

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica**




**TESIS**

**Optimización de la seguridad en la actividad de punzado de pozos petrolíferos en la Cuenca Talara mediante la aplicación de la Técnica Hazid en complemento con la Técnica del Check List: Un enfoque innovador para la prevención de accidentes mayores y la mejora de la eficiencia**

Para obtener el Título Profesional de  
**Ingeniero de Petróleo y Gas Natural**


Elaborado por

**Kevin Marco Chalco Malpartida**

 [0009-0009-6017-9050](https://orcid.org/0009-0009-6017-9050)

Asesor

**Ing. Adolfo Armando Rímac Bouby**

 [0000-0001-6220-2597](https://orcid.org/0000-0001-6220-2597)

**LIMA – PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, cuya gracia y guía han iluminado mi camino a lo largo de esta travesía académica. Sin su bendición y dirección divina, este logro no habría sido posible.

A Meg Astorayme, mi fuente inagotable de inspiración y apoyo, quien ha compartido conmigo cada paso de este viaje académico y personal. Tú eres mi faro en la tormenta, y esta tesis lleva tu nombre en agradecimiento por tu amor incondicional.

A mi madre, Silvia Malpartida, y mi padre, Marco Chalco, quienes desde el inicio me inculcaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. Esta tesis es un tributo a su dedicación y amor, que han sido la base de mi educación y crecimiento.

A mi hermano, Christopher Chalco, compañero de aventuras y confidente, esta tesis también es tuya. Tu apoyo constante me ha impulsado a seguir adelante en busca de mis metas.

A mis abuelos, Celia, Hemilio y Agustina, cuyos valores y sabiduría han iluminado mi camino, esta tesis es un reconocimiento a su legado y amor, que siempre han estado presentes en mi vida.

Esta investigación sobre la seguridad en la industria del petróleo es un testimonio de mi compromiso con la excelencia y la seguridad en el trabajo. A través de este logro, espero retribuir una pequeña parte del amor y la confianza que ustedes han depositado en mí.

Con gratitud y amor,

## AGRADECIMIENTO

En el camino hacia la culminación de esta tesis, me siento profundamente agradecido por las personas que han sido fundamentales en este viaje:

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Guillermo La Rosa, mi asesor y guía en esta investigación. Su orientación experta, conocimiento y paciencia fueron esenciales para llevar a cabo este proyecto. Gracias por brindarme la oportunidad de aprender y crecer bajo su tutela.

Un agradecimiento especial al Ing. Lucas Arista, cuyo apoyo incondicional fue inestimable. Siempre estuvo dispuesto a compartir su experiencia y conocimientos, estando presto para resolver todas mis dudas. Su generosidad y compromiso con mi éxito fueron verdaderamente inspiradores.

A mi familia, en general, quiero expresar mi profundo agradecimiento. Su amor, apoyo y comprensión inquebrantables me han sostenido en cada paso de este arduo camino. Sin su respaldo, esta realización no habría sido posible.

A todos aquellos que, de una forma u otra, contribuyeron a esta investigación, les agradezco sinceramente por su tiempo, esfuerzo y colaboración.

Finalmente, agradezco a Dios por la fortaleza, la determinación y la inspiración que me ha brindado a lo largo de esta travesía académica.

Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo y el inicio de un nuevo capítulo en mi vida. Estoy agradecido por las oportunidades que he tenido y comprometido a seguir trabajando para contribuir al avance de la industria del petróleo y la seguridad.

Con gratitud,

## RESUMEN

En la actualidad, una de las herramientas de análisis de seguridad más empleada dentro de la industria de los hidrocarburos es la Identificación de Peligros o mejor conocida por sus siglas en inglés HAZID (Hazard Identification), se utiliza comúnmente en la industria petrolera para identificar y evaluar los peligros potenciales asociados con un proyecto, instalación o proceso. El HAZID como herramienta asociada a la Identificación y Evaluación de Peligros y siendo una de las metodologías más empleadas en el Perú, en esta ocasión la implementaremos en operaciones de punzados de pozos ubicados en yacimientos costa afuera o mejor conocidos como yacimientos offshore, permite mapear todos los riesgos relacionados en un proceso. Por otro lado, cómo puede la herramienta de análisis HAZID contribuir a eliminar o disminuir los daños causados a las personas, equipos y al medio ambiente, cuando se realiza una actividad de punzados en pozos petroleros extraterritorial, teniendo en cuenta la identificación de los factores fundamentales que participan en el proceso para mantener el pozo, la plataforma estable y operativa. Para poder comprender esta metodología es necesario analizar y evaluar cualitativamente los principales riesgos que puedan manifestarse en los procesos de punzado desde su almacenamiento, el transporte y ejecución del servicio en una plataforma en el extranjero, que permita reducir las deficiencias en el proceso de punzonamiento. La finalidad de este estudio es reconocer los principales riesgos que están presentes en el almacenamiento, transporte y ejecución de los servicios de punzado en una plataforma offshore a través de la técnica HAZID que va a permitir realizar el análisis, identificación y evaluación de peligros de forma cualitativa en las operaciones de punzonamiento en pozos petroleros offshore. La contribución esperada del trabajo es evaluar la eficiencia de la

técnica HAZID en pozos offshore teniendo en cuenta los principales factores y riesgos causados por errores humanos o en los procedimientos de operación, esto permitirá reducir las deficiencias y proponer acciones preventivas en el desarrollo del proceso, mitigando así los errores no recuperables para la mejora continua en la seguridad del proceso.

## INDICE

RESUMEN.....	iii
INDICE.....	v
LISTADO DE FIGURAS.....	vii
LISTADO DE TABLAS.....	ix
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 Antecedentes.....	2
2.2 Problemática.....	5
2.3 Formulación del Problema.....	6
2.3.1 Problema General.....	6
2.3.2 Problemas Específicos.....	6
2.4 Objetivos de la Investigación.....	6
2.4.1 Objetivo General.....	6
2.4.2 Objetivos Específicos.....	6
2.5 Hipótesis de la Investigación.....	7
2.5.1 Hipótesis General.....	7
2.5.2 Hipótesis Específicas.....	7
2.6 Justificación de la Investigación.....	7
2.7 Identificación de Variables.....	8
2.7.1 Variables Independientes.....	8
2.7.2 Variables Dependientes.....	8
2.8 Operacionalización de Variables.....	8
2.9 Matriz de Consistencia.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	11
3.1 Marco Teórico.....	11
3.1.1 Punzonamiento.....	11
3.1.2 Operación de Punzonamiento o Baleo del pozo.....	11
3.1.3 Tipos de Punzonamiento.....	12
3.1.3.1 Disparo de bala.....	12
3.1.3.2 Disparo a chorro.....	12
3.1.4 Nuevas Tecnologías.....	13
3.1.4.1 Tubing Conveyed Perforating (TCP) Bajo Balance.....	13
3.1.4.2 Técnica Pure.....	13

3.1.4.3 Técnica TCP Propelente - Sobre Balance .....	14
3.1.4.4 Punzonamiento con Wireline .....	14
3.1.5 Descripción detallada de la técnica (HAZID) .....	15
3.1.6 Beneficios de estudio HAZID .....	18
3.1.7 Evaluación del Riesgo: Matriz de Riesgo.....	18
3.2 Marco Conceptual.....	23
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	24
4.1 Metodología de Investigación .....	24
4.1.1 Tipo de Investigación .....	26
4.1.2 Fuentes de Datos .....	26
4.1.3 Población y Muestra .....	26
4.1.3.1 Población.....	26
4.1.3.2 Muestra.....	26
4.1.4 Recolección de Datos.....	26
4.1.5 Análisis de Datos .....	26
4.2 Caso de Estudio.....	26
4.2.1 Características del caso de estudio .....	27
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS OPERACIONAL .....	27
4.1. Armado de escopeta.....	27
4.2. Almacenamiento de Explosivos .....	31
4.3. Transporte de Explosivos .....	36
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	57
Resultados Obtenidos de la Matriz Hazid: .....	61
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS .....	67

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Forma transversal de baleo.....	11
Figura 2 Flujo de trabajo <i>HAZID</i> .....	25
Figura 3 Inicio del armado de la escopeta.....	27
Figura 4 Cordón detonante mal armado.....	28
Figura 5 Cordón dentro de los sujetadores.....	28
Figura 6 Puntas dobladas para sujetar la carga.....	28
Figura 7 Cordón correctamente sujetado.....	29
Figura 8 Escopeta terminada de cargar.....	29
Figura 9 Instalación del boosters.....	30
Figura 10 Etiqueta de clasificación tipo de explosivo.....	30
Figura 11 Snaplin.....	31
Figura 12 <i>Subs</i> o <i>tandems</i> .....	31
Figura 13 Seguridad requerida para los <i>bunkers</i> (tipo 2).....	32
Figura 14 <i>Bunker</i> interno tipo 2.....	34
Figura 15 Compartimientos del <i>bunker</i> .....	35
Figura 16 <i>Bunker</i> tipo 3 o <i>IMEI 22</i> .....	36
Figura 17 El “lanzacohetes” o bastidor de herramienta.....	38
Figura 18 Traslado los explosivos.....	39
Figura 19 Ubicación de las eslingas cada 5 ft.....	39
Figura 20 Caja de Cargas.....	41
Figura 21 Caja de detonadores.....	41
Figura 22 Etiqueta del paquete de explosivos.....	42
Figura 23 El cuadro muestra el tipo de explosivos.....	43
Figura 24 Placa de explosivo.....	44



Figura 25 Placa de explosivos.....	44
Figura 26 Desechar las cajas de explosivos de forma incorrecta.....	46
Figura 27 Cartel de seguridad para trabajos con explosivos.....	50
Figura 28 Distancia de seguridad de 10 m del lugar de trabajo .....	50
Figura 29 Verificación de las condiciones climáticas.....	52
Figura 30 Medidor de Voltaje paracito.....	52
Figura 31 Diagrama del Riesgo Inherente.....	63
Figura 32 Diagrama del Riesgo Residual.....	63

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables.</i> .....	9
Tabla 2 <i>Matriz de consistencia.</i> .....	10
Tabla 3 <i>Matriz de tolerabilidad de riesgo.</i> .....	19
Tabla 4 <i>Criterios de tolerabilidad o categorización de riesgos.</i> .....	19
Tabla 5 <i>Probabilidad de ocurrencia o frecuencia.</i> .....	20
Tabla 6 <i>Categoría de Consecuencias.</i> .....	21
Tabla 7 <i>Severidad de Consecuencias según Persona.</i> .....	22
Tabla 8 <i>Severidad de Consecuencias según Activos.</i> .....	22
Tabla 9 <i>Severidad de Consecuencias según Medio Ambiente.</i> .....	22
Tabla 10 <i>Severidad de Consecuencias según Reputación.</i> .....	23
Tabla 11 <i>Severidad por Frecuencia.</i> .....	61
Tabla 12 <i>Resumen de los riesgos inherentes en cada etapa de la operación.</i> .....	61
Tabla 13 <i>Resumen de los riesgos después de los controles y salvaguardas.</i> .....	62
Tabla 14 <i>Tabla resumen del Riesgo Inherente y Residual.</i> .....	62

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 2.1 Antecedentes

Las actividades relacionadas a la industria de los hidrocarburos son de vital importancia para cada país, debido a que proveen de energía, materias primas, combustibles, etc. Dichos puntos son claves para la economía de un país, esto a su vez conlleva a que estas actividades estén asociadas a un nivel de riesgo de accidentes dentro de sus operaciones por las condiciones de presión y temperatura a la cual se encuentran los hidrocarburos, por ello siempre están asociados a un plan metodológico de seguridad en cada proceso extractivo de hidrocarburos que previene y corrige accidentes (Báez Sánchez, 2016).

El propósito de HAZID consiste en proporcionar información que pueda utilizarse posteriormente para evaluar los riesgos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad. La contribución fundamental de HAZID es que facilita la concentración en el análisis de riesgos, al permitir una comprensión más profunda de la naturaleza de los peligros existentes. El informe HAZID también resulta muy útil en el proceso de diseño basado en la identificación de riesgos, proporcionando una valiosa contribución (Risk Based Design), esto nos brindará la oportunidad de reducir al mínimo o eliminar los riesgos que hemos identificado en el análisis de peligros (HAZID) durante la etapa de diseño de proyectos futuros. El propósito de las recomendaciones basadas en los hallazgos de la investigación es lograr mejoras en las instalaciones y promover un ambiente de trabajo más seguro (Sánchez, 2018).

Las actividades de punzados en pozos *offshore* requieren un análisis de los efectos o consecuencias de los peligros en las operaciones. En el mundo se han llevado varias evaluaciones e investigaciones utilizando la técnica *HAZID*.

