

Identificación de los Aspectos Fundamentales en Medio Ambiente,
Seguridad y Gestión Durante las Operaciones Offshore

Cesar Andrés Calderón Pacheco

Gelver Alonso Arenis Quiroga

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero de Petróleos

Director

Germán González Silva, PhD

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería de Petróleos
Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Dedico este logro a M&M una persona que me apoyo en los momentos más difíciles de la vida, cuando sentía que el esfuerzo que realizaba no daba frutos y sentí desfallecer me disté fuerza y ánimo para continuar.

A Cristina Arenis, que a pesar de la distancia y de estar en otro país siempre me apoyo en los momentos más duros, cuando pensaba que no podría continuar mis estudios siempre estuvo ahí.

Agradezco a Alexandra, Edelmira y Estefany quienes son mi motor de vida y por quienes he podido culminar este logro, en momentos sentir que desfallecía, pero siempre estaban ahí apoyándome en todo.

Agradecimientos

Primero que todo a Dios por habernos guiado y dado conocimiento para alcanzar este logro.

A nuestros padres ustedes han sido siempre el motor que nos impulsa, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días difíciles de estudio. Siempre han sido los mejores guías de vida. Hoy concluyen nuestros estudios, les dedicamos a ustedes este logro amado padres, como una meta más alcanzada. Orgullosos de que sean nuestros padres y que estén a nuestro lado en este momento tan importante.

A los docentes que nos apoyaron durante todo nuestro estudio, sus palabras fueron sabias, sus conocimientos precisos, a ustedes les debemos el conocimiento. Donde quiera que vayamos, los llevaremos con nosotros en nuestro día a día de labor. Sus conocimientos han sido como una semilla que germinó en el alma y el espíritu. Gracias por tenernos paciencia, por compartir sus anécdotas y experiencia de manera profesional e invaluable, por su dedicación perseverancia y tolerancia.

Gracias por impulsar este proyecto y creer en nosotros”

Cesar Andrés Calderón, Gerver Alonso Arenis.

Tabla de Contenido

Introducción	11
1. Preliminares y Objetivos	15
1.1. Objetivo General	15
1.2. Objetivos Específicos	15
1.3. Justificación	15
1.4. Alcance	17
1.5. Metodología	19
1.5.1. Paradigma de la investigación Objetivos	19
1.5.2. Diseño de la Investigación	19
2. Capítulo 1. Estado del Arte y Análisis Metodológico.....	20
2.1. Fundamentos de la Gestión de Riesgos	20
2.1.1. Objetivos	21
2.1.2. Etapas	21
2.1.3. Beneficios	22
2.2. Riesgo no cuantificable	23
2.2.1. Riesgo Operacional	23
2.2.2. Riesgo Estratégico	23
2.2.3. Riesgo Reputacional.....	24
2.2.4. Riesgo Legal	24
2.3. Cultura de Seguridad y aceptación de riesgos.....	24
2.3.1. Gestión estratégica de riesgos	25
2.4. Conocimiento técnico y operativo de la industria en plataformas.....	28
2.4.1. Componentes de la cadena productiva de la industria petrolera.....	28
2.4.2. Instalaciones en tierra y alta mar	33
2.4.3. Seguridad en los procesos	35
2.4.4. Seguridad en Operaciones	38
2.4.5. Trabajo Profesional en actividades operativas	41
2.4.6. Documentos de Diseño de Sistemas de Seguridad	42
2.5. Reducción de riesgos.....	43
2.6. Evacuación de personas.....	47
2.6.1. Escape con Tarea Intermedia	47

2.6.2. <i>Escape sin Tarea Intermedia</i>	48
2.6.3. <i>Escape Directo</i>	48
2.6.4. <i>Dimensiones básicas y recomendaciones para la evacuación</i>	48
2.7. Equipo de supervivencia en el mar	50
2.8. Control de emergencias	54
2.9. Análisis Funcional de Operabilidad	56
2.9.1. <i>Técnicas de análisis de riegos</i>	58
3. Capítulo 2. Análisis Histórico de Riesgos	59
3.1. Análisis de Casos	63
4. Capítulo 3. Análisis de Riesgos en film “Horizonte Profundo”	67
4.1. Infografía	67
4.2. Sinopsis	68
4.3. Análisis	68
5. Análisis de Resultados y Conclusiones	72
5.1. Principales consecuencias de las malas prácticas en Gestión de Riesgos y Seguridad durante las operaciones Offshore.	72
5.2. Gestión de Riesgos y seguridad implementada por empresas del sector de los hidrocarburos en operaciones Offshore.	74
5.3. Categorización de los niveles de accidentes causados por indebida gestión y localización de sustancias o materiales con alto nivel de flamabilidad.	77
5.3.1. <i>Peligro 1. Exigencias físicas y entorno de riesgo en una plataforma petrolífera</i>	77
5.3.2. <i>Peligro 2. Exposición a sustancias químicas en una plataforma petrolífera</i>	77
5.3.3 <i>Peligro 3. Incendios en una plataforma petrolífera</i>	78
5.3.4 <i>Peligro 4. Accidentes de maquinaria en las plataformas petrolíferas</i>	78
5.3.5 <i>Peligro 5. Accidentes de transporte en las plataformas petrolíferas</i>	79
5.4. Medidas de seguridad aplicadas en las operaciones Offshore para disminuir factores de riesgos en trabajadores y medio ambiente	79
5.4.1. <i>Condiciones adversas de los equipos</i>	80
5.4.2. <i>Gases acumulados</i>	80
5.4.3. <i>Accidentes de arco eléctrico</i>	80
5.4.4. <i>Sistemas de generación de energía</i>	80
5.4.5. <i>Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado</i>	81
5.4.6. <i>Sistemas de lavado, purga e inertización</i>	81
5.4.7. <i>Sistemas de detección de gas</i>	82

<i>5.4.8. Sistemas de detección de incendios</i>	82
<i>5.4.9 Sistemas automáticos de extinción de incendios</i>	83
5.5. Conclusiones	83
Referencias Bibliográficas	85

Lista de Tablas

	Pág
<i>Tabla No. 1. Recomendaciones para el Trabajo Profesional en actividades operativas en alta mar</i>	40
<i>Tabla No. 2. Documentos de Diseño SST</i>	41
<i>Tabla No. 3. Características equipos de supervivencia</i>	50
<i>Tabla No. 4. Control de emergencias</i>	54
<i>Tabla No. 5. Técnicas de análisis de riesgos</i>	57
<i>Tabla No. 6. Cronología de accidentes Industria Petrolera 2000-2020</i>	59
<i>Tabla No. 7. Caso Deep Water Horizon</i>	62
<i>Tabla No. 8. Plataforma P-36 de Petrobras en Brasil</i>	63
<i>Tabla No. 9. Plataforma marina Usumacinta de Petróleos Mexicanos (2007)</i>	64
<i>Tabla No. 10. Factores el accidente</i>	68
<i>Tabla No. 11. Factores negativos vs aspectos para tener en cuenta</i>	70

Lista de Figuras

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
Figura 1. <i>Etapas de la Gestión de Riesgo- Modelo Integral</i>	22
Figura 2. <i>Piedras angulares de la transformación del riesgo</i>	27
Figura 3. <i>Upstream</i>	30
Figura 4. <i>Midstream</i>	31
Figura 5. <i>Downstream</i>	32
Figura 6. <i>Plataforma en tierra</i>	33
Figura 7. <i>Plataforma en alta mar</i>	34
Figura 8. <i>Segmentación por bloques</i>	44
Figura 9. <i>Plan de emergencia ante contingencia</i>	44
Figura 10. <i>MOS Sweeper</i>	45
Figura 11. <i>Ruta de escape con tarea inmediata</i>	46
Figura 12. <i>Ruta de escape sin tarea inmediata</i>	47
Figura 13. <i>Ruta de escape Directo</i>	47
Figura 14. <i>Rutas de escape principales y secundarias</i>	48
Figura 15. <i>Equipos de supervivencia y rescate en alta mar</i>	51
Figura 16. <i>Cadena de mando de la emergencia</i>	54
Figura 17. <i>Palabras guías del HAZOP</i>	56
Figura 18. <i>Contenido de las columnas del formato HAZOP</i>	57
Figura 19. <i>Imágenes de las catástrofes en plataformas petroleras</i>	61
Figura 20. <i>Poster del film Deepwater Horizon</i>	66
Figura 21 <i>Cronología</i>	69

Resumen

Título: Identificación de los Aspectos Fundamentales en Medio Ambiente, Seguridad y Gestión Durante las Operaciones Offshore

Autor: Gelter Alonso Arenis Quiroga - Cesar Andrés Calderón Pacheco

Palabras claves: Operaciones *Offshore*, Medio ambiente, Seguridad, Gestión de riesgos, Peligros, plataformas petroleras

Descripción:

En la industria de los Hidrocarburos específicamente, en las operaciones offshore al igual que en otras en las cuales se realizan trabajos de alto riesgo, es esencial conocer los aspectos fundamentales en gestión, seguridad y medio ambiente con el fin de ejecutar las actividades de forma segura tanto para el medio ambiente como para los trabajadores. Esta es una parte integral de la Industria y se considera de suma importancia cuando se trata de ejecutar cualquier actividad en este negocio. Es por ello que, en el presente trabajo de grado se busca realizar una identificación de los aspectos fundamentales en medio ambiente, seguridad y gestión durante las operaciones offshore por medio una recopilación de información teórico-conceptual a través de una metodología mixta que permita determinar, comparar y categorizar aspectos importantes en HSE aplicables a la situación actual de la industria en conjunto con los deberes generales de los trabajadores para su propia salud y seguridad y la de los demás.

Abstract

Title: Identification of the Fundamental Aspects in Environment, Safety and Management

During Offshore Operations

Author: Gelver Alonso Arenis Quiroga - Cesar Andrés Calderón Pacheco

Keywords: Offshore Operations, Environment, Security, Risk Management, Hazards, Oil Platforms

Description:

In the Hydrocarbons industry specifically, in offshore operations as well as in others in which high-risk work is conducted, it is essential to know the fundamental aspects of management, safety and the environment to conduct activities safely. both for the environment and for workers. This is an integral part of the industry and is considered of paramount importance when it comes to running any activity in this business. That is why, in this degree work, we seek to identify the fundamental aspects of the environment, safety and management during offshore operations through a collection of theoretical-conceptual information through a mixed methodology that allows determining, compare and categorize important aspects in HSE applicable to the current situation of the industry in conjunction with the general duties of workers for their own health and safety and that of others.

Introducción

El continente americano y en particular la región de Latinoamérica, es reconocida por ser la zona con mayor biodiversidad del planeta, según información recabada y sistematizada por el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2016), encontrándose en su territorio el 73% de toda la vida terrestre junto a la diversa fauna y flora marina y complementario a esto es una región con una de las más importantes reservas petroleras ampliamente explotadas desde comienzos del siglo XX para una gama amplia de usos a nivel comercial con el fin de atender a las altas demandas de un producto que es concebido en la actualidad como: “la savia del sistema económico y sociopolítico orbital con una importante influencia en la política mundial” (Avila R. , 2016, pág. 791)

Con referencia a lo anteriormente enunciado, se deduce que los combustibles fósiles y en particular el petróleo, seguirán durante las décadas próximas representando un papel esencial en la economía debido a su creciente demanda tanto del crudo como de sus derivados para el uso doméstico, el transporte y en general para la industria. El panorama en Colombia es de hecho muy similar, de tal forma, dicho recurso representa actualmente “el 55.4 por ciento del total de las exportaciones y el principal contribuyente a las finanzas del Estado y, con un potencial estimado en 37.000 millones de barriles” (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2020)

En este orden de ideas es necesario destacar en ese caso que tanto los métodos de extracción que se realizan, conocidos tradicionalmente como offshore, deben desarrollarse con una obligada intervención de los ecosistemas, cuya actividad puede en consecuencia ocasionar daños a la biodiversidad, debido al alto impacto ambiental que produce la actividad petrolera a los ecosistemas debido a tareas de extracción, perforación, transformación y conducción adelantadas

en este proceso (Velásquez, 2017), dicha problemática planteada ha venido generando estrategias y debates en pro de garantizar la reducción de los impactos ambientales ocasionados con la extracción de hidrocarburos.

Ante dicha situación y con el fin de propender por una reducción significativa de los impactos ambientales, se origina en consecuencia la necesidad de definir estrategias para implementar una serie de herramientas para el desarrollo continuo de proyectos como los offshore, para minimizar o por lo menos reducir los daños que puedan ocasionarse; siendo así a fin de favorecer esta mitigación se establece un marco de gestión del riesgo ambiental, el análisis de sensibilidad o “conocimiento del entorno en el cual se desarrolla una operación y de las áreas que pueden ser potencialmente afectadas” (Marquez & Delgado, 2013), han de convertirse en aliados para acompañar los procesos de intervención humana.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el proceso offshore se ejecuta a través de una exploración sísmica, técnica utilizada a partir de potentes bombardeos generadores de ruidos subacuáticos tan fuertes como los ruidos nucleares, capaces de impactar negativamente a la fauna acuática que ocasionan alteraciones en el comportamiento, reducción de viabilidad de huevos, discapacidad auditiva y lesiones de todo tipo (Romero, 2017), al igual que los fluidos, insumos y rípios usados en las perforaciones ocasionan grandes cambios en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de los ecosistemas localizados en el entorno de la explotación y altera en consecuencia la calidad de agua.

Pero dichos efectos también suelen ocasionar deficiencias en la plataforma o en los sistemas que conducen el petróleo, es común observar derrames de petróleo que ocasionan graves consecuencias en su gran mayoría letales sobre la fauna marina debido al incremento en la

toxicidad y contaminación consecuente de los cuerpos de agua, la cual permanece por muchos años impidiendo la completa recuperación de los ecosistemas (LaFuente & Soto, 2019), por tanto, los procesos de exploración y extracción afectan directamente a la fauna marina y dado que todas las áreas no son de igual proporción, antes de poder implementar tareas en este sentido, se hace necesario desarrollar estudios propios a las características de cada región para enfrentar los riesgos a que se encuentran expuestos según la diversidad biológica y que por tanto demandan un uso racional y controlado de las técnicas y procesos estrictos para la explotación costera, sin embargo tal como lo manifiesta Zimmermann (2021), “los proyectos costa afuera en Colombia, aún no son parte de la discusión pública por sus impactos ambientales, situación que se agrava al estar estos concebidos en áreas de gran valor ecológico”; esto puede causar la impresión que estos se encuentren poco visibles en un mundo donde se deben plantear urgentes e inmediatas soluciones para la crisis ante el cambio climático.

Igualmente, necesario es referir el concepto de seguridad física de las personas encargadas de las plataformas marítimas y unidades offshore, lo cual necesariamente involucra revisar los conceptos asociados de Seguridad Marítima Integral, Estado ribereño y seguridad energética. Es así como la Agencia Internacional de Energía (IEA) describe a la Seguridad Energética como la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible, la Seguridad Marítima Integral en el contexto de la industria marítima, se define como el transporte de la carga sin interferencias, piratería o actividades criminales de ningún tipo, mientras que el Estado Ribereño, está relacionado con ejercer la soberanía más allá de los límites terrestres de un estado, permitiéndole a este la explotación de sus recursos efectuando diferentes actividades de vigilancia y control para proteger sus actividades, intereses económicos y espacios marítimos (Virzo, 2017)

Por otra parte en razón a las regulaciones sobre seguridad física en algunos países con una actividad alta en operaciones Offshore de hidrocarburos, han promulgado normativas estrictas a fin de extender la aplicación del código PBIP/ISPS a las plataformas y unidades de exploración y también a los buques participantes, en el caso de México para efectos de seguridad la plataformas y unidades offshore son tratadas como instalaciones portuarias” dentro de sus regulaciones nacionales y deben ser cubiertas por el código PBIP/ISPS a fin de ser obligados a cumplir todos sus lineamientos (Avila & Dalaklis, 2018).

De tal forma, el presente trabajo de investigación asume en su análisis aspectos relacionados con los fundamentos de la gestión de riesgos, el conocimiento técnico y operativo de la industria en plataformas, la reducción de riesgos, las diferentes alternativas de evacuación de personas: Operación de escape y abandono, técnicas y recomendaciones, Equipos de supervivencia en el mar, el control de emergencias y el Análisis Funcional de Operabilidad. Igualmente se analizarán diferentes casos donde se investigan análisis de riesgos en la literatura, y un análisis de la película “Horizonte Profundo” (*Deep wáter Horizon*)

Desde estas consideraciones surge este trabajo de investigación con el fin de dar respuesta a la pregunta orientadora:

¿Cuáles son los aspectos Fundamentales en Medio Ambiente, Seguridad y Gestión Durante las Operaciones *Offshore*?

1. Preliminares y Objetivos

Para el desarrollo de la investigación y con el fin de responder a la pregunta que la orienta, se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo General

Identificar los aspectos fundamentales en la regulación de Riesgos para la Salud, la Seguridad y la Gestión ambiental que surgen durante las operaciones *Offshore* en la industria de los hidrocarburos.

1.2. Objetivos Específicos

Determinar las principales consecuencias de malas prácticas en Gestión de Riesgos y Seguridad durante las operaciones *Offshore*.

Analizar la Gestión de Riesgos y seguridad implementadas por empresas del sector de los hidrocarburos en operaciones *Offshore*.

Categorizar los niveles de accidentes causados por indebida gestión y localización de sustancias o materiales con alto nivel de flamabilidad.

