sido considerada para calcular la dosis de radiación térmica (E) producida en un incendio, dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 5. } q = d F E$$

Siendo,

q = Intensidad de irradiación a una distancia determinada (kW/m^2).

d = Coeficiente de transmisión atmosférica (adimensional)

F = Factor geométrico de visión, de vista o de forma (adimensional)

E = Intensidad media de radiación de la llama kW/m^2).

De la Nota Técnica Preventiva 326, se referenció la ecuación 6, para el cálculo del coeficiente de transmisión (d) y del factor geométrico de visión (F), propuesta por Pietersen y Huerta (TNO):

$$\text{Ec. 6. } d = 2,02 (P_V \cdot x)^{-0,09}$$

Siendo:

P_V = Presión parcial del vapor de agua a la temperatura determinada (Pa).

x = Longitud de recorrido de la radiación, distancia desde la superficie de llama al blanco receptor (m).

El dato de la presión parcial de vapor, se consigue a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 7. } P_V = P_S \times H$$

Siendo:

P_V = Presión parcial de vapor (Pa).

P_S = Presión de vapor saturado (Pa).

H = Humedad relativa (%).

Las dimensiones geométricas son utilitarias para obtener el factor geométrico con la ayuda de los factores de visión vertical y horizontal relacionados con la altura y dimensiones de la superficie incendiada del líquido, por consiguiente es necesario analizar lo siguiente:

a) Altura de la llama:

$$\text{Ec. 8. } a = 29 \times b_{eq}^{0,7} \times m^{0,6}$$

Siendo:

a = Altura de la llama (m)

b_{eq} = Radio equivalente del recipiente (m)

m = Caudal de evaporación ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

b) Radio equivalente

$$\text{Ec. 9. } b_{eq} = \sqrt{\frac{bp}{\pi}}$$

Siendo:

b = Largo del cubeto (m).

p = Ancho del cubeto (m).

El caudal de evaporación se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 10. } m = k = \frac{h_c}{h_v} \times 10^{-3}$$

Siendo:

m = Caudal de evaporación ($\text{kg/m}^2/\text{s}$).

h_c = Calor de combustión del producto evaporado (kJ/kg).

h_v = Calor latente de vaporización (kJ/kg).

En la tabla 28 se determina los datos de los cálculos en base a la ecuación antes señaladas:

Tabla 28. Altura de la llama para incendios que ocurre en el área de almacenamiento

DATOS	UNIDAD	PRODUCTO EVALUADO	
		DIÉSEL	PETRÓLEO
Caudal de evaporación	$\text{kg/m}^2/\text{s}$	0.17	0.14
Radio equivalente del recipiente	m	6.00	73.00
Altura llama	m	73.00	482.00

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 29. Coeficientes para el cálculo de factores de visión para eventos que ocurren en el área de almacenamiento

PRODUCTO EVALUADO		DIÉSEL	PETRÓLEO
UBICACIÓN DEL RECEPTOR		OFICINA	OFICINA
Coeficiente de transmisión	d	0.49	0.43
Coeficiente para determinación de factores	a/b	2.37	2.75
	c/b	2.33	1.72
	b/c	0.35	0.58
	a/c	2.11	179

Elaboración: Edison Chávez

Ya con los cocientes de relación a/b , c/b , b/c , se consiguen los datos de factores de visión horizontal (F_h) y vertical (F_v), interpretándolos en las tablas de doble entrada, tomando en cuenta que el supuesto incendio en el área de tanques es de tipo rectangular como lo indica el método antes mencionado.

Factor de visión horizontal, F_h								
a/b c/b	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
0,1	0,0732	0,1380	0,1705	0,1998	0,2126	0,2217	0,2279	0,2305
0,2	0,0263	0,0728	0,1105	0,1549	0,1774	0,1944	0,2063	0,2113
0,3	0,0127	0,0414	0,0720	0,1182	0,1459	0,1687	0,1855	0,1928
0,4	0,0073	0,0257	0,0485	0,0899	0,1190	0,1452	0,1660	0,1752
0,5	0,0047	0,0171	0,0339	0,0687	0,0966	0,1243	0,1478	0,1588
0,6	0,0032	0,00120	0,0245	0,0530	0,0784	0,1059	0,1312	0,1436
0,7	0,0023	0,0087	0,0182	0,0414	0,0638	0,0903	0,1162	0,1296
0,8	0,0017	0,0065	0,0139	0,0327	0,0522	0,0767	0,1028	0,1169
0,9	0,0013	0,0050	0,0108	0,0261	0,0429	0,0653	0,0908	0,1054
1,0	0,0010	0,0040	0,0086	0,0211	0,0355	0,0557	0,0803	0,0951
1,2	0,0007	0,0026	0,0056	0,0142	0,0249	0,0409	0,0629	0,0774
1,5	0,0004	0,0015	0,0032	0,0084	0,0152	0,0265	0,0440	0,0572
2	0,0002	0,0007	0,0015	0,0041	0,0076	0,0139	0,0253	0,0355
3	0,0001	0,0002	0,0005	0,0013	0,0026	0,0050	0,0100	0,0154
4	—	0,0001	0,0002	0,0006	0,0011	0,0023	0,0047	0,0077
5	—	—	0,0001	0,0003	0,0006	0,0012	0,0026	0,0043

Figura 12. Determinación del factor de visión horizontal para el tanque de diésel y el personal ubicado en las oficinas.