Según *Vamanu et al.*, (2016). Diversas investigaciones llegaron a la conclusión que la técnica *HAZID* en operaciones relacionadas a la industria de los hidrocarburos son una herramienta de análisis de riesgos muy requerida. La técnica *HAZID* es un proceso riguroso que permite detectar de manera formal los peligros y riesgos asociados a una operación o instalación, identificar los controles necesarios y evaluar la aceptabilidad de dichos riesgos mediante métodos cualitativos y, en algunos casos, cuantitativos, sin embargo hasta el momento se ha identificado que la técnica *HAZID* sean no solo para actividades *offshore*, sino teniendo como referencia otros métodos clásicos como prácticas para este tipo de actividades.

En china se realizó detalladamente el principio básico y el proceso de análisis de la técnica de análisis *HAZID* en las plataformas *offshore* del yacimiento de *Jidong*, donde se identificaron sistemáticamente los defectos que pueden generar problemas de seguridad y operación durante el proceso de diseño y operación de los equipos, se concluyó que la implantación de la técnica *HAZID* tiene ventajas como permite identificar peligros y riesgos potenciales en las primeras etapas del desarrollo de un proceso o sistema, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que los problemas se conviertan en problemas mayores. *Wang Y. et al.*, (2012).

Según *Poblete et al.*, (2014) las experiencias realizadas en varios yacimientos incluyendo factores humanos en su técnica de *HAZID* como respaldo de su diseño en las operaciones de las instalaciones de *oil & gas*, dejaron lecciones aprendidas que concluyeron que introducir factores humanos en sus actividades mejora el criterio y

análisis de *HAZID* lo que permite evaluar los riesgos de manera integral, identificando medidas preventivas para minimizar o eliminar los riesgos.

Según Arnold y Sikes, (1991). Analizar el desarrollo del *API RP 14C*, demuestra que esta norma es resultado de una revisión genérica del *HAZID* de equipos típicos de producción de plataformas *offshore*. Se ilustran deficiencias de la norma y se propone un método de expansión para desarrollar una revisión integral de *HAZID* para plataformas marinas, por otro lado, se argumenta que este *HAZID* genérico (*API RP 14C* ampliado) proporcionará niveles de seguridad consistentemente más altos que la aplicación de revisiones individuales de *HAZID* a plataformas en alta mar.

Proporcionar un marco para aplicar técnicas *HAZID* a los procedimientos de mantenimiento en plataformas de petróleo y gas en alta mar, por otro lado, una combinación de análisis de errores humanos y palabras guías de la técnica *HAZID* ayudaría en la identificación de errores no recuperables en la implementación del sistema de permisos de trabajo, la preparación para el mantenimiento, las actividades de mantenimiento en sí mismas, la entrega y el reinicio. La eliminación o mitigación de errores no recuperables ayudaría significativamente en la mejora de la seguridad del mantenimiento. La conclusión de esta investigación fue la sugerencia de usar *HAZID* por lotes para identificar posibles desviaciones de la intención y sus posibles consecuencias en la seguridad, al realizar actividades de mantenimiento en plataformas marinas. El método combinó un análisis del error humano con una revisión de las diversas tareas asociadas con el sistema de permisos de trabajo, preparación para el mantenimiento, actividades con el mantenimiento, entrega y reinicio del equipo (Raman & Warner, 1991).

A pesar de que los yacimientos ubicados en el *offshore* peruano cuenta con pozos petrolíferos que son de importancia en la producción de hidrocarburos en el Perú como es el caso del Lote Z2B, no se tiene registrado alguna publicación del tema como caso de aplicación de análisis *HAZID*.

## 2.2 Problemática

Las operaciones extractivas de hidrocarburos en el *offshore* son complejas, es por ello por lo que operar en dichas plataformas requiere niveles de seguridad de muy altos estándares en sus operaciones. Una de esas operaciones es la operación de punzados, esta operación permite conectar al pozo con los hidrocarburos *in situ*. Esta operación va desde la logística, selección de materiales, transporte, hasta la ejecución de la operación de punzonamiento. Una mala gestión en logística, equivocados estándares de transporte de los materiales de punzonamiento, mala selección del material de punzonamiento y operaciones mal ejecutadas son factores frecuentes de riesgos en la operación de punzonamiento. Estos factores pueden generar pérdidas económicas para la empresa e incluso pérdidas humanas. Es por ello la importancia de realizar un buen análisis de estos factores mediante la técnica *HAZID* que ayude a identificar, analizar y tomar medidas de prevención que permiten evitar daños a las personas que están involucradas en la operación, pérdidas económicas por una mala ejecución de la operación de punzonamiento en la plataforma mediante sistemas de seguridad.

## **2.3 Formulación del Problema**

### **2.3.1 Problema General**

¿De qué manera la técnica *HAZID* permitirá establecer barreras que minimicen los riesgos en las operaciones de punzonamiento de pozos petroleros *offshore* en la cuenca Talara?

### **2.3.2 Problemas Específicos**

¿Cómo identificar el factor de riesgo durante el transporte de materiales de punzonamiento?

¿Cómo identificar el factor de riesgo durante el almacenamiento de materiales de punzonamiento?

¿Cómo se controla las causas de los riesgos operacionales que puedan producirse en las operaciones de punzado *offshore*?

¿Cómo implementar la técnica *HAZID* teniendo en cuenta el análisis de los principales factores que intervienen en el punzonamiento del pozo en la plataforma *offshore*?

## **2.4 Objetivos de la Investigación**

### **2.4.1 Objetivo General**

Evaluar los factores de riesgos que interviene en la operación de punzonamiento en pozos petroleros del *offshore* peruano mediante la técnica *HAZID*.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

Identificar los factores de riesgo durante el transporte de materiales de punzonamiento.

Identificar los factores de riesgo durante el almacenamiento de materiales de punzonamiento.

Controlar las causas de los riesgos operacionales en las actividades de punzonamiento.

Determinar el porcentaje de actividades riesgosas presentes en una operación de punzonamiento.

## **2.5 Hipótesis de la Investigación**

### **2.5.1 Hipótesis General**

La aplicación de la técnica *HAZID* en las operaciones de punzonamiento de pozos *offshore* minimizaron los factores de riesgo mediante la identificación y toma de medidas de prevención.

### **2.5.2 Hipótesis Específicas**

Las malas condiciones de seguridad durante el transporte fue el principal factor de riesgo.

El almacenamiento de explosivos utilizados para la operación de punzonamiento presenta riesgos inherentes para las personas durante la operación por ello uno de los medios más eficientes para reducir el riesgo explosivo es el uso de la técnica *HAZID*.

Usar como referencia la norma API R67 (*Recommended Practice for Oilfield Explosives Safety*) con la técnica *HAZID* pudo controlar los riesgos operacionales durante la operación de punzonamiento.

## **2.6 Justificación de la Investigación**

La realización de este trabajo de tesis es poder demostrar que la técnica *HAZID* en las operaciones de punzonamiento en pozos *offshore* es una buena práctica recomendada que identifica, previene e implementa barreras efectivas para minimizar los factores de riesgo en operaciones de punzonamiento.



Dejar un flujo de trabajo empleando la técnica *HAZID* en las operaciones de punzonamiento de pozos *offshore* ubicados en la cuenca Talara que sirva como guía para la minimización de accidentes y que sirva para que las empresas de servicios puedan emplearla como referencia dentro de sus operaciones de punzonamientos a fin de poder salvaguardar a la seguridad de los operarios y poder proteger sus activos.

## **2.7 Identificación de Variables**

### **2.7.1 Variables Independientes**

Se identificó 4 variables:

- Almacenamiento.
- Transporte.
- Selección de materiales explosivos y equipos.

### **2.7.2 Variables Dependientes**

Se identificó una variable dependiente:

- Operación de punzonamiento.

## **2.8 Operacionalización de Variables**

En la Tabla 1 se muestra las variables de estudio con su respectiva definición operacional.

**Tabla 1** Operacionalización de variables.

<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual de variable</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Indicador</b>
<b>Dependiente</b>	Operación de punzonamiento.	Actividad de disparo de alta precisión que permite conectar el reservorio con el pozo	-	-
<b>Independiente</b>	Almacenamiento.	Actividad que almacena todos los materiales empleados en la actividad de punzonamiento.	-	Cantidad de material explosivo guardado en un lugar específico.
	Transporte.	Actividad que traslada de un lugar a otros materiales usando en el punzonamiento.	-	Unidad móvil que transporta los materiales explosivos acondicionada.
	Selección de materiales explosivos y equipos.	Utilización de los materiales óptimos que se van a emplear en el punzonamiento.	-	El uso de materiales que especiales que soportan altas presiones y temperaturas.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.9 Matriz de Consistencia

En la Tabla 2 se muestra la matriz de consistencia.

**Tabla 2 Matriz de consistencia.**

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
<p><b>Problema General</b> ¿De qué manera la técnica <i>HAZID</i> podrá eliminar o reducir los daños ocasionados por los factores de riesgos en la operación de punzonamiento de pozos petroleros <i>offshore</i> en la cuenca Talara?</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p><b>P1</b> ¿Cómo identificar el factor de riesgo durante el transporte de materiales de punzonamiento?</p> <p><b>P2</b> ¿Cómo identificar el factor de riesgo durante el almacenamiento de materiales de punzonamiento?</p> <p><b>P3</b> ¿Cómo se controla las causas de los riesgos operacionales que puedan producirse en las operaciones de punzado <i>offshore</i>?</p>	<p><b>Objetivo General</b> La aplicación de la técnica <i>HAZID</i> en las operaciones de punzonamiento de pozos <i>offshore</i> minimizaron los factores de riesgo mediante la identificación y toma de medidas de prevención.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p><b>O1</b> Identificar el factor de riesgo durante el transporte de materiales de punzonamiento.</p> <p><b>O2</b> Identificar el factor de riesgo durante el almacenamiento de materiales de punzonamiento</p> <p><b>O3</b> Controlar las causas de los riesgos operacionales en operaciones de punzonamiento.</p> <p><b>O4</b> Usar palabras guías empleadas en la técnica <i>HAZID</i> en las actividades de punzonamiento.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> La aplicación de la técnica <i>HAZID</i> en las operaciones de punzonamiento de pozos <i>offshore</i> en otros países minimizaron los factores de riesgo mediante la identificación y toma de medidas de prevención.</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p><b>H1</b> Las malas condiciones de seguridad durante el transporte fue el principal factor de riesgo.</p> <p><b>H2</b> El almacenamiento de explosivos utilizados para la operación de punzonamiento presenta riesgos inherentes para las personas durante la operación por ello uno de los medios más eficientes para reducir el riesgo explosivo es el uso de la técnica <i>HAZID</i>.</p> <p><b>H3</b> Usar como referencia la norma API R67 con la técnica <i>HAZID</i> pudo controlar los riesgos operacionales durante la operación de punzonamiento.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b> Operación de punzonamiento.</p> <p><b>Variables Independientes</b> Almacenamiento. Transporte. Selección de materiales explosivos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 3.1 Marco Teórico

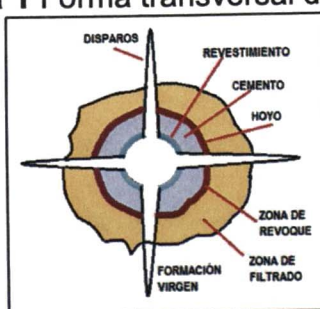
#### 3.1.1 Punzonamiento

La principal estrategia utilizada para establecer la conexión entre un pozo y un yacimiento se conoce como punzonamiento. Su propósito es superar las barreras existentes en el pozo para alcanzar la capa de roca inexplorada. Estas barreras que se deben atravesar pueden variar dependiendo del tipo de completación que se haya realizado al pozo. (Aceros G. & Sarmiento M., 2017) .

#### 3.1.2 Operación de Punzonamiento o Baleo del pozo

El proceso de disparo de producción es crucial durante la fase de finalización de los pozos porque facilita la conexión entre los fluidos del yacimiento y la tubería que cubre el pozo. La transferencia de fluidos será igualmente eficiente si los disparos se realizan de manera eficiente. La operación de disparo no es una técnica independiente; se debe tener en cuenta especialmente al elegir el tamaño de la tubería de producción porque esto afectará el diámetro exterior de los cañones y su capacidad de penetración. Varios son los elementos que pueden influir en el resultado de los disparos, como por ejemplo, el grado de la tubería de revestimiento, la densidad de los disparos, el tipo de formación, así como la humedad y temperatura presentes. (API, 1971). La figura 1 se puede visualizar de manera esquemática la operación final de punzonamiento.

**Figura 1** Forma transversal de baleo



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.3 Tipos de Punzonamiento**

#### **3.1.3.1 Disparo de bala**

Las formaciones con una resistencia a la compresión inferior a 6000 psi utilizan armas de fuego con balas de diámetro igual o superior a 3 1/2". Los disparos con balas de 3 1/4" o de mayor tamaño pueden lograr una penetración mayor que las armas de chorro en formaciones con una resistencia a la compresión inferior a 2000 psi. La velocidad de la bala del cañón es de aproximadamente 3300 pies por segundo. Las armas de fuego con balas pueden estar diseñadas para disparar simultáneamente o de manera selectiva. Las balas pasan por el revestimiento y atraviesan el cemento hasta llegar a la formación. El rendimiento disminuye con la dureza de las formaciones, el revestidor y los cementos de alta consistencia. Aunque actualmente no se usa mucho, aún se usa en formaciones blandas. (Mendoza P., 2012).