Enumerar las medidas de seguridad aplicadas en las operaciones *Offshore* para disminuir factores de riesgos en trabajadores y medio ambiente

1.3. Justificación

La industria de los hidrocarburos en su historia ha presentado diferentes cambios desde el mismo proceso para la extracción y explotación de los recursos no renovables hasta su gestión en la cadena de distribución, en los procedimientos requeridos para garantizar el cuidado del medio ambiente hasta la gestión de seguridad y riesgos en este campo. Es así, como a partir de la aparición

del concepto del Riesgo y el termino HSE (*Health, Safety y Environment*), cuya traducción el español es: Seguridad y Salud en el Trabajo, todas las empresas se han comprometido con asumir la responsabilidad de preocuparse por el bienestar de sus empleados y la industria de los hidrocarburos no es la excepción, sin embargo, son muchos los aspectos que abarca este ámbito, por lo que en el presente trabajo de investigación se tendrán en cuenta los Riesgos de Seguridad específicamente en las operaciones Offshore.

Por otra parte, las operaciones Offshore requieren de un importante proceso de Gestión dados los riesgos que conlleva la exploración y explotación de hidrocarburos en el sector marino y en tal sentido: “Una campaña Offshore requiere una minuciosa planificación, la estructura de las operaciones necesita el uso de herramientas de gestión tales como las de *Project Management*. Antes de comenzar, se deben evaluar y considerar todos los factores que influirán en la operación” (Deveraux, 2020, pág. 46)

Siendo así, un factor muy importante e imprescindible a tener en cuenta en el campo de la exploración y explotación de los hidrocarburos desde dicha operación es el análisis de los riesgos que conlleva este proceso puesto que no solo está en juego las vidas humanas que laboran en el sector, sino también la vida animal el ecosistema que rodea el sitio donde se están llevando a cabo estos procedimientos, lo cual justifica ampliamente una gestión pertinente y una evaluación de riesgos continua que vele por el bienestar de la empresa en general.

De hecho, la historia de la industria de los hidrocarburos ha puesto en evidencia los beneficios que implica ejercer una inspección continua de la seguridad, sus alcances y sus riesgos, permitiendo también observar las devastadoras consecuencias de no medir los peligros que pueden desencadenarse por una deficiente gestión durante las operaciones Offshore, las cuales van desde

la pérdida de vidas humanas y animales hasta los daños prácticamente irreversibles al medio ambiente, y pérdidas millonarias por intentar solucionar dichas catástrofes.

Por otra parte, desde el abordaje de la gestión de riesgos es necesario en su previsión tener en cuenta algunos aspectos de subjetividad que subyacen a pesar de los esfuerzos científicos que respaldan la implementación de medidas seguras para evitar accidentes, lesiones o muertes, no se han diseñado aun procedimientos que garanticen un 100% de seguridad y en tal sentido solo la negación a correr un riesgo puede garantizar una garantía plena contra él (Portela da Ponte, 2021).

En tal sentido y siguiendo lo acotado por el autor, la eliminación de ciertos riesgos siempre dará lugar a la aparición de otros, siendo esto parte de la misma naturaleza humana, existiendo una diferencia entre la probabilidad y frecuencia de ocurrencia del accidente y el valor del riesgo, ante lo cual se hace necesario implementar sistemas encargados de proporcionar seguridad a las personas y los entornos donde se realizan actividades laborales o de cualquier otro tipo.

De tal forma y con relación a lo anteriormente enunciado, el desarrollo de esta investigación asume el análisis de las medidas de gestión y seguridad para proteger a quienes laboran en operaciones offshore y en consecuencia garanticen el mínimo deterioro (que de hecho es inevitable) a los ecosistemas próximos a las zonas de explotación.

1.4. Alcance

A partir de la historia de riesgos y consecuencias surgidos de los deficientes procesos de control e inspección en operaciones offshore, el presente trabajo de investigación pretende analizar dicha gestión, desde la misma inspección donde se tienen en cuenta los requerimientos y exigencias de la actual industria de los hidrocarburos, debido a que ocasionalmente se logra una mayor inversión en materiales y suministros para el acondicionamiento de los sitios de trabajo y

su consecuente mejoramiento buscando conseguir mejores resultados y éxitos en dichas empresas pero no se prevé que esta industria posee un alto riesgo de accidentalidad.

Desde este punto de vista, la manera más consciente de lograr resultados óptimos que beneficien tanto a la industria como a los trabajadores y al mismo medio ambiente, se denota la importancia de inspeccionar los posibles riesgos de manera constante, evitando de esta manera toda una cadena de errores que repercutan en grandes consecuencias negativas como pérdidas económicas, pérdida de vidas humanas y posible destrucción del ecosistema; lo cual puede lograrse identificando los aspectos más fundamentales que concierne a la gestión, seguridad y la salud en el trabajo durante las operaciones offshore.

Igualmente se hace necesario analizar las consecuencias de las malas aplicaciones y procedimientos en HSE durante ciertas operaciones que han ocasionado situaciones peligrosas para la vida humana y el medio ambiente, comparándose diferentes programas de gestión de riesgos determinadas empresas de la industria que tuvieron consecuencias catastróficas permitiendo identificar fallas, y así poder clasificarlas por niveles de accidentalidad para enunciar de esta manera las medidas que se deben aplicar en estos casos y lograr así, disminuir el grado de riesgo y consecuencias en este tipo de operaciones.

Para el desarrollo concreto de la investigación, igualmente se realizan análisis de casos sobre análisis de riesgos en la literatura, recurriendo a diferentes bases de datos y buscadores de Google Académico durante los últimos 20 años mediante un análisis histórico desde el año 2001 e inclusive hasta 2021.

1.5. Metodología

1.5.1. Paradigma de la investigación Objetivos

Para el desarrollo de la investigación, el método que se llevará a cabo se basará en un paradigma mixto (cualitativo y cuantitativo), el cual ante todo representa una serie de procesos de investigación críticos, sistemáticos y empíricos , ante los cuales se hace necesario recolectar y analizar datos cualitativos y cuantitativos y por otra parte proponer una discusión e integración conjunta que permita inferir aspectos sustanciales sobre toda la información recabada para conseguir un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández Sampieri, p. 534).

De esta manera, al centrar el estudio bajo los paradigmas cuantitativo y cualitativo, mediante su relación no sólo será posible el análisis y evaluación de los posibles riesgos a los que pueden conllevar las operaciones offshore, sino también tener un sentido crítico que permita mencionar y reflexionar sobre dicha industria con el fin de resaltar la importancia de la gestión de seguridad y riesgos dentro de este ámbito laboral.

1.5.2. Diseño de la Investigación

Después de señalar la metodología que se llevará a cabo en este trabajo, es importante tener en cuenta que este proceso se llevará a cabo por separado, ya que es la manera pertinente en la que se logrará analizar, comparar, evaluar y reflexionar sobre los procesos de gestión de seguridad y riesgos en las operaciones offshore a partir de una serie de incidentes catastróficos de distintas magnitudes que incidieron en el replanteamiento de la importancia de medir riesgos, evaluar los espacios, de tener en cuenta una logística centrada no sólo en el beneficio monetario de las empresas sino también en el operario que labora en dichas instalaciones, en la no contaminación del ecosistema y en la planeación.

Así, desde el corte cuantitativo el presente estudio tomará como referencia el diseño transeccional, relacional-causal, este diseño es de Tipo no experimental y describe por ende relaciones entre varias categorías, variables o conceptos en un determinado momento y en una relación causa-efecto (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014). Ahora, desde el enfoque cualitativo, se partirá desde el diseño de teoría fundamentada cuya investigación produce una explicación general o teórica respecto a un fenómeno, proceso, acción o interacción que se aplican a un con texto concreto.

2. Capítulo 1. Estado del Arte y Análisis Metodológico

A continuación, con base en la literatura consultada se esgrimen los fundamentos básicos de la Gestión de Riesgos, conocimientos técnicos y operativos de la industria en plataformas, reducción de riesgos, sistemas de evacuación de personas, control de emergencias y análisis de operabilidad.

2.1. Fundamentos de la Gestión de Riesgos

Las empresas a partir de la implementación de medidas, normativas y procesos estratégicos dentro de ellos cuales se ubica el Control Interno, deben proveer la capacidad organizativa para proporcionar una garantía razonable que permita alcanzar los objetivos estratégicos de la alta dirección, presentando una serie de directrices que pueden ser controles manuales o mecanizados, preventivos, defectivos o correctivos; de tal forma a cada riesgo detectado se le podrán asignar los respectivos controles, considerando igualmente el hecho que el riesgo residual ofrece la posibilidad de analizar la eficacia y eficiencia de los controles planteados, dicho proceso de gestión de riesgos de manera integral hace parte de la cultura corporativa (Compliance Security, 2018). De acuerdo con la *PMBOK Guide*, se considera un riesgo como: “(...) aquel evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos de un proyecto”.

2.1.1. Objetivos

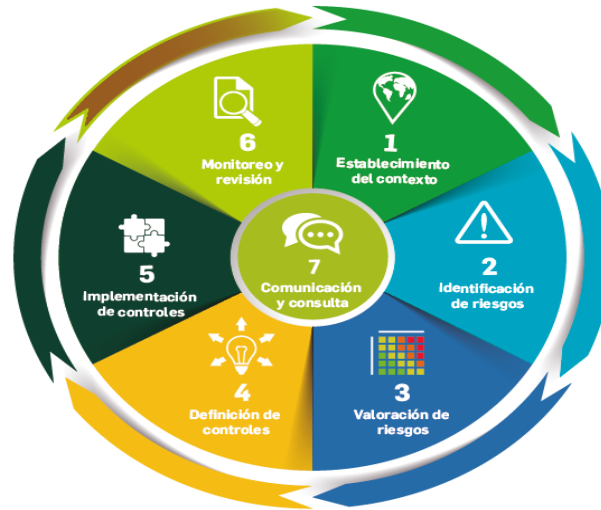
Los objetivos de la gestión de riesgos se orientan a perseguir la disminución de las probabilidades de impactos negativos en cualquier tipo de empresa o proyecto o particularmente en una actividad de un área determinada buscando persigue la disminución de las probabilidades de los impactos negativos en un proyecto o en determinada actividad de la empresa y, en consecuencia, aumentar las probabilidades que se generen impactos positivos en el entorno de la organización.

2.1.2. Etapas

La gestión de riesgos comprende una serie de etapas desde una etapa que se desarrollan de manera consecutiva desde un punto de partida inicial como son el apetito al riesgo, la tolerancia y la definición de límites, para posteriormente pasar a la identificación y evaluación del riesgo. Posteriormente se abarca en si la gestión del riesgo con los debidos controles, los cuales derivan en el proceso de comunicación y elaboración de los correspondientes informes. Como se puede apreciar en la Figura 1; es pertinente entender igualmente que las gestiones de los riesgos se vinculan transversalmente y en todo momento con los objetivos estratégicos que parten de la planificación de la empresa, donde los recursos tecnológicos, logísticos y de capital humano hacen parte integral (EALDE, 2016).

Figura 1

Etapas de la Gestión de Riesgo- Modelo Integral



Nota: La figura representa las etapas que surgen de la Gestión Integral de Riesgos. Clasificación sugerida por *EALDE Business School* para la implementación en todo tipo de organizaciones.

2.1.3. Beneficios

Conocer adecuada y en profundidad los posible riesgos y en profundidad la probabilidad de ocurrencia de los mismos, sin lugar a dudas permiten una planificación integral estratégica efectiva, conllevando por tanto a una mayor efectividad y eficiencia y en consecuencia a unos costos menores asociados a los imprevistos que puedan generarse si han sido lo suficientemente controlados e identificados; es de prever que una revisión continua y una acertada comunicación de los datos repercute en que todos los miembros de la empresa y sus dependencias cuenten con una visión global del desarrollo del objeto social, las actividades y los riesgos que la ejecución del proyecto conlleva (Cano, 2018).

2.2. Riesgo no cuantificable

Los riesgos no cuantificables se derivan de eventos no previstos, siendo así no es posible por tanto conformar una base estadística con información suficiente para medir las pérdidas potenciales (Stevens, 2020), se describen por tanto a continuación los Riesgos No Cuantificables que existen:

2.2.1. Riesgo Operacional

En este tipo de riesgo existe la posibilidad de presentarse pérdidas de carácter financiero por fallas o deficiencias en las tecnologías de la información, los procesos de orden interno, por eventos externos adversos o por fallas humanas; igualmente se relaciona con la posibilidad latente que los gastos necesarios para la operación tales como generales y de recursos humanos no sean cubiertos por el margen financiero resultante, de tal forma el adecuado manejo del riesgo operativo implica por tanto un eficiente desempeño. En las operaciones Offshore de las cuales trata esta investigación estos riesgos son recurrentes y afectan la seguridad de instalaciones, personal y el medio donde se efectúan las actividades.

2.2.2. Riesgo Estratégico

En este caso el riesgo refiere a pérdidas posibles derivadas de una inadecuada inversión “estratégica” la cual posee un alto grado de incertidumbre respecto a la rentabilidad esperada (éxito de la operación), dicho riesgo puede percibirse con mayor frecuencia en el sector real

Este hacer referencia a posibles pérdidas que se derivan de una inversión “estratégica” con un alto grado de incertidumbre en cuanto a su éxito o rentabilidad. El riesgo estratégico se percibe con mayor claridad en el sector real, por ejemplo, si KFC decide como parte de su estrategia, emprender en el sector petrolífero, y licitar con el estado colombiano en la exploración de

hidrocarburos en los Llanos Orientales, es posible que KFC esté incurriendo en un alto riesgo estratégico.

2.2.3. Riesgo Reputacional

Se le conoce como riesgo a la reputación a toda aquella situación que pueda originar pérdida por mala imagen, desprestigio, publicidad negativa o desprestigio, cierto o no en una institución y respecto a sus prácticas de negocios, lo que implica que se genere una disminución de ingresos, pérdida de clientes o incurrancia en procesos judiciales.

2.2.4. Riesgo Legal

Se le conoce como riesgo legal a la pérdida en que incurre una entidad al ser sancionada u obligada a indemnizar daños debido a su incumplimiento de normas o regulaciones y obligaciones contractuales, este tipo de riesgo surge también como consecuencia de fallos en contratos y transacciones, que se derivan de actuaciones malintencionadas, negligencia o actos involuntarios que no hacen posible formalizar o ejecutar los contratos o las transacciones.

2.3. Cultura de Seguridad y aceptación de riesgos

El termino de cultura de seguridad comprende diferentes valores y actitudes del individuo y de la misma empresa en aspectos relacionados con la seguridad de las personas, los activos y el medio donde se desarrolla una operación o proyecto; dichos aspectos de seguridad se refieren no solo al comportamiento diario de las personas dentro de una organización sino también la forma de entenderla, asumirla y practicarla (ISO 45001, 2018).

De tal forma en empresas de diferente índole se desarrollan actividades para reforzar la cultura segura en los empleados, educándolos y generando conciencia para lograr una mejor calidad en el desarrollo de sus actividades, disminuyendo la ocurrencia de potenciales accidentes y problemas dentro de su espacio laboral y en los servicios ofrecidos por la empresa a la cual se encuentran vinculados.

Las ventajas obtenidas por una adecuada cultura de seguridad no solo se refieren a la disminución de accidentes sino al incremento sustancial en la competitividad de la empresa y a la eficiencia plasmada en la obtención de indicadores de eficiencia, rendimiento y productividad, al conseguir que los trabajadores realicen sus labores a conciencia y correctamente eliminando en lo posible los fallos que puedan ocurrir posteriormente y que generen costos de no calidad; el adecuado manejo de los temas inherentes a la seguridad denotan en consecuencia beneficios notables y que se aprecian en la disminución de errores en la producción y en un aumento de la calidad ofrecida.

2.3.1. Gestión estratégica de riesgos

Conocida por sus siglas en Inglés ERM o *Enterprise Risk Management*, tiene como objetivo posibilitar un espacio para la colaboración entre los diferentes estamentos de una organización, niveles jerárquicos y operativos con el fin de establecer prioridades necesarias que faciliten construir una visión corporativa del riesgo, lo cual garantizará a futuro mejorar sustancialmente el retorno de las inversiones realizadas contribuyendo al logro de los objetivos de todos los grupos de interés (Gomez, 2021)

Si una empresa decide definir una visión para su ERM, es necesario entonces preguntar cual diferencia existe entre una empresa que avanza sin contratiempos y una que tiene mayor

cantidad de obstáculos y de hecho la diferencia se encuentra en la planificación lo cual le permite pasar de un “estado actual” a un “estado deseado” contribuyendo al desarrollo de planes que puedan mitigar y reducir los riesgos e impactos negativos en el desempeño operativo.

De tal forma lo que debe cambiarse se resume en:

- Los objetivos: mediante el acompañamiento de la implementación del cambio en los comportamientos de liderazgo.
- El Alcance: impactando sustancialmente el proceso de cambio en la empresa a través de una unidad de negocio específica, una nueva región o zona de influencia o toda la organización.
- Las Brechas: reconociendo los impactos que se obtienen en la estrategia, la estructura funcional, las personas, los individuos, la tecnología y la seguridad de la empresa con la cultura que desea cambiarse.
- Los Tipos de cambios aplicados: los cuales son generados por la necesidad urgente de establecer cambios en las creencias y valores o al definir nuevas formas de gobierno o políticas institucionales y que incluyen la gestión del riesgo.