Fuente: Nota Técnica Preventiva NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Factor de visión vertical, F_v												
b/c a/c	10	5	3	2	1	0,75	0,50	0,25	0,2	01	0,05	0,02
10	0,2480	0,2447	0,2369	0,2234	0,1767	0,1499	0,1118	0,0606	0,0490	0,0249	0,0125	0,0050
5	0,2447	0,2421	0,2350	0,2221	0,1750	0,1491	0,1114	0,0604	0,0489	0,0248	0,0124	0,0050
3	0,2389	0,2350	0,2292	0,2176	0,1734	0,1478	0,1101	0,0598	0,0483	0,0245	0,0123	0,0049
2	0,2234	0,2221	0,2176	0,2078	0,1674	0,1427	0,1068	0,0581	0,0470	0,0239	0,0120	0,0048
1	0,1767	0,1760	0,1734	0,1674	0,1385	0,1193	0,0902	0,0494	0,0400	0,0203	0,0102	0,0041
0,75	0,1499	0,1494	0,1475	0,1427	0,1193	0,1032	0,0784	0,0431	0,0349	0,0178	0,0089	0,0036
0,50	0,1118	0,1114	0,1101	0,1068	0,0902	0,0784	0,0599	0,0331	0,0268	0,0137	0,0069	0,0027
0,25	0,0606	0,0604	0,0598	0,0581	0,0494	0,0431	0,0331	0,0184	0,0149	0,0076	0,0038	0,0015
0,20	0,0490	0,0489	0,0483	0,0470	0,0400	0,0349	0,0268	0,0149	0,0121	0,0062	0,0031	0,0012
0,10	0,0249	0,0248	0,0245	0,0239	0,0203	0,0178	0,0137	0,0076	0,0062	0,0031	0,0016	0,0006
0,05	0,0123	0,0124	0,0123	0,0120	0,0102	0,0089	0,0069	0,0038	0,0031	0,0016	0,0008	0,0003
0,002	0,0050	0,0050	0,0049	0,0048	0,0041	0,0036	0,0027	0,0015	0,0012	0,0006	0,0003	0,0001

Figura 13. Determinación del factor de visión vertical para el tanque de diésel y para el personal ubicado en oficinas

Fuente: Nota Técnica Preventiva NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo)

El factor de visión geométrico (F_{max}) se calcula con los factores de visión horizontal (F_h) y vertical (F_v) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 11. } F_{max} = \sqrt{F_v^{0,6}} + F_h^{0,6}$$

En la Tabla 30 se determina la dosis de irradiación térmica (q) para incendios en el área de almacenamiento de combustibles según la ubicación del receptor:

Tabla 30. Dosis de irradiación térmica por incendios en el área de almacenamiento

UBICACIÓN DEL RECEPTOR (C)	DOSIS DE IRRADIACIÓN TÉRMICA (E) KW / m ²	
	PRODUCTO EVALUADO DIÉSEL	PRODUCTO EVALUADO PETRÓLEO
Oficinas	0.0261	0.0459

Elaboración: Edison Chávez

3.1.2.5 Probabilidad de afectación por irradiación térmica con Probit

El análisis de vulnerabilidad del personal en cuanto a afectaciones por exposición a radiación térmica generada en incendios, desarrollado en función de las guías establecidas en la Nota Técnica Preventiva.

La valoración se desarrolló en base a dos contextos, los cuales se describen a continuación:

- a) Para el tiempo de exposición de 5 segundos, que de acuerdo a la NTP: 291 es el tiempo de reacción de las personas.
- b) Para el tiempo de reacción, es el tiempo de escape de una persona escapa, imprimiendo una velocidad de 4 m/s al correr hacia el área de oficinas, determinado dicho lugar como un punto seguro. Que de acuerdo con la tabla 30 la dosis es de 0.0261 KW/m² en exteriores del área de oficinas del CPF.

En la tabla 31 se presenta la vulnerabilidad de acuerdo al tipo de afectación y tiempo de exposición.

Tabla 31. Probabilidad de afectación por irradiación térmica y tiempo de exposición de 5 segundos

UBICACIÓN DEL RECEPTOR		OFICINA	
LUGAR DEL INCENDIO		TANQUE DIÉSEL	TANQUE PETRÓLEO
TIPO DE AFECTACIÓN	Quemaduras mortales con protección	66	0
	Quemaduras mortales sin protección	90	0
	Quemaduras 2do. Grado	98	0
	Quemaduras 1er. Grado	99	45

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 32. Probabilidad de afectación por irradiación térmica hasta el escape al área de oficinas

UBICACIÓN DEL RECEPTOR		OFICINA	
LUGAR DEL INCENDIO		TANQUE DIÉSEL	TANQUE PETRÓLEO
TIPO DE AFECTACIÓN	Quemaduras mortales con protección	66	0
	Quemaduras mortales sin protección	90	0
	Quemaduras 2do. Grado	98	45
	Quemaduras 1er. Grado	99	45

Elaboración: Edison Chávez

3.2.1.6 Evaluación de sobrepresión e impulso por explosión

El combustible diésel con su propiedad de inflamabilidad en caso de un accidente, con sus vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debido al flujo del movimiento, además puede encenderse por calor, flama o chispas.