#### **3.1.3.2 Disparo a chorro**

El proceso de disparo a chorro implica que un detonador eléctrico inicie una secuencia de eventos en cadena, comenzando con la detonación del cordón explosivo, seguida de una carga intensificada de alta velocidad y, finalmente, el explosivo principal. El revestimiento metálico se desmorona debido a la alta presión generada por el explosivo, lo que separa sus capas internas y externas. Un chorro o haz de partículas finas en forma de aguja se libera a una velocidad de aproximadamente 20,000 pies por segundo a medida que aumenta la presión sobre el revestimiento. Cualquier falla en el sistema durante el proceso de disparo a chorro puede resultar en un rendimiento deficiente con una presión de aproximadamente 5 millones de psi. Esto se debe a la secuencia casi perfecta de eventos que ocurren desde la activación del detonador hasta la formación del chorro. Estos fallos pueden

dar lugar a un tamaño irregular del agujero, una penetración deficiente o incluso a la falta completa de disparo. Existen varios factores que pueden causar una falla en el proceso de detonación. Estos incluyen una insuficiencia de corriente o voltaje hacia el detonador, un detonador defectuoso, un cordón explosivo que esté aplastado o torcido, así como el uso de un explosivo principal de baja calidad o mal empacado. Además, la presencia de agua o humedad en las pistolas, el cordón explosivo o las cargas puede resultar en un mal funcionamiento o una detonación deficiente. (Cosad, 1992).

Las pistolas recuperables con un tubo de acero son una forma común de disparos a chorro convencionales a través de tuberías de revestimiento, y suelen ofrecer una penetración adecuada sin causar daños a la tubería.

#### **3.1.4 Nuevas Tecnologías**

Dentro de los progresos alcanzados en el campo de la tecnología de disparo, se encuentran los siguientes:

##### **3.1.4.1 Tubing Conveyed Perforating (TCP) Bajo Balance**

Utiliza cañones bajado con tubería, conocidos como cañones tipo *casing Guns*. Se requiere que sea operado con un fluido limpio a una presión inferior a la del yacimiento (presión hidrostática < presión del yacimiento). Este método permite eliminar los efectos negativos causados por la perforación, la cementación y el punzonamiento, que pueden dañar la formación. Este método permite obtener agujeros más profundos y equilibrados. Es posible perforar varios intervalos al mismo tiempo durante una única operación en el pozo. (Mendoza P., 2012).

##### **3.1.4.2 Técnica Pure**

Es posible utilizarlo con herramientas de *Wireline*, *TCP*, *Coiled tubing* y *Slickline*. Se requiere un nivel adecuado de bajo balance dinámico (donde la presión

hidrostática es menor que la presión en el yacimiento), lo cual se puede lograr mediante el uso de hardware y software especializados para optimizar la producción. Las cargas huecas generan chorros y presiones extremadamente altas que tienen la capacidad de penetrar más allá de la zona dañada durante la perforación, llegando incluso a la roca virgen. Durante el proceso de excavación del túnel, estos chorros fracturan los granos de la matriz y modifican las propiedades mecánicas de la roca circundante. (Benítez G. & Basantes L., 2017).

#### **3.1.4.3 Técnica TCP Propelente - Sobre Balance**

La camisa propelente se encuentra expuesta directamente al agujero y no posee la misma resistencia que el tubo de cañón. En formaciones consolidadas, la cantidad de propelente es menor en comparación con formaciones no consolidadas debido a su capacidad de expandirse de manera más sencilla.

El perclorato de potasio, que es el propelente utilizado, es un explosivo estable y seguro. La camisa necesita cumplir tres requisitos para encenderse: confinamiento, presión y temperatura. Es necesario que haya un exceso de presión hidrostática en comparación con la presión en el yacimiento ( $\text{Presión hidrostática} > \text{Presión del yacimiento}$ ). (Benites G. & Guayasamín C., 2018).

#### **3.1.4.4 Punzonamiento con Wireline**

Un ordenador se encarga de llevar a cabo y supervisar la secuencia de disparo. La herramienta cuenta con un dispositivo de detonación instalado en su parte inferior, donde se conecta el ordenador. En todo momento, el operador tiene la capacidad de activar, disparar o interrumpir la operación. (Salazar C., 2013).

### **3.1.5 Descripción detallada de la técnica (HAZID)**

La metodología HAZID, también denominada Identificación de Peligros (Hazard Identification, por sus siglas en inglés), consiste en un enfoque estructurado para reconocer los peligros y riesgos presentes en una operación o instalación, así como para evaluar la viabilidad de dichos riesgos mediante métodos de análisis cualitativos y cuantitativos. Se emplean métodos sistemáticos para determinar las acciones requeridas con el fin de disminuir o eliminar cualquier riesgo considerado inaceptable. Los análisis de peligros e identificación de riesgos (HAZID, por sus siglas en inglés) resultan fundamentales, ya que permiten a personas con experiencia y competencias pertinentes evaluar los riesgos y dificultades operativas que podrían surgir, lo que disminuye la probabilidad de omitir problemas importantes.

Considerar el nivel de avance del proyecto resulta crucial al llevar a cabo un análisis HAZID, dado que esto permite determinar si es pertinente realizar un estudio temprano para influir en las decisiones del proyecto o si es más adecuado esperar hasta contar con más información disponible. Los estudios HAZID pueden clasificarse en dos tipos: conceptual y detallado.

Conceptual: El propósito de esta investigación es ofrecer una explicación minuciosa de los elementos vinculados a la localización en la cual se llevará a cabo el proyecto. Esto incluye características físicas, socioeconómicas, accesibilidad y otros aspectos pertinentes. También se detallan las actividades requeridas para ejecutar el proyecto en esa ubicación específica. Este estudio se realiza en las etapas iniciales del proyecto con el objetivo de identificar los riesgos sistemáticos asociados con las instalaciones o la actividad. El enfoque utilizado se fundamenta en una lista de verificación para asegurar la inclusión de todos los elementos relevantes. Dado que se trata de un estudio preliminar, es posible que la información disponible sea



limitada, pero ciertos documentos pueden ser de utilidad, como los siguientes ejemplos:

- Notas de iniciación del proyecto.
- Planes de Desarrollo de campo.
- Legislación aplicable.
- Regulaciones ambientales.
- Estándares de la Compañía de relevante aplicación
- Política operativa de la compañía

Detallado: Un análisis HAZID detallado se lleva a cabo en las etapas avanzadas del proyecto, una vez que se ha desarrollado el diagrama de proceso y se ha realizado un inventario completo de los riesgos asociados con las actividades consideradas, así como los parámetros y métodos que se utilizarán para llevarlas a cabo. Estos estudios son especialmente útiles cuando se han producido cambios en el diseño original de los equipos, procesos o planta.

#### HAZID detallado para una actividad:

En un análisis detallado de HAZID para una actividad específica, como la sísmica, perforación, instalación o actividad constructiva, además de la lista de documentos mencionados anteriormente, se incluye la siguiente información que requiere ser evaluada:

- Planos de localización
- Alrededores geográficos
- Planos de la planta, distribución especial de equipos
- Secuencia general de las operaciones, cronogramas (la introducción de tareas y subtareas provenientes de estudios previos es muy útil).

- Procedimientos operativos
- Esquemas de equipos, gráficos operativos
- Gráfico de organización operativa
- Gráfico del movimiento de los equipos dentro del ámbito de trabajo
- Rutas de evacuación
- Borrador del plan de contingencias

#### HAZID detallado para una instalación:

Este tipo de investigación resulta especialmente provechosa al contemplar elementos externos al proceso en sí, como la seguridad y el impacto ambiental asociados a las operaciones y procesos que tendrán lugar en la instalación. A diferencia del análisis conceptual de peligros (HAZID), en esta situación se cuenta con información sustancial, y los documentos más pertinentes son los siguientes:

- Diagrama de flujo.
- Balances de masa para cada diseño opcional.
- Planos de la planta.
- Descripción de los procesos incluyendo todas las operaciones proyectadas.
- Descripción del proyecto, incluyendo todas las opciones, problemas de ciclo de vida y flexibilidad planificada de la planta.
- Política de seguridad.
- Política preliminar operativa.

El enfoque de estudio utilizado combina la identificación y análisis de los riesgos que se encuentran en un "Checklist" (ver Anexo I), junto con las conclusiones obtenidas a partir de una intensa tormenta de ideas. El "Checklist" se encuentra dividido en cuatro secciones principales:

- Sección 1: Riesgos Externos y Ambientales

- Sección 2: Riesgos de la Instalación
- Sección 3: Riesgos a la Salud
- Sección 4: Problemas de Implementación del Proyecto.  
(Mariani).

### **3.1.6 Beneficios de estudio HAZID**

- Se aprovecha la experiencia combinada de diferentes miembros de manera positiva.
- Se fomenta la interacción temprana entre el diseño y el personal final del usuario.
- Se sigue un enfoque sistemático para identificar y reducir riesgos y amenazas.
- Se confirma la adecuación (aptitud) de los equipos para su propósito, eliminando el equipo no esencial durante la etapa de diseño.
- Se establecen los fundamentos necesarios para proceder en la dirección correcta durante el diseño detallado.

Esto ha demostrado ofrecer beneficios al reducir los tiempos de puesta en marcha y los retrasos en la movilización.

### **3.1.7 Evaluación del Riesgo: Matriz de Riesgo**

Después de realizar el Análisis Hazid para detectar los riesgos potenciales en la instalación, se ha llevado a cabo la asignación de un índice de riesgo a cada uno de ellos de manera cualitativa. Esto se hizo con el propósito de contar con una herramienta que permita priorizar las acciones necesarias.

Para evaluar los niveles de riesgo mencionados, se han empleado las matrices de clasificación de incidentes (consultar tabla 4) y la interpretación de las categorías de riesgo (consultar tabla 3). En esta interpretación, la Categoría de Severidad de las

Consecuencias considera el posible daño a las personas, al medio ambiente y a la propiedad (ver Tabla 6).

**Tabla 3 Matriz de tolerabilidad de riesgo.**

			Categorías de frecuencia								
			Descripción / Características				A Extremadamente remota	B Remota	C Poco probable	D Posible	E Frecuente
			Personas	Patrimonio / continuidad operacional	Medio ambiente	Imagen	Conceptualmente posible, pero sin referencias en la industria	No se espera que ocurra, aunque existen referencias en instalaciones es similares en la industria	Es poco probable que ocurra durante la vida útil de un conjunto de unidades similares	Probable que ocurra una vez durante la vida útil de la instalación	Puede ocurrir muchas veces durante la vida útil de la instalación
Categoría de Severidad de las Consecuencias	V	Catástrofa	Múltiples fatalidades intramuros o fatalidad extramuros	Daños catastróficos que pueden conducir a la pérdida de la instalación industrial.	Daños severos en áreas sensibles o extendiéndose a otros sitios	Impacto internacional	M	M	I	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidad intramuros o lesiones graves extramuros	Daños severos a sistemas (aparación lenta)	Daños severos con efecto Localizado	Impacto nacional	T	M	I	NT	NT
	III	Medía	Lesiones graves intramuros o lesiones leves extramuros	Daños moderados a sistemas	Daños moderados	Impacto regional	T	M	M	I	I
	II	Marginal	Lesiones leves	Daños leves a sistemas / equipos	Daños leves	Impacto local	T	T	M	M	M
	I	Despreciable	Sin lesiones o como mínimo casos de primeros auxilios	Daños leves a equipos sin compromiso de la continuidad operacional	Daños insignificantes	Impacto insignificante	T	T	T	T	M

**Tabla 4 Criterios de tolerabilidad o categorización de riesgos.**

Categoría de Riesgo	Probabilidad x Severidad	Descripción de Nivel de Control Necesario
Tolerable (T)	1-4	No hay necesidad de medidas adicionales. El monitoreo es necesario para asegurar que los controles sean mantenidos
Moderado (M) o Region ALARP	5-10	Controles adicionales deben ser evaluados con el objetivo de obtenerse una reducción de los riesgos e implementar aquello considerados practicable
Importante (I) o Region ALARP	11-15	
No-Tolerable (A)	16-25	Los controles existentes son insuficientes. Métodos alternativos deben ser considerados para reducir la probabilidad de ocurrencia y, adicionalmente, las consecuencias de manera de traer los riesgos para regiones de menor magnitud de riesgo.

A continuación, se presentan los valores de probabilidades para el proyecto en la Tabla N°5.

- Frecuencia de exposición: Es la cantidad máxima de ocasiones en las que es probable que una (o varias) persona(s) se encuentre(n) expuesta(s) a un riesgo específico durante el tiempo que duren las labores.

- Falla de sistemas / historial: información previa identificada y/o documentada en el ámbito de la empresa o del sector.