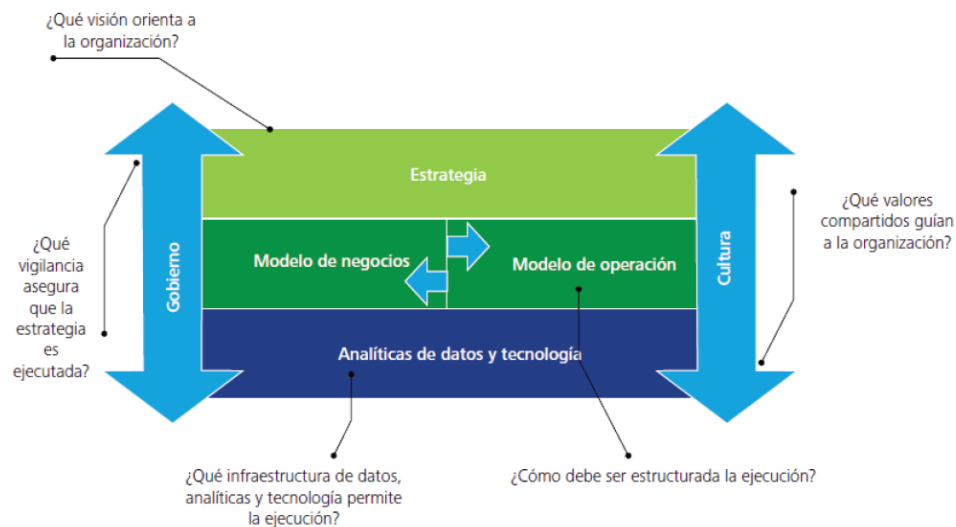
Las necesidades o razones por las cuales debe cambiarse la cultura de seguridad son:

- La incorporación de buenas prácticas en el gobierno corporativo aportando seguridad jurídica, económica y favoreciendo el desarrollo y sostenibilidad organizacional.

- Lograr mejoras sustanciales en la competitividad en los ámbitos locales, nacionales e internacionales al lograr una adecuada gestión de la incidencia de probables riesgos en los negocios.
 - Desarrollar competencias a fin de garantizar mantener el cambio en el futuro mediato apoyando adecuadamente la toma de decisiones y contando con un sistema integrado de calidad que soporte y afiance dicho cambio.
 - Disminuir la intensidad de las fuerzas en contra del cambio, suprimirlas o transformarlas
- En la Figura 2 se muestra la piedra angular de la transformación del riesgo

Figura 2

Piedras angulares de la transformación del riesgo



Nota: La figura representa las piedras angulares sobre las que se construye la transformación del riesgo según Deloitte, 2018.

Tal y como lo muestra la Figura 2, la estrategia es el elemento primordial – la visión que orienta la organización. La estrategia (o estrategias) de la organización son los medios escogidos por la administración para buscar alcanzar las metas de la compañía. El gobierno y la cultura

establecen la vigilancia y el entorno en el cual las estrategias son implementadas. Los modelos de negocios y de operación, así como las analíticas de datos y la tecnología, permiten que la organización realice negocios, entienda sus posiciones de riesgo, y administre el riesgo (Owen, 2016).

2.4. Conocimiento técnico y operativo de la industria en plataformas

La extracción de crudo se realiza actualmente en zonas distantes y ambientalmente sensibles por lo cual se hace necesario contar con planes estrictos de contingencia ante eventuales emergencias, por lo cual es clave que los trabajadores de áreas tales como inspección, mantenimiento, pruebas e inspección estén equipados con herramientas de comunicación confiables para reportar los problemas que puedan surgir y contar con adecuados planes de seguridad ante eventuales incidentes o accidentes (Williams, 2019), de tal manera en este apartado se enunciarán aspectos básicos referidos a Componentes de la cadena productiva, Instalaciones en tierra y en alta mar, seguridad de los procesos, Pérdida de contención (fugas de líquidos y gases), Combustión ardiente estable o explosiva, Seguridad en operaciones físicas y químicas con hidrocarburos, Barrera de seguridad, Trabajo profesional en actividades operativas y en el campo, Rutinas del proyecto, Documentos de diseño de sistemas de seguridad.

2.4.1. Componentes de la cadena productiva de la industria petrolera

La Cadena de Valor de los Hidrocarburos se encuentra integrada por todas las actividades económicas que tienen lugar durante la exploración, producción, transporte, procesamiento y almacenamiento de los recursos naturales no renovables o hidrocarburos, los cuales en esencia se conforman por materiales orgánicos que al ser expuestos a ciertas temperatura y presiones pueden presentarse en los yacimientos de aceite y/o gas. Es así como la Cadena de Valor de los Hidrocarburos tiene lazos muy fuertes con la tecnología, la que posibilita que los procesos sean

sustentables a través del ciclo de vida del aceite y gas. En general en el mundo, la cadena productiva expuesta a continuación ha ido expandiendo sus horizontes hacia nuevas áreas de oportunidad, permitiendo obtener procesos más precisos (Montserrat, 2022), es así como La Cadena de Valor del Hidrocarburo se divide en tres etapas: *Upstream*, *Midstream* y *Downstream*.

2.4.1.1. Upstream.

Conocida igualmente como Exploración y Producción, en esta fase se realiza la búsqueda de pozos nuevos ya sea en alta mar o en tierra y ellos son sometidos a diversos estudios con el fin de determinar si estos se ubican en zonas con presencia de hidrocarburo, realizándose igualmente de manera complementaria análisis para identificar su posible potencial y en consecuencia realizar una evaluación que determine la posible rentabilidad económica del campo. Luego de determinarse que el área posee indicios de presencia de hidrocarburo, se procede a construir uno o varios pozos exploratorios los cuales sirven para delimitar el área y realizar paso seguido la estimación de cuántos pozos productores se pueden realizar en ese campo de estudio. En esta fase igualmente se desarrollan los trabajos y análisis necesarios que permitan estimar el comportamiento del campo, incluyendo también todas las actividades necesarias para el análisis de reservas y la forma como se desarrollará la explotación del campo a lo largo de su vida útil y cuando no sea rentable se planea finalmente su abandono.

La Figura 3 muestra en resumen grafico esta fase de la cadena productiva o de valor de este proceso.

Figura 3

Procesos Upstream



Nota: La figura representa la fase Upstream de la cadena productiva de los hidrocarburos según *World Energy Trade* (2022).

2.4.1.2. Midstream.

La segunda fase de la cadena productiva se inicia en el momento que el fluido se ha localizado ya en la superficie y se inicia su transporte a través de tuberías hasta el equipo de separación, punto en el cual con la intervención de un dispositivo se realiza la separación de la mezcla proveniente del pozo en agua, aceite y gas. Aquí el aceite y el gas son tratados separadamente y son conducidos por ductos por carretera o vía marítima hacia los centros de almacenamiento o unidades recolectoras para su posterior inyección en otros pozos.

Esta fase es donde interviene el Ingeniero de Petróleos y donde el punto de almacenamiento es la última etapa en la que se figura. Ya que los procesos realizados posterior a este punto son

independientes al campo de estudio de los ingenieros petroleros y pasa a ser objeto de estudios de otras ingenierías.

La Figura 4 representa en consecuencia esta fase

Figura 4

Procesos Midstream



Nota: La figura representa la fase Midstream de la cadena productiva de los hidrocarburos según *World Energy Trade* (2022).

2.4.1.3. Downstream.

Corresponde a la tercera y última fase de la Cadena Productiva, conformada por todos los procesos y subprocesos realizados al aceite y al gas recolectados en la fase anterior y algunos de estos procesos se refieren a la refinación, que es donde se realiza la transformación del crudo en productos o materias primas que posteriormente serán utilizados para elaborar productos en otras

industrias, incluyendo también las químicas y petroquímicas que suelen utilizar el aceite crudo como materia prima para productos industriales o de la vida cotidiana como plásticos, detergentes, fibras sintéticas, entre otros.

En esta última fase se ubica la comercialización, debido a que todos los productos generados a partir del procesamiento del aceite crudo se distribuyen mediante diversos canales tanto nacionales como internacionales hasta llegar a un consumidor final.

La Figura 5 representa en consecuencia esta fase

Figura 5

Downstream



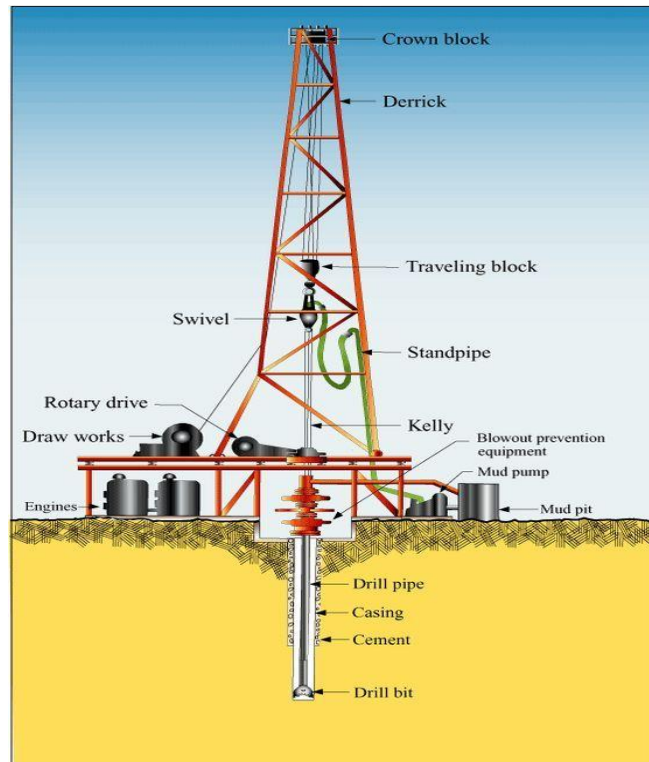
Nota: La figura representa la fase Midstream de la cadena productiva de los hidrocarburos según *World Energy Trade* (2022).

2.4.2. Instalaciones en tierra y alta mar

Las instalaciones petroleras en tierra comprenden una plataforma de perforación que en esencia es una estructura de tierra que es construida con el fin de soportar sin llegar a deformarse todas las cargas físicas que desarrollan los equipos de perforación de pozos petrolíferos y sus instalaciones que la complementan.

En este caso la plataforma puede estar localizada en su totalidad en una zona de relleno o en una zona de corteo parcialmente ente ambas por lo cual el terreno subrasante puede corresponder a un suelo natural o estar constituido por material de relleno, dicha estructura tiene una estructura muy particular debido a su periodo de vida útil, construida únicamente para los equipos necesarios utilizados en la perforación el cual puede durar de 10 a 30 días. Luego de perforado el pozo, la plataforma es utilizada para la actividad de extracción o de explotación soportando únicamente la carga de los vehículos que transitan por él. La estructura de una plataforma está constituida por:

Subrasante, que es el terreno de fundación, conformado por el suelo subyacente al nivel compensatorio de los cortes y los relleno; la base que es la capa de material colocada sobre las subrasantes con espesores entre 0.5 m y 1.2 m, la ubicación de una plataforma terrestre está en función de la localización del reservorio de petróleo en el subsuelo, el mismo que se determina mediante estudios geológicos. El centro de pozo o punto de perforación corresponde al punto donde la vertical trazada desde el subsuelo al reservorio en el subsuelo, interseca la superficie terrestre, y es a partir de allí donde se han de trazar los límites de la plataforma. La plataforma terrestre se puede apreciar en la Figura 6.

Figura 6*Plataforma en tierra*

Nota: La figura representa la plataforma petrolera en tierra según diseño de Euroden, Engyneering (2019).

Por su parte las instalaciones petroleras o plataformas en alta mar corresponden a estructuras flotantes de dimensiones superlativas cuya función es extraer gas natural y petróleo de yacimientos submarinos. Está constituida además del aparataje técnico y logístico del alojamiento del personal que la ópera y la cuida y son construidas utilizando modernas tecnologías para contrarrestar las inclemencias del clima en alta mar, en la actualidad se estima que más de medio millar de plataformas de extracción están activas, las cuales, antes de llegar al agua, han estado unos 18 meses en los astilleros para ser fabricadas. Una plataforma petrolífera en alta mar se asienta sobre patas móviles gigantes clavadas en la superficie marina, segmentada en fragmentos

ensamblados en alta mar y cada uno de estos fragmentos se remolcan hasta su posición mediante astilleros, su montaje suele durar varias semanas y en último paso se adhiere la perforadora, que corresponde al elemento principal de excavación de las diferentes capas de roca del mar, hasta llegar a los pozos de petróleo o gas. La punta de la broca, valorada en 24.000 euros, está formada por varias cuchillas de diamante (AXXESS Nw, 2021). véase la Figura 7.

Figura 7

Plataforma en alta mar



Nota: La figura representa la plataforma petrolera en alta mar según diseño de Euroden, Engyneering (2019).

2.4.3. Seguridad en los procesos

En este apartado se presentan los principales factores de riesgo a los cuales se encuentran expuestas las instalaciones petroleras relacionadas con pérdidas de contención por fugas y combustión ardiente o explosiva.

2.4.3.1. Pérdidas de contención por fugas

Como medidas de seguridad ante eventuales pérdidas de contención por fugas, deben iniciarse acciones rápidamente para mitigar las amenazas que se puedan ocasionar tanto a las personas como al medio ambiente, al bienestar de los ecosistemas o al medio marino. Se debe acudir a la jurisdicción marítima del territorio donde sucede el accidente y de acuerdo a las características específicas del incidente tanto como a las necesidades de atención y respuesta, el responsable o la entidad responsable en su caso (DIMAR para el territorio colombiano), movilizará inmediatamente todos los recursos técnicos y operativos, económicos y personal especializado con el fin de ejecutar el Plan de Acción del Incidente (PAI) (Sistema Nacional de Riesgos de Desastres, 2021).

Por otra parte, ante la presentación del evento la respectiva unidad encargada de coordinar los casos de pérdidas por contención de hidrocarburos y otras sustancias peligrosas (SNGRD) está en obligación de apoyar las operaciones de atención frente al incidente reportado, contando con el concurso de entidades comunitarias, públicas o privadas que se requieran.

Por otra parte, el PAI debe considerar entre otros elementos las estrategias, objetivos, tácticas y recursos necesarios con el debido plan de acción para un periodo determinado, respondiendo las siguientes cuestiones: ¿Que debe hacerse?, ¿Quienes son los responsables?, ¿mecanismos de comunicación?, ¿formas de coordinación con autoridades y otras entidades? ¿responsables de las acciones? ¿Como se garantiza la seguridad de las personas?, ¿Cronograma de implementación del plan? Entre otros.

Igualmente, las decisiones que tome el PMU para desarrollar los compromisos esgrimidos en el PAI quedaran registrados en una bitácora técnica de la siguiente manera:

DIA	HORA	DECISIÓN	RESPONSABLE

De tal forma, el responsable de las actividad o la DIMAR deben generar reportes parciales que contemplen las acciones del PAI considerando las características del incidente, los diferentes impactos causados, la frecuencia de reportes y adicionalmente todo aquel que oficie como Responsable de la Actividad, sujeta o no a licenciamiento ambiental o instrumento de manejo ambiental equivalente, deberá realizar los reportes parciales en ventanilla VITAL del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de acuerdo con la periodicidad establecida en la Resolución 1767 de 2016 y Resolución 1486 de 2018.

Por último, respecto a las consecuencias ambientales, relacionados con os daños causados al ecosistema marítimo provocados por la pérdida de contención de hidrocarburos deben ser verificados por las autoridades correspondientes acorde con los procedimientos fijados por las normas vigentes sin perjuicio de la aplicación de las medidas preventivas a que haya lugar.

2.4.3.2. Combustión ardiente o explosiva

En la Industria petrolera pueden existir tres tipos de escenarios que originan accidentes, los cuales se clasifican en: escenarios que determinan escenarios de tipo mecánico (explosiones) - escenarios que determinan efectos peligrosos de tipo térmico (incendios) o escenarios que determinan efectos químicos (dispersión de producto toxico).

Considerando que el rango de acción de estos accidentes es por lo general limitado, los efectos pueden ser de grandes proporciones debido a la radiación térmica desprendida que afecta otras partes de las instalaciones provocando consecuentemente situaciones más graves como explosiones u otros incendios colaterales tipo efecto dominó (Ferrero, 2016).

Para el desarrollo del análisis de riesgo se clasifica frecuentemente el incendio según el estado físico del sustrato o combustible que genera los vapores para alimentar la llama, de esa forma los incendios de líquidos se clasifican en incendios de balsa al aire libre, incendios de balsa sobre el mar, incendios en movimiento o bolas de fuego. Los incendios de gas por su parte se clasifican en: incendios de chorro de gas o incendios de nube de gas.

2.4.4. Seguridad en Operaciones

Respecto a las condiciones de salud y seguridad en el trabajo, se hace necesario aclarar que en una torre de perforación trabaja un equipo mínimo de seis personas (el perforista y su segundo, tres ayudantes o auxiliares de perforación (perforistas asistentes) y un cabrestanero), quienes se encuentran al mando de un capataz o jefe de obra que es el encargado de manipular las herramientas responsables directo de las operaciones de perforación. Los perforistas son los encargados de las operaciones de perforación y supervisan a su vez la perforación de acuerdo con los turnos que le han sido asignados.