Para el cálculo de la afectación en el supuesto de una explosión, se utilizó el método de la (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIEGIENE DEL TRABAJO, 1991). Los datos necesarios para el cálculo se los detalla en la siguiente tabla descrita a continuación:

Tabla 33. Datos para la evaluación por explosiones de diésel

DATOS	UNIDAD	VALOR
Masa existente (Me)	Kg	2,369.37
Calor inferior de combustión del líquido inflamable (Ec)	kJ/Kg	41,840
Calor de combustión (detonación) del TNT (EcTNT)	kJ/Kg	45,520
Temperatura ambiente máxima (T)	°K	40
Temperatura ebullición mínima (Tb)	°K	27
Calor específico a presión constante (Cp)	kJ/Kg °K	--
Calor latente de vaporización (Hfg)	kJ/kg	233
Eficacia empírica	-	0.10

Elaboración: Edison Chávez

Tabla 34. Escenarios considerados para evaluación de afectaciones por sobrepresión e impulso

UBICACIÓN DELEVENTO	TANQUE	
UBICACIÓN DEL RECEPTOR	Próximo al tanque	Oficina
DISTANCIA EVENTO RECEPTOR (m)	16	60

Elaboración: Edison Chávez

A continuación se detalla la ecuación con la que se determina la fracción que se evapora del líquido inflamable, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 12.} \quad F_v = C_p \frac{T - T_b}{h_{fg}}$$

Siendo:

F_v = Fracción vaporizada del líquido derramado.

C_p = Calor específico a presión constante (kJ/kg/°K).

T = Temperatura absoluta inicial del líquido (°K).

T_b = Temperatura absoluta de ebullición del líquido a presión atmosférica (°K).

H_{fg} = Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición (kJ/kg).

Con el dato de la fracción vaporizada del líquido inflamable se obtiene el valor de masa (M) que se liberaría en la explosión, tomando en cuenta a la NTP 321: explosiones de nubes de vapor no confinadas, evaluación de la sobrepresión es con la que calculará la masa equivalente de TNT, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 13. } W = \frac{n \times M \times E_c}{E_{\text{CTNT}}}$$

Siendo:

W = Masa equivalente de TNT.

n = Eficacia empírica.

M = Masa liberada por la explosión (Kg).

E_c = Calor inferior de combustión del líquido inflamable (kJ/Kg).

E_{CTNT} = Calor de combustión del TNT (kJ/Kg).

Con el dato del valor de masa equivalente se obtiene la distancia escalada a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 14. } Z = \frac{R}{W^{1/3}}$$

Siendo:

Z = Distancia escalada (m)

R = Distancia a evaluar (m)

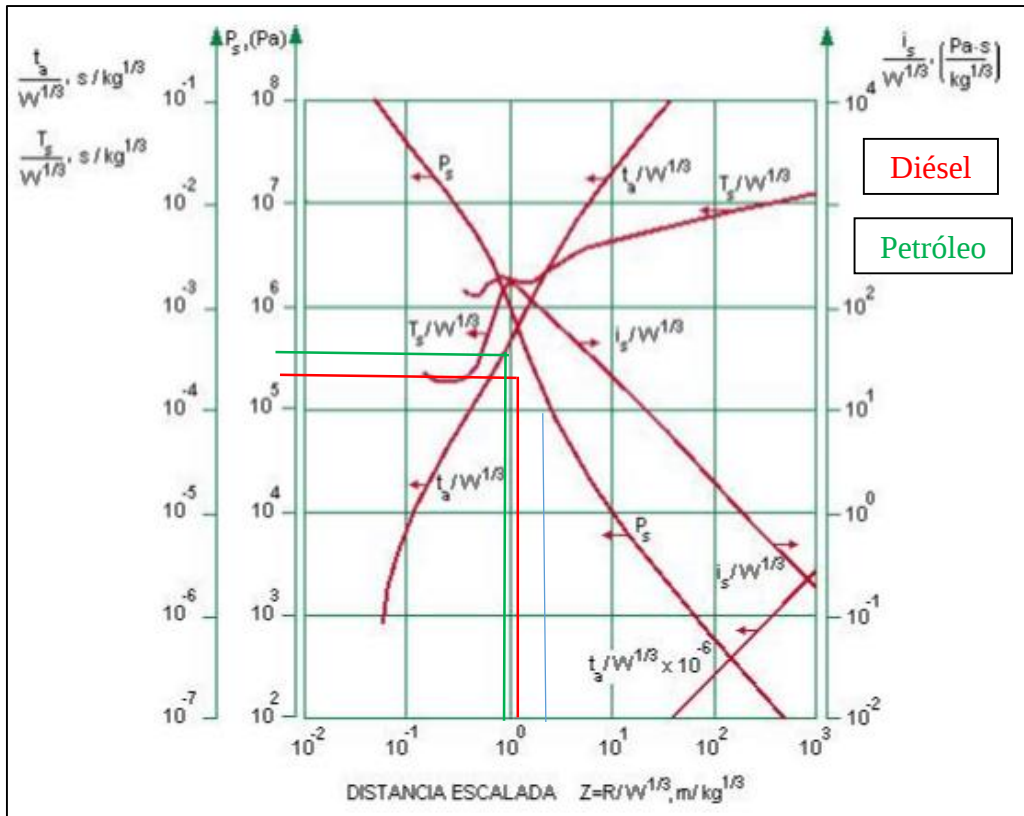


Figura 14. Parámetros de la deflagración en función de la distancia escalada

Fuente: NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO)

Para evaluar las consecuencias se ha utilizado las tablas comparativas de daño y sobrepresiones de la NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas; evaluación de la sobrepresión (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Tabla 35. Consecuencia de las sobrepresiones

DAÑOS PERSONALES	SOBREPRESIONES	DAÑOS ESTRUCTURALES	SOBREPRESIÓN
Umbral de rotura de tímpano	35000 Pa (0.35)	Daños graves reparables	0.15 bar

Elaboración: Edison Chávez

3.1.3 Determinación de vulnerabilidad por sobrepresión e impacto – método Probit

El análisis de la probabilidad de afectación por sobrepresión e impacto se desarrolló de acuerdo al método de la NTP 291: modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit (INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO), citando las ecuaciones detalladas a continuación:

- Muerte por lesiones pulmonares

$$\text{Ec. 18. } Pr = -77.1 + 6.91 \times \ln P$$

- Rotura de tímpano

$$\text{Ec. 19. } Pr = -77.1 + 1.931 \times \ln P$$

- Muerte por impacto del cuerpo

$$\text{Ec. 20. } Pr = -46.1 + 4.82 \times \ln J$$

- Lesiones por impacto del cuerpo

$$\text{Ec. 21. } Pr = -39.1 + 4.45 \times \ln J$$

Siendo:

Pr = Probit

P = Sobrepresión (Pa)

J = Impulso (Pa.s)

En la tabla a continuación se detalla los resultados de probabilidad de afectación por sobrepresión e impactos determinados según la ubicación del receptor en relación a la unidad de operación donde se genera la explosión:

Tabla 36. Probabilidad de afectación por exposición a sobrepresión e impactos

UBICACIÓN DEL EVENTO	Tanque	Tanque
DISTANCIA RECEPTOR – EVENTO (m)	16	60
TIPO DE AFECTACIÓN	PROBABILIDAD DE AFECTACIÓN (%)	
Muerte por lesiones pulmonares	95.00	95.00
Rotura de tímpano	99.8	99.8
Muerte por impacto del cuerpo	0	0
Lesiones por impacto del cuerpo	0	0

Elaboración: Edison Chávez

En base a la metodología NTP 291: modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), se desarrolló la evaluación para determinar que entre más cerca se encuentre un trabajador en el área donde se origine la explosión, las consecuencias serían más fatales.

3.1.4 Análisis de resultados

En los resultados obtenidos en el análisis de evaluación de incendio y explosión se determina que el mayor riesgo es generado en el área de almacenamiento y manipulación de diésel y

petróleo a la vez, siendo su grado de peligrosidad de nivel grave, lo que corresponde a la cantidad y características de cada uno de los productos que se manejan en el centro de producción y facilidades de petróleo CPF.

Si ocurriera un incendio en las instalaciones del CPF en el tanque de diésel, se reflejaría un radio de 218 m, condiciones en las que en el caso de no poder controlar el incendio con los recursos con los cuales cuenta la organización, causaría daños de índole material estimado de 2' 375, 000 USD, entendiendo que la afectación por áreas sería de manera general, la cual afectaría las instalaciones continuas a la afectada.

En cuanto a la vulnerabilidad de las personas, los casos de muerte o lesión son mayores en el caso de que se presente un incendio.

La posibilidad de daño se incrementa en función de la distancia a la cual se encuentra el receptor, si esta distancia disminuye la afectación será más alta. La penalización a los factores principales se la realizó en función de las características propias de los productos químicos que se manipula.

Tabla 37. Resumen de las variables de incendio y explosión

INDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN			
UNIDAD EVALUADA	UNIDAD	GRADO DE PELIGROSIDAD	DETALLE
Tanque diésel	868	GRAVE	Los tanques de combustible se encuentran instalados en un cubeto compartido, en el caso de materializarse un derrame o un incendio de uno de los tanques, se tendría la probabilidad de afectar a tanques adyacentes, catalogando a este escenario, con un nivel de riesgo GRAVE.

Continuación Tabla 37.

Tanque de crudo petróleo	542	GRAVE	
Radios de exposición (afectación)			
UNIDAD EVALUADA	RADIO DE EXPOSICIÓN (m)	DETALLE	
Tanque de diésel	218.83	Una explosión puede ocasionar ondas expansivas y la generación de proyectiles que pueden causar la muerte o lesiones a los individuos que se encuentre ubicados dentro del radio de afectación, ocasionar daño estructural a las construcciones por el colapsamiento de muros, ventanas y estructuras de soporte. En este caso el radio de afectación del diésel y del crudo es de 218.83 m y 136.77 m respectivamente.	
Tanque de crudo petróleo	136.77	En algunos casos con mayores áreas de afectación, son el resultado de la explosión de nubes de gases o vapores combustibles, liberadas por la ruptura de contenedores o de ductos	
DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DAÑO			
UNIDAD EVALUADA	FACTOR DE DAÑO	DETALLE	
Tanque diésel	0.28	Esta magnitud del deterioro probable relativo debido a la exposición, se determina según la Tabla 7 del método del índice DOW, factor de riesgo de la unidad, en conjunto se identifica como Factor de Daño.	
Tanque petróleo	0.67		

Continuación Tabla 37.

CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR DE BONIFICACIÓN EFECTIVA Y PÉRDIDA ECONÓMICA MÁXIMA PROBABLE EFECTIVA.			
UNIDAD EVALUADA	MPPD EFECTIVO (USD)	DETALLE	
Tanque diésel	625,100	El MPPD Efectivo representa la pérdida probable que puede ocurrir si un incidente de una magnitud razonable aconteciera y funcionarán los distintos equipos de protección. El fallo de funcionamiento de alguno de los equipos protectores revertiría el problema de la pérdida probable al MPPD Básico.	
Tanque petróleo	1,026,640		
DETERMINACIÓN DE DÍAS MÁXIMOS PERDIDOS PROBABLES			
UNIDAD EVALUADA	MÁXIMO DÍAS PROBABLES PERDIDOS	DETALLE	
Tanque diésel	18	El número máximo de días probables perdidos se relacionan con la Pérdida por Interrupción de la Fabricación, en el supuesto caso de que se materialice un incendio o explosión en las instalaciones de la organización.	
Tanque petróleo	26		
DOSIS DE IRRADIACIÓN TÉRMICA POR INCENDIOS EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO			
UBICACIÓN DEL RECEPTOR	DOSIS DE IRRADIACIÓN TÉRMICA KW / m²		DETALLE
	DIÉSEL	PETRÓLEO	
Oficinas administrativas	0.0261	0.0459	La dosis recibida en oficinas en caso de incendio sería de 0.026 KW/m² y 0.045 KW/m² dosis catalogada como grado de peligro ligero.