**Tabla 5 Probabilidad de ocurrencia o frecuencia.**

<b>Categoría</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>
1	Extremadamente Remota <1 en 10 <sup>5</sup> años	Evento que es posible que ocurra, pero que a la fecha no existe ningún registro histórico en la industria
2	Remota 1 en 10 <sup>3</sup> años a 1 en 10 <sup>5</sup> años	No se espera que ocurra durante la vida útil de la instalación, aunque existan referencias históricas.
3	Poco Probable 1 en 30 años La 1 en 10 <sup>3</sup> años	Es posible que suceda al menos una vez durante la vida útil de la instalación.
4	Probable 1 por año a 1 en 30 años	Se espera que ocurra más de una vez durante la vida útil de la instalación.
5	Frecuente >1 vez al año	Evento que es posible que suceda una o más veces por año.

La evaluación de las consecuencias de un evento se basa en los factores que aumentan la susceptibilidad al daño, y se clasifica en una escala de cinco niveles. Cuando se realizan estimaciones cualitativas, se recurre a una tabla que describe los diferentes niveles de consecuencias.

**Tabla 6** *Categoría de Consecuencias.*

Categorías	Descripción			
	Seguridad del Personal	Medio Ambiente	Instalaciones	Imagen de la Empresa
I Despreciable	Sin lesiones o primeros auxilios	Sin daños o con daños mínimos al medio ambiente	Sin daños o daños insignificantes a los equipos o instalaciones	Sin impacto
II Marginal	Lesiones leves en empleados y terceros ausencia de lesiones extramuros	Daños debido a situaciones o valores considerados tolerables entre niveles mínimos y medianos	Daños leves a los equipos o instalaciones	Impacto local
III Medio	Lesiones de gravedad moderada en personas intramuros. Lesiones leves en personas extramuros	Daños debido a situaciones o valores considerados tolerables entre niveles medianos y bajos	Daños severos a los equipos o instalaciones	Impacto regional
IV Crítico	Hasta 3 muertos en el sitio o heridos graves fueron de las instalaciones	Daños graves con efectos localizados	Daño severo a los sistemas (reparación lenta)	Impacto nacional
V Catastrófico	Provoca muertes o lesiones graves en una o más personas intra o extramuros	Daños debido a situaciones o valores considerados encima de los niveles máximos tolerables	Daños irreparables a los equipos o instalaciones (reparación lenta o imposible)	Impacto nacional y/o internacional

Para poder evaluar el entorno de la severidad de las consecuencias entre Persona, Activo, Medio Ambiente y Reputación se utilizó las siguientes tablas según corresponda:

**Tabla 7 Severidad de Consecuencias según Persona.**

Categoría	Personas	Escala de Evaluación
CRÍTICO	Fatalidad de una o más personas Más del 10% de deserción inhabilidad para contratar	5
IMPORTANTE	Lesiones con tiempo perdido. Lesiones múltiples Impacto sobre la salud a largo plazo. Discapacidad permanente. Evacuación de la comunidad más cercana. Deserción igual o mayor del 5% pero menor al 10%.	4
MODERADO	Incidente con pérdida de tiempo. Impacto sobre la salud a corto plazo. Evacuación del lugar de trabajo. Deserción igual o mayor del 1% pero menor al 5%	3
MENOR	Lesiones que requieren atención médica. Trabajo restringido. Evacuación inmediata del área de trabajo. Deserción de menos del 1%.	2
INSIGNIFICANTE	Primeros auxilios.	1

**Tabla 8 Severidad de Consecuencias según Activos.**

Categoría	Economía (activos)	Rango
5 CRÍTICO	>US\$ 10.000.000	Igual o Mayor a US\$ 10*000.000
4 IMPORTANTE	< US\$ 10.000.000	Menos de US\$10'000.000 hasta US\$ 1'000.000
3 MODERADO	< US\$1.000.000	Menos de US\$ 1*000.000 hasta US\$ 100.000
2 MENOR	< US\$ 100,000	Menos de US\$ 100.000 hasta US\$ 10.000
1 INSIGNIFICANTE	< US\$ 10.000	Meros de US\$ 10.000

**Tabla 9 Severidad de Consecuencias según Medio Ambiente.**

Categoría	Medio ambiente	Escala de Evaluación
CRÍTICO	Daño ambiental severo de largo plazo Liberación severa ( $\geq 1000$ RQ).	5
IMPORTANTE	Daño ambiental severo de corto plazo Liberación mayor ( $> 100$ RQ hasta $< 1000$ RQ).	4
MODERADO	Daño ambiental moderado. Liberación significativa ( $> 10$ RQ hasta $= 100$ RQ).	3
MENOR	Daño ambiental menor. Liberación baja ( $> 1$ RQ hasta $= 10$ RQ).	2
INSIGNIFICANTE	Liberación mena ( $\leq 1$ RQ)	1

**Tabla 10 Severidad de Consecuencias según Reputación.**

Categoría	Reputación	Escala de Evaluación
CRITICO	Prolongada atención internacional o norte americana intervención de agencias gubernamentales Completa vinculación de ONG	5
IMPORTANTE	Atención a nivel nacional. Atención norte americana. Meddas de entes gubernamentales. Toma de acción por parte de ONG.	4
MODERADO	Atención en la comunidad o la región Atención de agencias gubernamental. Atención de ONG.	3
MENOR	Atención de te empresa a n wel local	2
INSIGNIFICANTE	Atención interna del departamento rwotucrado	1

### 3.2 Marco Conceptual

El tema de este trabajo está en función a la técnica *HAZID*, aplicado a la industria de los hidrocarburos en específico en la operación de punzonamiento. A continuación, se mostrará conceptos de palabras claves en la presente tesis.

#### **Punzonamiento**

Proceso que involucra la comunicación entre el pozo con las formaciones productoras de interés mediante aberturas realizadas en el *casing* y la zona cementada.

#### **Hidrocarburos**

Mezcla compleja de elementos de Carbono e hidrógenos, principalmente de C y O que se pueden encontrar en estado líquido, sólido o gaseoso.

#### **Yacimiento**

Área que contiene uno o varios reservorios productores de hidrocarburo.

#### **Variables de proceso**

Magnitudes físicas que están presentes en un proceso.



### **Práctica Recomendada**

Recomendaciones de un grupo de industrias que aseguran buenas prácticas de en la operación de un proceso.

#### ***Hazard Identification (HAZID)***

La técnica consiste en la detección de posibles peligros durante la fase de diseño, construcción y puesta en funcionamiento de instalaciones. Se realiza un análisis exhaustivo de riesgos una vez que se cuenta con una cantidad considerable de información sobre el proyecto, incluyendo diagramas de flujo de procesos, borradores de balances de masa y temperatura, planos, y otros elementos relevantes.

#### ***Hazard and Operability analysis (HAZOP)***

Técnica que permite identificar riesgos, analizar causa, tipificar accidentes y tomar medidas de prevención mediante la aplicación de palabras guías.

#### **Causas**

Motivos por los que se pueden presentar las desviaciones.

#### **Riesgos**

La probabilidad de ocurrencia de un resultado específico en un período de tiempo o bajo circunstancias particulares.

#### **Consecuencias**

Resultado que se obtienen producto de una desviación.

### **CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

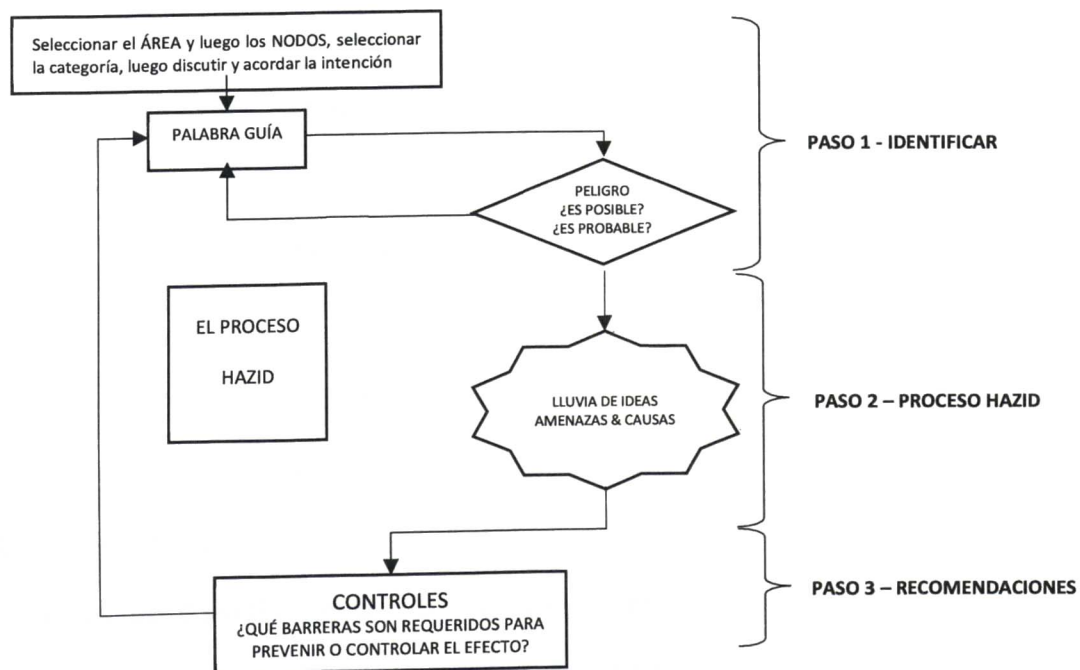
#### **4.1 Metodología de Investigación**

A continuación, se muestra de manera resumida en un flujo de trabajo en la Figura 3 donde detalla los pasos a seguir.

- Recopilar información con respecto a la ubicación de los principales yacimientos *offshore* ubicados en el noroeste del Perú.

- Esquematizar e identificar las operaciones de punzonamientos que se realizan en el *offshore* peruano.
- Crear una estructura de control para la instalación, que servirá como punto de partida para el análisis posterior que se llevará a cabo.
- Identificar zonas vulnerables dentro de las operaciones de punzonamiento.
- Tomar medidas de prevención que permitan prevenir la ocurrencia de factores de riesgos dentro de la operación
- Conclusiones y recomendaciones.

**Figura 2** Flujo de trabajo *HAZID*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se realizará en este trabajo será del tipo cualitativo y aplicativo.

#### **4.1.2 Fuentes de Datos**

La fuente de datos principales serán los datos obtenidos de los artículos científicos.

#### **4.1.3 Población y Muestra**

##### **4.1.3.1 Población**

Campos petroleros *offshore* del noroeste del Perú.

##### **4.1.3.2 Muestra**

Operaciones de punzonamiento realizado en pozos ubicados en un lote *offshore* perteneciente a la cuenca Talara.

#### **4.1.4 Recolección de Datos**

La recolección de datos se centrará en experiencias de campos de lotes *offshore* del noreste peruano, ingenieros especialistas, artículos y tesis relacionadas a la aplicación de la técnica *HAZID*.

#### **4.1.5 Análisis de Datos**

Los diagramas que se obtienen de la técnica de *HAZID* se introducirán a un cuadro de trabajo, se analizarán e identificarán los factores de riesgo.

#### **4.2 Caso de Estudio**

El caso de estudio es en instalaciones *offshore* petroleras en donde se implementará la técnica *HAZID* en operaciones de baleo.

#### 4.2.1 Características del caso de estudio

Para un mejor análisis de las operaciones de punzado vamos a dividir en nodos:

- Almacenamiento.
- Transporte
- Armado de Escopeta.
- Punzonamiento del pozo

### CAPÍTULO IV: ANÁLISIS OPERACIONAL

#### 4.1. Armado de escopeta

En locación se debe tener solo al personal que va a realizar el trabajo de armado de escopeta. Se comienza identificando el tipo de *carried* que se va a utilizar esto permite saber cuál será el procedimiento de armado de la escopeta,



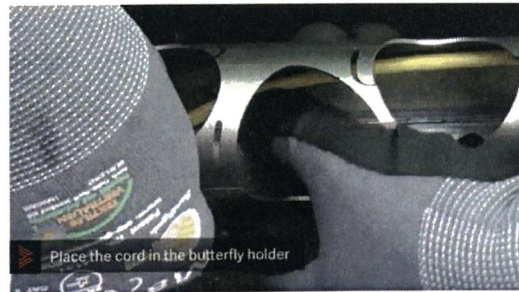
**Figura 3** Inicio del armado de la escopeta.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

luego se coloca el cordón detonante (esto es según el tipo de *carried*) dentro de la *carried*, revisando que este no presente cortes, dobladuras, espacios planos mientras se está colocando, esto sirve para garantizar que el tren de detonación sea continuo. El cordón no debe estar envuelto por fuera del tubo de carga.