Es necesario entonces concluir que los perforistas deben reconocer amplia y detalladamente las limitaciones y la capacidad de sus equipos sobre el entendido que el trabajo común avanza al ritmo del miembro más lento del equipo perforador (Krauss, 2018).

Los ayudantes de perforación se localizan en las plataformas a fin de operar los equipos, leer los instrumentos y efectuar las labores de mantenimiento y reparación que fuesen necesarias; mientras el cabrestanero debe trepar casi hasta la parte más alta de la torre de perforación al introducir o extraer del pozo la tubería de perforación, así como extraer e introducir los tubos en el árbol de válvulas.

Es necesario aclarar que como medida de seguridad el personal que se encarga de montar, colocar, disparar y recuperar las pistolas de perforación, requiere de un adiestramiento completo, así como reconocer los riesgos que puedan producirse por explosivos y en consecuencia debe estar calificado para manipular explosivos, cables de cebo y cápsulas detonadoras. Dado que el trabajo de perforación de los pozos requiere jornadas de 4 horas, estas son realizadas en turnos de 8 a 12 horas para lo cual se requiere una amplia disposición del equipo, sumado a la experiencia, energía y excelentes condiciones de salud para un trabajo ante todo de alta exigencia física, en todo caso no es recomendable extender los horarios más allá de las 12 horas dado que el cansancio es un factor que aumenta el riesgo de padecer lesiones o accidentes laborales.

El trabajo en equipo es fundamental para las operaciones de perforación ya que es una condición necesaria el estrecho trabajo en equipo y una gran coordinación para poder realizar las tareas de forma segura y en el momento oportuno, así mismo contemplar con atención la salud y el estado de ánimo es fundamental para proteger la salud de los trabajadores. La programación de adecuados periodos de descanso, alimentación nutritiva, relajación, higiene y espacios adecuados para descansar, el uso de aire acondicionado para zonas cálidas y calefacción en las frías son aspectos que coadyuvan a unas normas de seguridad y salud laboral.

Con respecto a los principales riesgos profesionales relacionados con las operaciones de producción y prospección se encuentran las enfermedades por exposición a elementos climáticos y geográficos y climáticos, episodios de estrés que se produce al recorrer largas distancias en el agua o terrenos difíciles, el estar aislado en el caso de plataformas marinas pueden acarrear igual problemas psicológicos y traumas.

En plataformas localizadas en alta mar, el trabajo en todo momento es sumamente peligroso dentro y fuera del puesto de trabajo por las condiciones climáticas cambiantes, las distancias a las zonas costeras y las condiciones ambientales continuamente cambiantes que sumadas al confinamiento representan riesgos latentes en todo momento; un problema común en los trabajadores de plataformas marinas es el insomnio, que pueden agravarse por altos niveles de vibración y ruido. Se utiliza como medida paliativa los permisos para desarrollar actividades recreativas y los frecuentes permisos para desplazarse a tierra firme.

Son igualmente comunes las infecciones parasitarias en zonas endémicas lo cual provoca enfermedades en el tracto respiratorio y aunque muchas de estas enfermedades requieren todavía estudios epidemiológicos en trabajadores de la perforación, se sabe que trabajadores del petróleo han experimentado periartritis del hombro y del omoplato, epicondilitis humeral, artrosis de la columna cervical y polineuritis de las extremidades superiores.

La exposición a ruidos altos y frecuentes produce enfermedades cuya frecuencia y gravedad relacionada con este tipo de trabajo se encuentran relacionadas con la proporción al tiempo de servicio y exposición a las condiciones de trabajo adversas. Otros accidentes como lesiones, resbalones y traumas por caídas, manipulación de tubos, levantamiento de pesos, uso inadecuado de herramientas y manipulación indebida de explosivos, hacen parte del vademécum del trabajo en plataformas, se pueden producir también quemaduras por vapor, fuego, ácido o lodo que contenga sustancias químicas, como el hidróxido sódico. La exposición al petróleo crudo y a productos químicos puede provocar dermatitis y lesiones de la piel.

2.4.5. Trabajo Profesional en actividades operativas

Algunas consideraciones necesarias para reducir los riesgos en el trabajo en instalaciones petroleras en alta mar pueden condensarse en la Tabla No.1 expuesta a continuación:

Tabla No. 1

Recomendaciones para el Trabajo Profesional en actividades operativas en alta mar

Aspecto para considerar	Recomendaciones
Orden y limpieza en la plataforma y salud e higiene del personal de a bordo	<ul style="list-style-type: none"> -Garantizar un estricto orden y limpieza en todo momento y en todo sitio. - Eliminar desperfectos en las superficies - Limpiar derrames de hidrocarburos, aceites u otras sustancias - Eliminar posibles quistes de hielo u oxido formados - Mantener limpios tableros e indicadores de instrumentos - Asegurar extremos de los rollos de cables en las superficies - Eliminar desechos que puedan convertirse en riesgo de incendio
Uso de sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar y almacenar adecuadamente las sustancias químicas. - Conservar en lo posible toda sustancia en su envase original - Evitar exposición con agentes químicos cáusticos
Prevención de incendios	<ul style="list-style-type: none"> -Evitar el consumo de tabaco - Las personas no autorizadas no deberían manipular las instalaciones y equipos eléctricos - Evitar conectar varis aparatos eléctricos en una sola toma - Considerar medidas de seguridad para el lavado y secado de ropa - Evitar elementos que puedan generar combustión espontánea - Cuidar la actividad en las cocinas
Ropa de trabajo y equipos de protección individual	<ul style="list-style-type: none"> -Ropa de trabajo ajustada sin pliegues colgantes - Llevar calzado de seguridad antideslizante - Los equipos de protección individual deben ser de un tipo y calidad aprobados por la autoridad apropiada - Utilizar cascos apropiados para proteger la cabeza - Disponer de elementos apropiados para proteger los oídos - Utilizar lentes para proteger los ojos - Utilizar equipos para proteger las vías respiratorias - Utilizar guantes apropiados
Señales, avisos y distintivos (códigos) de colores	<ul style="list-style-type: none"> -Visibilizar señales y símbolos con colores claves - Distinguir los extintores con su respectiva carga, tipo y uso - Distinguir los cables y de conducción eléctrica y demás usos - Los embalajes que contengan mercancías peligrosas deberían llevar una indicación apropiada

Nota: El anterior análisis se realiza con base a la Guía para prevención de accidentes en instalaciones petroleras en alta mar por la OIT páginas 60 – 68.

2.4.6. Documentos de Diseño de Sistemas de Seguridad

Los documentos para el diseño de Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo pueden resumirse según la Tabla No.2

Tabla No. 2

Documentos de Diseño SST

Estándar	Documento	Función
Responsables del Sistema	Acta de responsable del sistema	Establece quien se encargará de realizar seguimiento y control al SST
Pago de seguridad y aportes al SS	Afiliaciones y Seguros Contractuales y de todo riesgo	Establece la afiliación a los Sistemas de Salud, Riegos Profesionales y otros necesarios de acuerdo con el grado de riesgo del trabajador
Plan de Capacitación	Programa de Capacitación	Establece un cronograma estricto de las capacitaciones a realizar para cumplir los requisitos normativos y garantizar que todo el personal este enterado de sus compromisos
Plan de Trabajo	Plan de Trabajo anual	Establece las responsabilidades y funciones dentro del SST
Evaluaciones Médicas	Procedimiento de Evaluaciones Médicas	Realiza un análisis de la salud mental y física de cada uno de los trabajadores y operarios
Identificación de Peligros	Matriz de Peligros	Identifica y categoriza cada uno de los peligros a los que se encuentran expuestos los operarios y trabajadores en las instalaciones y plataformas
Medidas de Control	Procedimiento de Trabajo Seguro	Establece pautas para minimizar los riesgos

Nota: El anterior condensado se realiza con base a los Requisitos normativos de la OHSAS 18001 aplicable a todas las empresas del sector de Hidrocarburos.

2.5. Reducción de riesgos

A fin de reducir los riesgos en la explotación de hidrocarburos se hace necesario comprender los siguientes términos:

En primer lugar la segmentación del inventario de hidrocarburos es apropiada con el uso de la tecnología SAR en la detección de derrames de petróleo off-shore y se da lugar a partir del lanzamiento del satélite estadounidense Seasat (NASA) en los años 90s con la implementación de la tecnología SAR, el cual permite caracterizar y detectar con gran precisión los derrames de petróleo sobre superficies oceánicas permitiendo un progreso significativo al trabajo en las plataformas y a la seguridad de las operaciones en plataformas en alta mar con cada una de las actividades complementarias que deban realizarse (Caruso et al., 2013).

Una de las técnicas más importantes para reducir la peligrosidad de los inventarios de hidrocarburos es la segmentación de estos inventarios tanto como sea posible. Las instalaciones terrestres almacenan grandes cantidades de hidrocarburos líquidos y gaseosos en áreas compuestas por grandes tanques y balsas de contención para acomodar los hidrocarburos en caso de fugas. El posicionamiento de los tanques en la zona preserva las distancias de seguridad, manteniendo la segmentación del inventario, y dificultando la propagación de incendios.

Por otra parte a partir del desarrollo de otros proyectos como el SIR-B (Fujita et al., 1986) y DOSE-91 (Bern et al., 1993), contribuyeron de manera experimental a validar la forma experimental del SAR y su capacidad de monitoreo para los derrames de petróleo con el uso de bandas C y L, de tal forma que el primer estudio a gran escala se lleva a cabo a través del monitoreo de las descargas ilegales que realizaban buques petroleros en el mar Mediterráneo donde se usaron más de 1600 imágenes SAR de los satélites *European Remote Sensing* (ERS) 1 y 2 de la Agencia

Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), lo cual tenía como objeto evaluar el grado de cumplimiento a los acuerdos que los países signatarios harían del convenio MARPOL con respecto al control de la contaminación marina. En dicho estudio se lograron detectar más de 1650 derrames de petróleo en una superficie total de 17.141 km² (Cedeño, 2022).

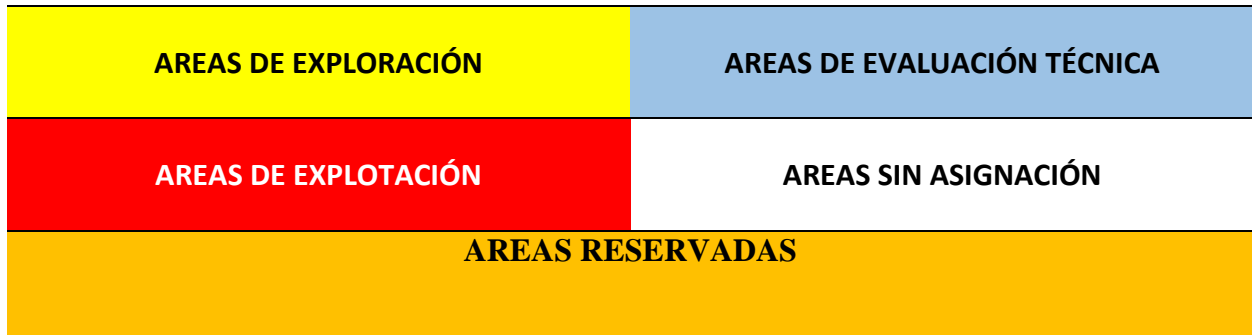
Una técnica muy importante para la reducción de riesgos es la segmentación de inventarios a través de válvulas de cierre especiales. Estas válvulas están diseñadas para bloquear la interfaz entre los segmentos de la tubería y los equipos, reduciendo así la posibilidad de un efecto cascada de accidentes resultante de la conexión entre los inventarios de hidrocarburos de cada segmento. Son válvulas robustas, protegidas para permanecer operativas incluso expuestas al fuego. Aseguran la estanqueidad entre inventarios en cada segmento. Algunas empresas operadoras utilizan la nomenclatura de válvula de cierre (SDV) para identificarlas.

La Segmentación por bloques define un Código de colores para cada área así: Áreas en Exploración se demarcan con bloques de color amarillo y son aquellas sobre las que se realizan trabajos de exploración, las áreas de evaluación técnica se denotan por bloques de color azul y allí se realizan precisamente trabajos de evaluación, las áreas de explotación se demarcan con bloques de color rojo, las áreas disponibles demarcadas con bloques blancos corresponden a aquellas áreas que no han sido objeto de asignación y entonces siendo así allí no se ha realizado contrato alguno ni propuesta, igualmente son áreas devueltas parcial o totalmente que pueden ser objeto de asignación para la celebración de contratos de hidrocarburos. Las áreas reservadas se denotan con bloques achurados de color naranja y allí no se podrán adelantar contratos de hidrocarburos por razones de política energética, orden público o características geológicas relevantes, sociales o ambientales o por que los estudios realizados en estas zonas se realizaron estudios en ellas y tener

proyectado o disponer de información exploratoria valiosa (ANH, 2020). La segmentación por bloques puede apreciarse en la Figura 8:

Figura 8

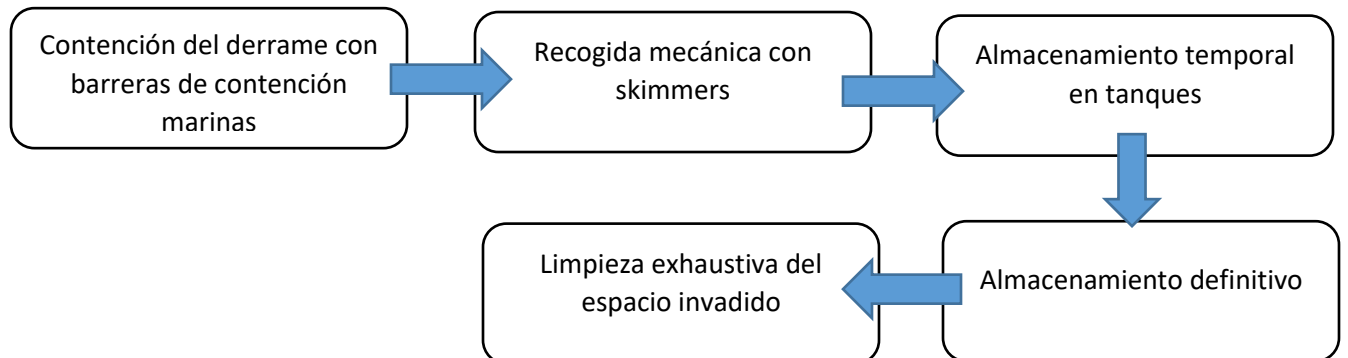
Segmentación por bloques



Nota: La anterior figura muestra la segmentación por bloques, código para demarcar áreas donde se realizan trabajos de exploración por medio de plataformas. Publicación de la ANH (2020), cuando ocurre una emergencia en plataforma existe la posibilidad de disponer el inventario de hidrocarburos, debe preverse siempre una respuesta al derrame que pasa por varias fases obligatorias como son:

Figura 9

Plan de emergencia ante contingencia



Nota: El anterior esquema se extrae de la literatura disponible en Technological solutions for the marine environment (2021).

Para las técnicas de recuperación de derrames de petróleo en alta mar se utilizan los siguientes equipos: Barreras de contención inflables y autoinflables de gran tamaño, operadas con carretes hidráulicos para despliegue y recogida del residuo o contaminante. Por otra parte, para recoger en el agua el petróleo se utilizan skimmers o desnatadoras que por medio de una bomba se succionan y se pasa a tanques flotantes que posteriormente se remolcaran al puerto donde el hidrocarburo se almacenara para su definitiva y posterior eliminación. Igualmente, existe un sistema dinámico y funcional para la limpieza y recogida del petróleo denominado MOS Sweeper, con tecnología de punta de Markleen, que esencialmente es un diseño con múltiples barreras en forma de V desplegadas en una sola embarcación, la potencia se realiza en función de contención y recogida a la vez.

Figura 10

MOS Sweeper



Nota: Se muestra un dispositivo MOS Sweeper en una operación de contención de hidrocarburos en el Golfo de México

2.6. Evacuación de personas

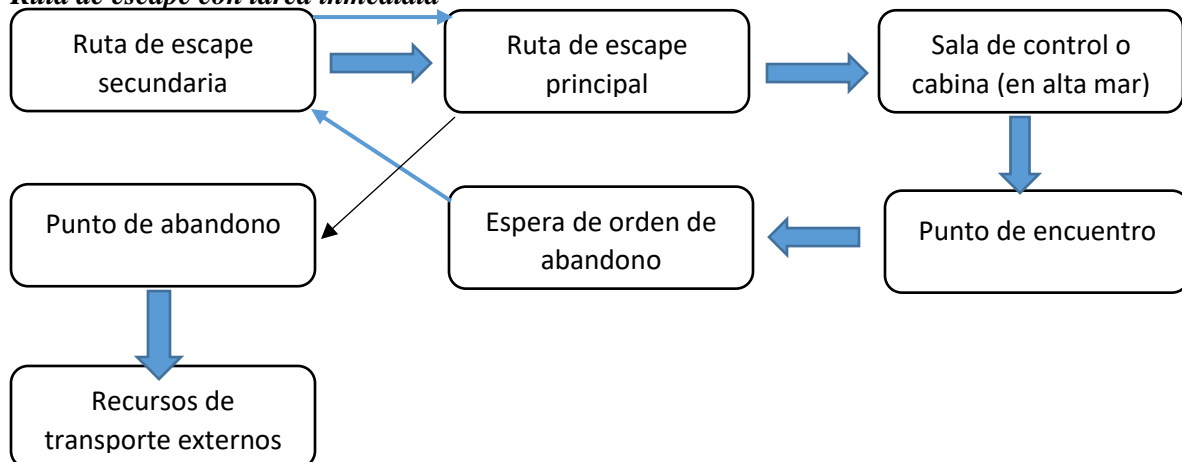
Ante la presentación de emergencias en las plataformas de exploración, garantizar la sobrevivencia de las tripulaciones, operarios y en general todo el personal que interviene en el trabajo es un asunto de suprema importancia y de tal forma existe una gran variedad de estrategias que los diseñadores crean para garantizar escapes eficientes, sujetos igualmente a estándares y reglas internacionales, corporativas e incluso culturales que influyen en el diseño de sistemas de escape y abandono y por tanto los expertos en gestión de riesgos consideran no solo los factores sino también las particularidades técnicas de cada instalación para el diseño eficiente de abandono y escape (Ruz, 2014). Puede darse el caso donde el accidente permita generar puntos de reunión estratégicos para la evacuación y otros menos probables donde no se pueda desarrollar este procedimiento dado que el accidente impide el acceso a los puestos de reunión o a las cabinas; en este caso cada uno de los involucrados debe acudir directamente al punto de abandono o la región cercana a donde se ubican os salvavidas; los siguientes son los protocolos más adoptados en este caso de emergencias:

2.6.1. Escape con Tarea Intermedia

Corresponde a un tipo de escape del peligro inmediato y se puede apreciar a ruta en la Figura 11.