Elaboración: Edison Chávez

3.2 APLICACIÓN PRÁCTICA

En base a resultados de los análisis llevados a cabo en el presente estudio, se requiere implantar controles operacionales e ingenieriles con la finalidad de atenuar el nivel de riesgo de incendio y explosión en el área de almacenamiento de productos químicos.

Una de las principales propuestas es la implementación de una red hídrica contra incendios (sistema contra incendios) articulado con sistema de agua y de espuma para suprimir vapor de productos químicos peligrosos.

3.2.1 Requerimientos para el sistema contra incendios

3.2.1.1 Sistema de enfriamiento

Con la finalidad de atenuar la proporción de daño en el supuesto caso de producirse un incendio y explosión en el área de tanques de almacenamiento tanto de diésel y de crudo petróleo, se precisa implementar un sistema de enfriamiento.

Se plantea la aplicación de agua pulverizada, en calidad de sistema de enfriamiento, tomando en cuenta los recursos hídricos del sector, así como las condiciones en las que podría encontrarse este elemento natural.

Destacando que el área donde se desarrolló el estudio, cuenta con 3 tanques contenedores de combustible (diésel), tanques que se encuentran instalados en un solo cubeto, separados por una distancias de 2 m, razón por la cual se aplicaría enfriamiento con agua, evitando así afectación entre los tanques por su proximidad en el supuesto caso que haya un incendio en uno de ellos.

El mecanismo consiste en reducir la temperatura del combustible. El fuego se apagará cuando la superficie del combustible se enfríe a un punto en que no produzca vapores, por lo tanto terminará apagando el fuego por enfriamiento, considerando que el agua es el producto más utilizado, por barata y más abundante de todos los existentes.

Se precisa utilizar la norma NFPA 15, norma para sistemas fijos aspersores de agua para protección contra incendios (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 2001), para el análisis de la implementación de un sistema de protección contra incendios mediante aspersión de agua pulverizada.

Este sistema es de mucha ayuda por la funcionalidad de rociadores con boquillas de extinción abierta las que en caso de fuego descargan cantidades de agua sobre el área protegida, con este sistema se logra el control de un incendio, extinción y prevención o protección a la exposición.

Componentes del sistema:

- Materiales: Solo deben emplearse materiales y accesorios nuevos listados en la instalación de sistemas.
- Todos los componentes que no afecten el sistema de operación tales como válvulas de drenajes y avisos no necesitan ser listados.
- Está permitido el uso de válvulas y accesorios re-acondicionados distintos de las boquillas automáticas aspersores de agua, como equipo de reemplazo en sistemas existentes.
- Los componentes del sistema deben clasificarse para la máxima presión de trabajo a la cual ellos estén expuestos, que no sea menor a 175 psi.

Determinación de caudal mínimo de agua:

Se tomó en cuenta la norma NFPA 15 (National Fire Protección Association, 2001) para considerar el caudal mínimo de protección de incendios y explosión en el área de almacenamiento de combustibles, la cual está catalogada como de alto riesgo.

Tabla 38. Determinación de caudal mínimo de agua

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área expuesta por tanque	m ²	64.00
Número de tanques	U	4.00
Total de superficie expuesta	m ²	256.00
Tasa de aplicación para recipientes verticales (sección 7.4.2.1 NFPA 15)	l/min/ m ²	10.22
Factor de seguridad por desperdicio no previsto (sección A.7.4.1 – NFPA 15)	l/min/ m ²	2.00
Tasa requerida	l/min/ m ²	12.22
Caudal mínimo agua pulverizada	l/min	3,123.20

Elaboración: Edison Chávez

Se precisa implementar una segunda protección. Se ha considerado incluir un monitor para imprimirle agua a chorro directo, con un caudal de 1893 l/min, de acuerdo a lo recomendado en el apartado 11.2.3.1.1., de la NFPA 13. Norma la instalación de sistemas rociadores (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 2002) para ocupaciones de alto riesgo.

Estimación de cantidad y tipo de boquillas

Eligiendo rociadores pulverizadores de cobertura extendida, de acuerdo al apartado 8.8.4.1.1 y la Tabla 8.8.2.1.2 de la NFPA 13. Norma la instalación de sistemas rociadores para ocupaciones de alto riesgo (National Fire Protection Association, 2002), determina que para un área extra sin obstrucciones, la ubicación de las boquillas debe ser de 15 pies, protegiendo en general un área de 144 pies cuadrados.

La cantidad de rociadores por cada tanque, se estima en base al coeficiente entre el área protegida y el área máxima de protección:

Ec. 22. Número de rociadores $64/13 = 5$

En base a la norma NFPA 13: Norma la instalación de sistemas rociadores para ocupaciones de alto riesgo (National Fire Protection Association, 2002), se determinó que la densidad de operación del rociador será de 16.3 mm/min.