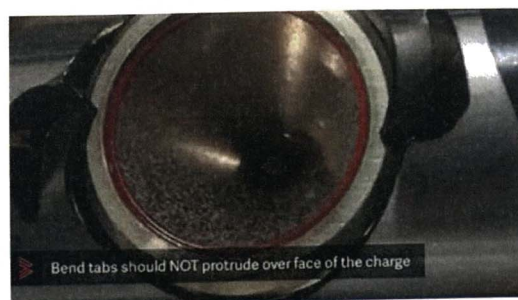
**Figura 4** Cordón detonante mal armado.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Colocar el cordón dentro de los retenedores (*butterfly holder*), inmediatamente después colocar la carga hasta que esta esté completamente en el orificio.



**Figura 5** Cordón dentro de los sujetadores.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

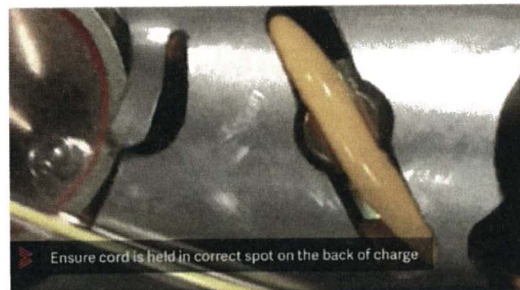
Asegurar la carga doblando la punta exterior figura 7 empujando esta dentro del orificio.



**Figura 6** Puntas dobladas para sujetar la carga.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Las puntas dobladas no deben sobresalir sobre la cara de la carga, asegurarse que el cordón detonante se mantenga en su correcto lugar el cual es detrás de las cargas.

De esta manera seguir cargando el resto de las cargas dentro del *carrier*.



**Figura 7** Cordón correctamente sujetado  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Al terminar de completar el Carrier, reconfirmar que todas las cargas estén en el lugar según el plan de carga.



**Figura 8** Escopeta terminada de cargar  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Instalar el *boosters* bidireccional (este nos ayuda a transferir el tren de detonación de un cañón a otro cuando están en *tanden*) y cañón (tubo donde se coloca).



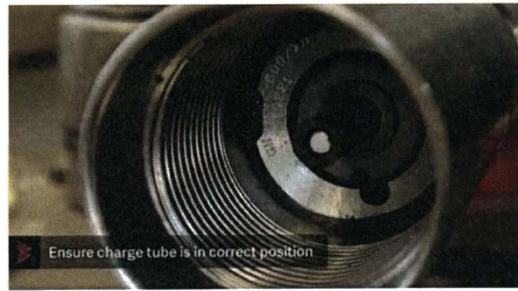
**Figura 9** Instalación del boosters  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Asegurarse que el Carrier este alienado con el cañón para que la bala salgan por los orificios.



**Figura 10** Etiqueta de clasificación tipo de explosivo.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Asegurar que este puesto el *snaplin* (esto ayuda a que el Carrier no se pueda mover o desplazar y esto puede ocasionar que no detone el *booster*, no estar bien alineado y salir las balas por fuera de los *escalop*).



**Figura 11** Snaplin.

Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Si se requiere instalar los top *subs* o *tándems* para unir cañón con otro cañón



**Figura 12** Subs o tandems.

Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### 4.2. Almacenamiento de Explosivos

La empresa de servicio que provee los explosivos primarios y secundarios debe tener dispositivos de almacenamiento que son especiales para explosivos, el material explosivo debe almacenarse en un polvorín que esté debidamente ubicado a una distancia requerida. Es esencial que este dispositivo explosivo esté configurado de acuerdo con todas las leyes y regulaciones vigentes en el país, así como cumpliendo con las precauciones de seguridad fundamentales, tales como: minimiza la exposición al público, proteger del acceso no autorizado.

Usualmente se usan 2 tipos de almacenamiento:

- o Tipo 2: bunker temporal para exteriores o interiores.
- o Tipo 3/ IME-22: Cargador temporal-uso diario.



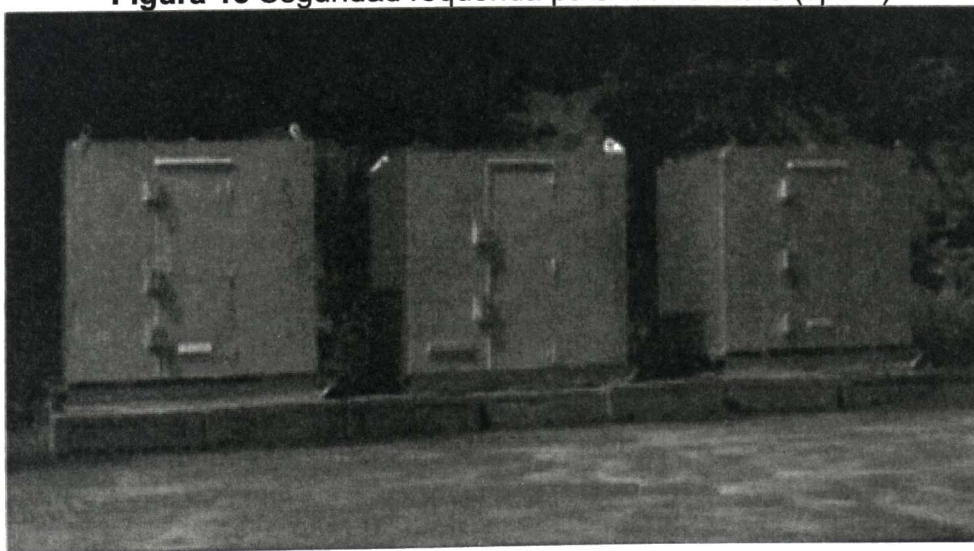
Las medidas de seguridad para los *bunkers* para exteriores Tipo 2 deben estar encerrados por:

- Valla de tela metálica: Mínimo de 6 pies de altura.
- Alambre de púas: tres (3) hilos en la parte superior.
- Portón: Cerradura de Alta Seguridad (Abloy) y Asegurado.

El gerente local debe asignar un área designada a los *bunkers* de interior Tipo 2 y anotarlas en la placa de construcción.

- El acceso debe estar restringido de personal no autorizado por una puerta o puerta.

**Figura 13** Seguridad requerida para los *bunkers* (tipo 2)



Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

### Especificaciones para contenedores (Tipo 2)

- Todos los bunkers al aire libre deben cumplir con estos requisitos mínimos.
- Debe estar pintado de un color claro.
- Resistente al fuego: diseñado para brindar protección contra incendios (no menos de acero de calibre 26).
- Resistente a robos: diseñado para disuadir la entrada ilegal (2 candados).
- Resistente a la intemperie: diseñado para ofrecer una protección razonable contra cualquier evento climático
- Resistente a balas: paredes y puertas construidas para resistir la penetración de una bala (impacto directo).
- Ventilado: para evitar la amortiguación y el calentamiento del material explosivo almacenado.

### Especificaciones para contenedores (Tipo 2), internos

- Debe estar pintado de ROJO.
- Almacenamiento de cargadores: Máximo de 50 lb. (22,7 kg) de explosivos.
- Máximo 5000 detonadores.
- Explosivos primarios y secundarios pueden estar almacenados en el mismo bunker, pero en espacios separados.
- Etiqueta de advertencia en los cuatro lados y en la parte superior, las etiquetas deben decir: EXPLOSIVOS - "MANTENER EL FUEGO ALEJADO".
- Estar a menos de 10 pies (3 m) de una puerta.
- Separados por 3 m (10 pies) - 2 revistas.

- Ruedas y tirador para facilitar su extracción.

**Figura 14** Bunker interno tipo 2.



Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Segregación de explosivos

- Compartimiento Detonadores
  - o Explosivo primario
    - Detonadores Eléctricos
    - Detonadores no eléctricos
    - iniciadores
    - Encendedores: BP-5
    - Fusible de retardo
- Compartimiento de cargas
  - o Explosivo secundario
    - Cargas
    - Cordón detonante
    - Cortadores de chorro
    - Pellets para herramientas de corte

- Cargas de energía de combustión lenta
- Cargos de energía estándar
- Encendedores secundarios
- *Booster* Bidireccionales

**Figura 15** Compartimientos del *bunker*



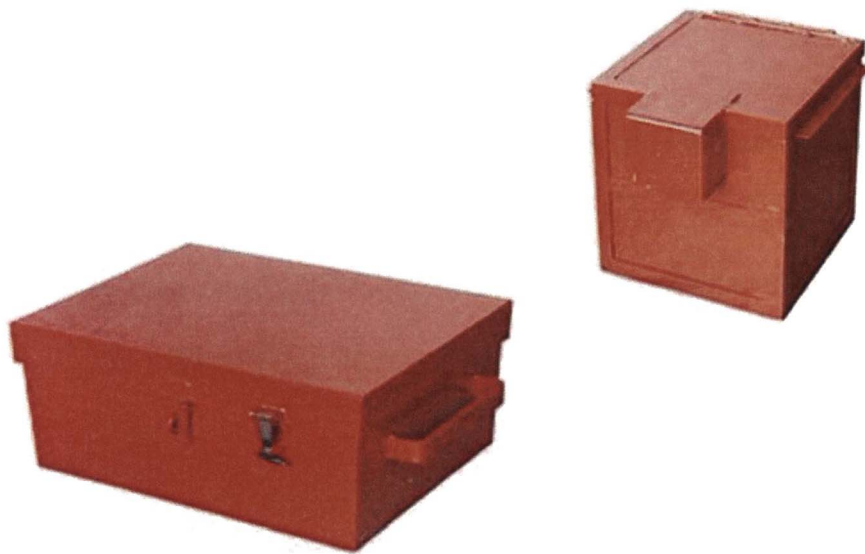
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Requerimientos generales para contenedores temporales (Tipo 3)

- Tipo 3/ IME-22 (Caja de día)
  - Resistente al robo
  - Resistente al fuego
  - Resistente al clima
- Son solo para explosivos
  - IME-22: Explosivos primarios (detonadores)
  - Tipo 3: Explosivos secundarios (cordón detonante, cargas)

- Requisitos de transporte para bunker temporales:
  - o El vehículo debe estar atendido en todo momento.
  - o Fuera del vehículo debe estar a la vista
  - o Debe estar permanentemente sujeto al vehículo o sujeto con una cadena y un candado de alta seguridad aprobado

**Figura 16** Bunker tipo 3 o IMEI 22



Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### **4.3. Transporte de Explosivos**

Requisitos de los vehículos para el transporte de explosivos

- Solo se utilizarán vehículos aprobados por la empresa que realiza el servicio.
  - o Unidades, Camionetas, Remolques, Grúas...
  - o Transportistas contratados aprobados (*Hotshot*)

- Todos los vehículos deben estar en buenas condiciones de funcionamiento.
- Las correas de carga (eslingas) deben cumplir con los requisitos de carga adecuados
  - o Asegúrese de que haya suficientes correas disponibles, si están dañadas, deséchelas
  - o Debe estar espaciado cada 5 pies
  - o La carga de menos de 5 pies debe tener 2 correas
- Requisitos generales y de seguridad
  - o No fumar dentro de los 50 pies de un vehículo que transporta explosivos.
  - o Sin carga/descarga mientras el motor del vehículo está funcionando.
  - o Los explosivos deben estar adecuadamente asegurados; dos medios.
  - o El transporte de cañones debe tener dos medios de seguridad y uno debe incluir un mecanismo de bloqueo.
- Transporte de Explosivo Primario:
  - o El vehículo no se dejará desatendido.
  - o Deberá estacionarse a más de 5 pies de una vía pública, calle o carretera.

#### Transporte por vehículo

- Las unidades de adquisición de registros deben tener racks de herramientas especiales; probada para cargas
  - o Portaherramientas internos con bolsas de aire y mecanismo de bloqueo

- La bolsa de aire interna debe inflarse
- Carga encadenada y encerrada dentro del compartimiento de la unidad
- Pick ups - el portón trasero debe estar cerrado
  - Los bastidores de herramientas (lanzacohetes) deben someterse a pruebas de carga
  - No puede exceder los límites físicos de la estructura del automóvil.
  - La carga debe estar amarrada, encadenada y bloqueada a la unidad.
  - Las correas deben cumplir con los requisitos de espacio



**Figura 17** El “lanzacohetes” o bastidor de herramienta  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.



**Figura 18** Traslado los explosivos.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Transporte por tráiler

- En buena condición
  - o Luces y sistema de frenado independiente: funcionan correctamente
- Debe tener capacidad de carga y tener una cabecera, rieles laterales y puerta trasera (carteles según sea necesario)



**Figura 19** Ubicación de las eslingas cada 5 ft  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.



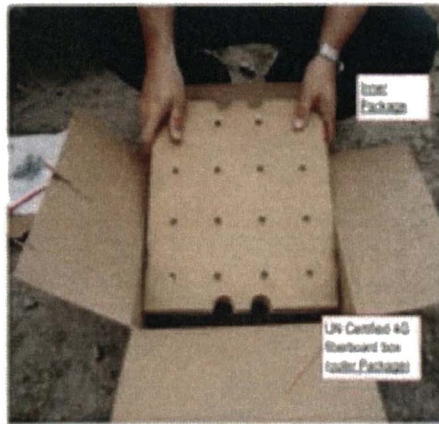
- racks anticipas para asegurar los cañones; aseguramiento adecuado para evitar que el envío roce
- Asegurado por cadena y candado de alta seguridad, amarrado para evitar cualquier movimiento de la carga
- Los remolques especiales de más de 20 pies deben tener un sistema de frenado adicional
- La carga no puede extenderse más allá del parachoques o del remolque

#### Transporte *offshore* - *Pallet*

- Debe cumplir con los requisitos de la superficie
- No debe exceder las 200 libras de peso explosivo neto
- Los cañones no pueden extenderse más allá de la tarima y tener los extremos cerrados
- Racks especiales para asegurar cañones
  - o Asegurado por dos medios

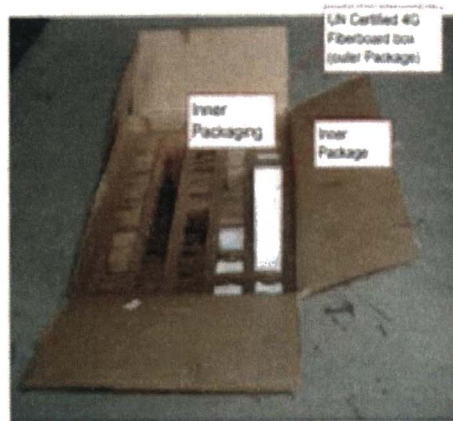
#### Transporte de Paquetes de explosivos

- Todos los explosivos deben empaquetarse en empaques de fabricantes que cumplan con las especificaciones de la UN
  - o Cañones de perforación a chorro: cumplen requisitos especiales y se consideran un paquete de envío completo
  - o Se pueden transportar pequeñas cantidades de detonadores en contenedores aprobados (Revista IME -22 - Cerrojo con capucha)
- Todos los embalajes internos y/o externos deben usarse con todos los explosivos.



**Figura 20** Caja de Cargas.

Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.



**Figura 21** Caja de detonadores.

Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

- Requisitos de la etiqueta del paquete:
  - o Una etiqueta de peligro por paquete
    - Situado cerca del nombre de envío adecuado
    - Tamaño: 4in X 4in
    - Contendrá la designación G de Clase, División y Compatibilidad

- Los símbolos y el texto deben estar en negro
- el fondo es naranja



**Figura 22** Etiqueta del paquete de explosivos  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

- Todos los paquetes deben tener estas marcas requeridas:
  - Nombre de envío adecuado (Tipo de explosivo)
  - Número de parte
  - Número UN o NA (designado por las Naciones Unidas)
  - Número EX (Número de peligro aprobado para explosivos)
- Además de:
  - Código de cambio de fecha, cantidad de paquete y peso explosivo
- El marcado debe cumplir estos requisitos.
  - Estar en inglés, visible y legible

DIVISIÓN	DESCRIPCIÓN	PICTOGRAMA	PALABRA SEÑAL	INDICACIÓN DE PELIGRO
1.1	Municiones que presentan peligro de explosión masiva.		Peligro	Peligro de explosión masiva
1.2	Municiones que tienen riesgo de proyección pero no de explosión masiva.		Peligro	Peligro de proyección grave.
1.3	Munición que tiene riesgo de incendio y riesgo de proyección menor o ambos, pero no riesgo de explosión masiva.		Peligro	Peligro de incendio, explosión o proyección.
1.4	Municiones que no presentan peligro significativo.		Advertencia	Peligro de proyección o fuego.

**Figura 23** El cuadro muestra el tipo de explosivos.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Peso Explosivo: Bruto vs Neto

- El peso bruto es el cuerpo del cañón más el peso del explosivo
  - o Peso Bruto de Explosivos:
    - < 1001 libras: no se requiere *placard*
  - o Peso Bruto de Explosivos:
    - > 1001 libras: *placard* 1.4D
- La siguiente figura 26 anuncia que no presenta un significativo peligro y tipo de explosión secundario.



**Figura 24** Placa de explosivo.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

- A menos que el peso NETO exceda las 200 libras
  - o El peso neto es solo el material explosivo RDX, HMX, azida de plomo
  - ...
  - o Más de 200 libras: *placard 1.1D*.
- La figura 27 anuncia que tiene una masa de explosión peligrosa
- y tipo de explosión secundario



**Figura 25** Placa de explosivos.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

## Procedimientos Operacionales

Estos procedimientos están diseñados para cumplir con los estándares globales para operaciones con explosivos.

- Instituto Americano del Petróleo (API RP-67)
- Las Naciones Unidas (UN)
- Instituto de Fabricantes de Explosivos (IME SLP)
- Órganos de Gobierno Locales y Agencias Reguladoras

En caso de conflicto, prevalecerá la regla más estricta de las dos.

Se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad como, por ejemplo:

- Cada empleado es responsable de su propia seguridad y la seguridad de otros empleados, contratistas y público mientras trabaja con explosivos.
- Obedecer todas las políticas de la empresa, leyes locales, reglamentos Transporte, almacenamiento, manejo y uso
- NO fume cerca de explosivos, 50 pies (distancia mínima segura)
- Nunca deje explosivos desatendidos ni permita el acceso no autorizado
- NO luche contra incendios explosivos
- Nunca altere ningún dispositivo explosivo

Control de inventario y desecho de material explosivo

- Una caja de explosivos por cargador de cañones
  - o Cuando se vacía, se destruye
  - o Quitar todas las marcas de explosivos, aplanar y desechar las cajas.
- Abrir inventario, inspeccionar y actualizar regularmente
  - o NO deje explosivos desatendidos

- Todos los residuos deben almacenarse e inventariarse adecuadamente.
  - o Los residuos primarios deben almacenarse por separado.
- Los residuos explosivos deben ser eliminados de acuerdo con la normativa local por un agente autorizado
- La responsabilidad de deshacerse de los desechos es de la empresa petrolera que presta el servicio.



**Figura 26** Desechar las cajas de explosivos de forma incorrecta  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Cargue y almacenaje de cañones con explosivos

- Cada arma cargada debe estar etiquetada 1.4D
  - o Densidad de disparo, tipo de carga...
  - o Protegido por un candado de alta seguridad
- El montaje/almacenamiento debe ubicarse por separado
  - o Elimina el peligro potencial con tapas y tapones ventilados
  - o NO almacene armas vivas; solo dispositivos interrumpidos

- No debe exceder el peso explosivo NETO máximo establecido por las agencias regionales
- Debe tener asignado un ID de inventario, ingresado en el Libro de armas cargadas; Almacenado no más de 90 días

#### Procedimiento de llegada a locación

- Ver el área buscando peligros como:
  - o Líneas eléctricas aéreas, Torres RF, Protección Catódica
  - o Equipos de perforación Top Drive, winches eléctricos
  - o Tea, llamas abiertas, soldadura
  - o Zonas de alto tráfico
  - o Líneas de presión/fractura
  - o Trabajos en altura
  - o Tormentas
  - o Peligros aéreos
  - o Peligros físicos
- Identificar todos y cada uno de los peligros que afectarán el trabajo.
- Tenga en cuenta estos para la reunión de seguridad
- Eliminar o controlar todos los Peligros identificados
- Hable con el representante de la empresa sobre estas inquietudes.
- Organizar una reunión sobre seguridad/riesgos laborales antes de que los explosivos se desaseguren y se preparen para su uso

#### Reunión de Seguridad

- Cuatro reuniones obligatorias sobre peligros/seguridad en el trabajo
  - o A la llegada
  - o Cambio de tripulación



- Personal afectado
- Alcance del trabajo
- Asistentes a las Reuniones de Riesgos Laborales/Seguridad
  - Miembros de la cuadrilla
  - Contratistas (personal de terceros)
  - Personal afectado para las operaciones
- Las reuniones de seguridad documentadas deben firmarse y publicarse dentro de la unidad.
- Los temas deben incluir:
  - Revisión de los peligros de la evaluación del sitio
  - Identificar al supervisor de cuadrilla
  - Identificar el Titular de la Llave Balística y sus responsabilidades
  - Revisión de las asignaciones de tareas de la tripulación
  - Identificar y acordonar el área de carga y armado de armas
  - Tenga en cuenta que solo el personal autorizado y capacitado participará en las operaciones balísticas.
  - Cubrir quién, cuándo y cómo se producirá la Nivelación del PCE con Explosivos
  - Discutir información de evacuación de emergencia, punto de reunión
  - Discusión abierta de cualquier otro tema.

#### Iluminación en el pozo

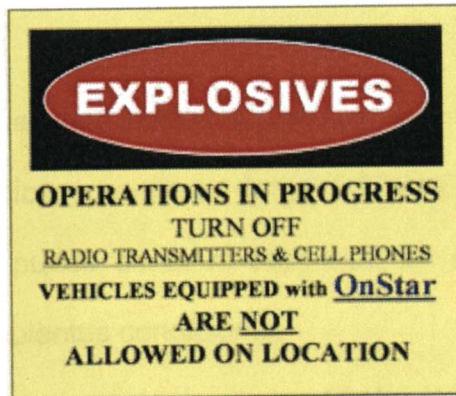
- Iluminación adecuada presente en el lugar
  - Operaciones Nocturnas

- Fuentes de luz suplementarias aprobadas dentro del área explosiva designada
- Linternas homologadas, faros delanteros (LED)

#### Área de Arme en la locación

- Las áreas explosivas designadas deben estar a 15 m (50 pies) de cualquier fuente de calor o equipo de soldadura.
- Asegúrese de que el área esté libre de obstáculos y escombros
  - o Suficientemente grande para acomodar ensamblaje explosivo
- Sin dispositivos eléctricos o alimentados por batería (solo neumáticos)
  - o Las excepciones deben tener aprobación previa
- Solo se admiten equipos explosivos en el área
  - o Manténgalo limpio y revisado periódicamente.
  - o Eliminar los residuos según sea necesario
- Solo Personal Autorizado dentro del área explosiva
  - o Debe estar directamente involucrado en las operaciones de carga.
- Se deben practicar medidas de inventario y control en todo momento con los explosivos expuestos.
- NO deje explosivos sin asegurar o sin supervisión
- El bunker debe permanecer bloqueado en todo momento a menos que se agreguen o eliminen explosivos para el trabajo en cuestión.
- Actualizar inventario
  - o Debe ser preciso en todo momento.
  - o Separe cualquier desperdicio y guárdelo en un contenedor Seguro

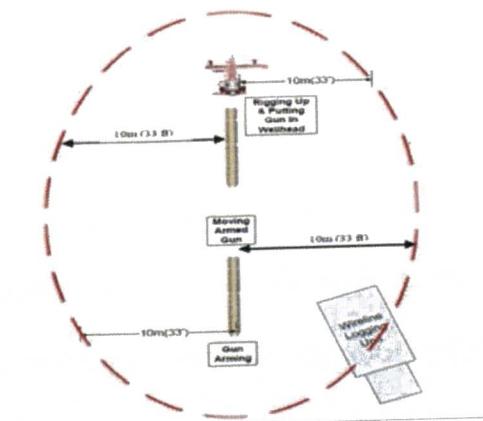
- Área restringida: colocar letreros de explosivos en la entrada
- Debe estar escrito en el idioma local apropiado
- No hay radios dentro de los 10 m (33 pies) del área explosiva



**Figura 27** Cartel de seguridad para trabajos con explosivos  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

Zona de radio frecuencia segura

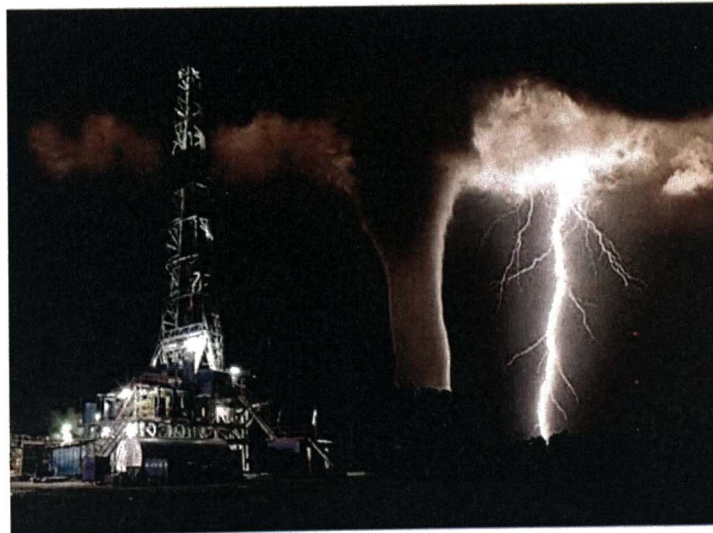
El área debe estar sellada o acordonada en relación con el dispositivo explosivo



**Figura 28** Distancia de seguridad de 10 m del lugar de trabajo  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

### Verificación de condiciones climáticas

- Obtener un informe meteorológico antes de iniciar cualquier operación explosiva
- Manténgase actualizado sobre las condiciones climáticas cambiantes
- Todas las operaciones balísticas deben DETENER
- El cañón no se puede armar ni desplegar en el pozo cuando están presentes las siguientes condiciones
  - o El relámpago está dentro de los 16 Km (10 millas)
  - o Las tormentas de nieve, arena o polvo son inminentes
- Cuando hay tormentas eléctricas, dentro del límite de 16 km (10 millas), se debe aplicar el siguiente paso
  - o Asegure todas las operaciones balísticas hasta que la tormenta se mueva fuera del límite
  - o Se debe cumplir con un período de espera de 30 minutos desde el último sonido del trueno
- Cuando las condiciones se deterioran durante la operación de armado, ¡piense primero en la seguridad!
  - o Si no es seguro completar la operación y bajar el conjunto de disparos por debajo de los 70 m (200 pies); ¡PARE la operación!
  - o Si es posible, devuelva el explosivo primario al bunker.
  - o Despeje el área y deje la configuración del dispositivo en su lugar



**Figura 29** Verificación de las condiciones climáticas  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

#### Chequeo de Voltaje Paracito

- No continúe si el voltaje paracito es de 0,25 voltios o más entre:
  - o Taladro, cabeza de pozo y cable
- El voltaje DEBE ser eliminado
  - o Identificar el tipo de voltaje AC/DC
  - o Apague las fuentes de alimentación externas uno
  - o Supervise durante el apagado, identifique la Fuente



**Figura 30** Medidor de Voltaje paracito.  
Fuente: Consejo Profesional Ingeniería Petróleos.

- Si los voltajes NO PUEDEN reducirse por debajo del umbral de 0,25 voltios para el uso estándar del detonador con resistencia
- Las siguientes dos opciones deben ser consideradas
  - o #1: El nivel de voltaje es inferior a (<) 2 voltios, debe usar un detonador seguro de RF de alta energía
  - o #2: Operaciones de perforación transportada por tubería (TCP)
- Si el voltaje no se puede bajar por debajo del límite de 2 voltios:
  - o Todas las operaciones explosivas deben suspenderse hasta que la fuente pueda reducirse a un nivel aceptable

#### Silencio de Radio o Radio Frecuencia

- Grandes torres de transmisión dentro de 1,6 km (1 milla) con:
  - o Potencia de funcionamiento superior a (>) 100 vatios
  - o Frecuencia de funcionamiento inferior a (<) 27 MHz
- Se deben usar detonadores seguros de RF
- Consulte la normativa local o IME SLP20 para obtener más información

#### Chequeo de voltaje en herramientas

- Herramientas energizadas: cualquier herramienta que funcione con energía de superficie mientras está conectada a un dispositivo explosivo
  - o Gamma Gun, Herramienta FP
- Antes de conectar cualquier artefacto explosivo
  - o Se debe realizar una verificación de función con energía aplicada.
- Asegúrese de que no se lea voltaje en la parte inferior de la herramienta

#### Preparación de unidad de *Wireline*

- Antes de armar, siga estas medidas para el aislamiento de la energía eléctrica del cable
  - o Equipo de superficie - apagado
  - o Apague las fuentes de alimentación ininterrumpidas
  - o Desconecte la alimentación externa
  - o Desenganche los *breakers*
  - o Apague los generadores alámbricos
  - o Retire la LLAVE DE SEGURIDAD
- NO vuelva a aplicar energía hasta que el dispositivo explosivo esté a 70 m (200 pies) de forma segura por debajo de la superficie o del fondo del mar.
- Antes de armar siga estas medidas para el aislamiento de la energía eléctrica del cable
  - o Caja de armado: gire la palanca a "Seguro"
  - o Retire la "Llave segura" - entregue al titular de la llave
  - o Desenganche el interruptor maestro
  - o Apague los generadores
- Desconecte cualquier alimentación externa, si está conectada
- No vuelva a aplicar energía hasta que el dispositivo explosivo esté seguro debajo de la superficie o del fondo del mar.

#### Procedimiento de Arme (Conectar Detonador)

- Verifique que el voltaje parasito sea  $< .25$  voltios
- El supervisor de campo retirará el detonador del cargador
  - o Coloque inmediatamente el detonador en el tubo de seguridad
- Verifique que el detonador tenga una resistencia de ohmios adecuada

- Utilice el medidor *Blasters* aprobado: M-109(SE)
- Solo el Supervisor de Campo o JFE "Aprendiz"
  - "Armar el dispositivo balístico"
  - Conecte los cables a los cables del canon.
  - Conecte el detonador al *primacord*
- ARME DE DISPOSITIVO BALISTICAMENTE:
  - ELÉCTRICO antes que BALÍSTICO
- ¡NUNCA pre armar ningún artefacto explosivo, NUNCA!

#### Correr el cañón al pozo

- Responsabilidad del *key holder*
  - Posicionar el cañón sobre el pozo
  - Asegure el lubricador a la cabeza del pozo
- Ecuación del pozo, asegúrese de que la trampa de la herramienta/válvula esté abierta antes de correr hacia el fondo del pozo
  - Contar las vueltas
- Correr el dispositivo balístico a 70 m (200 pies) por debajo del suelo o del fondo del mar
  - *Key holder* puede devolver la llave segura a la unidad
  - Restaurar energía eléctrica en la unidad de registro

#### Retornar a superficie el cañón

- Deténgase a 70 m (200 pies) por debajo del nivel del suelo o del fondo del mar
- Volver al silencio de radiofrecuencia (RF)
- Apagar generadores
- Retire la llave segura, devolver al titular de la llave



- Asegúrese de que *Bump-Up* se haya completado, colocar el cañón en la trampa de herramientas, libere cable
- Cerrar el pozo y purgar la presión del PCE
- Rompa la conexión y retire el dispositivo balístico, acuéstese
- Separe el dispositivo balístico del cable y prepárese para la próxima ejecución, tenga en cuenta la presión atrapada dentro del dispositivo explosivo.
- Mantener el área limpia

## **CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**



Nº	Estrategia	Subestrategia	Español Impulsado	Campaña de Póster	Público	Causas	Estrategia de Identidad de Comunicación				Cifra de Resultados Esperados		Cifra de Resultados Reales		Impacto						
							Público	Adaptación	Replicación	Estrategia de Comunicación	Estrategia de Comunicación	Estrategia de Comunicación	Estrategia de Comunicación	Estrategia de Comunicación							
																Personas	Medios de Comunicación	Medios de Comunicación	Medios de Comunicación		
1	Operación de Puntaje	Amor de Escuela	Banco de Cafeteros y Espositivos	Operación	Alumnos de secundaria y bachillerato (Cafeteros)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	5	1	4	Personas	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	1	3	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>		
3	Operación de Puntaje	Amor de Escuela	Banco de Cafeteros y Espositivos	Operación	Alumnos de secundaria y bachillerato (Cafeteros)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	1	3	1	4	Reputación	3	4	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	
3	Operación de Puntaje	Amor de Escuela	Banco de Cafeteros y Espositivos	Operación	Alumnos de secundaria y bachillerato (Cafeteros)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	1	3	1	4	Reputación	2	4	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	1	3	1	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificar la campaña de comunicación (objetivos, mensajes, canales, etc.)</li> <li>Identificar a los actores involucrados (Cafeteros, Espositivos, etc.)</li> <li>Elaborar el contenido de la campaña (textos, imágenes, etc.)</li> <li>Realizar la campaña de comunicación (distribución de materiales, etc.)</li> <li>Evaluar los resultados de la campaña (alcance, impacto, etc.)</li> </ul>



### Resultados Obtenidos de la Matriz Hazid:

Para poder realizar la evaluación de riesgo inherente y residual se utilizó la siguiente tabla, en donde se multiplica según su categoría la severidad y la frecuencia:

**Tabla 11 Severidad por Frecuencia**

		Categorías de frecuencia				
		(1)Extremadamente remota	(2) Remota	(3) Poco probable	(4)Posible	(5) Frecuente
Categoría de Severidad de las Consecuencias	(5)Catastrófica	5	10	15	20	25
	(4)Crítica	4	8	12	16	20
	(3)Media	3	6	9	12	15
	(2)Marginal	2	4	6	8	10
	(1)Despreciable	1	2	3	4	5

Se realizó un cuadro resumen de los riesgos inherentes a las operaciones de almacenamiento, transporte offshore, armado de escopeta y punzonamiento de pozo, los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 12 Resumen de los riesgos inherentes en cada etapa de la operación.**

Riesgo Inherente	Almacenamiento	Transporte Offshore	Armado de Escopeta	Punzonamiento de Pozo	Total
<b>RESUMEN</b>					
Verde	0	0	0	1	1
Amarillo	3	3	2	2	10
Naranja	0	0	1	2	3
Rojo	0	0	0	1	1

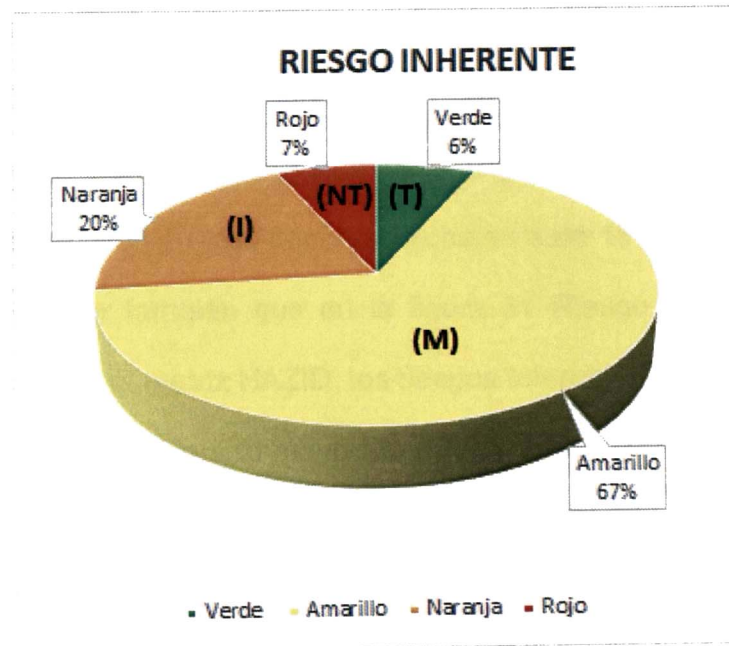
Para estos riesgos inherentes se propusieron medidas de control & contención, salvaguardas preventivas y salvaguardas mitigantes; estos métodos de prevención lograron disminuir la cantidad de riesgo no tolerable e importante a riesgo moderado y tolerable, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 13** *Resumen de los riesgos después de los controles y salvaguardas.*

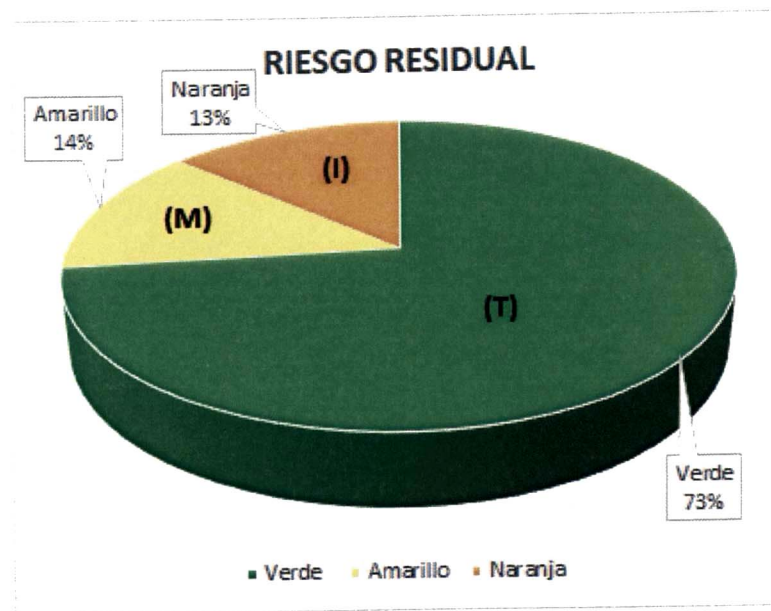
Riesgo Residual	Almacenamiento	Transporte Offshore	Armado de Escopeta	Punzonamiento de Pozo	Total
<b>RESUMEN</b>					
Verde	3	3	2	3	11
Amarillo	0	0	1	1	2
Naranja	0	0	0	2	2
Rojo	0	0	0	0	0

**Tabla 14** *Tabla resumen del Riesgo Inherente y Residual.*

Resumen	Riesgo Inherente	Riesgo Residual
Verde	1	11
Amarillo	10	2
Naranja	3	2
Rojo	1	0
	15	15



**Figura 31** Diagrama del Riesgo Inherente.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 32** Diagrama del Riesgo Residual.  
Fuente: Elaboración propia.



En la figura 31 del Riesgo inherente se observa que la suma de porcentajes de los riesgos No Tolerable (7%) e Importantes (20%) es de 27% y luego de aplicar las medidas de control y salvaguardas figura 32 Riesgo Residual los riesgos No Tolerables desaparecen y los riesgos Importantes bajan a un 13%.

Se puede observar también que en la figura 31 Riesgo Inherente que las actividades estudiadas en la matriz HAZID, los riesgos tolerables son el 6% mientras que el 94% restante tienen un grado mayor de riesgo, esto después de realizar las medidas de control y salvaguardas en la figura 32 Riesgo Residual bajan a un 27% que sería la suma de riesgo Importante (13%) más riesgo moderado (14%).

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

La técnica *HAZID* utilizada logró reducir los riesgos en las operaciones de punzonamiento con ayuda de medidas de control & contención, salvaguardas preventivas y salvaguardas mitigantes eficientes.

La aplicación de la técnica *HAZID* en combinación con una segunda técnica llamada Check List en las operaciones de punzonamiento de pozos logró minimizar los factores de riesgos no tolerable (NT) e importante (I) a riesgo moderado (M) y tolerable (T) de un 27% de inicio hasta disminuir a un 13%.

La aplicación de la técnica *HAZID* proporciona la capacidad de detectar situaciones potenciales de peligro fundamentadas en la razón, relacionadas con incidentes de gravedad, que se pueden evitar mediante la implementación de medidas de control suplementarias a las ya existentes.

En términos generales, se llegó a la conclusión de que aproximadamente el 94 % de las actividades llevadas a cabo durante las operaciones de punzonamiento de pozo presentan riesgos, los cuales se clasifican en un nivel que oscila entre No Tolerable, Importante y Moderado, y estos llegan a disminuir implementando medidas de control & contención, salvaguardas preventivas y salvaguardas mitigantes a un 27%.

Según los resultados del Estudio *HAZID*, se puede afirmar que los niveles de riesgos de la Actividad de Punzonamiento de pozos se reducirían considerablemente implementando las recomendaciones sugeridas por el análisis *HAZID*.

La mayor posibilidad de que ocurra un accidente significativo se relaciona con aspectos humanos durante las actividades subterráneas, específicamente con la presencia de presión atrapada en la herramienta al extraerla del pozo.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar auditorías periódicas de los sistemas de control de procesos e instrumentación, a los equipos y unidades utilizadas para PERFILAJE y PUNZONAMIENTO.

Capacitar a todos los empleados involucrados en la empresa en temas como accidentes mayores, sus causas, consecuencias y prevención.

Realizar el seguimiento respectivo para el cumplimiento de las acciones recomendadas en las diferentes matrices.

Realizar comprobaciones periódicas de las matrices estudiadas para determinar si el riesgo aun es tolerable.

Se recomienda realizar una evaluación de riesgo haciendo uso de HAZID y Check List cada vez que se cambia un escenario de riesgo o una vez al año

## CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

- Aceros G., S., & Sarmiento M., J. (2017). Diseño del Módulo de Selección de Conectividad para el Manual General de Completamiento de Pozos de Ecopetro S.A. *Fundación Universidad de Amércia* , 136.
- API. (1971). Recommended Practice Standard Procedure for Evaluation of Well Perforators.
- Arnold, K., & Sikes, C. (1991). Developing a Generic Approach to HAZOP Analysis of Offshore Production Facilities. *Offshore Technology Conference*.
- Avemañay M., A. (2013). Análisis e Identificación de Riesgos de Operabilidad en Procesos Críticos de Servicios petroleros mediante la aplicación HAZOP en la empresa Baker Hughes - Ecuador. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 206.
- Báez Sánchez, P. (2016). Diseño de un Modelo de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo en las Actividades de Perforación Offshore en Colombia. *Fundacion Universidad de América*, 340.
- Benites G., M., & Guayasamín C., L. (2018). Evaluar la eficiencia del uso de propelente en el punzonamiento y fluido abrasivo como técnicas aplicadas en los pozos del bloque 7. *Universidad Central del Ecuador*, 104.
- Benítez G., M., & Basantes L., C. (2017). Análisis del desempeño de las técnicas de punzonamiento empleadas en el Campo Auca durante el periodo 2015-2016. *Universidad Central del Ecuador*, 122.
- Cosad, C. (1992). Schlumberger Testing Services. *Oilfield Review*.

- Duhon , H. (2011). Stream-Based HAZOP: A More Effective HAZOP Method. *SPE International*, 11.
- García Navarro, S. (2019). Gestión de la Seguridad Durante la Perforación de Pozos en el Norte del Perú. *Universidad Nacional de Piura - Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo*, 193.
- Juárez P., M. (2014). La Metodología HAZOP Aplicada al Análisis de Riesgos. *División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional Autónoma de México*, 145.
- Mendoza P., B. (2012). Análisis mecánico y riesgos para la implementación de la técnica de estimulación fracturamiento con gas a alta energía (HEGF) en pozos colombianos. *Universidad Industrial de Santander*.
- Poblete, B., Parker, C., Ranasinghe, S., & Shikha, M. (2014). Human Factor in Hazard Analysis. *Offshore Technology Conference*.
- Raman, J., & Warner, D. (1991). Application of HAZOP Technique for Maintenance Safety on Offshore Installations. *Society of Petroleum Engineers*, 8.
- Salazar C., E. (2013). Estudio técnico-económico de la aplicación de diferentes técnicas de punzonamiento para incrementar la producción en el campo Sacha. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Vamanu, B., Necci, A., Tarantola, S., & Krausmann, E. (2016). Offshore Risk Assessment. *JRC Technical Reports*, 80.
- Wang, Y., Zhao, Q., Huo, B., & Cai, Z. (2012). Applications of HAZOP Method in the Desing of Shallow Water Catheter Frame Platform. *Advances Material Research*.

## ANEXO I

<b>Verificación del cumplimiento del API 67 "Práctica Recomendada para la Seguridad de Explosivos Petroleros"</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>RESPONSABLE</b>
<b>1.0 MONTAJE DE EQUIPO</b>			
<b>1.1. Llegada a locación</b>			
1. Comunicar a la base la llegada al pozo.	X		
2. Solicitar permiso al supervisor encargado de los trabajos y/o al jefe de equipo de la Unidad de Servicio de Pozos (USP) para el ingreso al pozo de las unidades de punzonamiento.	X		
3. Efectuar la charla de asociado a la ubicación de las unidades, equipos y la operación.	X		
4. Generar el permiso de trabajo respectivo.	X		
5. Reconfirmar el y/o los intervalos a punzonar con el representante del cliente.	X		
<b>1.2 Preparación en la locación</b>			
1. Colocar geomembranas y ubicar unidades.	X		
2. Delimitar área de trabajo de los equipos y los explosivos.	X		
3. Colocar avisos de "PELIGRO" – "EXPLOSIVOS" - "APAGAR RADIOS" en todas las entradas y salidas de la locación.	X		
4. Apagar todos los equipos de transmisión dentro de 300 m. a la redonda durante las operaciones en el pozo.	X		
5. Verificar y/o retirar cualquier cable eléctrico que pueda hacer contacto con la unidad, cable de registros.	X		
6. Mantener las cargas, el cordón detonante y detonador en sus respectivos magazines hasta que se requiera su uso.	X		
7. Destinar un lugar seguro para colocar las cargas, el cordón detonante y detonadores debidamente señalizados.	X		
8. Evitar el retiro de detonadores hasta que no se complete el chequeo de disparo y el área de armado este despejada de todo el personal no necesario.	X		
<b>1.3. Prueba de corrientes parasitas</b>			
1. Conectar el jumper de tierra de la unidad al carrete de tierra.	X		
2. Revisar la continuidad de ambas mordazas a la armadura de cable de registro.	X		
3. Verificar corrientes parásitas	X		
4. Instalar todas las mordazas a la estructura y a la cabeza de pozo que puedan ser puntos potenciales de contacto.	X		
<b>1.4. Armado de explosivos</b>			
1. Verificar que el panel de disparo este en modo SAFE y la llave de seguridad fuera de la unidad.	X		

2. Aislar la fuente de energía del panel de disparo apagando los interruptores principales de la unidad.	X		
3. Cargar y unir los cañones según el programa, aplicando los procedimientos adecuados de cargado de explosivos.	X		
4. Chequear el circuito de cañones con el instrumento adecuado para explosivos (Multímetro)	X		
5. Colocar el detonador en el tubo de seguridad, chequear la resistencia y poner los cables en corto.	X		
6. Verificar que no haya voltajes en esta conexión.	X		
7. Recortar los cables y hacer los empalmes apropiados.	X		
8. Retirar el detonador del tubo de seguridad, y unirlo al cordón detonante e instalarlo en el cañón.	X		
9. Instalar el fondo teniendo cuidado de no empujar o dañar el cable ni el detonador	X		
<b>1.5. Chequeo de disparo</b>			
1. Inspeccionar el área de conexión y verificar que la cuadrilla esté lista para la prueba de disparo.	X		
2. Verificar que NINGUNA PERSONA esté en contacto con el cable conductor o la cabeza de disparo.	X		
3. Proceder la operatividad de CCL, collares y corrientes	X		
4. Activar el interruptor del cable a modo SAFE, quitar la llave de seguridad y sacarla de la unidad y decir "DISPARO OK", "CUELLOS OK", "CABLE ESTA EN CORTO".	X		
5. La llave de seguridad la debe llevar y usar solo el operador.	X		
<b>1.6. Armado de equipo</b>			
1. Ubicar el lubricador, la cabeza inyección de grasa etc. en el orden de armado.	X		
2. Limpiar todas las roscas y cambiar "O rings" de las uniones.	X		
3. Instalar el equipo de control de presión.	X		
4. Conectar las mangueras a la cabeza, asegurar todas las mangueras al lubricador antes de levantarlos.	X		
5. Verificar que la válvula maestra esté cerrada, instalar la brida y BOP en la cabeza de pozo.	X		
6. Asegurar la línea de retorno de grasa, esta grasa saliente no debe reciclarse.	X		
7. Colocar los manómetros en el equipo de presión,	X		
8. Coordinar con el representante del Cliente las pruebas de lubricador y equipo de control de presión.	X		
<b>2.0 OPERACIÓN</b>			
1. Conectar el CCL con el cañón. Alejarse de la línea de disparo al momento de conectar el cañón.	X		
2. Medir la distancia entre el punto de referencia y el disparo superior de cada cañón en caso lo hubiera.	X		
3. Levantar el conjunto del cañón y CCL e introducirlas al lubricador.	X		
4. Colocar el CCL en el punto de referencia cero del pozo (en el tope del lubricador) y colocar el cero en los sistemas de profundidad.	X		
5. Confirmar que las válvulas sean abiertas lentamente para equalizar la presión del pozo en el lubricador y luego cerrar las válvulas laterales y de descarga.	X		
6. Abrir lentamente la válvula maestra.	X		
7. Asignar a un operador para la operación, este de debe de permanecer todo el tiempo con el inyector de grasa.	X		
8. Bajar los cañones a una velocidad (corrida) segura según el ensamble del cañón, unidad y condiciones del pozo	X		

9. Mientras se hacen las corridas verificar que el panel de disparo este en SAFE y que se haya retirado la llave de la unidad antes de alcanzar los 200 pies de profundidad.	X		
10. Registrar una sección si es posible ubicar un niple corto.	X		
11. Tomar registro de CCL mínimo 300 pies e imprimirlo en papel para asegurar la exactitud de la profundidad.	X		
12. Ajustar profundidad de requerirse y correr una nueva sección en profundidad	X		
13. Corregir la profundidad de acuerdo a la ubicación de las cargas con respecto a la distancia del CCL antes de efectuar el disparo.	X		
14. Verificar los manómetros antes y después del disparo.	X		
15. Sacar cañón del pozo a una velocidad segura.	X		
16. Sostener el cable contra el suelo, antes de colocar el cañón al lubricador entre la unidad y la polea inferior para prevenir romper el punto débil cuando golpee el packoff / cabeza de grasa.	X		
17. Cerrar las válvulas luego abrir la válvula de descarga para desfogar el lubricador, cuando el cañón está en el lubricador.	X		
18. Desenroscar y levantar el lubricador para sacar el cañón.	X		
19. Colocar el cañón sobre caballetes, este debe ser tratado como un cañón armado hasta determinar que todas las cargas dispararon.	X		
<b>3.0 DESMONTAJE DE EQUIPO</b>			
1. Preparar vías despejadas y colocar caballetes que se necesiten.	X		
2. Colocar protector en la punta del lubricador y acostarlo.	X		
3. Acostar el cable y las poleas.	X		
4. Desconectar mangueras, instalar protectores y enrollarlas.	X		
5. Reinstalar el cabezal del pozo. Verificar integridad de presión de la tapa del cabezal del pozo.	X		
6. Limpiar el área y dejar la locación.	X		
7. Limpiar, recoger la basura, retornar todos los recipientes vacíos a sus sitios apropiados, DEJAR EL AREA LIMPIA.	X		
8. Salir en convoy.	X		

La técnica Check List para ser efectiva debe cumplirse al 100%.