Figura 11

Ruta de escape con tarea intermedia



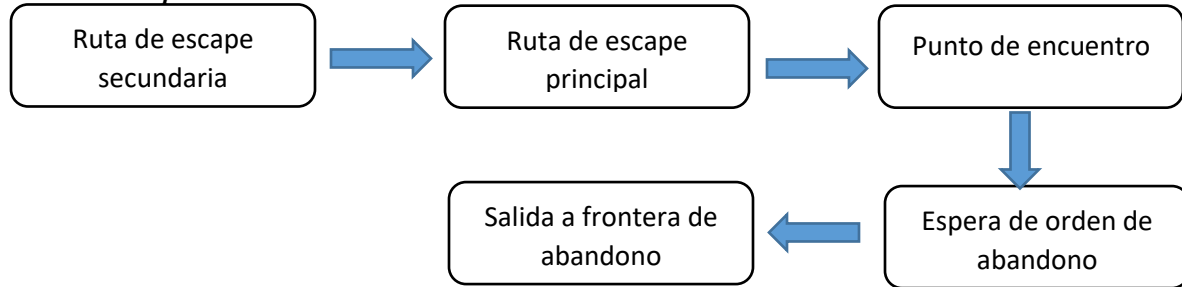
Nota: La figura muestra la ruta de escape con tarea intermedia según Ruz (2014)

2.6.2. Escape sin Tarea Intermedia

Corresponde a un escape de peligro inmediato y se denota en la Figura 12

Figura 12

Ruta de escape sin tarea intermedia



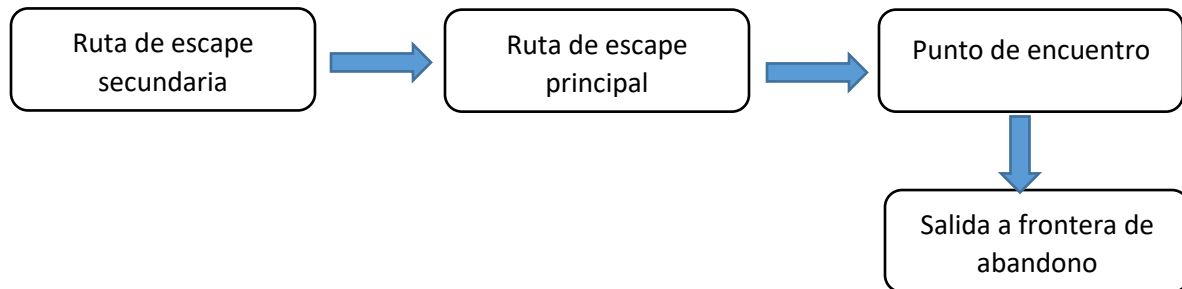
Nota: La figura muestra la ruta de escape sin tarea intermedia según Ruz (2014)

2.6.3. Escape Directo

En este caso frente a la premura del caso se requiere un escape del peligro inmediato y el esquema es mucho más sencillo y práctico y se denota en la Figura 13:

Figura 13

Ruta de escape Directo



Nota: La figura muestra la ruta de escape directo según Ruz (2014)

2.6.4. Dimensiones básicas y recomendaciones para la evacuación

Las rutas de escape por lo general presentan variaciones en sus dimensiones , según se puede apreciar en la Figura 13 y según las normas que se aplican a cada proyecto se presentan continuación los valores recomendados para las vías de escape, sin embargo es posible que mediante simulaciones de diferente índole y por medio de la ayuda de sistemas computarizados

las vías de escape, puertas y escaleras que allí se incluyen se puedan corregir en los lugares identificados como críticos, los valores simulados se pueden corregir y probar en las simulaciones y se sugieren las siguientes dimensiones:

- Vías de escape primarias: 1,20 m de ancho 32,10 m de altura
- Vías de escape secundarias: 1,00 m de ancho 32,10 m de altura.

Las anteriores dimensiones se ajustan en caso donde se requiere admitir un escenario con más de 50 personas y según los estudios arrojados por los simuladores y las características de las rutas de escape y abandono, es necesario utilizar las mismas dimensiones para puertas, escaleras y en general todo el recorrido a seguir en las rutas de escape.

Figura 14

Rutas de escape principales y secundarias



Nota: La figura muestra las rutas de escape principales y secundarias según Ruz (2014)

Igualmente se deben considerar las siguientes recomendaciones para los procedimientos de evacuación:

- Es necesario que las rutas de escape contengan bandas de señalización ubicadas en el piso con dimensiones de 100 mm de ancho y las flechas en color blanco indicando la dirección de salida son cinta antideslizante.
- Existirán siempre dos opciones de rutas principales entre áreas peligrosas y no peligrosas
- La apertura de puertas y otras rutinas para el movimiento de personas y cargas no deben obstaculizar las rutas de evacuación.
- En cualquier lugar de la instalación las personas deben tener al menos dos opciones de rutas de escape para peligros inmediatos que posibiliten acceso a ruta más cercana excepto áreas de alojamiento y administrativas y en salas refrigeradas.
- Para llegar a una salida la ruta no debe exceder los 7 m.
- Las rutas de escape contendrán iluminación de emergencia y señalización disponibles aun en caso de suspensión del fluido eléctrico.
- Las rutas de escape deberán estar siempre despejadas, sin considerar los equipos como grúas, ascensores, cuerdas, cestas y demás y en caso de que una ruta necesite de equipos auxiliares estos deben alimentarse por suministro de energía de emergencia.
- Debe considerarse siempre que todas las rutas de escape y sus componentes dispongan de camillas para trasladar a los posibles lesionados.

2.7. Equipo de supervivencia en el mar

El equipo de supervivencia se utiliza como condición de seguridad en barcos y plataformas en alta mar el cual corresponde básicamente a salvavidas, balsas y botes de rescate y equipos como

boyas y chalecos salvavidas, equipos para garantizar la supervivencia de las personas en caso de accidente y para la seguridad de las plataformas. Respecto a las especificaciones técnicas y requisitos asociados a este equipo, ellos difieren según la autoridad marítima respectiva, así como por la normatividad interna adoptadas por las empresas operadoras y empresas de diseño offshore, sin embargo, se muestran algunas recomendaciones emanadas de las autoridades y aceptadas internacionalmente en la Tabla No.3

Tabla No. 3

Características equipos de supervivencia

Equipo de Supervivencia	Características	Requisitos de Seguridad
Botes salvavidas	<p>TEMPSC: embarcación de supervivencia propulsada por motor totalmente cerrada, completamente cerrado, a prueba de fuego, equipado con rociadores externos para permitir el control de la temperatura dentro de la embarcación incluso bajo llamas intensas. Incluyen suministro de oxígeno (para mantener las condiciones del aire respirable bajo un humo intenso), agua potable y suministro mínimo de alimentos, y también están equipados con un motor de propulsión Diesel, construidos con materiales especiales resistentes al fuego y están diseñados para resistir el fuego y el humo tanto durante el lanzamiento como cuando navegan en áreas de charcos de petróleo en el mar. El diseño naval de los botes salvavidas asegura condiciones de estabilidad y flotabilidad incluso cuando están completamente llenos de agua.</p>	<p>Capacidad de 10 a 120 personas, en plataformas marinas su capacidad varia de 50 a 90 personas.</p> <p>El número de botes salvavidas debe garantizar la evacuación de todo el personal.</p> <p>Los pescantes de los botes salvavidas convencionales pueden ser de dos tipos: fijos o plegables.</p> <p>Es muy importante que en la toma de decisiones sobre el punto de botadura se tengan en cuenta factores como las corrientes, los vientos, el oleaje y los riesgos de colisión del bote salvavidas con el propio aparejo tras la botadura. El objetivo ideal es que el punto de lanzamiento permita una distancia inmediata y segura del bote salvavidas en relación con la plataforma.</p>
Balsas salvavidas	<p>Son tipos de equipos inflables, mucho más simples y limitados que los botes salvavidas. Utilizados como redundancia para situaciones en las que no es posible llegar a los puntos de abandono de los botes salvavidas o cuando dicho equipo no está disponible debido al propio accidente. Las balsas salvavidas no sustituyen a los botes salvavidas.</p>	<p>Las personas que se ubiquen en la proa pueden tener dificultades para acceder a los puntos de lanzamiento de los botes salvavidas durante emergencias como incendios con grandes llamas y humo. Por lo cual se incluyen balsas salvavidas adicionales con capacidad de al menos seis ocupantes en las zonas situadas más alejadas de los puntos de botadura de los botes salvavidas. Debido a las características de la botadura manual de las balsas salvavidas ya las</p>

dificultades de acceso deben colocarse muy cerca del nivel del mar.

<p>Botes de rescate</p>	<p>Es un tipo de lancha rápida, utilizada para el rescate de personas que se encuentran en el mar, son lanchas rápidas potentes, adecuadas para las condiciones del mar donde opera la plataforma en alta mar. No deben tener hélices de propulsión expuestas que puedan causar lesiones durante las maniobras de rescate</p>	<p>Los botes de rescate se lanzan al mar mediante pescantes dedicados. Las pruebas de certificación de botes de rescate incluyen la verificación de los requisitos de estabilidad y flotabilidad, como la capacidad de girar y restaurar su posición estable, resistir una caída en el mar de hasta 5 m y no sumergirse incluso cuando está completamente lleno de agua.</p>
--------------------------------	---	--

Nota: El anterior condensado se toma de la literatura disponible en el Capítulo 5 del libro de Ruz (2014) sobre Seguridad en evacuación de accidentes en alta mar

Figura 15

Equipos de supervivencia y rescate en alta mar



Nota: Bote salvavidas convencional (buque de rescate). El concepto de botadura al mar del bote salvavidas incluye el apoyo de cables de acero durante la operación de descenso



Nota: Balsas salvavidas colocadas dentro de los cilindros de almacenamiento, listas para botar desde la cubierta principal de la plataforma en alta mar



Nota: Bote de rescate utilizado para rescatar a personas que esperan ayuda en el mar. Fotografía cortesía del proveedor: www.norsafe.com.

En cuanto a los equipos complementarios se utilizan una variedad de equipos más pequeños y que son complementarios para garantizar la protección del personal en las operaciones de respuesta de emergencia en plataformas marinas. Los mismos comprenden chaquetas de trabajo, chalecos salvavidas, equipos de respiración autónoma, y trajes ignífugos, entre otros, cuyas características son consideradas y evaluadas por los expertos en gestión de riesgos de acuerdo a la regulación de cada país y cuando sea necesario el equipo de protección personal y el equipo especial deben incluirse en el proyecto y la rutina operativa de las plataformas costa afuera, independientemente de que lo exijan las normas internacionales y las autoridades marítimas locales.

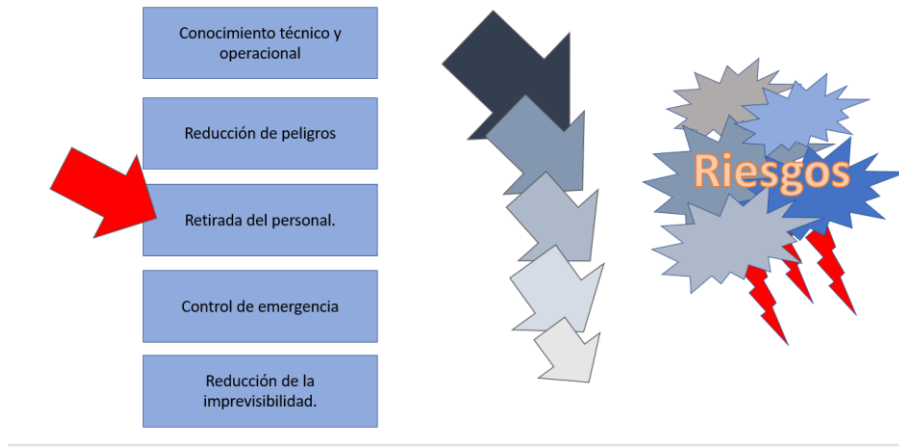
Con el desarrollo y la implementación de tecnologías y pese a sus avances, en la actualidad los proyectos en alta mar a menudo evolucionan sus prácticas operativas a un ritmo que las revisiones de los estándares no siempre pueden seguir derroteros estándar.

2.8. Control de emergencias

Como componente de la línea estratégica de gestión de riesgos se establece el control de emergencias y de tal forma su conocimiento es valioso para evitar los accidentes y las consecuencias derivadas de ello; es así que al establecerse una amenaza que contemple riesgos inaceptables para las instalaciones y los procesos allí desarrollados la reducción de peligros contribuirá de gran manera en la eficiencia para un adecuado control de emergencias, este componente puede observarse en la Figura 14 y se deja constancia que todos los sistemas asociados al control de emergencia tienen como objetivo dar respuesta al escenario accidental, evitando la escalada de la gravedad del evento (Ruz, 2014).

Figura 16

Cadena de mando de la emergencia



Nota: La Figura muestra la cadena de mando del Control de Emergencias, Ruz (2014)

A continuación, en la Tabla 4 se condensan los principales aspectos del Control de emergencias.

Tabla No. 4
Control de emergencias

Ítem	Descripción
gases H2S/CH4	Las fugas de gases tóxicos como H2S (sulfuro de hidrógeno o ácido sulfídico) son monitoreados por un tipo de detector con un principio de funcionamiento electroquímico. La misma actúa como una celda galvánica incompleta, en la que uno de los reactivos necesarios para completar la reacción química es el gas por detectar. La presencia de gas hace que la batería galvánica se complete, lo que resulta en la diferencia de potencial entre los electrodos combinada con una corriente eléctrica como señal de detección del sensor. Se deben considerar estudios de dispersión de gases con el fin de corregir el diseño de la ubicación del detector para optimizar los costos asociados con la cantidad de equipo
Sistemas de protección para equipos confinados	Los equipos confinados y de difícil acceso deben contar con elementos sistematizados y autónomos e indicadores precisos conectados con las áreas de control para evidenciar las emergencias que puedan presentarse.
Gestión de crisis	El FWP debe diseñarse para ser robusto y confiable y corresponden a las últimas versiones de sistemas de protección para instalaciones de petróleo y gas y deben operar incluso en condiciones severas, incluidas aquellas desfavorables para la integridad de sus componentes. La interrupción de una operación de extinción de incendios es una de las últimas opciones en la gestión de crisis, y solo debe ocurrir en situaciones

excepcionales como incendios en los que el agua puede agravar un escenario, por ejemplo, provocando inundaciones en compartimentos de instalaciones flotantes, daños en equipos eléctricos que sea imprescindible durante la emergencia o, cuando, en el caso de incendios muy particulares en los que la presencia de agua pueda aumentar la intensidad de las llamas (incendio en hidrocarburos criogénicos— Sección 6.10), o incluso incendios de materiales especiales en los que el vapor de agua generado por la operación puede extenderse y propagar la contaminación por sustancias tóxicas (por ejemplo, materiales radiactivos). Por lo tanto, se debe evitar en la medida de lo posible el apagado del FWP durante la operación y, preferiblemente, debe realizarse mediante una acción manual. El apagado automático debe proporcionarse solo en caso de sobre velocidad (riesgo de destrucción de la bomba) o cortocircuito.

Identificación de escenarios accidentales	En todos los escenarios accidentales postulados, debe estar en pleno funcionamiento un número suficiente de FWP para satisfacer el 100 % de la demanda de agua para extinción de incendios. Durante las plataformas costa afuera, las operaciones de transporte entre la costa y la ubicación costa afuera, el sistema de agua contra incendios también debe estar disponible, sin embargo, considerando que el inventario de hidrocarburos es mínimo durante el transporte, se debe considerar la estimación de la demanda de agua contra incendios. en estas circunstancias específicas puede reducirse
--	---

Fenómenos de explosión	Otra operación relacionada es la inertización que se aplica para asegurar una atmósfera inerte dentro de equipos, recipientes, tanques y tuberías para prevenir incendios y explosiones. Tanques deben someterse a una operación de inertización eficiente que pueda garantizar la protección contra incendios y explosiones resultantes de atmósferas explosivas/inflamables formadas por volúmenes residuales de hidrocarburos.
-------------------------------	---

Nota: La Figura muestra los principales aspectos relacionados con el Control de Emergencias, según Ruz (2014)

2.9. Análisis Funcional de Operabilidad

El análisis funcional de operatividad (HAZOP) se creó en el año 1963 por la compañía ICI (Imperial Chemical Industries), en un periodo de la historia donde se aplicaban técnicas de análisis crítico, las cuales partían de la realización de un análisis sistematizado del problema utilizando una serie de planteamientos y respuestas específicas a y respuestas a un conjunto de interrogantes mediante el esquema dialógico: ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿por qué? ¿Quién? etc., de tal forma que la aplicación de esta técnica al diseño de una nueva planta con el fin de develar los puntos débiles del diseño. El método fue formalizado posteriormente y hasta la actualidad es utilizada en el campo de empresas petroquímicas como una técnica pertinente a la identificación de riesgos en una instalación industrial (Martins, 2018).