Capacidad del reservorio

En la siguiente tabla se muestra los requerimientos mínimos de caudal para el sistema de protección mediante el sistema de enfriamiento:

Tabla 39. Requerimiento de caudal de agua para sistema de protección

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal para agua pulverizada	l/min	3,123.20
Caudal para bocatoma (monitor)	l/min	1893
Total requerido	l/min	5,016.20
Cisterna capacidad (Tabla 11.2.3.1.2)	m ³	601.94

Elaboración: Edison Chávez

El abastecimiento de agua se lo realizaría desde el río Araujuno, por las condiciones determinadas previo estudio de impacto ambiental y por la misma proximidad a la fuente hídrica antes mencionada.

3.2.1.2 Sistema de espuma para extinción

De acuerdo a la normativa NFPA 10. Extintores Portátiles Contra Incendios (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 2007), los mecanismos para extinguir los fuegos clase

B, los mismos que son los que se producen en líquidos combustibles inflamables, como petróleo, entre otros, guardando relación con el presente caso de estudio.

Para los combustibles solubles en agua, se necesita espumas especiales resistentes al alcohol que no se mezclan con el combustible, además la espuma es el único agente extintor capaz de suprimir los vapores, motivo suficiente para considerar la aplicación de un sistema de extinción automático a base de espuma, en el presente estudio.

Para el desarrollo del Sistema de espuma para extinción de incendios, empleará la normativa NFPA 11. Norma para espumas de baja, media y alta expansión (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 2005).

Según las características de los tanques de almacenamiento de combustible (diésel) e hidrocarburos (crudo petróleo) determinaron los cálculos para los requerimientos de la solución de espuma AFFF, tomando en cuenta la altura de 10 metros de altura y 27 metros de diámetro.

Tabla 40. Características y cantidad de espuma para la protección de los tanques

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Área expuesta por tanque	m ²	64
Tasa mínima de aplicación (sección 5.2.5.2.2 – NFPA 11)	l/min-m ²	4.1
Tiempo mínimo de descarga (sección 5.2.5.2.2 – NFPA 11)	Min	30
Caudal estimado	l/min	262.4
Cantidad de espuma	m ³	7.82

Elaboración: Edison Chávez

Los tanques considerados en el presente estudio, disponen de un cubeto, los cuales se los ha tomado en cuenta, ya que en caso de producirse un incendio, estos tienen la capacidad de

contener derrames, motivo por el cual se ha considerado incorporar el aprovisionamiento de espuma, la misma que incluirá la actuación de un monitor con chorro directo.

Tabla 41. Criterios y determinación de cantidad de espuma para cubeto

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Cubeto (área expuesta)	m ²	1,800
Tasa mínima de aplicación (sección 5.7.3.2 – NFPA11)	l/min-m ²	6.5
Tiempo mínimo de descarga (sección 5.7.4.3 – NFPA 11)	Min	30
Caudal estimado	l/min	11,700
Total cantidad de espuma	m ³	351

Elaboración: Edison Chávez

En base a la norma se incorporará el aprovisionamiento suplementario de espuma:

Tabla 42. Criterios y determinación de cantidad suplementario de espuma

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Tasa mínima de aplicación (sección 5.9.1 – NFPA 11)	l/min-m ²	4.1
Tiempo mínimo de descarga (sección 5.9.1 – NFPA 11)	Min	10
Caudal estimado	l/min	41
Total cantidad de espuma	m ³	0.41

Elaboración: Edison Chávez

En relación al análisis, se estima que el sistema de espuma para extinción estará provisto de un tanque de almacenamiento de espuma AFFF/AFFF, solución 3 o 6 %, el mismo que contará

con una capacidad mínima de 359 m³, resultado del producto de espuma para la protección de los tanques, espuma para cubeto y suplementario de espuma.

3.2.1.3 Requerimientos de bombas

En base a la norma NFPA 20: Instalación de bombas estacionarias de protección contra incendios (NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION, 2010) se ha determinado los requisitos mínimos de bombas para el sistema planteado.

Requerimientos básicos para la instalación de bombas, para el sistema contra incendio:

- Operación de la bomba. En caso de que se opere la bomba contra incendio, personal calificado deberá hacerse presente en la ubicación de la bomba a fin de determinar que esta se encuentre funcionando de manera adecuada.
- Funcionalidad de la bomba. Las bombas contra incendio deberán estar instaladas exclusivamente para el servicio de protección contra incendios.
- Las bombas centrífugas contra incendio deberán estar clasificadas a presiones netas de 40 psi (2.7 bar) o más.
- Las bombas contra incendio deberán contar con una placa de identificación.

La bomba deberá disponer de una capacidad de 9,462 l/min, en función de los requerimientos del sistema de enfriamiento, en cuanto al sistema de espuma para extinción de incendios deberá tener una capacidad mínima de 568 l/min para tanques y 2839 l/min para el cubeto, en base a lo establecido en la sección 4.8.1.2.

Tabla 43. Requerimientos generales para el diseño del sistema de enfriamiento

DETALLE	UNIDAD	VALOR
Caudal mínimo requerido para enfriamiento	l/min	35,132.00
Número de rociadores por tanque	U	5.00
Densidad máxima de operación por rociador	mm/min	16.30
Caudal para bocatoma para chorro	l/min	1,893.00
Duración mínima suministro agua	l/min	37,025.50
Capacidad cisterna	m ³	601.94

Elaboración: Edison Chávez

Los datos resaltados en la Tabla 43 son el resumen del cálculo de la propuesta de un sistema de enfriamiento.