Por tanto, el AFO (Análisis Funcional de Operatividad) o HAZOP, consiste básicamente en una técnica identificación de riesgos inductiva que parte de la premisa que un accidente ocurre como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación (p.21). El análisis se realiza mediante sesiones HAZOP las cuales tienen como objetivo inmediato realizar un análisis de desviaciones planteadas de manera sistemática y ordenada con un formulario de recogida de información tal como se puede apreciar en la Figura 15. El proceso del HAZOP es en general el siguiente: Definición del área de estudio - Definición de los nudos - Definición de las desviaciones a estudiar -Sesiones HAZOP - Informe final. La Figura 17 muestra el contenido de las columnas sobre las cuales se estructura el análisis.

Figura 17

Palabras guías del HAZOP

Palabra	Significado	Aplicación	Observaciones
No.	Ausencia de la variable a la cual se aplica	Caudal, nivel	
Inverso	Analiza la inversión en el sentido de la variable	Caudal	Esta variable a veces es omitida
Más	Aumento cuantitativo de la variable	Temperatura, presión, caudal, nivel	
Menos	Disminución cuantitativa de la variable	Idem	
Mas cualitativo	Aumento o presencia de un componente en una mezcla	Caudal	
Menos cualitativo	Disminución de un componente en una mezcla	Caudal	Part of, More than
Otro	Estudia el cambio completo o total en la variable	Caudal	Other than

Nota: Tomada de la Guía Técnica para el análisis de riesgos de HAZOP según Martins (2018).

Figura 18

Contenido de las columnas del formato HAZOP

Columna	Contenido
Causas	Numera y describe las causas que pueden llevar a una desviación
Consecuencias	para cada una de las causas se anotan en orden las debidas consecuencias
Respuesta del sistema	Se indicarán: <ol style="list-style-type: none"> 1. Mecanismos de detección de la desviación 2. Automatismos capaces de responder a la desviación
Acciones para tomar	Propuestas preliminares de modificaciones en la instalación en razón a la gravedad de la consecuencia identificada
Comentarios	Observaciones que apoyan algunas de las situaciones identificadas

Nota: Tomada de la Guía Técnica para el análisis de riesgos de HAZOP según Martins (2018).

2.9.1. Técnicas de análisis de riesgos

Para el análisis de riesgos se contemplan tres tipos de técnicas o métodos utilizados que permiten evaluar el nivel de riesgo y los cuales pueden ser: Métodos Cualitativos – Métodos Cuantitativos – Métodos Semicuantitativos, tal como se revisan en la Tabla No. 5

Tabla No. 5

Técnicas de análisis de riesgos

Método - Técnica	Generalidades	Observaciones
Cualitativos	El método se basa en el juicio de expertos y en el análisis de experiencias. Pueden utilizarse cuando el nivel de riesgo sea bajo y no requiere los recursos necesarios para hacer un análisis completo	Juicio de expertos, Brainstorming – Evaluación para grupos multidisciplinares, (Técnica Delphi)

	Se utilizan ante la ausencia de datos numéricos complejos y no se analizan riesgos globales.	
Semi-cuantitativos	Se utilizan descriptores como alto, bajo, medio, alto o detalles que describan la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con la escala más apropiada según el caso que permita valorar el nivel de riesgo.	Debe ponerse especial atención a la escala utilizada
Cuantitativos	En general son aquellos que posibilitan la asignación de valores de ocurrencia a los riesgos identificados de diferente índole, o sea para calcular el nivel de riesgo del proyecto. Los métodos cuantitativos incluyen: - Análisis de probabilidad - Análisis de consecuencias - Simulación computacional	Se destaca el Método Montecarlo, el cual tiene como características: Una amplia visión para posibles escenarios, Computarizable para su tratamiento de datos, Sencillo para operacionalizarlo

Nota: Resumen tomado de Gestión de riesgos, análisis y cuantificación de E&M, Consultoría en Riesgos (2021).

3. Capítulo 2. Análisis Histórico de Riesgos

En esta Capitulo se analizarán sinópticamente casos de los últimos veinte años sobre accidentes ocurridos en plataformas petroleras, para efectos de lectura de los casos se recurre a la realización de tablas con clasificación cronológica desde el año 2000 en adelante, allí se describirán los episodios con las características del accidente en particular. Igualmente se tomarán tres casos donde se analizarán en particular las circunstancias propias de cada accidente.

Tabla No. 6
Cronología de accidentes Industria Petrolera 2000-2020

Fecha – Localización	Accidente	Descripción
----------------------	-----------	-------------

2001, Rio de Janeiro, Brasil	Plataforma P-36 de PETROBRAS	La plataforma de producción costa afuera P-36 operada por la brasileña Petrobras PETR4.SAPBR. N fue sacudida por explosiones que mataron a 11 personas. Se hundió frente a la costa de Río de Janeiro cinco días después, derramando parte de los 10.000 barriles de combustible y crudo que almacenaba en el Atlántico.
2005.India	Mumbai High North	Un incendio destruyó la plataforma de procesamiento de Mumbai High North, frente a la costa oeste de India, afectando 123.000 bpd de la producción de crudo, o un 15 por ciento de la producción doméstica del país, y dejando 12 muertos. La plataforma era propiedad de la estatal ONGC
23 de marzo de 2005 – Texas City	Refinería de Texas	Durante el arranque de una unidad de isomerización en la Refinería de Texas City, una válvula de alivio de una columna de destilación se abrió debido a un sobrellenado, permitiendo el flujo de líquidos hidrocarburos hacia una vasija de purga la cual también fue sobrellenada ocasionando una pérdida de contención. La evaporación de estos formó una nube de vapor inflamable que produjo una serie de incendios y explosiones. Quince trabajadores murieron y más de 180 resultaron heridos
189 de diciembre de 2005 Barrancabermeja, Colombia	Planta Demex de la Refinería Colombiana	Se produjo una explosión de nube de vapor (VCE) de una mezcla de propano/butano que provenía de un intercambiador de calor y que dejó un saldo de dos muertos, siete heridos y más de 9 millones de dólares en pérdidas materiales
2007 - México	Plataforma Usumacinta Torre Kab-101	Durante una tormenta, la plataforma Usumacinta que colindaba con la torre de perforación Kab-101, frente a las costas de México, provocó derrames de petróleo y la muerte de 11 trabajadores que intentaron salvarse en botes salvavidas en uno de los peores accidentes de la mexicana Pemex.
2009, Australia	West Atlas	La plataforma de perforación West Atlas derramó petróleo y gas en el Mar de Timor cerca a Australia, y posteriormente se hundió tras un incendio. El derrame continuó por meses antes de que fueran construidos pozos de alivio para detener la fuga. El accidente derramó millones de galones de crudo en el ecosistema marino
20 de abril de 2010 – Golfo de México	Deepwater Horizon	Una explosión en la plataforma Deepwater Horizon ubicada en el Golfo de México dejó 11 empleados muertos y provocó un gran derrame de petróleo que continuó sin control durante 87 días. Una serie de fallas mecánicas, falta de juicio humano, diseño de ingeniería defectuoso e interacción inadecuada del

		equipo se unieron para dar como resultado el derrame de petróleo más grande conocido por la humanidad
13 de mayo de 2010	Venezuela	Una plataforma de exploración de gas natural en Venezuela se hundió en el Caribe. Los 95 trabajadores de la torre fueron rescatados y hasta el momento no hay fuga de gas, informó el Gobierno.
18 de diciembre de 2011 – Dosquebradas, Risaralda, Colombia	Poliducto de Ecopetrol	Una falla en un poliducto y una posterior UVCE (explosión de nube de vapor no confinada) provocó la muerte de 31 personas y dejó 70 heridas
15 de enero de 2022 – La Pampilla, Perú	Carguero Petrolero	Al hacer erupción el volcán submarino Hunga-Tonga-Hunga-Ha'apai en Toga, se desencadenan poderosas olas en el Pacífico Sur, poniendo en alerta a varios países, entre ellos Estados Unidos, Japón y Chile. De acuerdo con BBC Mundo (2022), las olas se desplazaron miles de kilómetros a la redonda y lograron impactar un tanquero que descargaba crudo a la refinería La Pampilla, Perú, que pertenece a la petrolera española Repsol. El derrame afectó playas y áreas naturales protegidas en el municipio de Ventanilla, afectando 18.000 kilómetros cuadrados de zonas protegidas que contienen una variedad de plantas y animales

Nota: La anterior es una recopilación e información de las catástrofes más importantes en los últimos 20 años donde se vieron afectadas plataformas de explotación o exploración de petróleos a lo largo del mundo.

Figura 19

Imágenes de las catástrofes en plataformas petroleras



Explosión del gasoducto en el Golfo de México (2 de julio de 2021), abajo Plataforma P-36 en Rio de Janeiro



3.1. Análisis de Casos

A continuación, en las Tablas 7, 8 y 9 se condensan los aspectos más importantes de las catástrofes

Tabla No. 7
Caso Deep Water Horizon

Investigación	Factores Críticos/ Hallazgos	Lecciones que deja el accidente
<p>Se establecen cuatro líneas que orientaron la investigación:</p> <p>3. No logró establecerse claramente la integridad del falló o pozo</p> <p>4. Se pierde el Control los HC ingresan al pozo y no detectaron la real dimensión de las fallas</p> <p>5. Los HC se prendieron sobre la Deepwater Horizon</p> <p>6. El BOP no logró sellar el pozo</p>	<p>Hallazgo 1: La barrera de cemento anular no aisló el hidrocarburo.</p> <p>Hallazgo 2: La barrera denominada shoe track no aisló el hidrocarburo.</p> <p>Hallazgo 3: El test de presión negativo fue aceptado, aunque la integridad del pozo no había sido establecida.</p> <p>Hallazgo 4: La afluencia no fue reconocida hasta que el hidrocarburo ya se encontraba en el tubo de extracción, creando la situación del hallazgo 5).</p> <p>Hallazgo 5: Las acciones de respuesta para controlar el pozo no funcionaron en el tentativo de recuperar el control del pozo.</p> <p>Hallazgo 6: La desviación hacia el separador del gas derivó en venteo de gas sobre la plataforma.</p> <p>Hallazgo 7: El sistema antincendio no impidió la ignición del gas.</p> <p>Hallazgo 8: El sistema de emergencia BOP (BlowOut Preventer) no selló el pozo.</p>	<p>-Manejo de mejores prácticas en la perforación</p> <p>-Prácticas y procedimientos técnicos de Ingeniería</p> <p>-Potenciar aún más la capacidad y la competencia de la Deepwater</p> <p>-Reforzar las auditorias en el equipo, hacer seguimiento y cierre</p> <p>-Introducir al manejo de la integridad del pozo en las actividades del pozo</p> <p>- Servicio de las contratistas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Servicios de cementación b. Prácticas de control de pozos de contratista de perforación y competencias c. Supervisión del equipo crítico de seguridad del equipo d. Configuración y capacidad del BOP e. Criterios mínimos para la prueba del BOP. Modificaciones y rendimiento del sistema

Nota: La anterior es una recopilación de la información del accidente, disponible en: “Un Reporte de lo ocurrido con la Deepwater Horizon”, 2019 (s.a)

Tabla No. 8
Plataforma P-36 de Petrobras en Brasil

Investigación	Factores Críticos/ Hallazgos	Lecciones que deja el accidente
<p>El tanque de drenaje, encargado de acumular el exceso de agua y gases de la plataforma, ocasiono el primer fallo y al estar en mantenimiento la válvula por falta de sistemas redundantes para que en caso de que uno falle se opere con su gemelo. En este caso, sólo había un tanque de drenaje y no era de tipo redundante.</p> <p>La válvula que filtra el agua y los gases procedentes del tanque de drenaje tiene una fuga. Los pontones, donde se acumula el aire que hace flotar la P-36, tienen más presión de la debida y sufren una explosión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga en una válvula del tanque de drenaje. • Ausencia de sistemas redundantes. • Fallo en el sistema de aislamiento por compartimentos. • Fallo en el sistema de alarmas y de priorización 	<p>Tras el accidente se mejoraron los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de los sistemas de detección de fugas • Mejorar los sistemas de aislamiento por compartimentos • Mejoramiento del sistema de alarmas, • Revisión de los protocolos de diseño en los compartimentos • Instalación de sistemas redundantes.

Nota: La anterior es una recopilación de la información del accidente, disponible en: Brassil International Report, utbrain (2021).



Detalle del hundimiento de la plataforma P-36 Twitter / @@AnayansyMijares

Tabla No. 9
Plataforma marina Usumacinta de Petróleos Mexicanos (2007).

Investigación	Factores Críticos/ Hallazgos	Lecciones que deja el accidente
<p>1. El clima adverso y el asentamiento del MAT (zapata) de la plataforma auto elevable Usumacinta sobre el soporte del lecho marino ocasionaron que se inclinara dicha plataforma e hiciera contacto entre el cantiliver y el árbol de producción del pozo KAB-121, originándose la fuga de gas y petróleo.</p> <p>2. La válvula subsuperficial de seguridad no funcionó adecuadamente.</p> <p>3. El evento climatológico no fue evaluado correctamente.</p> <p>4. Condición "aligerada" (sin carga de tubería, materiales, etcétera) de la plataforma Usumacinta hizo que no estuviera posada firmemente en el lecho marino</p> <p>5. El plan de desarrollo del sitio no tenía datos específicos del fondo marino.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallas en el Pronóstico del clima y seguimiento • Deficiente Cultura de seguridad • Inadecuado Entrenamiento en condiciones de emergencia para el rescate y el resguardo seguro en las evacuaciones. • No se entrenaron bajo condiciones especiales de operación de los pozos en el litoral de Tabasco. • Deficiente trabajo y planeación sobre la Administración del cambio en las condiciones del suelo marino. 	<p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extender el programa de emergencia ante huracanes para otros eventos climatológicos. • Reforzar el Sistema de Seguridad y Protección Ambiental de Pemex. • Promover a todos los niveles de la organización la cultura de la seguridad. • Implantar un programa de rastreo y seguimiento del clima. • Participar en los programas de la industria petrolera que evalúan la causa raíz de los problemas en las válvulas de tormenta • Documentar y llevar un control de las condiciones cambiantes en el lecho marino y susceptibilidad a cargas. • Evaluar la disposición de un refugio seguro en las plataformas, provisto de una fuente independiente de aire fresco y con paredes resistentes al fuego y explosiones. • Plataformas con sistemas eléctricos a prueba de explosión para no interrumpir el sistema eléctrico en general. • Modernizar las cubiertas de las plataformas fijas para facilitar la conexión de sistemas de seguridad, proporcionando un acceso a los tableros de control.

Nota: La anterior es una recopilación de la información del accidente, disponible en: El accidente de trabajo en la plataforma marina Usumacinta de Petróleos Mexicanos (Pemex) (s.f)



Registro Fotográfico In-Situ del accidente de plataforma marina Usumacinta de Petróleos Mexicanos (2007). Wordpress.com



4. Capítulo 3. Análisis de Riesgos en film “Horizonte Profundo”

En este Capítulo se realiza un análisis del film “Horizonte Profundo” inspirado en el accidente de la plataforma Deep Water Horizon, cuyo caso se refirió en el capítulo anterior, aquí se denotarán aspectos relacionados con la infografía, la sinopsis del film, los aspectos relacionados con la seguridad en plataforma sobre las fallas presentadas y lecciones aprendidas que dejó la catástrofe.

4.1. Infografía

La producción cinematográfica se inspira en una historia de la vida real acerca de la tragedia de la plataforma petrolera “Deepwater Horizon” sucedida el día 22 de abril del año 2010 y donde se registran horas previas de un colosal desastre provocado por el hombre frente a una serie de fallas que afectan la seguridad de las plataformas marinas y que en este caso sirven para contextualizar la presente investigación como un análisis de caos.

Figura 20

Poster del film Deepwater Horizon



Nota: La imagen corresponde al poster promocional del film por la compañía productora.

4.2. Sinopsis

La producción fílmica narra la historia de Mike Williams, sobreviviente de la catástrofe e interpretado por Mark Wahlberg. Mike laboraba en la plataforma como técnico jefe en Electrónica, a las 9:56 p.m. escuchó una explosión muy fuerte que incendió la instalación y todo su alrededor y sorteando varias rutas de escape logra llegar a uno de los bordes de la plataforma y en el vacío se observaban las oscuras y heladas aguas del Golfo de México, con poco tiempo para reaccionar logra saltar y ponerse a salvo recorriendo cerca de 30 metros hasta el agua.

Con ojos de simple espectador este film se ha interpretado desde la decisión que puede tomar un ser humano cuando se encuentra ante la aparente seguridad de una plataforma (zona de confort) y las acciones a tomar en un momento de angustia, sin embargo, dentro del contexto de este análisis es necesario hacer referencia a los aspectos relacionados con la Seguridad en este tipo de plataformas, tal como se ha enunciado en capítulos anteriores.

4.3. Análisis

Deepwater Horizon fue una plataforma petrolífera semisumergible de posicionamiento rápido de aguas ultra-profundas construida en el año de 2001, localizada en el golfo de México, compartido por México, Cuba y Estados Unidos, con las siguientes características: La perforación se encontraba a 5.6 Km en el momento de la explosión con un atraso de 43 días respecto al cronograma.

El equipo de registro se marcha al final de turno y se encontraban en ese momento efectuando un cambio de roles (asignaciones), por lo cual el equipo no logra realizar un adecuado chequeo del cemento y la prueba de presión, este es el aporte del guion basado en la investigación y sobre el cual se pueden anotar los siguientes aspectos:

Tabla No. 10
Factores el accidente

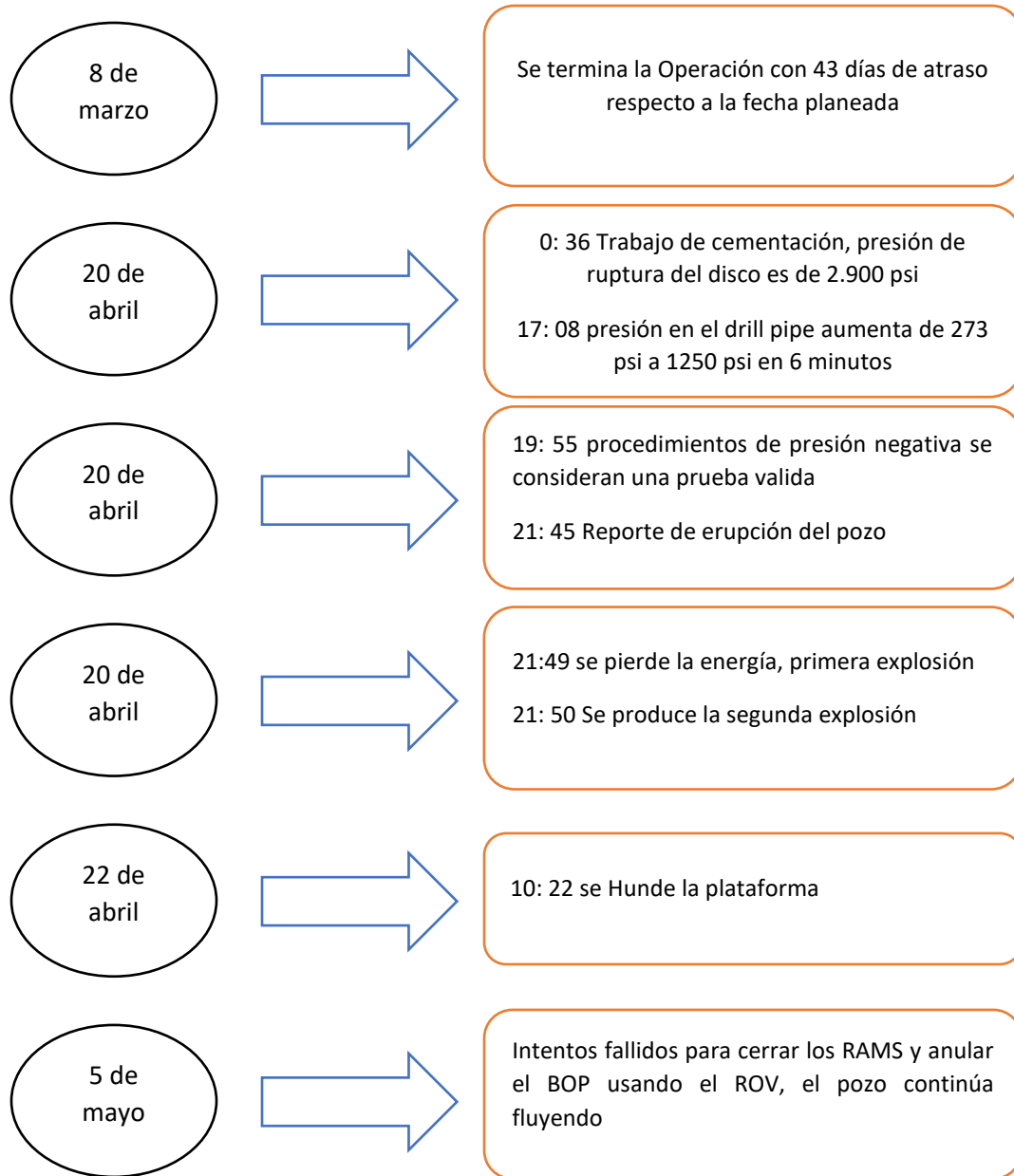
Ítem del análisis	Descripción
Agente del accidente	Plataforma semisumergible de posicionamiento rápido de aguas ultra-profundas Deepwater Horizon.
Parte inicial del investigador	Oleoducto con exceso de presión debido a la obstrucción de la tubería encargada de conducir el petróleo que unto a la presión del gas provoca la explosión.
Revisión Física	El accidente se provoca al no ser posible sellar varias fugas en las tuberías del pozo, lo cual es un factor desencadenante de las fugas, factor que incrementa los riesgos al no ser posible un mantenimiento adecuado no solo de las maquinarias sino de los implementos en la plataforma. Se presentan pozos negativos de alta presión por un sustento deficiente del cemento en las tuberías, ya que este (cemento) serviría para resguardar las posibles fugas.
Factores personales de Inseguridad	Exceso de confianza del personal para la utilización del cemento, causante de la explosión en la plataforma
Acto inseguro	Violación de normas y procedimientos al no realizar una adecuada evaluación del cemento utilizado para sellar las tuberías al no realizar un mantenimiento apropiado a las maquinarias.
Tipos de accidentes	Golpes por objetos desprendidos en la plataforma, aprisionamiento de los cuerpos de varios de los trabajadores accidentados.
Tipos de heridas	Son da varios tipos tales como laceraciones, contusiones, excoriaciones, cortes, fracturas, quemaduras.

Nota: Información del film y notas del expediente del accidente

Por otra parte, se puede realizar una cronología del evento lo cual se evidencia en el film a lo largo de la producción y se relaciona ampliamente con los hechos narrados que parten de la investigación documental previa del equipo asesor de la película sobre el cual se construye el guion final.

Figura 21

Cronología



Nota: Cronología del evento según Informe de Investigación de la película

Igualmente se Pueden identificar los procedimientos mal hechos que causaron fallas de seguridad y las debidas medidas a tomar a futuro según la Tabla 11.

Tabla 11

Factores negativos vs aspectos para tener en cuenta

Hechas causantes de las fallas	Aspectos para considerar en escenarios futuro
Los hechos mostrados tanto en la investigación técnica como en la película muestran que dada la premura de operar y ante el atraso en 43 días para la puesta en marcha se falla en garantizar la integridad del pozo.	Se evidencia la necesidad de mejorar las prácticas en la perforación y atender en el diseño aspectos fundamentales en la previsión de riesgos. Existen falencias en los diseños de ingeniería donde no se consideran anteriores eventos que marcaron la historia de accidentes similares.
Cuando se pierde el control de los Hidrocarburos que ingresan al pozo no se detecta la real dimensión del problema, se confía demasiado en la planeación y diseño previos cuando en realidad existen fallas; no se analizan eficientemente los riesgos y su ponderabilidad en función de las características monumentales de la obra.	Se evidencia la necesidad de reforzar las auditorias en el equipo mediante un seguimiento adecuado y un cierre que considere los imprevistos. - Servicio de las contratistas
Sucede una eventualidad que nunca se consideró y es la posibilidad que los Hidrocarburos pudiesen encenderse en la plataforma lo cual es un factor desencadenante del hundimiento de la plataforma.	Es necesario Introducir al manejo de la integridad del pozo en las actividades y mejorar aspectos relacionados con la previsión del riesgo.
Cuando se toma una medida como la aplicación del BOP, este no logra sellar el pozo.	Establecer los criterios mínimos para la prueba del BOP considerando las posibles modificaciones y rendimiento del sistema

Nota: Observaciones de los investigadores acerca de la Integridad del pozo relacionadas con lo expuesto en la película que de todas maneras tiene episodios de ficción.

5. Análisis de Resultados y Conclusiones

En este apartado del trabajo de investigación se recogen aspectos importantes tratados en la revisión bibliográfica para la documentación teórica del estudio, tratadas en los capítulos anteriores a fin de dar respuesta a los objetivos planteados.

5.1. Principales consecuencias de las malas prácticas en Gestión de Riesgos y Seguridad durante las operaciones Offshore.

Al hablar de riesgos en las industrias, el sector de Hidrocarburos es uno de los sectores más sensibles dadas las características de los proyectos realizados relacionados con los procesos de extracción, producción, transporte y comercialización de los productos (gas y petróleo) con una posibilidad de afectación mucho más allá de los resultados económicos y donde existe la posibilidad de afectar la integridad y aun la vida de sus empleados y del medio ambiente que circunda las áreas de explotación y particularmente las zonas marinas cuando estos se ubican en alta mar (Sandoval, 2016)

A nivel Internacional tanto reguladores como compañías dedicadas a actividades Offshore realizan grandes esfuerzos conjuntos, algunas veces, y otros basados en las regulaciones para evitar o minimizar los riesgos que puedan provocar la ocurrencia de un número importante de incidentes, sin embargo aún es posible hallar casos que son necesarios de analizar donde se evidencia trabajo pendiente por hacer y aprendizaje de lecciones muchas veces dolorosas; por solo mencionar algunos se ha encontrado que para proyectos Offshore en los Estados Unidos se presentaron al año 2019 en el área del Golfo de México 31 incidentes mayores relacionados a derrames, fugas de gas u otros incidentes en donde los operadores perdieron el control del pozo, mientras en Noruega se

registraban también a 2019, 42 derrames de petróleo y fugas de gas así como incidentes en pozos costa afuera (Nicholls, 2014).

De tal forma y ante la complejidad de la maquinaria utilizada en estas operaciones, el uso de productos químicos inflamables, el equipo pesado combinado con las largas jornadas de trabajo hace posible la ocurrencia de accidentes en cualquier momento y dan cuenta de ello los accidentes en plataformas petroleras causados desde por errores humanos hasta desastres naturales (Craft Law Firm, 2021). Siendo así las consecuencias más comunes encontradas en la literatura consultada para la realización de este trabajo de investigación son entre otras:

- Explosiones e incendios a bordo
- Equipo mal mantenido
- Equipo usado incorrectamente
- Averías o mal funcionamiento del equipo
- Caídas
- Accidentes por aplastamiento
- Exposición a productos químicos tóxicos
- Accidentes de transporte hacia / desde el lugar de trabajo

Muchos de los accidentes enunciados con anterioridad son debidos a errores humanos debido a ignorarse los protocolos de seguridad o se implementan de manera deficiente, se da el caso además que algunos accidentes reportados en las plataformas petroleras son resultado de inadecuados programas de capacitación y de largas jornadas de trabajo a que son sometidos los trabajadores de las empresas que realizan operaciones Offshore.

Otras consecuencias están relacionadas con la afectación económica y ecológica que dañan seriamente a los ecosistemas marinos, lo cual evidencia el hecho mencionado en los capítulos

anteriores donde se menciona que la exploración y producción de petróleo en alta mar es sumamente riesgosa y que deben extremarse todas las medidas posibles al generar explotación de Hidrocarburos en zonas remotas y sensibles (WWF, 2021)

Dada la alta toxicidad del petróleo para los ambientes marinos y costeros los impactos sobre las especies silvestres pueden permanecer por décadas y aun al año 2021 fue posible observar petróleo residual en el mar de los Estados Unidos, producto del desastre del Exxon Valdez en 1989 y para el caso del Deep Horizon, se concluyó que un total de 5000 barriles de petróleo se derramaron por día superando con creces el caso del petróleo derramado del Exxon Valdez en los primeros días de esta semana.

5.2. Gestión de Riesgos y seguridad implementada por empresas del sector de los hidrocarburos en operaciones Offshore

Actualmente para las Industrias de Hidrocarburos, el éxito de las operaciones realizadas no se hace solamente desde la medición de aspectos técnicos, sino de incluir aspectos relacionados con los temas de HSE, en consideración con el gran número de accidentes y eventos sucedidos, tal como da cuenta el capítulo 3 de este estudio, donde se han generado graves daños a los activos, personas y al medio ambiente así como a la afectación de la imagen de la industria que ha sido catalogada como peligrosa (Báez, 2016)

De tal manera, ante el avance y desarrollo de los proyectos offshore, los riesgos han aumentado considerablemente a medida que las condiciones del entorno son más drásticas y las profundidades de perforación mayores; es así como a partir de este análisis los gobiernos y los operadores en general han encaminado sus esfuerzos hacia la estructuración de la gestión HSE en los proyectos costa afuera, como un proceso tan importante como la misma perforación, se enuncia

en este punto la pertinencia del caso de la CNOOC (China National Offshore Oil Corporation), Industria que con más de 35 años de experiencia en proyectos Offshore ha integrado los elementos necesarios para diseñar adecuadamente un sistema integrado de gestión para las operaciones de perforación costa afuera,; el sujetarse a las guías preestablecidas le ha permitido cumplir de manera gradual los lineamientos y objetivos propuestos respecto al HSE (Cheng, 2016)

En el mundo, algunos países con un volumen importante de actividad *offshore* de hidrocarburos han logrado perfeccionar de manera adecuada sus propias normas, leyes y procedimientos en atención al Código PBIP/ISPS aplicado a buques e instalaciones que operaran en alta mar en unidades *offshore*. Para el caso mexicano por ejemplo es recomendable que para efectos de trabajo seguro las plataformas y unidades *offshore* tengan un tratamiento dentro de su regulación nacional como “instalaciones portuarias” para que sean cubiertas por el código PBIP/ISPS y se vean en la obligación de cumplir sus lineamientos (Gómez & Acevedo, Physical security risks of offshore oil & gas platforms, 2020)

Puede sintetizarse entonces el concepto de *seguridad física de plataformas y unidades offshore* como la combinación de actividades de vigilancia y control del territorio marítimo que permita garantizar una adecuada seguridad energética, la cual es ofrecida por el Estado ribereño en su zona jurisdiccional donde se realicen actividades de plataformas o unidades para exploración o extracción de hidrocarburos.

Por otra parte, respecto a la Gestión de riesgos, las compañías dedicadas a la explotación de Hidrocarburos deben considerar su contenido con relación al riesgo al que se encuentran expuestos sus proyectos, definiendo de manera cuantitativa sus límites de seguridad y sumado a

esto implementar sus propios indicadores que respondan a las a las necesidades para monitorear adecuadamente el desempeño de sus sistemas.

Desarrollar el análisis de riesgos supone entonces que las empresas realicen una adecuada identificación de los riesgos a los que se encuentra expuesta, así mismo denotar las causas que podrían servir de detonante para los eventos de riesgo y las consecuencias posibles y afectaciones para los activos, personas y el entorno está expuesta, las posibles causas que podrían detonar los eventos de riesgo, las posibles consecuencias y afectaciones que podrían presentarse en las personas, sus activos y en el medio ambiente.

Para monitorear el desempeño de los proyectos y la información recabada del análisis y evaluación de riesgos, las empresas deben definir los indicadores pertinentes con la suficiencia para dar respuesta y seguimiento a sus niveles de riesgo aceptable y riesgo no aceptable. De tal manera, la International Association of Oil and Gas Producers (IOGP), dan la recomendación de definir dos tipos básicos de indicadores:

Primeramente, los indicadores de rezago (lagging indicators), definidos para mantener el fortalecimiento de las barreras, un ejemplo de ello las actividades para mantener los sistemas de control de riesgos y en segundo término los indicadores de adelanto (leading indicators) los cuales son definidos para medir posibles defectos en las barreras, eventos y consecuencias de ellos (Johnson, 2019).

5.3. Categorización de los niveles de accidentes causados por indebida gestión y localización de sustancias o materiales con alto nivel de flamabilidad.

La categorización de los niveles de accidentes que puedan presentarse puede analizarse desde los tipos de peligro y a partir de los tipos de accidente causados por la deficiente gestión de seguridad.

5.3.1. Peligro 1. Exigencias físicas y entorno de riesgo en una plataforma petrolífera

El trabajo en una plataforma petrolífera se clasifica como un trabajo complejo dadas las dificultades de acceso a la misma y considerando las exigencias físicas para la realización de las tareas a bordo por lo cual siempre existirá el riesgo de la ocurrencia de lesiones.

Señal de lo anterior son por ejemplo las superficies resbaladizas, las cuales aumentan el riesgo inminente de caídas y resbalones, lo cual se da también con herramientas y equipos pesados, objetos y escombros acumulados a su alrededor y más aun con las agrestes condiciones climáticas generadas en sus entornos (Gómez, Riesgos de Seguridad en Operaciones Offshore, 2020).

Por otra parte, suele depositarse una gran confianza a las acciones desarrolladas por los empleadores de la plataforma petrolífera sujetas a inspecciones por parte de instituciones de control que supervisan las operaciones, que sin embargo no son muy frecuentes dadas las grandes distancias de estas con los puertos.