Tabla 44. Requerimientos generales para el diseño del sistema de extinción espuma AFFF

DETALLE		UNIDAD	VALOR
Protección de tanques	Tasa mínima de aplicación	l/min-m ²	4.1
	Tiempo mínimo de descarga	Min	30
	Caudal estimado	l/min	262.4
Protección en caso de derrames	Tasa mínima de aplicación	l/min-m ²	6.5
	Tiempo mínimo de descarga	Min	30
	Caudal estimado	l/min	11,700
Requerimiento suplementario	Tasa mínima de aplicación	Min	4.1
	Tiempo mínimo de descarga	l/min	10
	Caudal estimado	m ³	41
Cantidad total de espuma requerida		m ³	359

Elaboración: Edison Chávez

Los datos resaltados en la Tabla 44 son el resumen del cálculo de la propuesta de un sistema de espuma para extinción.

3.2.2 Propuesta para la implementación de controles operacionales

Tabla 45. Presupuesto estimado para la implementación de controles operacionales

SISTEMA CONTRA INCENDIO				
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (SIN IVA)
1	Suministro de tubería y accesorios	Global	1.00	\$ 48,970.47
2	Instalación de tuberías y accesorios	Global	1.00	\$ 37,056.21
3	Suministro e instalación de bombas	Global	1.00	\$ 53,976.88
4	Suministro e instalación de componentes del sistema (monitor, manguera, boquillas y tanque)	Global	1.00	\$ 64,225.41
5	Provisión e instalación del sistema de control	Global	1.00	\$ 11,740.85
6	Provisión e instalación del sistema de detección y alarma	Global	1.00	\$ 21,998.07
SUBTOTAL SISTEMA CONTRA INCENDIOS				\$ 237,957.89
ADECUACIÓN CUBETO ÁREA DE ALMACENAMIENTO				
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (SIN IVA)
1	Adecuación del cubeto	Global	14	\$ 27,845.74
SUBTOTAL ADECUACIÓN CUBETO				\$ 27,845.74
TOTAL PRESUPUESTO ESTIMADO				\$ 265,813.63

3.2.3 Costo beneficio

A continuación se detalla la producción diaria promedio en unidades de barriles de un campo petrolero maduro y el valor en dólares americanos de esa producción de un día petrolero.

Tabla 46. Costo de producción del centro de producción y facilidades

COSTO DE PRODUCCIÓN DEL CENTRO DE PRODUCCIÓN Y FACILIDADES (C.P.F) - CAMPO MADURO AL DÍA				
PRODUCTO	PRODUCCIÓN DEL CPF (M ³ /H)	PRODUCCIÓN DIARIA (BLS/DÍA)	COSTO ESTABLECIDO POR CONTRATO (\$BLS)	COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN DIARIA (USD)
Petróleo	1,069.25	4,200	29.60	123,060.00

Elaboración: Edison Chávez

Como se muestra en la Tabla 24. determinación de días máximos perdidos probables, además se determinó 18 días de paralización de actividades en el caso de materializarse un accidente mayor en el área de tanques de diésel, lo cual se lo multiplica por la producción diaria un campo petrolero para dimensionar las pérdidas monetarias, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 23.} \quad 123,060.00 \times 18 = 2'215,080 \text{ USD}$$

Como se muestra en la Tabla 24. determinación de los días máximos perdidos probables, además se determinó con 26 días de paralización de actividades en el caso de materializarse un accidente mayor en el área de tanques de petróleo, lo cual se lo multiplica por la producción diaria un campo petrolero para dimensionar las pérdidas monetarias, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 24.} \quad 123,060.00 \times 26 = 3'199,560 \text{ USD}$$

Se calcula que las pérdidas económicas por los días de paralización en la producción en un centro de producción y facilidades de crudo petróleo CPF, ascienden a más de un millón de dólares como se ve reflejada en las ecuaciones N° 23 y 24 respectivamente, sin tomar en cuenta la afectación a la población trabajadora. Si las pérdidas económicas se comparan con el valor de inversión para la implementación de un sistema contra incendios, detalle que se muestra en la Tabla 44. presupuesto estimado para la implementación de controles operacionales, 265,813.63 USD; justificándose plenamente en términos de ahorro de dinero en caso de presentarse un accidente mayor en las instalaciones del CPF.

CAPÍTULO IV.

DISCUSIÓN

4.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis de la desviación de las variables de los procesos productivos en las áreas seleccionadas, en base a la situación actual de las facilidades, condiciones operativas y los principios de la metodología HAZOP utilizada, se determina que las desviaciones de los nudos claramente localizados en el proceso, crudo, gas y diésel, son; la falta de flujo, fallo mecánico en válvulas de control y en bombas de transferencia, fallo en indicadores de temperatura y de presión en el separador trifásico, fallo del sistema eléctrico, entre otros; posteriormente las consecuencias de estas desviaciones, se clasificó de manera cualitativa.
- Conforme a la evaluación del riesgo por incendio y explosión en las áreas seleccionadas para el estudio, en función del emplazamiento de facilidades con las que se dispone en el CPF, se determina que el tanque de almacenamiento de diésel es el área con un considerable nivel de riesgo de incendio, catalogado con un grado de peligrosidad de GRAVE. Los cinco tanques que conforman la unidad de almacenamiento de diésel ubicadas en un emplazamiento de un solo cubeto compartido, que en caso de derrame e incendio de uno de los tanques de diésel, se tendría la probabilidad de dañar el resto de tanques colindantes, definiéndose para esta área un nivel de riesgo GRAVE.

En cuanto a la probabilidad de afectación por irradiación térmica por deflagración líquidos, gases y la sobrepresión como producto de explosiones, se determina que las consecuencias para la población trabajadora de las áreas de estudio, donde se

materialicen estos sucesos serían nefasto. El distanciamiento de entre la unidad generadora del incendio y las oficinas reduce la probabilidad de afectación totalmente.