5.3.2. Peligro 2. Exposición a sustancias químicas en una plataforma petrolífera

Aunque los trabajadores y las mismas personas encargadas del diseño de los planes de seguridad y salud no piensan siempre en este factor, las exposiciones a sustancias químicas causan de hecho problemas de salud a corto y largo plazo. Es así como el desarrollo de trabajos en la industria petrolera significa estar en contacto estrecho con muchos productos y sustancias químicas

potencialmente peligrosos entre ellos los que se utilizan en la maquinaria pesada y el propio petróleo. Este tipo de exposición causa daños en el cuerpo de diversas formas desde problemas pulmonares y respiratorios hasta daños en los órganos y quemaduras.

5.3.3 Peligro 3. Incendios en una plataforma petrolífera

La familiarización con la explosión de la plataforma Deepwater Horizon, es un claro ejemplo de los riesgos de accidentes que se asocian a los peligros de incendio en una plataforma, corresponden a hechos desafortunadamente muy comunes y de gran preocupación debido a los múltiples materiales inflamables a bordo de la plataforma. Caso ejemplar de esta situación es cuando se produce una fuga cerca del material inflamable lo cual posibilita la generación de un incendio o explosión, sumado a las consecuencias ambientales que puedan generarse del hecho. Este tipo de accidentes tiende a ser potencialmente mortales.

5.3.4 Peligro 4. Accidentes de maquinaria en las plataformas petrolíferas

El desarrollo de los proyectos Offshore para la industria del gas y del petróleo requieren como condición la utilización de maquinarias pesadas para los procesos de extracción y lógicamente su maniobra y uso denota características de peligrosidad si se tiene en cuenta las condiciones de operaciones en alta mar.

Por otra parte, no basta con el entrenamiento de los operarios, no es previsible que podría salir mal, aspectos como el funcionamiento de las maquinarias y sus partes, el cometer errores en su manejo pueden ser detonantes de accidentes leves y graves, se aconseja en estos casos no intentar usar estas maquinarias sin en el entrenamiento adecuado dado que esto pone en riesgo la integridad de las instalaciones, los equipos y por supuesto la vida de los trabajadores.

5.3.5 Peligro 5. Accidentes de transporte en las plataformas petrolíferas

El transporte hacia y desde las plataformas petrolíferas resulta igualmente peligroso como las mismas operaciones de trabajo, se da una gran importancia a helicópteros y barcos para el transporte de los trabajadores desde tierra firme a las plataformas en alta mar, es así como si sucede el volcamiento de una nave o las aguas agitadas por una tormenta o factores climáticos puede generar lesiones graves o incluso la muerte de los tripulantes.

Finalmente se hace necesario anotar aquí la información de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) sobre las lesiones mortales en las operaciones de petróleo y gas en alta mar:

“(…) Durante el período 2003-2010, la industria de extracción de petróleo y gas de Estados Unidos (en tierra y en alta mar, combinadas) tuvo una tasa de mortalidad colectiva siete veces mayor que la de todos los trabajadores de Estados Unidos (27,1 frente a 3,8 muertes por cada 100.000 trabajadores). Las 11 vidas que se perdieron en la explosión de la plataforma Deepwater Horizon en 2010 nos recuerdan los peligros que entrañan las perforaciones en alta mar” (CDC, 2015)

5.4. Medidas de seguridad aplicadas en las operaciones Offshore para disminuir factores de riesgos en trabajadores y medio ambiente

Para desarrollar mecanismos eficientes que aumenten la seguridad en las operaciones Offshore se hace necesario entender que la mayoría de los posibles peligros en dichas actividades están relacionados con los requisitos propios de la extracción tales como: complicadas zonas de acceso, Jornadas demasiado largas, condiciones laborales complejas y tercerización de actividades, los cuales contribuyen a incrementar sustancialmente la cantidad de accidentes o consecuencias para las empresas. De tal manera es necesario atender estos aspectos:

5.4.1. Condiciones adversas de los equipos

Las instalaciones tanto offshore como en tierras propias de la industria de hidrocarburos, con regularidad se exponen a complicadas y adversas condiciones capaces de producir eventuales fallas en los equipos y deteriorar su rendimiento con el paso del tiempo. Por lo cual, esto obliga a asumir medidas de protección para evitar que aparatos críticos presenten fallas o sufran daños irreparables.

5.4.2. Gases acumulados

Este tipo de situaciones se generan en caso de que algunos gabinetes no se encuentren certificados para resistir áreas denominadas como peligrosas, es así como pueden acumularse gases o aire que generan atmosferas explosivas y es por eso por lo que, durante tareas de mantenimiento y operaciones realizadas, es así como una acción imprudente puede ocasionar accidentes de quemaduras desde moderadas hasta graves.

5.4.3. Accidentes de arco eléctrico

Las operaciones al interior de las plataformas petroleras se consideran áreas de alta peligrosidad y allí los empleados se encuentran expuestos a vapores y líquidos inflamables que pueden ocasionar descargas eléctricas, la incidencia de dicho fenómeno puede reducirse con medidas de seguridad y la ayuda de gabinetes a medida con especificaciones contra arco eléctrico.

5.4.4. Sistemas de generación de energía

Existe una gran variedad de configuraciones y estrategias para diseñar sistemas adecuados para generar y suministrar energía en las plataformas petroleras, las cuales hacen parte de medidas para el control de emergencia muchas configuraciones y estrategias posibles para el diseño de sistemas de generación y suministro de energía. Los circuitos pueden dividirse en tres tipos para

principal, auxiliar y de emergencia, cada uno de ellos asociados a una fuente independiente para satisfacer la carga de energía específica demandada y con la posibilidad de activarse o bloquearse como medida de emergencia.

5.4.5. Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado

Para el diseño de este tipo de sistemas inicialmente deben elegirse adecuadamente las ubicaciones de los sistemas de entrada y salida de aires, los caudales y corrientes necesarios, el diseño de conductos, cálculo de pérdidas, los sistemas de reposición y recirculación de aire y los equipos de limpieza y tratamiento adecuados además de tener en cuenta los controles particulares para las partículas en suspensión, ventiladores, filtros, controladores de humedad, instrumentos de medición y máquinas de enfriamiento de varios tipos. Mediante mecanismos de circulación de aire forzado también es posible mantener una temperatura adecuada para garantizar la reducción del estrés térmico para equipos y el personal y estos ayudan a mantener las concentraciones adecuadas y reguladas de contaminantes tóxicos en niveles aceptables, especialmente en espacios confinados.

5.4.6. Sistemas de lavado, purga e inertización

Los tanques, segmentos de tubería, recipientes y otros espacios encargado de contener los hidrocarburos pueden vaciarse de acuerdo a las necesidades operativas ya que algunos volúmenes residuales de estos pueden ocasionar atmosferas explosivas, las operaciones de lavado se consideran esenciales a fin proteger dichos espacios contra explosiones e incendios; las operaciones de lavado e inertización den tener un estricto cronograma y esto se da inclusive durante la puesta en marcha de una planta por primera vez o posterior a un proceso de mantenimiento o reparación programada o no.

En esta operación pueden eliminarse sustancias o partículas no deseables para evitar la ocurrencia de daños y contaminación durante la operación además de minimizar el riesgo de accidentes; en el momento que sea posible reemplazar el fluido en circulación en una sección de una planta de proceso o interrumpir el uso de equipos y tuberías, aunque sea por un corto período de tiempo, no puede haber cantidades residuales de hidrocarburos.

5.4.7. Sistemas de detección de gas

Uno de los posibles escenarios de accidentalidad se debe a la presencia de hidrocarburos gaseosos en un área con fuentes potenciales de ignición y ante esta eventualidad se hace necesario proteger las instalaciones de petróleo y gas con acciones tales como corte de suministro eléctrico, despresurización y parada de operación, las cuales se deben iniciar tan pronto exista un riesgo inminente de emisión de hidrocarburos gaseosos predisponentes de atmósferas inflamables. Para una adecuada protección se requiere contar con una detección oportuna y segura de hidrocarburos gaseosos para que las señales automáticas puedan iniciar acciones de control y mitigación

5.4.8. Sistemas de detección de incendios

Los detectores de calor, llama y de velocidad térmica son fundamentales como mecanismos para proveer una capacidad de confirmación o diagnóstico para iniciar acciones contra posibles incendios. De tal manera un factor que debe considerarse con suprema importancia es el tiempo de detección y respuesta para reducir las consecuencias nefastas durante las primeras etapas de un incendio particularmente en el caso donde existan una gran cantidad de inventarios de hidrocarburos, tal como sucede en las instalaciones de gas y petróleo donde los sistemas de seguridad se han de diseñar para evitar que se presente un escenario de grandes dimensiones y alimentado por grandes inventarios de hidrocarburos. La cantidad de energía almacenada en los inventarios de hidrocarburos justifica sistemas de detección precisos y altamente confiables.

5.4.9 Sistemas automáticos de extinción de incendios

El sistema de agua contra incendio suele convertirse en la primera alternativa cuando se enuncia la seguridad en la industria del petróleo y el gas, sin embargo, ante la existencia de grandes inventarios componentes de la cadena productiva de la industria, son necesarios más que bombas potentes y sistemas sofisticados automatizados con el fin de brindar la atención oportuna en asuntos relacionados con la seguridad integral de la plataforma. De esta forma los sistemas de automatización y los equipos correspondientes no son suficientes para otorgar una adecuada respuesta en escenarios posibles de explosión e incendio por lo cual se hace perentorio establecer estrategias de respuesta asociadas a los equipos y sistemas de automatización

5.5. Conclusiones

siendo la función de la seguridad y salud en el trabajo la de proveer medidas seguras para el desempeño eficiente y armónico de los trabajadores en una empresa, considerando además las particularidades de trabajo en espacios confinados y altamente peligrosos como son las plataformas petroleras en Operaciones Offshore, el trabajo de investigación desarrollado a través de una búsqueda de información en fuentes secundarias identificó los aspectos fundamentales de la regulación de riesgos para la salud, aspectos relacionados con la seguridad y otros relacionados con los impactos ambientales que pueden generarse a los ecosistemas marinos, altamente sensibles a los accidentes que ocurren con hidrocarburos ante escenarios de incendios, explosiones o derrames.

De tal forma, se pudo evidenciar que las consecuencias principales derivadas de las malas prácticas en Gestión de riesgos y Seguridad durante este tipo de operaciones se derivan en afectaciones tanto a los equipos como a los seres humanos y al medio ambiente de la zona próxima donde se realizan las actividades Offshore, las cuales van desde Explosiones e incendios a bordo,

mal mantenimiento de equipos, uso incorrecto de ellos mismos, averías o malfuncionamiento de los mismos que puede provocar accidentes lamentables, caídas, aplastamiento por equipos mal ubicados en las plataformas, exposición a productos tóxicos y químicos, explosiones y derrames y accidentes de transporte entre la plataforma y puerto o viceversa.

Respecto a los niveles de accidentes que se causan por indebida gestión y localización de sustancias o materiales con alto nivel de inflamabilidad se pueden categorizar en 5 niveles de acuerdo con el peligro que representan y estos son Exposición física y a las condiciones del entorno, Exposición A sustancias químicas, Incendios y explosiones en plataformas, accidentes, accidentes de maquinarias y equipos y accidentes por transporte. Igualmente se anotan en el estudio los accidentes ocurridos por derrames de petróleo y sus consecuencias a los ecosistemas marinos.

Respecto a las medidas de seguridad aplicadas en las operaciones Offshore para disminuir factores de riesgos en trabajadores y medio ambiente estas corresponden a mecanismos eficientes que ha desarrollado la industria para atender los peligros implicados en dichas operaciones y relacionadas con factores de riesgo como son las extensas jornadas de trabajo en espacios aislados y distantes de zonas urbanas que hacen de por sí unas condiciones laborales extremas para lo cual se toman medidas en los siguientes aspectos relacionados. Condiciones adversas de los equipos, Gases acumulados, Accidentes de arco eléctrico, Sistemas de generación de energía, Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, Sistemas de lavado, purga e inertización, Sistemas de detección de gas, Sistemas de detección de incendios y Sistemas automáticos de extinción de incendios

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2020). *Colombia Petrolera*. Bogotá D.C.: Texim Ed.
- ANH. (2020). *Mapa de Hidrocarburos en Colombia*. Bogotá D.C.: ANH Publicaciones.
- Avila, J., & Dalaklis, D. (2018). *Opening of offshore oil business in Mexico and associated, framework to cope with potential maritime security threats*. México D.F.: TransNav, the International Journal on Marine, Navigation and Safety of Sea Transportation.
- Avila, R. (2016).). La economía petrolera en un mundo politizado y global. México y Colombia. *Cuadernos de Economía*, 35(69), 791-798.
- AXXESS Nw. (2021). *Plataformas petroliferas en alta mar*. Barcelona: New Editions.
- Báez, P. (2016). *Diseño de un modelo de gestion de la seguridad y salud en el trabajo para operaciones Offshore en Colombia* . Bogotá D.C.: Publicacion de la Fundación Universidad de America, Facultad de Ingenieria de Petroleos.
- Cano, J. (2018). Repensando los fundamentos de la gestión de riesgos. Una propuesta conceptual desde la incertidumbre y la complejidad. *Revista Iberica de Sistemas y Tecnologias de Información* 2(7), 15-19.
- CDC. (2015). *Lesiones mortales en operaciones de alta mar*. Texas: Texas P.C.
- Cedeño, J. (2022). *Deteccion de derrames de petroleo por segmentacion usando SAR*. Guayaquil, Ecuador: Investigacion de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guayaquil .
- Cheng, Z. (2016). *HSE management for China offshore drilling project*. Pekin: Energy Technology & Services Ltda.
- Compliance Security. (2018). *Gestión de Riesgos y Control Interno en las Organizaciones*. México D.F.: Publicaciones de Ingenieria de Riesgos.

- Craft Law Firm. (2021). *Accidentes de Plataformas Petroleras*. Houston, Texas : CLF Publications.
- Deveraux, A. (2020). La logística de Offshore. *Petrotecnia* 3(5), 46-51.
- EALDE. (2016). *Fundamentos de la Gestión de Riesgos*. New York: Publicaciones Bussines School.
- Ferrero, F. (2016). *Incendios de Hidrocarburos*. Barcelona: Catalunya Ed.
- Gomez, J. (2021). Gestión Estratégica de Riesgos y Gestión del Cambio. *WTW, Liderazgo Empresarial* 2(3), 1-5.
- Gómez, W. (2020). *Riesgos de Seguridad en Operaciones Offshore*. México D.F.: Harper&Row Int.
- Gómez, W., & Acevedo, C. (2020). Physical security risks of offshore oil & gas platforms. *Revista Científica José Maria Cordoba*, 45-62.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*, 6a. ed. México D.F.: Mac Graw Hill.
- ISO 45001. (2018). *Cultura de la Seguridad en las Organizaciones*. Bogotá D.C.: NTC Ediciones International.
- Johnson, L. (2019). *OGP Process Safety – Recommended Practice on Key Performance Indicators*. Houston: Report 456.
- Krauss, R. (2018). *Petr+oleo, prospección y perforación*. Barcelona: Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- LaFuente, W., & Soto, L. (2019). Efectos de un derrame de petróleo crudo en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un río amazónico ecuatoriano. *Ciencias ambientales* 53(1), 1-22.

- Marquez, K., & Delgado, F. (2013). Sensibilidad Ambiental: Una aproximación metodológica para validar estudios de impacto ambiental. *Revista Forestal Latinoamericana Vol 28*, 77-106.
- Martins, C. (2018). *GUIA TECNICA: Metodos cualitativos para el analisis de riesgos*. Barcelona: H&R Ed. Balmore.
- Montserrat, P. (2022). Cadena de valor en la Industria Petrolera. *Epmex 2(4)*, 1-7.
- Nicholls, J. (2014). *Offshore Safety Management, Implement a SEMS Program*. Chicago, Il.: Ian Sutton. 2a ed.
- Owen, R. (2016). *Riesgo Estrategico*. Bogotá, D.C.: Deloitte.
- Portela da Ponte, G. (2021). *Risk Management in the Oil and Gas Industry*. Londres, R.U.: Gulf Professional Publishing.
- Romero, M. (2017). Medidas para la protección del medio marino en la región del Gran Caribe por daños ocasionados por la industria mar adentro. *Revista de Derecho Vol. 47*, 207-233.
- Ruz, R. (2014). Gestion de riesgos en la industria del petroleo y gas natural. *Industrial Data Vol. 17 No. 3*, 25-65.
- Sandoval, P. (2016). Análisis de riesgos de seguridad y su sistema de gestión de seguridad en proyectos de Hidrocarburos. *Python Programming Vol 1 No. 2*, 12-17.
- Sistema Nacional de Riesgos de Desastres. (2021). *Plan nacional de contingencia frente a perdidas de contencion de hidrocarburos*. Bogotá D.C.: P.N.C Ed.
- Stevens, R. (2020). Riesgos: Tipos, clases y ejemplos. *Rev. Rankia 2(4)*, 27-45.
- Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental 8(1)*, 151-167.
- Virzo, M. (2017). *Seguridad Maritima en Operaciones Offshore*. México D.F.: Mac Graw Hill.
- Williams, J. (2019). *Operaciones petroleras a ultramar*. Chicago, I: Risk Pet Inc.

WWF. (2021). *Accidentes en alta mar y riesgos a los ecosistemas*. Gland, Suiza: Ediciones de WWF.