La mayor probabilidad de daño se obtuvo en el área de almacenamiento de diésel del centro de producción y facilidades de crudo, debido a la ubicación, propiedades y volúmenes de líquido que se maneja en dicha área.

El centro de producción y facilidades de crudo en la actualidad posee un sistema contra incendios que fue diseñado para un complejo de facilidades menor al que se dispone hoy en día, cabe mencionar que dicho sistema cuenta con más de tres décadas de operación, que conforme a los niveles de riesgo de incendio y explosión determinados, no cubrirían las necesidades para el cuidado y control de un accidente mayor.

- Después de investigar la normativa y exigencias para la operación del sistema contra incendios, se han definido los parámetros de diseño para este tipo de facilidades, empleando los estándares NFPA (National Fire Protección Association) aplicables, determinando un caudal mínimo de agua 3,123.20 l/min, 5 rociadores para cada uno de los contenedores de sustancias químicas, capacidad del reservorio de 601.94 m³ y una cantidad de espuma como parte del sistema de espuma para extinción de 7.82 m³.
- En base a la revisión teórica, toda la metodología se enfoca a determinar el riesgo en función de los daños; la aplicación de los modelos descritos en el presente estudio, confirman la hipótesis, que el nivel de riesgo de incendio y explosión en las instalaciones del centro de facilidades y producción de crudo es grave, lo cual representa un riesgo potencial de pérdidas materiales para la organización.
- No se utilizó la Tasa Interna de Retorno (TIR) para calcular la rentabilidad de la inversión en el presente estudio, ya que la misma fórmula se concentra en los flujos netos de efectivo de un proyecto, estudio que no maneja flujos de efectivo al tratarse de

producción diaria de barriles de petróleo; motivo por el cual se consideró demostrar su factibilidad en base al sencillo método costo beneficio.

- Los métodos de evaluación que fueron utilizados en el presente estudio, no permiten evaluar el impacto positivo que tiene la implementación de sistema contra incendio ya que son modelos orientados a calificar el nivel de severidad.

4.2 RECOMENDACIONES

Es factible considerar la propuesta técnica del sistema contra incendios para controlar y reducir los daños irreversibles a los trabajadores y afectación a los bienes materiales en el caso de un accidente mayor, motivo por el cual se recomienda implementar el sistema contra incendios complementado con un sistema de enfriamiento mediante agua pulverizada y un sistema de protección con espuma tipo AFFF (Aqueous Film Forming Foam) el cual se utiliza normalmente para fuegos de Hidrocarburos en concentraciones al 3% principalmente sintéticas de baja extensión.

Se recomienda implementar procedimientos de mantenimiento, actualización de los Diagramas de tuberías e Instrumentación o Piping & Instrumentation Diagrams (P&ID) del centro de producción y facilidades para la producción de crudo, de igual manera se recomienda mantener la operación de los equipos en los rangos de presión, flujo óptimos en función del diseño emitido por el fabricante de los equipos, entre otras medidas a tomar como resultado del análisis de las consecuencias reflejadas con la aplicación del HAZOP en los procesos operativos.

El suministro e instalación de componentes del sistema (monitor, manguera, boquillas y tanque), así como el mismo funcionamiento del sistema deberá cumplir con los estándares de

las NFPA (National Fire Protección Association), para garantizar una eficiente operabilidad del sistema contra incendio, con el objeto de evitar eventualidades en caso de un accidente mayor.

BIBLIOGRAFÍA

- Casal, J. (1999). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona, España: Edicions UPC.
- INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO. (s.f.). *NTP 326. Radiación térmica en incendios de líquidos y gases*. Barcelona. España: INSHT.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 2266. (2010). *Transporte. Almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Requisitos*. Quito, Ecuador.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 2288. (2000). *Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado de precaución. Requisitos*. Quito, Ecuador.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. INEN 3864-1. (2013). *Colores de seguridad y señales de seguridad*. Quito, Ecuador.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO. (1980). *Guía para la clasificación de Riesgos. ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN*. Barcelona: INSHT.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO. (1994). *Radiación térmica en incendios de líquidos y gases*. Barcelona: INSHT.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO. (s.f.). *NTP 291. Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit*. Barcelona, España: INSHT.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO. (s.f.). *NTP 321.*

Explosiones de nubes de vapor no confinadas; evaluación de la sobrepresión.

Barcelona, España: INSHT.

MINISTERIO DE BIENESTAR SOCIAL . (1998). *REGLAMENTO DE PREVENCIÓN DE
INCENDIOS DEL CUERPO DE BOMBEROS* . Quito, Ecuador.

MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL. (2009). *Reglamento de
prevención, mitigación y protección contra incendios*. Quito, Ecuador.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (1996). *NFPA 30. Código de líquidos
inflamables y combustibles* . Buenos Aires, Argentina: IRAM.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (2001). *NFPA 15. Norma para sistemas
fijos aspersores de agua para protección contra incendios*. Bogotá: OPCI.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (2002). *NFPA 13. Norma para la
instalación de sistemas rociadores*. Massachushttes, USA: NFPA.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (2005). *NFPA 11. Norma para espumas
de baja, media y alta expansión*. OPCI.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (2007). *NFPA 10. Norma para extintores
portátiles contra incendios*. Bogotá, Colombia: OIPCC.

NATIONAL FIRE PROTECCIÓN ASSOCIATION. (2010). *NPFA 20. Norma para la
instalación de bombas estaacionarisa de protección contra incendios*. NFPA.

ANEXOS

ANEXO A. MEMORIA DE CÁLCULO EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN