



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración**

**“Análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo petrolero a través de técnicas y simulación”**

**T e s i s**

Que para optar por el grado de:

**Maestra en Auditoría**

**Campo de conocimiento: Especiales y otros servicios de atestiguamiento**

Presenta:

**Gabriela Avila García**

Tutor:

**M. A. Ernesto Zeuz Zamora Herrera**  
**Facultad de Contaduría y Administración**

**Ciudad de México, agosto de 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**CONTENIDO**

LISTA DE IMÁGENES..... iv

LISTA DE TABLAS..... vi

OBJETIVO..... 1

HIPÓTESIS ..... 1

JUSTIFICACIÓN..... 1

RESUMEN..... 2

INTRODUCCIÓN..... 4

CAPÍTULO I: AUDITORÍA..... 5

    1.1 Auditoría..... 6

    1.2 Clasificación de la auditoría por el lugar de aplicación..... 7

        1.2.1 Auditoría Interna..... 7

            1.2.1.1 Objetivo de la Auditoría Interna..... 8

        1.2.2 Auditoría Externa..... 10

            1.2.2.1 Objetivo de la Auditoría Externa..... 10

    1.3 Clasificación de la auditoría por el área de aplicación..... 10

        1.3.1 Limitaciones de la auditoría..... 12

    1.4 Control interno..... 12

        1.4.1 Elementos de la estructura de control interno..... 13

            1.4.1.1 Entorno de control..... 13

            1.4.1.2 Valoración del riesgo..... 14

            1.4.1.3 Actividades de control..... 16

            1.4.1.4 Sistema de información y la comunicación..... 16

            1.4.1.5 Seguimiento de los controles..... 18

CAPÍTULO II: ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS..... 20

    2.1 Riesgo..... 21

    2.2 Administración de riesgos..... 21

        2.2.1 Objetivos de la administración de riesgos..... 22

    2.2.2 Elementos de la administración de riesgos..... 22

        2.2.3 Proceso de administración de riesgos..... 23

            2.2.3.1 Establecer el contexto..... 23

2.2.3.2	<i>Identificación de riesgos.</i>	26
2.2.3.3	<i>Análisis de riesgos.</i>	28
2.2.3.4	<i>Evaluación de riesgos.</i>	31
2.2.3.5	<i>Tratamiento de los riesgos.</i>	32
2.2.3.6	<i>Monitoreo y revisión.</i>	35
2.2.3.7	<i>Comunicación y consulta.</i>	35
2.2.4	<i>Documentación.</i>	36
CAPÍTULO III:	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	38
3.1	Perforación de Pozos Petroleros.	39
3.1.1	<i>Tipos de perforación.</i>	39
3.1.2	<i>Clasificación de pozos.</i>	41
3.1.2.1	<i>Perforación direccional.</i>	42
3.1.3	<i>Planeación de la perforación de un pozo.</i>	43
3.1.4	<i>Recursos importantes en el proceso.</i>	48
3.2	Análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo.	52
3.2.1	<i>Técnica 1: Sistema de Información Operativa de Perforación (SIOP).</i>	52
3.2.2	<i>Simulación Monte Carlo.</i>	56
3.2.3	<i>Técnica 2: Proceso Analítico Jerárquico (AHP).</i>	62
3.2.4	<i>Técnica 3: Matriz de evaluación de recomendaciones.</i>	72
CAPÍTULO IV:	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.	75
4.1	Ejecución de auditoría.	76
4.1.1	<i>Determinación de objetivos de auditoría.</i>	78
4.1.2	<i>Programa de auditoría.</i>	79
4.1.3	<i>Plan de auditoría e implementación del programa de auditoría.</i>	79
4.1.4	<i>Realización de la auditoría.</i>	81
4.1.4.1	<i>Estudio del proceso.</i>	81
4.1.4.2	<i>Análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo.</i>	85
4.1.4.3	<i>Técnica 1: Sistema de Información Operativa de Perforación (SIOP).</i>	86
4.1.4.4	<i>Simulación Monte Carlo.</i>	92
4.1.4.5	<i>Técnica 2: Proceso Analítico Jerárquico (AHP).</i>	106
4.1.4.6	<i>Técnica 3: Matriz de evaluación de recomendaciones.</i>	111

CONCLUSIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118
ANEXO A.....	120
ANEXO B.....	135
ANEXO C. ....	151

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Ilustración 1.1</b> Elementos de la Auditoría.	6
<b>Ilustración 1.2</b> Elementos de la Auditoría Interna.	8
<b>Ilustración 1.3</b> Elementos de la estructura de control interno.	13
<b>Ilustración 2.1</b> Contexto.	24
<b>Ilustración 2.2</b> Clasificación de eventos.	27
<b>Ilustración 2.3</b> Tipos de análisis.	30
<b>Ilustración 2.4</b> Categorías de respuesta al riesgo.	33
<b>Ilustración 2.5</b> Proceso de la Administración de Riesgos.	37
<b>Ilustración 3.1</b> Pozo petrolero.	39
<b>Ilustración 3.2</b> Perforación convencional.	40
<b>Ilustración 3.3</b> Perforación bajo balance.	40
<b>Ilustración 3.4</b> Clasificación según su estudio.	41
<b>Ilustración 3.5</b> Clasificación según su objetivo y trayectoria.	41
<b>Ilustración 3.6</b> Perfiles de desviación típicos de la perforación direccional y tipo horizontal.	43
<b>Ilustración 3.7</b> Etapas de la planeación de un pozo.	45
<b>Ilustración 3.8</b> Ejecución de la perforación de un pozo.	47
<b>Ilustración 3.9</b> Personal involucrado en la perforación de un pozo petrolero.	48
<b>Ilustración 3.10</b> Equipo de perforación autotransportable.	51
<b>Ilustración 3.11</b> Equipo de perforación convencional.	51
<b>Ilustración 3.12</b> Tiempos reales de perforación.	53
<b>Ilustración 3.13</b> SIOP, fuente: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).	54
<b>Ilustración 3.14</b> Ejemplificación gráfica del comportamiento de una perforación, días vs profundidad.	55
<b>Ilustración 3.15</b> Análisis del SIOP (post mortem).	56
<b>Ilustración 3.16</b> Pasos de la Simulación Monte Carlo.	60
<b>Ilustración 3.17</b> Pasos de la Simulación Monte Carlo.	61
<b>Ilustración 3.18</b> Axiomas.	65
<b>Ilustración 3.19</b> Pasos de la sintetización de juicios.	66
<b>Ilustración 3.20</b> Matriz de evaluación de recomendaciones propuestas.	73
<b>Ilustración 4.1</b> Secuencia de la auditoría basada en la ISO 19011:2018.	78
<b>Ilustración 4.2</b> Cronograma de actividades para la realización de la auditoría.	81
<b>Ilustración 4.3</b> Desglose del proceso (diagrama de tortuga).	84
<b>Ilustración 4.4</b> Pantalla de inicio del análisis metodológico.	85
<b>Ilustración 4.5</b> Matriz de evaluación de recomendaciones propuestas.	85
<b>Ilustración 4.6</b> Índice de perforación en metros/días.	94
<b>Ilustración 4.7</b> Datos iniciales para la simulación (días planeados).	94
<b>Ilustración 4.8</b> Datos iniciales para la simulación (días reales).	95
<b>Ilustración 4.9</b> Índice de NPT de los diez pozos estudiados.	95
<b>Ilustración 4.10</b> Cálculo de NPT mediante Simulación Monte Carlo.	96

<b>Ilustración 4.11</b>	Tendencia de NPT para el próximo proyecto.	97
<b>Ilustración 4.12</b>	Tendencia estadística para el próximo proyecto.	98
<b>Ilustración 4.13</b>	Simulación de la tendencia estadística para el próximo proyecto.	98
<b>Ilustración 4.14</b>	Tendencia de NPT para el próximo proyecto.	99
<b>Ilustración 4.15</b>	Datos iniciales (Costos por proyecto).	100
<b>Ilustración 4.16</b>	Posibles costos planeados para un nuevo proyecto.	101
<b>Ilustración 4.17</b>	Posibles costos reales para un nuevo proyecto.	102
<b>Ilustración 4.18</b>	Tendencia de los costos para el próximo proyecto.	103
<b>Ilustración 4.19</b>	Tendencia estadística de los costos para el próximo proyecto.	103
<b>Ilustración 4.20</b>	Simulación de la tendencia estadística para el próximo proyecto.	104
<b>Ilustración 4.21</b>	Tendencia de costos para el próximo proyecto.	105
<b>Ilustración 4.22</b>	Clasificación de eventos.	106
<b>Ilustración 4.23</b>	Clasificación de eventos.	107
<b>Ilustración 4.24</b>	Clasificación de eventos.	108
<b>Ilustración 4.25</b>	Escala de valores (AHP).	108
<b>Ilustración 4.26</b>	Matriz (AHP).	108
<b>Ilustración 4.27</b>	Normalización de la Matriz (AHP).	109
<b>Ilustración 4.28</b>	Resultados de la evaluación de los primeros criterios (AHP).	109
<b>Ilustración 4.29</b>	Resultados finales de la técnica (AHP).	110
<b>Ilustración 4.30</b>	Resultados finales de la técnica (AHP) incluyendo costos.	111
<b>Ilustración 4.31</b>	Gráfica de los resultados finales de la técnica (AHP) incluyendo costos.	111
<b>Ilustración 4.32</b>	Resultado de la evaluación de alternativas.	114

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Tipos de auditoría en función del área de aplicación.	11
<b>Tabla 3.1</b> Costos de construcción de un pozo.	50
<b>Tabla 3.2</b> Escala de preferencias del método AHP.	64
<b>Tabla 3.3</b> Índice de consistencia.	69
<b>Tabla 3.4</b> Procedimiento AHP.	72
<b>Tabla 4.1</b> Análisis del SIOP (post mortem).	91
<b>Tabla 4.2</b> Análisis de tiempos no productivos de diez pozos.	91
<b>Tabla 4.3</b> Costos indirectos.	92
<b>Tabla 4.4</b> Costos directos.	93
<b>Tabla 4.5</b> Escala de valoración de la probabilidad.	99
<b>Tabla 4.6</b> Escala de valoración de la probabilidad.	100
<b>Tabla 4.7</b> Escala de valoración de la probabilidad.	105
<b>Tabla 4.8</b> Escala de valoración del impacto.	105

## OBJETIVO

**Objetivo general:** Comprender la importancia que tienen diversas herramientas de apoyo para auditar el proceso de perforación de un pozo petrolero (estudio de los tiempos no productivos), de tal manera que, permita al auditor emitir una opinión con un valor agregado.

**Objetivos específicos:** Identificar el beneficio que obtendrá el auditor con los resultados que consiga a través de las herramientas de apoyo.

**Objetivos específicos:** Estudiar los pasos que se deben seguir para facilitar la obtención de resultados por diversas herramientas de apoyo.

## HIPÓTESIS

**Hipótesis principal:** Si se cuenta con herramientas cuantitativas como apoyo en la auditoría será más fácil la toma de decisiones y mejora de procesos, beneficiando futuras auditorías en pozos correlación.

**Hipótesis secundaria:** Los resultados obtenidos por las herramientas de apoyo ayudarán al auditor a crear su propio nuevo modelo de medición, de manera que, en la próxima auditoría será más fácil observar mejora en el proceso de perforación de pozos.

**Hipótesis secundaria:** Los pasos que se deben seguir para facilitar la obtención de resultados por diversas herramientas de apoyo son: identificar, analizar y evaluar los riesgos con posible impacto dentro de las operaciones del proceso.

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la auditoría está en un proceso de evolución, permitiéndole a las empresas buscar la eficiencia y eficacia, logrando la mejor utilización de todos los recursos disponibles.

Al realizar una auditoría, se consideran ciertos aspectos que son vitales para la evaluación de diferentes tipos de riesgos. Estos, pueden ocurrir en la realización de diversas tareas involucradas en el proceso de perforación de un pozo petrolero.

Si se lleva a cabo la metodología propuesta por esta investigación, permitirá al auditor dar un juicio de mayor valor, debido a que, podrá proporcionar recomendaciones sustentadas de manera cuantitativa.

La metodología propuesta beneficiará principalmente a la entidad, porque ayudará a prevenir tiempos no productivos, mejorar los procedimientos y por consecuencia, evitará la elevación de costos durante la ejecución de un próximo proyecto.

Las principales áreas de oportunidad serán visibles, por lo que la opinión del auditor será certera.

## **RESUMEN**

Este trabajo escrito tiene como finalidad realizar un análisis sobre los posibles riesgos que podrían repercutir en el trabajador, en las operaciones, tiempos de ejecución, incremento de costos no programados y en la entidad, principalmente.

Por lo cual, es necesario que el auditor se apoye de cierta información y procedimientos para que impulse a un mejoramiento continuo. Si dentro de las actividades, el auditor identifica riesgos en el proceso de perforación de un pozo petrolero, ayudará a cumplir con los objetivos que pretende alcanzar la entidad.

Para el estudio de este proceso, que suele implicar recursos importantes, cualquier incidencia afectaría los tiempos y costos programados en la planeación de dicho proyecto de perforación de pozos. Por tal motivo, ésta investigación estará basada en el análisis del Sistema de Información de Operación de Perforación (SIOP) como punto de partida, la Simulación Monte Carlo y otras herramientas, que permitirán responder a las siguientes preguntas: ¿Qué se está haciendo mal en el proceso?, ¿Cuáles son los riesgos más latentes durante su ejecución? y ¿Cómo afectan a la entidad?; logrando así, darle las bases al auditor para poder emitir una opinión certera y que con sus sugerencias se puedan optimizar las operaciones de manera eficiente y eficaz.

Por lo anterior con ayuda de Simulación Monte Carlo y otros procedimientos será posible predecir y prevenir eventos no deseados.

El SIOP es una bitácora donde se registran las actividades ejecutadas día con día en la perforación de un pozo petrolero. Con ayuda de esta información, es posible crear un escenario futuro, no lejano de la realidad, permitiendo que los riesgos no se materialicen.

Es importante destacar que, estos riesgos que podrían ser significativos durante la perforación de un pozo se podrán evitar en pozos correlación (pozos petroleros cuyas características petrofísicas tienden a ser similares).

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años dentro la industria petrolera los accidentes y las incidencias son frecuentes, algunos de magnitud devastadora e irreparable. Dichos percances se deben comúnmente a fallas mecánicas, mal manejo de equipo o simplemente por equipo en mal estado y/o inservible.

La seguridad y supervisión de las actividades a realizar por la industria son de suma importancia, porque se pone en peligro al personal y a la continuidad de las operaciones.

Un claro ejemplo fue el accidente en la plataforma Abkatún en abril del 2015 (de Petróleos Mexicanos en la Sonda de Campeche, México), dejando muertos y heridos. La incidencia fue provocada por una tubería corroída, la cual afectó a trabajadores y a la producción de millones de barriles de crudo. Por lo que una excelente instalación, pláticas de manejo de equipo y pláticas de seguridad, posiblemente, lograrían garantizar la reducción de riesgos dentro del ambiente laboral.

La importancia de la auditoría radica en comprobar ciertas condiciones y, principalmente, aportar mejoras de manera integral, imparcial y exacta. Por tal razón, el auditor revisará, verificará, evaluará y tratará de corregir (si fuera necesario) con sus recomendaciones y sugerencias los procedimientos ejecutados por la entidad, ayudándola así, a cumplir sus objetivos.

A través de la auditoría, se previenen inconsistencias en los procedimientos, políticas y controles, verificando lo *“que es”* con *“lo que debe ser”*, siendo el auditor es el principal elemento de comunicación entre los procesos internos y la administración.

Dicho lo anterior, el analizar metodológicamente el proceso de perforación de un pozo petrolero para que éste sea auditado, ayuda a trascender a la industria dentro del país, porque México es productor y exportador de petróleo, pero principalmente, busca la mejora de una empresa y de cada uno de los elementos claves involucrados para garantizar un nivel óptimo ante sus competidores.



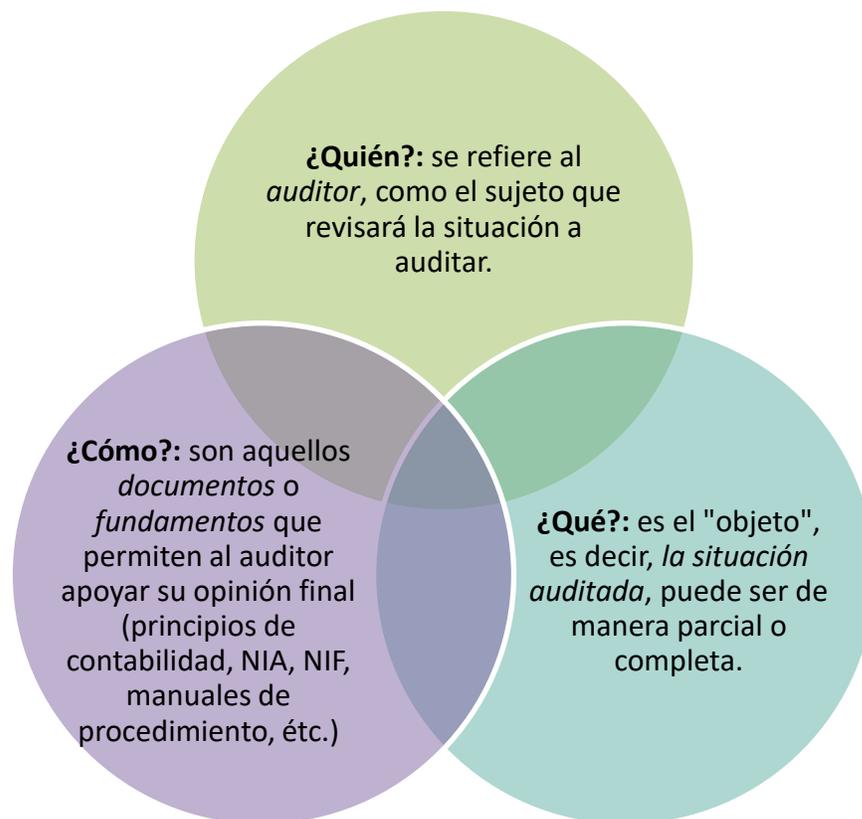
# CAPÍTULO I: AUDITORÍA.

## 1.1 Auditoría.

La auditoría es un proceso sistemático que consiste en obtener, recopilar, acumular y evaluar evidencia (suficiente y adecuada) relacionada con información, operaciones y controles que se desarrollan en una entidad, con el propósito de verificar que dichos aspectos cumplan con las políticas y criterios establecidos; de igual forma, verificar que los recursos se utilicen de manera eficiente y eficaz, ayudando a la entidad a cumplir sus objetivos.

Al finalizar el proceso, el auditor emitirá una opinión final de acuerdo a su juicio profesional (respecto a lo que encontró). En caso de no obtener un resultado satisfactorio al terminar la auditoría, incluirá recomendaciones y sugerencias, en beneficio de la entidad y el personal involucrado en la misma.

Asimismo, el papel que desarrolla el auditor es de suma importancia, porque debe realizar un informe acerca los diversos hechos evaluados, verificando que los mismos tengan un grado de precisión conforme a los principios establecidos.



**Ilustración 1.1** Elementos de la Auditoría.

## 1.2 Clasificación de la auditoría por el lugar de aplicación.

La auditoría tiene diversos campos de conocimiento, todos buscan corregir y mejorar las áreas de oportunidad dentro de una entidad para una correcta toma de decisiones, principalmente, relacionada con información, actividades y controles de sus procesos. Por lo anterior, en primer lugar, se encuentra una clasificación de auditoría según su ámbito: Interna y Externa.

### 1.2.1 Auditoría Interna.

El **IIA** (Instituto de Auditores Internos) la define así:

“Una actividad independiente y objetiva de aseguramiento y consulta, concebida para agregar valor y mejorar las operaciones de una organización. Ayuda a una organización a cumplir sus objetivos aportando un enfoque sistemático y disciplinado para evaluar y mejorar la eficacia de los procesos de gestión de riesgos, control y gobierno.”<sup>1</sup>

El **IMAI** (Instituto Mexicano de Auditores Internos) la define de la siguiente manera:

“Es una función de evaluación y prevención independiente, establecida dentro de una organización para examinar y evaluar sus actividades, como un servicio de apoyo y asesoría al comité de dirección”.<sup>2</sup>

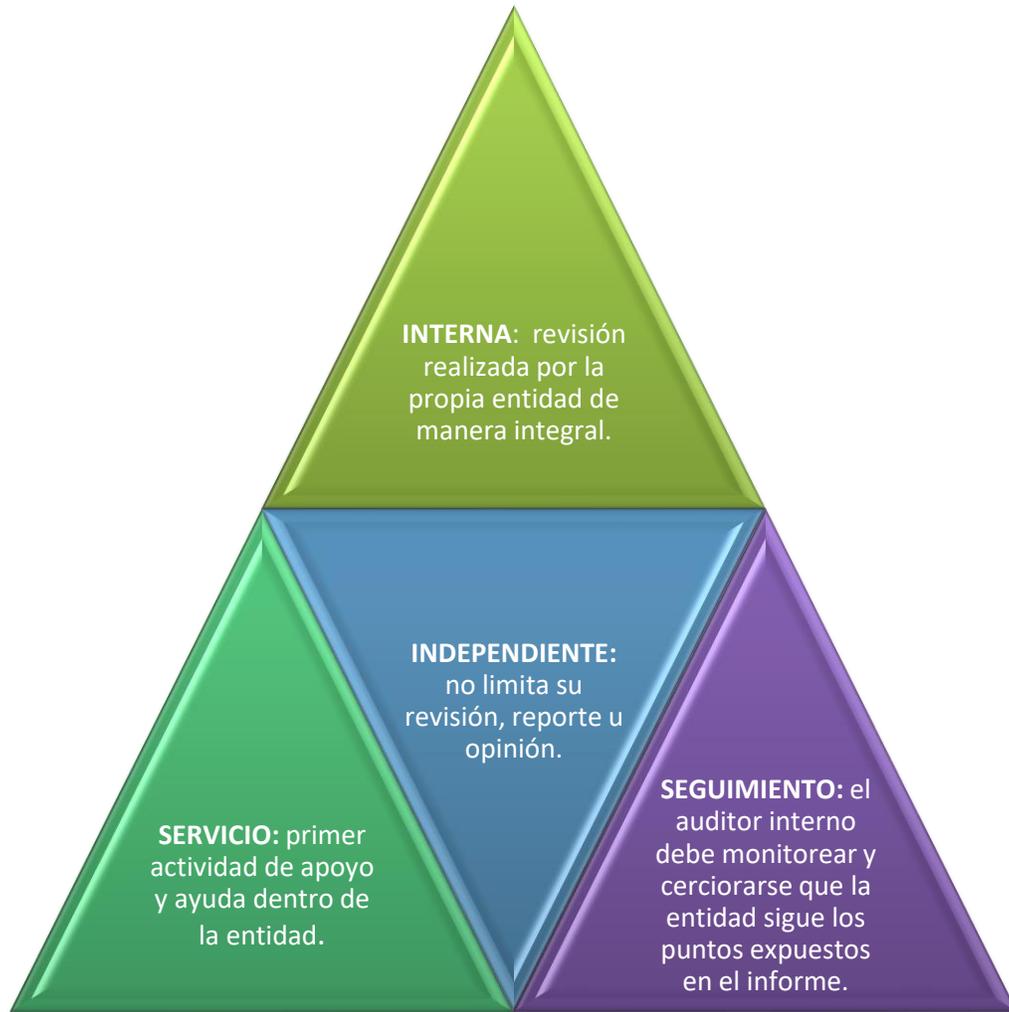
Por lo anterior, podemos definir a la auditoría interna como un control, revisión y evaluación a fondo de aspectos administrativos y/o operacionales de una entidad, siendo realizada de manera periódica por la propia organización o en su nombre de manera integral.

Suele caracterizarse por ser independiente (no limita su revisión, reporte o conclusiones), contempla hallazgos, da un juicio evaluatorio con la intención de informar sobre las deficiencias detectadas y las recomendaciones que se hacen en beneficio de cuestiones administrativas, operacionales, financieras, de control interno, entre otras.

---

<sup>1</sup> *Institute of Internal Auditors, The Statement of Responsibilities of Internal Auditing IIA, E.U.A, 1998, traducción libre.* (Considerado como la naturaleza de la Auditoría Interna)

<sup>2</sup> IMAI, Instituto Mexicano de Auditores Internos, *Declaraciones sobre las normas para la práctica profesional de la Auditoría Interna boletín No. 1, 1998, 5 pp.*



**Ilustración 1.2** Elementos de la Auditoría Interna.

### 1.2.1.1 Objetivo de la Auditoría Interna.

La auditoría interna busca evaluar:

- La eficiencia y eficacia en las operaciones.
- La salvaguarda de activos.
- La confiabilidad de la información económica financiera.
- El cumplimiento con las leyes y normas aplicables.

Por lo anterior, el objetivo primordial de la Auditoría Interna es:

“Apoyar a los miembros de la empresa en el desempeño de sus actividades, proporcionándoles análisis, evaluaciones, recomendaciones, asesoría e información de las actividades revisadas y la promoción de un efectivo control a un costo razonable”.<sup>3</sup>

Actualmente, la auditoría Interna está en un proceso de evolución, presenta un amplio panorama de acciones, operaciones y actividades a cubrir, ya que, ahora las empresas son más competitivas y buscan utilizar de mejor manera todos sus recursos, tanto materiales, financieros y humanos: siendo el mejor apoyo los auditores internos, que están inmersos en la operación, la conocen y forman parte de la misma.

Cada auditoría tiene un propósito, por ende, los procedimientos, análisis y/o evaluaciones estarán en función del entorno a auditar, debido a que cada elemento busca cubrir de manera total o parcial algo específico. Es necesario que el auditor tenga amplia visión y conocimientos sólidos para poder desempeñarse en cualquier proceso.

Al realizar una auditoría, es esencial conocer la empresa a auditar, su entorno, predecir los riesgos que encontraremos y tener un criterio imparcial. Considerando esto, el auditor se convertirá entonces en el principal elemento de comunicación entre los procesos internos y la administración.

Los procedimientos durante la auditoría son claves para que el auditor pueda verificar lo “*que es*” con “*lo que debe ser*”, cumpliendo con su objetivo, emitir una opinión acertada y sustentada por la evidencia documental, logrando así mitigar los riesgos que afecten a la organización.

Es importante conocer la ubicación de la auditoría dentro del marco organizativo y saber si cuenta con cierto grado de independencia, para poder alcanzar los objetivos planteados desde un inicio. La auditoría interna reporta a un comité de auditoría formado por consejeros independientes, ajenos a la gestión del negocio, con lo cual fortalece su independencia y le permite cumplir con las expectativas que enfrenta respecto a prevenir riesgos y agregar valor a la estructura de la entidad. Por lo anterior, es primordial que el auditor conozca cómo se

---

<sup>3</sup> Santillana González, Juan Ramón, *Auditoría Interna Integral*, 7 p.

integra el comité de auditoría porque estará en constante comunicación con ellos y serán de apoyo para la realización de sus tareas.

### **1.2.2 Auditoría Externa.**

La auditoría externa es un examen sistemático, crítico y detallado, de cierta información, operaciones y controles de una entidad, realizado por un auditor sin vínculos laborales dentro de la misma. Al finalizar el ejercicio, el auditor emitirá una opinión final sobre la situación actual de la entidad (si la información emitida se encuentra libre de errores y/o anomalías), siendo objetivo y siempre incitando a la mejora en las áreas de oportunidad.

El auditor externo, debe poseer los conocimientos necesarios para poder evaluar información y/o procedimientos que están destinados para terceras personas, con el propósito de dar cierto grado de confianza y validez a los usuarios de los elementos en revisión, de manera independiente y complementaria a la auditoría interna.

#### **1.2.2.1 Objetivo de la Auditoría Externa.**

Su principal objetivo es verificar que los procedimientos implementados y la información emitida por la entidad, tengan cierto grado razonabilidad, integridad y exactitud, cumpliendo con la normatividad correspondiente. Al finalizar la auditoría, la opinión final tendrá trascendencia entre terceros. La auditoría externa viene a complementar a la auditoría interna, confirmará aquello que fue identificado previamente.

### **1.3 Clasificación de la auditoría por el área de aplicación.**

La auditoría es practicada dentro de una entidad u organización, se caracteriza por tener diversos enfoques, de acuerdo con su campo de aplicación, es posible clasificarla según su tipo:

<b>Tipo</b>	<b>Materia</b>	<b>Enfoque</b>
<b>Integral</b>	Grado y forma de cumplimiento de los objetivos de una organización con su entorno.	Cumplimiento de los objetivos de la entidad y de los entes relacionados.
<b>De desempeño</b>	Factores críticos de desempeño.	Examina los recursos disponibles (humanos, financieros y materiales) con el objetivo de asegurarse de que estos recursos están siendo aplicados con eficiencia y economía razonable.
<b>Ambiental</b>	Equipos y procesos de una empresa, así como de la contaminación que genera.	Evalúa el cumplimiento de políticas ambientales y requerimientos normativos (legales).
<b>De cumplimiento</b>	Actividades financieras y operativas de una entidad.	Determina si la entidad auditada aplica correctamente las condiciones, reglas o reglamentos especificados.
<b>Operacional</b>	Aspectos administrativos.	Busca evaluar la eficiencia y eficacia operativa.
<b>Gubernamental</b>	Aspectos financieros, operacionales y administrativos en las dependencias y entidades públicas, así como en programas gubernamentales.	Examina las disposiciones legales que enmarcan su responsabilidad, funciones y actividades.
<b>De estados financieros</b>	Estados e información financiera de una entidad.	Determina si los estados financieros han sido elaborados conforme a la normatividad contable.
<b>Administrativa</b>	Proceso administrativo.	Busca corregir o reforzar las operaciones dentro de la organización para lograr una ventaja competitiva en el mercado.
<b>Fiscal</b>	Registros contables y documentación.	Determina la exactitud e integridad de la contabilidad.

**Tabla 1.1** Tipos de auditoría en función del área de aplicación.

El enfoque de la auditoría será en función del objetivo que persiga, de esta manera encontraremos distintos tipos de auditoría, mencionadas anteriormente. El enfoque constituye

el patrón a partir del cual se establecerán los procedimientos de auditoría generales a utilizar durante el desarrollo de las tareas encomendadas.

Siempre el ejercicio de auditoría buscará garantizar los elementos principales de una organización y un funcionamiento integral, es decir, garantizar intereses más amplios.

### **1.3.1 Limitaciones de la auditoría.**

Algunos factores que impedirán alcanzar los objetivos de la auditoría son:

- La auditoría no se realiza regularmente porque el auditor la lleva a cabo en un periodo de tiempo largo.
- El auditor no posee los conocimientos necesarios debido a que no es experto en diversas áreas.
- El hecho de que los sistemas de control interno son diseñados y operados por seres humanos (mayor posibilidad de cometer errores).
- Destrucción accidental de documentación o registros necesarios para la auditoría.
- La dirección se niega a entregar algún tipo de información requerida por el auditor.
- La dirección no le permite al auditor practicar determinados procedimientos de auditoría.

### **1.4 Control interno.**

“El control interno es un proceso llevado a cabo por el consejo de administración, dirección y el resto del personal de la organización, diseñado con el objeto de proporcionar un grado de aseguramiento razonable para la consecución de los objetivos relativos a las operaciones, a la información y al cumplimiento.” (COSO 2013).

El control interno está diseñado para enfrentarse a los riesgos y para proporcionar una seguridad razonable, con la finalidad de lograr todos los objetivos vitales de una entidad, así como el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables. A continuación, se mencionan algunos objetivos gerenciales:

- Promover la eficacia, eficiencia y economía de las operaciones, programas y proyectos.

- Medir la eficacia en el cumplimiento de los objetivos, prevenir desviaciones y promover la adecuada y transparente aplicación de los recursos.
- Obtener información veraz, confiable y oportuna.
- Propiciar el cumplimiento del marco legal y normativo.
- Salvaguardar, preservar y mantener los recursos.

Las políticas y procedimientos establecidos son los principales constituyentes del control interno, debido a que ayudan a proporcionar una seguridad razonable a la administración de la entidad, con el fin de poder responder a los riesgos de negocio identificados como una posible amenaza.

#### 1.4.1 Elementos de la estructura de control interno.

El auditor deberá considerar sí, y cómo, un control específico previene, detecta y corrige ciertas situaciones de riesgo lleguen a materializarse. Todo esto, a través de actividades de control oportunas y adecuadas. Básicamente, el control interno pretende comprobar que lo que se haga dentro de la entidad se haga de la manera correcta. Por lo anterior, los componentes para el estudio del control interno son:



**Ilustración 1.3** Elementos de la estructura de control interno.

##### 1.4.1.1 Entorno de control.

El entorno de control es el conjunto de políticas, procedimientos y estructuras que constituyen la base sobre la cual se lleva a cabo el sistema de control interno de una organización. Incluye las funciones del gobierno y de la dirección, así como las actitudes, grado de percepción y

acciones de los responsables de los mismos en relación con el control interno de la entidad y su importancia para ella.

**a) Elementos del entorno de control relevantes.**

Algunos de los factores a considerar como integrantes del entorno de control:

- La comunicación y la vigilancia de la integridad y de los valores éticos.
- Compromiso con la competencia.
- Participación de los responsables del gobierno de la entidad.
- Filosofía y estilo operativo de la dirección.
- Estructura organizativa.
- Asignación de autoridad y responsabilidad.
- Políticas y prácticas de recursos humanos.

**b) Principios.**

Existen cinco principios relativos al entorno de control:

- I. La organización demuestra compromiso con la integridad y los valores éticos.
- II. El consejo de administración demuestra independencia de la dirección y ejerce la supervisión del desempeño del sistema de control interno.
- III. La dirección establece, con la supervisión del consejo, las estructuras, las líneas de reporte y los niveles de autoridad y responsabilidad apropiados para la consecución de los objetivos.
- IV. La organización demuestra compromiso para atraer, desarrollar y retener a profesionales competentes en alineación con los objetivos de la organización.
- V. La organización define las responsabilidades de las personas a nivel de control interno para la consecución de los objetivos. (COSO 2013)

**1.4.1.2 Valoración del riesgo.**

La evaluación de riesgos es un proceso dinámico que consiste en identificar y analizar los riesgos asociados a la consecución de los objetivos de la organización, constituyendo la forma cómo se deben administrar aquellos riesgos relevantes.

Los riesgos relevantes son aquellos que implican eventos o circunstancias no deseados (as), tanto externas e internas que pueden ocurrir y afectar la continuidad de actividades, registro, procesamiento o recolección de información.

### **a) El proceso de evaluación del riesgo por la entidad.**

El auditor obtendrá conocimiento de si la entidad tiene un proceso para:

- La identificación de los riesgos de negocio relevantes.
- La estimación de su impacto.
- La valoración de su probabilidad de ocurrencia.
- La toma de decisiones con respecto a las actuaciones para responder a dichos riesgos.

Si dicho proceso es adecuado a las circunstancias, incluidas la naturaleza, dimensión y complejidad de la entidad, facilitará al auditor la identificación de riesgos significativos.

Por otra parte, algunas de las causas que el auditor debe considerar para que los riesgos relevantes puedan presentarse son: los cambios en el entorno operativo, nuevo personal, sistemas de información nuevos o actualizados, crecimientos acelerados, nuevas tecnologías, nuevos modelos de negocios, productos o actividades, reestructuraciones corporativas, expansión de las operaciones en el extranjero y/o nuevos pronunciamientos contables.

### **b) Principios.**

Existen cuatro principios relativos para la evaluación de riesgos:

- VI. La organización define los objetivos con suficiente claridad para permitir la identificación y evaluación de los riesgos.
- VII. La organización identifica los riesgos para la consecución de sus objetivos en todos los niveles de la organización y los analiza para determinar cómo se debe administrar.
- VIII. La organización considera la probabilidad de fraude al evaluar los riesgos para la consecución de los objetivos.
- IX. La organización identifica y evalúa los cambios que podrían afectar significativamente al sistema de control interno. (COSO 2013)

### **1.4.1.3 Actividades de control.**

Son las acciones establecidas a través de políticas y procedimientos que contribuyen a garantizar que se lleven a cabo las instrucciones de la dirección para mitigar los riesgos que incidan en la consecución de los objetivos.

Las actividades de control pueden ser de carácter preventivo, detectivo o correctivo de acuerdo con la finalidad de su elaboración. Dichas actividades están orientadas para dar cumplimiento a objetivos específicos de control y se aplican en todos los niveles de la entidad, de acuerdo con las siguientes categorías: autorización, aprobación, verificación, conciliación, segregación de funciones y responsabilidad, procesamiento de información (diseño y uso de documentos o registros apropiados), protección de los activos, análisis y revisiones de resultados; todas con la finalidad de mitigar y minimizar el impacto de los riesgos.

#### **a) Principios.**

Existen tres principios relativos a las actividades de control:

- X. La organización define y desarrolla actividades de control que contribuyen a la mitigación de los riesgos hasta niveles aceptables para la consecución de los objetivos.
- XI. La organización define y desarrolla actividades de control a nivel de organización sobre la tecnología para apoyar la consecución de los objetivos.
- XII. La organización despliega las actividades de control a través de políticas que establecen las líneas generales de control interno y procedimientos que llevan dichas políticas a la práctica. Acciones, Normas y Procedimientos que tiende a asegurar que se cumplan las directrices y políticas de la Dirección para afrontar los riesgos identificados. (COSO 2013)

### **1.4.1.4 Sistema de información y la comunicación.**

Los sistemas de información y comunicación de una entidad comúnmente están relacionados con los estados financieros, debido a que permiten la realización de métodos y registros de información relacionada con las operaciones importantes de la entidad. El contar con excelentes sistemas de información garantiza una confiable y oportuna preparación de reportes, así como de una inteligente toma de decisiones por parte de dirección.

Un sistema de información identifica, capta, procesa y comparte información, usualmente hace uso de tecnologías de información (TI). Además, este engloba métodos y registros que:

- Identifican y registran todas las transacciones válidas.
- Permiten su correcta clasificación.
- Miden el valor de las transacciones de un modo que permite que su valor monetario correcto se registre en los estados financieros.
- Determina el periodo en el que se han producido las transacciones con el fin de permitir su registro en el periodo contable correcto.
- Presentan adecuadamente las transacciones y la correspondiente información a revelar en los estados financieros.

Es indispensable identificar, recolectar y comunicar oportunamente la información relevante para apoyar el funcionamiento de control interno y poder alcanzar los objetivos de la organización.

A su vez, es elemental la comunicación tanto interna como externamente, por lo que el auditor obtendrá conocimiento del modo en que la entidad comunica las funciones y responsabilidades relativas a la información y de cuestiones significativas. Un sistema de comunicación eficiente permite a la organización una adecuada rendición de cuentas, medir y revisar el desempeño de la organización o el avance en la consecución de los objetivos.

### **a) Principios.**

Existen tres principios relativos a la información y comunicación:

- XIII. La organización obtiene o genera y utiliza información relevante y de calidad para apoyar el funcionamiento del control interno.
- XIV. La organización comunica la información internamente, incluidos los objetivos y responsabilidades que son necesarios para apoyar el funcionamiento del sistema de control interno.
- XV. La organización se comunica con las partes interesadas externas sobre los aspectos clave que afectan al funcionamiento del control interno. (COSO 2013)

#### **1.4.1.5 Seguimiento de los controles.**

Es un proceso para valorar la eficacia del funcionamiento del control interno a lo largo del tiempo. Conlleva la valoración oportuna del diseño y operación de los controles, así como de la adopción de medidas correctivas necesarias. Para la ejecución de este proceso se debe incluir el uso de información y/o comunicación.

Asimismo, la dirección deberá llevar a cabo el seguimiento de los controles mediante actividades continuas, evaluaciones puntuales o una combinación de ambas. Estas son utilizadas para determinar si cada uno de los cinco componentes del sistema de control interno y los principios de cada componente están vigentes y funcionan adecuadamente.

#### **a) Principios.**

- XVI. La organización selecciona, desarrolla y realiza evaluación continua y/o independiente para determinar si los componentes del sistema de control interno están vigentes y en funcionamiento.
- XVII. La organización evalúa y comunica las deficiencias de control interno de forma oportuna a las partes responsables de aplicar medidas correctivas, incluyendo la alta dirección y el consejo, según corresponda. (COSO 2013)

#### **1.4.2 Beneficios y limitaciones en la aplicación del control interno.**

Los principales beneficios que trae consigo la implementación del control interno son: el logro razonable de los objetivos, la integración del personal involucrado en el desarrollo de las tareas, ayudar al personal a medir su desempeño y a mejorarlo, evita fraudes o errores y; facilita el acceso de información sobre cómo se han aplicado los recursos y cómo se han alcanzado los objetivos.

A pesar de tener un control interno bien diseñado, implementado y desarrollado no es posible proporcionar una seguridad absoluta de que la entidad logrará alcanzar de manera eficiente

sus objetivos, debido a que existen limitaciones inherentes en todos los sistemas de control interno.

Entre dichas limitaciones se encuentran los eventos externos que están fuera del alcance de la entidad, el error humano, un deficiente criterio y ética profesional durante la toma de decisiones, la colusión entre empleados claves que manejen controles por la convivencia diaria o intereses personales que pueden generar la evasión de los controles y provocar fraudes.

Por lo anterior, se concluye que un control interno adecuado únicamente otorgará una seguridad razonable.



# **CAPÍTULO II: ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS.**

## 2.1 Riesgo.

Para entender y aplicar los diversos procedimientos que beneficiarán la auditoría a través de la administración de riesgos, es importante definir qué es el riesgo.

Riesgo es efecto de la incertidumbre<sup>4</sup>, es decir, un efecto que provoca una desviación de lo esperado (ya sea positivo o negativo). Con frecuencia el riesgo se expresa en términos de una combinación de las *consecuencias* de un evento (incluidos cambios en las circunstancias) y la *probabilidad* (según se define en la Guía ISO 73:2009, 3.6.1.1) asociada de que ocurra.

Es importante señalar que el riesgo es inevitable, pero su manejo eficiente y efectivo implica un ambiente con mejor desempeño por parte de una entidad en relación con las demás. Por lo anterior, el ponderar los riesgos ayudará a clasificarlos, caracterizarlos, calcular el daño potencial, aprender de ellos, almacenar y acceder a la información, dar respuesta y; comunicar eficientemente o ajustarse a las nuevas circunstancias.

Asimismo, la administración de riesgos se puede definir entonces como el proceso de identificación, caracterización y gestión de los riesgos que podrían amenazar la consecución de los objetivos.

## 2.2 Administración de riesgos.

Administración de riesgos es un proceso lógico y sistemático que combina los recursos financieros, humanos, materiales y técnicos de una entidad, para poder identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y comunicar los riesgos asociados con una actividad, función o proceso; de tal forma que permita minimizar pérdidas y maximizar oportunidades dentro de la misma.

De manera general, consta de varias etapas que, al ser ejecutadas en secuencia, brindan las herramientas suficientes para combatir riesgos relevantes, posibilitando la mejora continua de una actividad, función o proceso y una competente toma de decisiones.

---

<sup>4</sup> Con base en la Norma Internacional ISO 9000, *Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario*, Suiza, 2015, pp 25.

La administración de riesgos debe ser relevante para la dirección porque es una herramienta que actualmente, garantiza la estabilidad y continuidad de un negocio, debido a la identificación de eventos no deseados que pudieran afectar a la entidad.

### **2.2.1 Objetivos de la administración de riesgos.**

Algunos de los principales objetivos que otorga la administración de riesgos son:

- Identificación de riesgos potenciales que involucran los recursos de la entidad.
- Evaluación del posible impacto financiero de una incidencia.
- Jerarquización de los riesgos identificados y evaluados.
- Reducir pérdidas operativas.
- Elaboración de programas de prevención.
- Elaboración de planes de emergencia y evaluación.
- Supervisión de la empresa.
- Supervivencia y conservación de la empresa.
- Evaluación de los planes de emergencia para su validación o mejoramiento.
- Mejorar las decisiones de respuestas a los riesgos.
- Aprovechar las oportunidades.

### **2.2.2 Elementos de la administración de riesgos.**

Los elementos principales del proceso de administración de riesgos son los siguientes:

- a) Establecer el contexto estratégico, organizacional y de administración de riesgos en el cual tendrá lugar el resto del proceso. Debiendo establecerse criterios para evaluar los riesgos y definir la estructura del análisis.
- b) Identificar riesgos en cuanto a qué, por qué y cómo pueden surgir los acontecimientos, como base para el análisis posterior.
- c) Analizar riesgos en base a las consecuencias y probabilidades de ocurrencia con respecto a los controles existentes. Este análisis debe considerar el rango de consecuencias potenciales y cuán probable es que éstas ocurran, así consecuencias y probabilidades pueden ser combinadas para determinar un nivel de riesgo estimado.

- d) Evaluar riesgos contrastando niveles estimados con criterios preestablecidos, lo que posibilita que los riesgos sean ordenados para facilitar a la administración definir sus prioridades.
- e) Tratar riesgos aceptando y monitoreando aquellos de baja prioridad, para desarrollar e implementar un plan de administración específico enfocado a los demás riesgos, que incluya consideraciones de fondeo.
- f) Monitorear y revisar el desempeño del sistema de administración de riesgos y los cambios que podrían afectarlo.
- g) Comunicar y consultar a los interesados internos y externos según corresponda en cada etapa del proceso de administración de riesgos.

La administración de riesgos se puede aplicar a muchos niveles de una organización, desde el nivel estratégico hasta niveles operativos, para contribuir con decisiones específicas o para administrar áreas específicas reconocidas de riesgo.

### **2.2.3 Proceso de administración de riesgos.**

#### **2.2.3.1 Establecer el contexto.**

Esta etapa se desarrolla dentro de la estructura del contexto estratégico, organizacional y de administración de riesgos de una organización. Una vez que éste ya ha sido establecido, se pueden definir los parámetros básicos dentro de los cuales deben administrarse los riesgos, lo que proveerá una guía para las decisiones en estudios de administración de riesgos más detallados.<sup>5</sup>

Es decir, comprende el entorno de la entidad influyendo en:

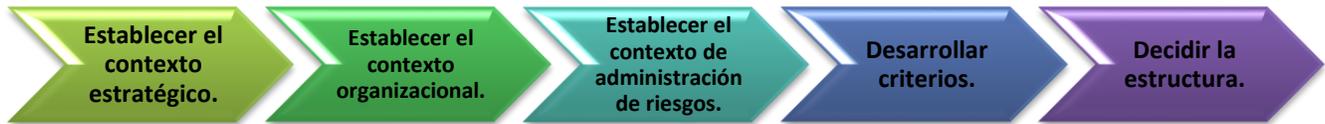
- La estrategia y objetivos.
- Diseño de actividades de control.
- Sistemas de información y comunicación.
- Supervisión de actividades.
- Valores éticos.
- Competencia del personal.

---

<sup>5</sup> Estándar Australiano de Administración del Riesgo AS/NZS 4360. (1999).

- Estilo de operación.
- Asignación de autoridad y responsabilidad.
- Estructura organizacional.

De manera general, para establecer el contexto es necesario:



**Ilustración 2.1** Contexto.

Al establecer el contexto se obtiene evidencia de la cultura organizacional principalmente, debido a la interacción con los empleados, trato a clientes, el incumplimiento a leyes y reglamentos, la calidad de los productos y/o servicios ofrecidos, la forma en la que responde a las crisis y su imagen ante el público.

#### **a) Establecer el contexto estratégico.**

Para establecer el contexto estratégico se debe:

- Definir la relación entre la organización y su entorno, identificando las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.
- Identificar a los interesados internos y externos considerando sus objetivos, sus percepciones, y creando instancias de comunicación entre ellas.

Este contexto estratégico incluye aspectos del tipo financiero, operativo, competitivo, político, social, de clientes, cultural y legal en relación con las diversas funciones de la organización.

#### **b) Establecer el contexto organizacional.**

Previo al estudio de la administración de riesgos, es recomendable comprender a la organización y su potencial, así como sus metas, objetivos, misión, visión y aquellos elementos clave que permitan su cumplimiento.

Su importancia se refleja principalmente en las siguientes cuestiones:

- La administración de riesgos como la posibilidad de no alcanzar las metas y objetivos de la organización, ejecutar una actividad específica y concretar un proyecto son algunos ejemplos.
- La política y metas de la organización son criterios que ayudan a definir si un riesgo es aceptable o no, de acuerdo con esto es posible hallar opciones para su tratamiento.

**c) Establecer el contexto de administración de riesgos.**

Se deben establecer las metas, objetivos, estrategias, alcance y parámetros de la actividad, o parte de la organización a la cual se está aplicando el proceso de administración de riesgos. Dicho proceso se debe llevar a cabo considerando la necesidad de balancear costos, beneficios y oportunidades, además de identificar los recursos requeridos y los registros que se realizarán.

Para establecer el alcance y los límites de la aplicación del proceso de administración de riesgos se debe:

- Definir el proyecto o actividad, estableciendo metas y objetivos que se pretenden alcanzar. Dichos objetivos deben ser específicos (sobre qué, dónde, cuándo y cómo van a cambiar la situación), medibles (que sea posible cuantificar los fines y beneficios), alcanzables (que sea posible lograr los objetivos, conociendo los recursos y las capacidades disponibles), realistas (que sea posible obtener el nivel de cambio reflejado en el objetivo) y con un tiempo establecido (periodo de tiempo en el que se debe completar cada uno de ellos).
- Definir la extensión del proyecto en tiempo y espacio.
- Identificar cualquier estudio necesario y todos los posibles alcances de éste, teniendo claro los objetivos y recursos requeridos. Al respecto, las fuentes genéricas de riesgo y las áreas de impacto pueden proveer una buena guía.
- Se debe definir el alcance y amplitud de las actividades de administración de riesgos que se llevarán a cabo.

Entre los aspectos específicos que también se encuentran involucrados:

- Los roles y responsabilidades de las distintas partes de la organización que participan en la administración de riesgos.
- Las relaciones que pudiesen existir entre el proyecto y otros proyectos o partes de la organización.

**d) Desarrollar criterios de evaluación de riesgos.**

Se deben establecer los criterios adecuados que permitirán evaluar el riesgo. Las decisiones relacionadas con aceptabilidad y tratamiento de riesgos pueden estar basadas en criterios operativos, técnicos, financieros, legales, sociales, humanitarios, entre otros. Esto depende a menudo de las políticas, metas y objetivos internos de la organización, así como de los intereses de las diversas partes involucradas.

Los criterios de riesgo se pueden ver afectados por requerimientos legales y por percepciones tanto internas como externas, por lo que resulta fundamental que sean definidos apropiadamente desde un inicio, basándose en el contexto de administración de riesgos, pudiendo ser mejorados y modificados a medida que se identifican nuevos riesgos, eligiendo técnicas de análisis de riesgo apropiadas para los mismos.

**e) Definir la estructura.**

Se debe dividir la actividad o proyecto en un conjunto de elementos que proveen una estructura lógica para identificación y análisis de riesgos, asegurando que no se pasen por alto riesgos significativos. El tipo de estructura seleccionada dependerá de la naturaleza de los riesgos y del alcance del proyecto o actividad.

**2.2.3.2 Identificación de riesgos.**

En esta etapa se identifican de manera oportuna aquellos acontecimientos que pudieran ser negativos para la obtención de los resultados esperados dentro de un proyecto, es decir, se administrarán todos los riesgos latentes. Para esto es fundamental la utilización de técnicas de identificación y herramientas de respaldo, que se basen en eventos pasados, como

cambios de precios, pérdidas de tiempo por accidentes, o que se pueden presentar en el futuro, como cambios demográficos, nuevos mercados y estrategias de los competidores.

Es recomendable agrupar los eventos en categorías como se muestra a continuación:



Ilustración 2.2 Clasificación de eventos.

Para una identificación de riesgos correcta, es necesario se realicen las siguientes preguntas:

### ¿Qué puede suceder?

- Elaborar una lista donde se identifiquen todos los posibles eventos no deseados que podrían impactar en el logro de los objetivos esperados por la organización.

### ¿Cómo y por qué pueden suceder?

- Posteriormente de la elaboración de la lista de eventos no deseados, se deben considerar todas las causas y escenarios posibles. Por lo anterior y porque existen muchas maneras de iniciarse un evento, es de suma importancia que no se omitan posibles causas significativas.

Los diversos enfoques utilizados para identificar riesgos dependerán de la naturaleza de las actividades que se están revisando y los tipos de riesgos involucrados. Las herramientas y técnicas comunes para detectarlos son checklists, juicios basados en la experiencia y en los registros, diagramas de flujo, brainstorming, análisis de sistemas, análisis de escenarios y/o técnicas de ingeniería de sistemas.

#### 2.2.3.3 Análisis de riesgos.

El propósito principal del análisis de riesgos es poder diferenciar los riesgos relevantes, para así proveer información importante para su evaluación y su tratamiento. El análisis debe considerar las fuentes de riesgo, las posibles consecuencias si llegan a materializarse y las probabilidades de ocurrencia.

El riesgo debe de ser analizado combinando impacto y probabilidad, tomando en cuenta los controles existentes.

##### a) Consecuencias y probabilidades.

Las consecuencias y probabilidades se evalúan en función de los controles existentes. Esto permite dimensionar la magnitud de las consecuencias que provocaría la materialización del riesgo, al igual que la probabilidad de que esto ocurra.

La combinación de consecuencias y probabilidades dan como resultado un nivel de riesgo, mismas que se pueden determinar utilizando análisis y cálculos estadísticos.

Alternativamente cuando no se poseen datos anteriores, se pueden efectuar estimaciones subjetivas que manifiestan el grado de convencimiento de un individuo o un grupo de que

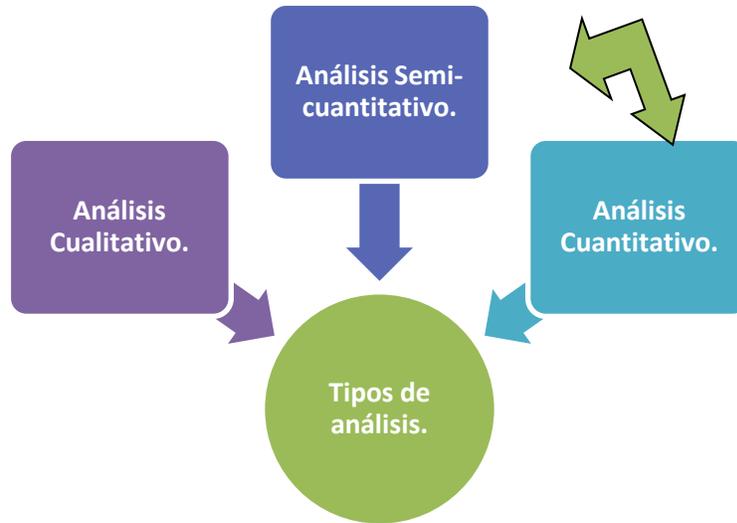
podrá ocurrir un evento o resultado particular. Para evitar prejuicios subjetivos al analizarlas, se debe utilizar técnicas y fuentes de información disponibles, como lo podrían ser:

- Entrevistas estructuradas con expertos en el área de interés.
- Utilización de grupos multidisciplinarios de expertos.
- Evaluaciones individuales utilizando cuestionarios.
- Uso de modelos de computador u otros.
- Información histórica.
  - Registros anteriores.
  - Experiencia relevante.
  - Prácticas y experiencia de la industria.
  - Literatura relevante publicada.
  - Comprobaciones de marketing e investigaciones de mercado.
  - Experimentos y prototipos.
  - Modelos económicos de ingeniería u otros.
  - Opiniones o juicios de especialistas y expertos.

**b) Tipos de análisis.**

El análisis de riesgo puede ser efectuado de distintas dependiendo de la información y de los datos de disponibles. De acuerdo con las circunstancias el análisis puede ser cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo o combinación de los dos últimos.

Estos van ascendentemente en orden de complejidad y costos. En la práctica, a menudo se utiliza primero el análisis cualitativo para obtener un índice general del nivel de riesgo, para luego realizar un análisis cuantitativo más específico.



**Ilustración 2.3** Tipos de análisis.

#### *Análisis cualitativo.*

Este análisis utiliza conformaciones de palabras o niveles descriptivos de la magnitud potencial de las consecuencias y la probabilidad de que éstas ocurran. Dichos niveles se pueden ajustar a las circunstancias y se pueden recurrir a descripciones personalizadas para riesgos diferentes.

Este análisis se utiliza:

- Como una actividad inicial para identificar los riesgos que requieren un análisis más detallado.
- Cuando los datos numéricos son inadecuados para un análisis cuantitativo.

#### *Análisis semi-cuantitativo.*

Este análisis les asigna valores a escalas cualitativas, donde el número asignado a cada descripción no tiene que guardar relación directa con la dimensión real de las consecuencias o probabilidades.

Los números pueden ser combinados con cualquier metodología debido a que el sistema utilizado para priorizar confronta al sistema escogido para asignar números y combinarlos. El propósito es realizar un ordenamiento de prioridades más detallado que si fuera obtenido con el análisis cualitativo.

Se debe tener cuidado al aplicar este análisis debido a que se podrían generar resultados inconsistentes producto que los números escogidos podrían no reflejar adecuadamente las relatividades, además podría no diferenciar acertadamente entre distintos riesgos, en especial cuando las probabilidades o consecuencias son extremas.

#### *Análisis cuantitativo.*

Este análisis emplea valores numéricos para las consecuencias y probabilidades. La calidad este análisis depende de la exactitud e integridad de los valores numéricos utilizados. Es posible estimar las consecuencias modelando los resultados de un evento o conjunto de eventos, o extrapolando a partir de estudios experimentales o datos del pasado. Estas pueden ser expresadas en términos de criterios monetarios, técnicos, humanos, etc.

Es relevante recalcar que, en esta etapa se busca proveer apreciaciones y valoraciones que respalden la toma de decisiones sobre el trato que se les dará a los riesgos, así como las estrategias y costos apropiados para el tratamiento de los riesgos.

#### **2.2.3.4 Evaluación de riesgos.**

Permite a una organización considerar como los eventos podrían afectar el logro de objetivos, evaluándolos por su probabilidad e impacto. La probabilidad representa la posibilidad de que un riesgo llegue a materializarse, mientras que el impacto representa el efecto que podría ocasionar. Las estimaciones de probabilidad e impacto de riesgo son determinados, usando información sobre acontecimientos pasados, que pueden proveer una base más objetiva y mejores resultados que datos de procedencia externa.

El producto de una evaluación de riesgo es una lista de riesgos con prioridades para una acción posterior. Si los riesgos resultantes pueden ser considerados dentro de las categorías de riesgos bajos o aceptables, pueden ser aceptados con un tratamiento futuro, pero debiendo ser monitoreados y revisados periódicamente para asegurar la mantención de su estado aceptable. Si por el contrario no pueden ser considerados dentro de dichas categorías, deben ser tratados.

*Cuantificar el peso de los factores de riesgo:*

Entre los métodos para cuantificar el peso de los factores de riesgo se incluyen las siguientes:

- Utilizar la calificación de mayor, promedio o menor importancia para cada factor de riesgo.
- Con criterio asignar un porcentaje a cada factor de riesgo de manera tal que se llegue a un total del 100%.
- Con criterio asignar puntos a cada factor de riesgo.
- Lograr el consenso de las opiniones de diversas personas con los totales en porcentaje o en puntos.

*Determinar las escalas para los factores de riesgo:*

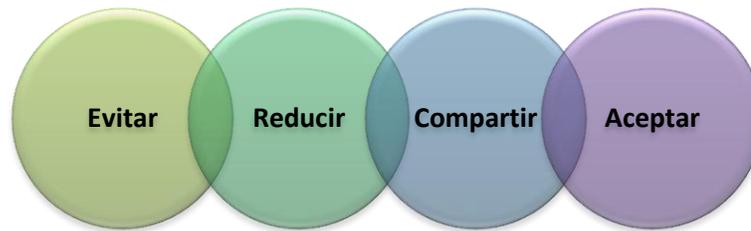
A continuación, se presentan ejemplos de las escalas de factores de riesgo:

- Baja, media o alta.
- Escalas de: crítico, alto, medio, moderado, bajo, muy bajo (impacto).
- Escalas de: muy alta, alta, media, baja, muy baja (probabilidad).
- Escalas numéricas basadas en información cualitativa.
- 1 = Bajo impacto a 5 = Alto impacto.
- 1 = Controles fuertes a 5 = Controles inadecuados.

### **2.2.3.5 Tratamiento de los riesgos.**

El tratamiento de los riesgos conlleva la identificación y evaluación del rango de las posibles opciones para administrar los riesgos, además de la preparación de planes para su tratamiento e implementación. La dirección propone opciones de respuesta al riesgo y considera su efecto sobre la probabilidad e impacto del evento, con relación a las tolerancias al riesgo, costo-beneficio y diseña e implanta estrategias de respuesta.

Las cuatro categorías de respuesta al riesgo son:



**Ilustración 2.4** Categorías de respuesta al riesgo.

*Evitar:* elimina las actividades que probablemente generarían un riesgo. Evitar riesgos puede ocurrir inadecuadamente por una actitud de aversión al riesgo, tendencia muy común que a menudo es influenciada por el sistema interno de una organización, por consecuencia, evitar inadecuadamente algún riesgo puede aumentar la significación de otros.

*Reducir:* consiste en reducir la probabilidad de la ocurrencia y sus consecuencias (impacto), es decir, minimiza el riesgo, mediante la implementación de acciones y controles.

*Compartir:* reduce el riesgo transfiriéndolo o compartiéndolo. Los mecanismos incluyen el uso de contratos, arreglos de seguros y estructuras organizacionales tales como sociedades y "joint ventures".

La transferencia de un riesgo a otras partes, o la transferencia física a otros lugares, reducirá el riesgo para la organización original, pero puede no disminuir el nivel general del riesgo para la sociedad.

Cuando los riesgos transferidos, la organización que los transfiere ha adquirido un nuevo riesgo, que la organización a la cual lo ha transferido no pueda administrarlo efectivamente.

*Aceptar:* no actuar de forma alguna para modificar la probabilidad o impacto del riesgo.

Luego de haber aplicado una respuesta al riesgo, la administración vuelve a medir el riesgo sobre una base residual. Obteniendo un riesgo residual que se define como el remanente luego de que la dirección haya realizado sus acciones para reducir el impacto y la probabilidad de un acontecimiento adverso.

Se debe reconocer que siempre existe algún nivel de riesgo residual, por la incertidumbre sobre el futuro y las limitaciones inherentes a todas las actividades.

**a) Evaluar opciones de tratamiento de los riesgos.**

Las opciones deberían ser evaluadas sobre la base del alcance de la reducción del riesgo, y el alcance de cualquier beneficio u oportunidad adicional creadas, tomando en cuenta los criterios.

Pueden considerarse y aplicarse una cantidad de opciones ya sea individualmente o combinadas. La selección de la opción más apropiada involucra balancear el costo de implementar cada opción contra los beneficios derivados de la misma. En general, el costo de administrar los riesgos necesita ser conmensurada con los beneficios obtenidos, así si es posible obtener grandes reducciones en el riesgo con un gasto relativamente bajo, tales opciones deben implementarse.

Otras opciones de mejoras pueden ser no económicas y se necesitará ejercer el juicio para establecer si son justificables.

En el caso que el costo acumulado de implementación de todos los tratamientos de riesgos exceda el presupuesto disponible, el plan debería identificar claramente el orden de prioridad bajo el cual deberían implementarse los tratamientos individuales de los riesgos. Dicho ordenamiento de prioridad puede establecerse utilizando distintas técnicas, incluyendo análisis de “ranking” de riesgos y de costo-beneficio. Si los tratamientos de riesgos no pueden ser implementados dentro de los límites del presupuesto disponible se debe esperar la disponibilidad de recursos de financiamiento adicionales, o, si por cualquier razón todos o algunos de los tratamientos restantes son considerados importantes, debe plantearse el problema para conseguir el financiamiento adicional.

Las opciones de tratamiento de los riesgos deberían considerar cómo es percibido el riesgo por las partes afectadas y las formas más apropiadas de comunicárselo a dichas partes.

**b) Preparar planes de tratamiento**

Los planes de tratamiento deben documentar la forma en que son implementadas las opciones seleccionadas, identificando las responsabilidades, el programa, los resultados esperados de los tratamientos, el presupuesto, las medidas de desempeño y el proceso de revisión a establecer.

Además, debe incluir un mecanismo para evaluar la implementación de las opciones contra criterios de desempeño, las responsabilidades individuales y otros objetivos.

**c) Implementar planes de tratamiento.**

Idealmente, la responsabilidad por el tratamiento del riesgo debería ser llevada a cabo por personal con mejor posibilidad de controlar el riesgo, debiendo ser acordadas entre las partes lo más tempranamente posible.

La implementación exitosa del plan de tratamiento del riesgo requiere un sistema efectivo de administración que especifique los métodos seleccionados, asigne responsabilidades y compromisos individuales por las acciones, y los monitoree respecto de criterios especificados.

Si luego del tratamiento hay un riesgo residual, debería tomarse la decisión de si retener este riesgo o repetir el proceso de tratamiento.

**2.2.3.6 Monitoreo y revisión.**

Es un proceso que evalúa que los componentes de la administración de riesgos estén funcionando, sean efectivos y sean implementados adecuadamente. El monitoreo puede ser realizado de dos formas: a través de revisiones continuas o independientes, ambos aseguran que el plan de administración sea aplicado en todos los niveles y a través de toda la entidad.

El monitoreo continuo se construye sobre la base de las actividades operativas normales y recurrentes de una entidad, en tiempo real, reacciona dinámicamente a los cambios en las condiciones. Consecuentemente, es más eficaz que las revisiones externas. Mientras que las revisiones independientes tienen lugar luego de ocurridos los hechos.

**2.2.3.7 Comunicación y consulta.**

La comunicación y consulta son una consideración importante en cada una de las etapas del proceso de administración de riesgos, por ello se debe desarrollar un plan de comunicación para los interesados internos y externos en la etapa más temprana del proceso. Cada parte, proporciona información que debe ser identificada, analizada, capturada, comunicada de un modo eficaz, es decir en forma, tiempo y debe fluir hacia todos los niveles de la organización.

El desafío consiste en que la dirección logre procesar grandes volúmenes de datos en información, por lo que los sistemas de información facilitan esta tarea permitiendo determinar la fuente, capturar, procesar, analizar y comunicar información relevante. Cabe destacar que la comunicación efectiva interna y externa es importante para asegurar que los responsables de implementar la administración de riesgos y de aquellos con intereses creados, comprendan la base sobre la cual se toman las decisiones y por qué se requieren ciertas acciones en particular.

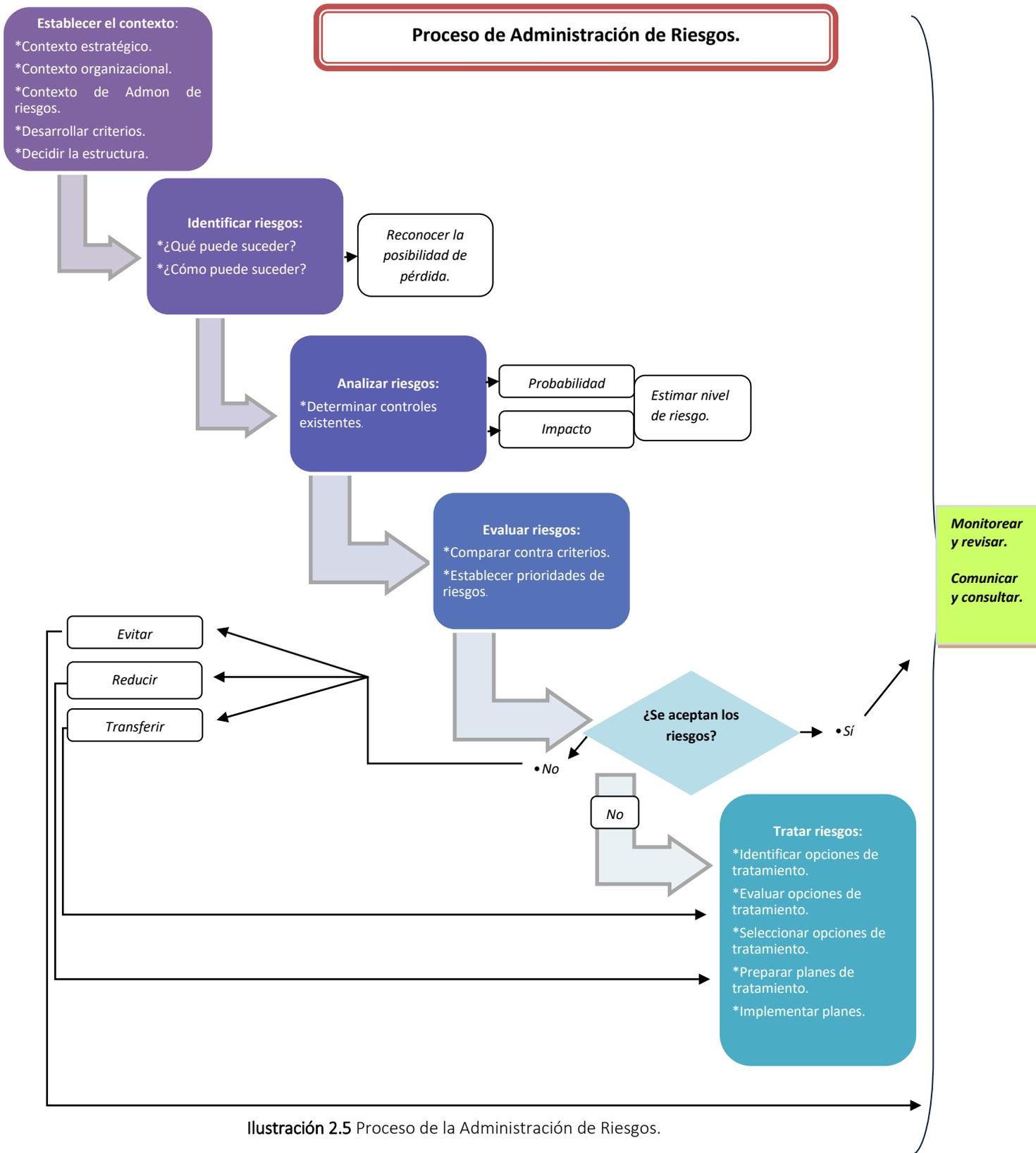
### **2.2.4 Documentación.**

Es de suma importancia que durante todo el proceso de administración de riesgos se documente aspectos relevantes. Dicha documentación debe incluir los supuestos, los métodos, las fuentes de datos y los resultados.

Algunas de las razones por las cuales se debe documentar son las siguientes:

- Demostrar que el proceso es realizado o ejecutado apropiadamente.
- Obtener evidencia sobre el enfoque sistemático de identificación y análisis de riesgos.
- Obtener un registro de los riesgos y desarrollar la base de datos de conocimientos de la organización.
- Facilitar el continuo monitoreo y revisión.
- Obtener evidencia de auditoría, ayudando a los encargados de la toma de decisiones a través de un plan sustentado.
- Compartir y comunicar información.

En resumen, el proceso de administración de riesgos consiste en:





# **CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### 3.1 Perforación de Pozos Petroleros.

Para tener un conocimiento del proceso que este trabajo de investigación pretende auditar, es necesario resaltar algunos puntos que facilitarán su entendimiento.

La perforación de un pozo es el proceso necesario para construir un agujero en el subsuelo, con la finalidad de ponerse en contacto con un sistema, logrando así la exploración y/o extracción de recursos naturales tales como aceite, agua o gas.

Un pozo petrolero es una obra de ingeniería encaminada para lograr el contacto de un yacimiento de hidrocarburos con la superficie. La perforación es efectuada con barrenas de diferentes diámetros y con tuberías de revestimiento, a diversas profundidades, llamadas etapas de perforación, para la prospección o explotación de yacimientos petroleros.

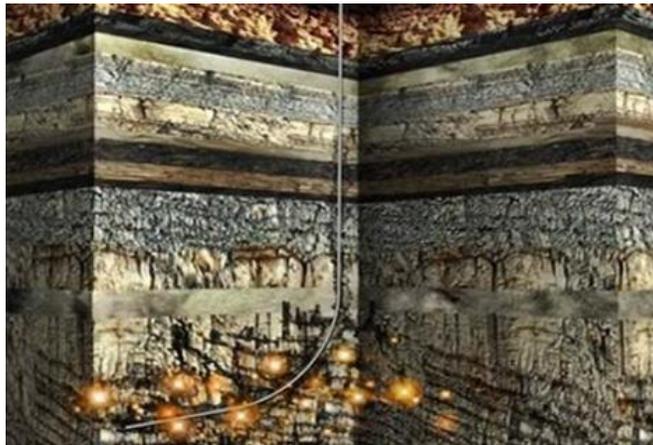
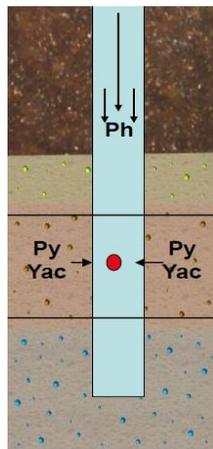


Ilustración 3.1 Pozo petrolero.

#### 3.1.1 Tipos de perforación.

##### a) Perforación convencional.

Consiste en perforar un yacimiento o zona productora, donde la presión ejercida por el lodo de perforación ayuda a controlar los fluidos de formación, es decir, la presión hidrostática del lodo tiene que ser mayor que la presión de poro de la formación. Esto evita que los fluidos de formación entren y/o fluyan dentro del pozo durante el proceso de perforación.



$P_y < P_h$

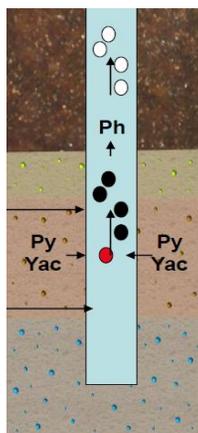
**Ilustración 3.2** Perforación convencional.

**b) Perforación bajo balance.**

Consiste en perforar un yacimiento o zona productora, donde la presión hidrostática del lodo de perforación tiene que ser ligeramente menor que la presión de poro de la formación. Esto permite que los fluidos de formación entren dentro del pozo, y puedan ser producidos de manera controlada en superficie.

La perforación bajo balance se realiza cuando las ventanas operativas son estrechas, así se evitan problemas de fracturamiento de la formación.

Este tipo de perforación ayuda a mejorar la productividad debido a que el fluido de perforación no entrará a la formación y evitará el daño por invasión de fluidos y sólidos; también evita tiempos perdidos por pegadura de tubería ocasionados por presión diferencial, incrementa la velocidad de penetración, evita pérdida de lodo y disminuye costos debido a que la limpieza del pozo es más rápida sin la utilización de estimulaciones o fracturamientos.

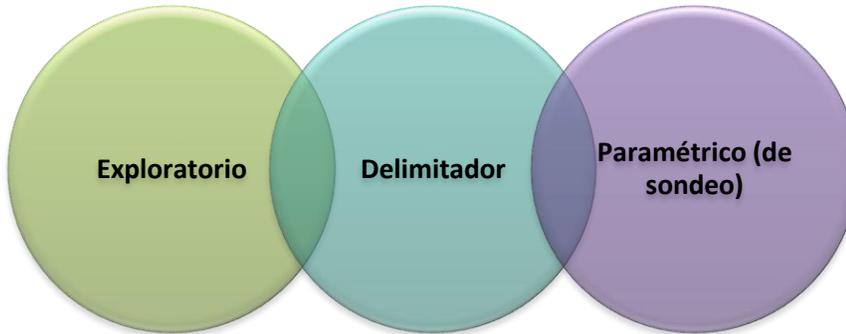


$P_y > P_h$

**Ilustración 3.3** Perforación bajo balance.

### 3.1.2 Clasificación de pozos.

Los pozos petroleros se clasifican para su estudio en:

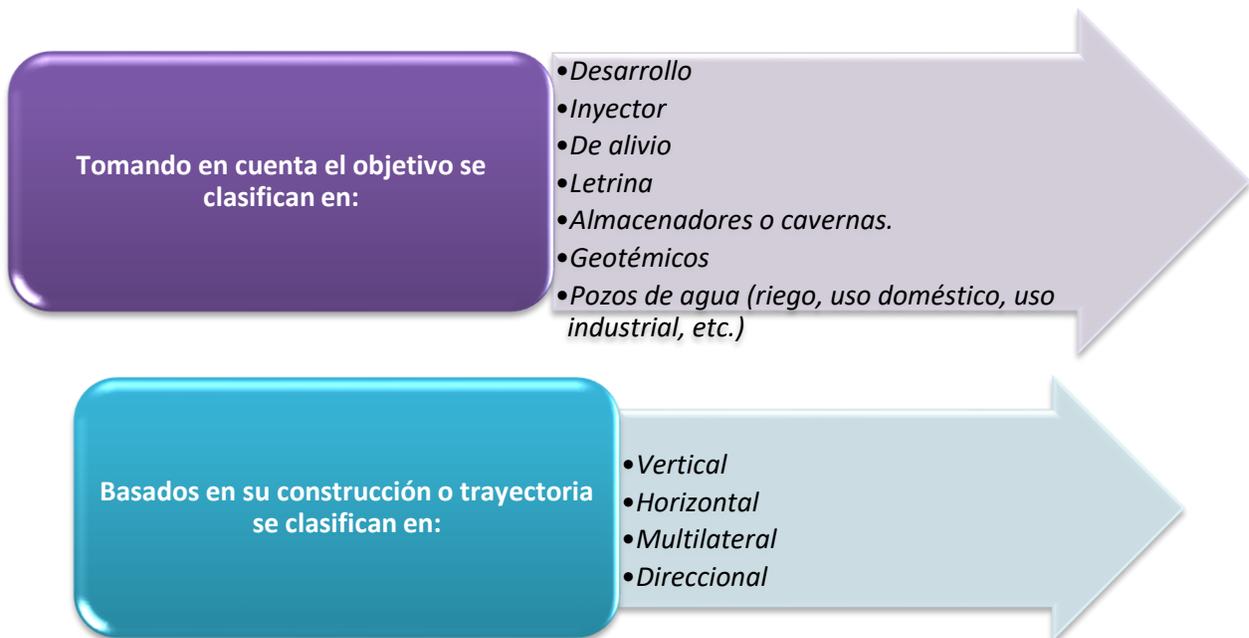


**Ilustración 3.4** Clasificación según su estudio.

*Exploratorio:* es perforado para comprobar la existencia o no de un yacimiento (acuífero) potencialmente comercial. El principal objetivo de este tipo de pozo es la incorporación de reservas.

*Delimitador:* se perfora para delimitar el yacimiento encontrado, confirmar su extensión y determinar el volumen de la reserva probada (agua o hidrocarburo).

*Paramétrico:* se perfora con el propósito de obtener información geológica en una zona determinada.



**Ilustración 3.5** Clasificación según su objetivo y trayectoria.

### 3.1.2.1 Perforación direccional.

Es la práctica que permite controlar el ángulo de inclinación (plano vertical) y dirección (plano horizontal) intencional de un pozo respecto del trayecto que adoptaría normalmente, partiendo de una dirección vertical. A continuación, se describen los tipos de pozos direccionales.

*Tipo I:* conocido como tangencial, este pozo es planeado de manera simple y común, en el cual se pretende perforar verticalmente hasta llegar al KOP, es decir, su desviación inicial se obtiene a poca profundidad. El ángulo de inclinación se mantiene de forma tangencial y constante, hasta llegar al objetivo. Este tipo de perfil se usa frecuentemente para pozos profundos que requieren mucho desplazamiento lateral, así también, para regiones en las que la producción está en un solo intervalo y en las que no se requieren TR's intermedias.

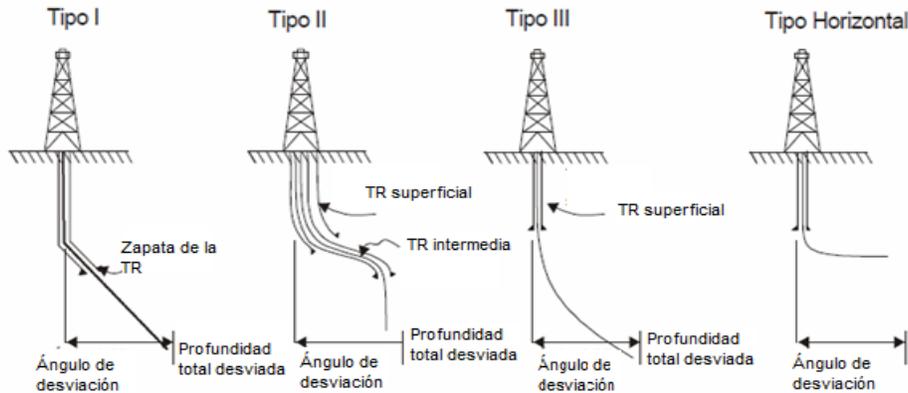
*Tipo II:* es el pozo con perfil en "S", su desviación inicia cerca de la superficie. La inclinación se realiza de manera tangencial después de una sección curva hasta lograr casi todo el desplazamiento lateral. Posteriormente se reduce el ángulo de desviación mediante otra sección curva hasta volver a tener el pozo con tendencia vertical para llegar al objetivo. Este es el perfil más difícil de perforar y puede causar algunos problemas de torque y arrastre debido a la mayor exposición al roce de la tubería con las paredes del agujero, dado por la mayor curvatura que presenta el pozo. Se usa principalmente para perforar pozos con intervalos productores múltiples, o en aquellos casos con limitaciones impuestas por el tamaño y localización del objetivo.

*Tipo III:* para el perfil del pozo tipo "J" la desviación inicia a cierta profundidad por debajo de la superficie y su ángulo de inclinación se mantiene hasta llegar al objetivo. Suele ser usado para situaciones con presencia de domos de sal, fallas o para desvío de pozo (sidetrack).

*Tipo Horizontal, multilateral, y de alcance extendido:* el perfil del pozo cuenta con una desviación respecto de la vertical siendo de forma paralela a la zona productora, llegando a exceder los 80 grados (90 grados para alcanzar la horizontalidad verdadera). El perfil tipo horizontal logra penetrar una mayor área de la formación productora, por lo que su productividad es mayor en comparación de un pozo vertical. Es capaz de atravesar fracturas

naturales, reduce las caídas de presión y retrasa los avances de los contactos agua-aceite o gas-aceite.

En la siguiente ilustración, se observan los distintos perfiles de perforación direccional y horizontal mencionados anteriormente.



**Ilustración 3.6** Perfiles de desviación típicos de la perforación direccional y tipo horizontal.<sup>6</sup>

### 3.1.3 Planeación de la perforación de un pozo.

La planeación de la perforación de un pozo es quizás el aspecto que más requiere de ingeniería de perforación, asimismo, es necesario contar con un grupo de trabajo multidisciplinario para perfeccionar aspectos clave que permitan lograr los objetivos.

El resultado esperado al final de una perforación deberá ser un pozo perforado en tiempo óptimo, con seguridad y al menor costo posible, que satisfaga los requerimientos de la ingeniería de yacimientos para la producción de agua, aceite y/o gas. Por lo que el buen entendimiento del objetivo del pozo a perforar permitirá una planeación adecuada de las técnicas de perforación, del diseño y del equipo a utilizar.

Por todo lo anterior, el identificar y evaluar los posibles riesgos que pudieran poner en peligro la construcción de este, el incumplimiento con la normativa y, el incremento de costos y tiempos. Los principales aspectos por considerar son:

- Clasificación de pozos

<sup>6</sup> Cárdenas Vences, 2008.

- Seguridad y protección ambiental.
- Economía.
- Utilidad del pozo.

La planeación de un pozo está integrada por serie de etapas, donde la sinergia del equipo de trabajo correspondiente podrá garantizar un pozo exitoso. Dichas etapas se describen a continuación.

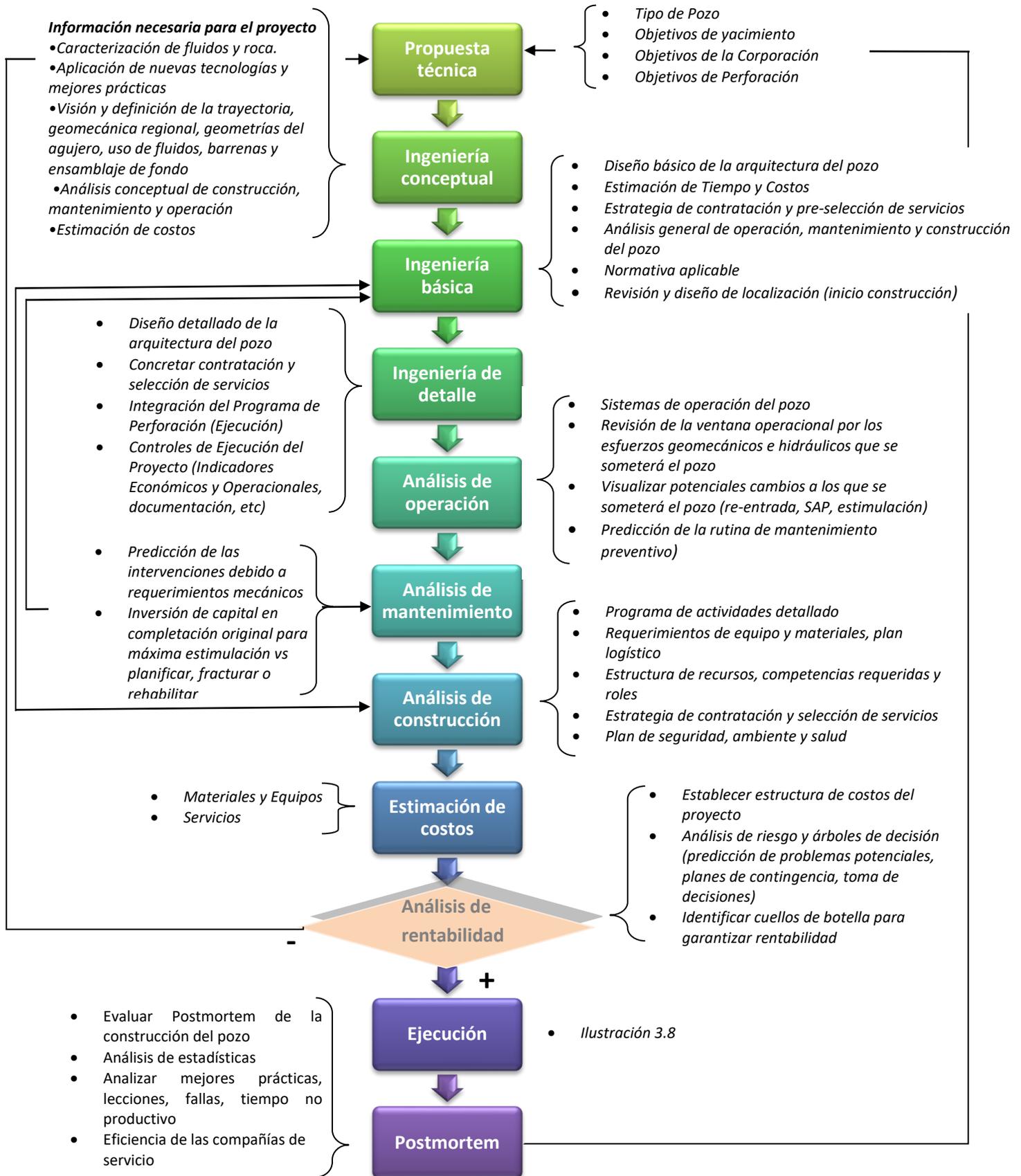


Ilustración 3.7 Etapas de la planeación de un pozo.

La ejecución de la perforación de un pozo petrolero suele depender del tipo de método de extracción (convencional, no convencional u offshore). El siguiente diagrama corresponde al método no convencional, ya que, la presente investigación estudiará pozos con dicha forma de extracción.



*Estos 4 pasos se realizan por cada etapa programada.*

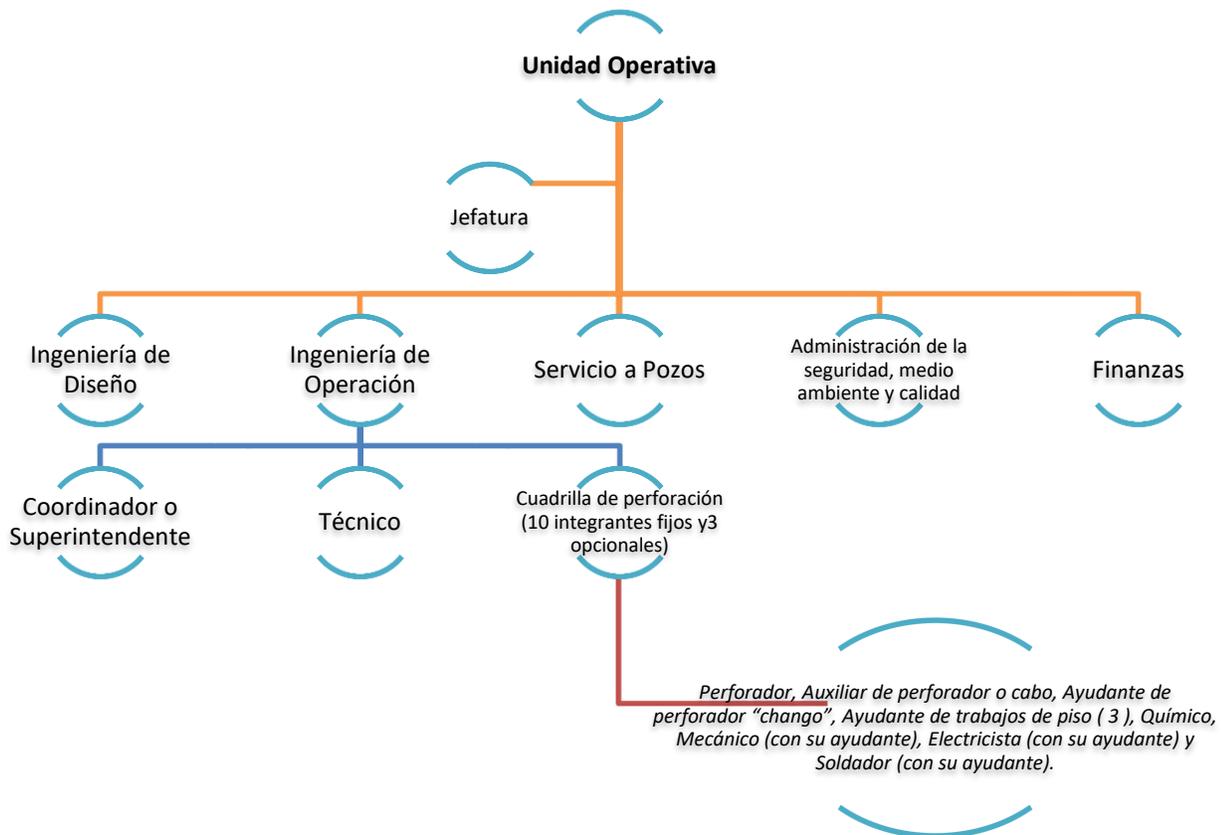
Ilustración 3.8 Ejecución de la perforación de un pozo.

### 3.1.4 Recursos importantes en el proceso.

#### a) Elemento humano.

El elemento humano es la pieza fundamental del proceso de perforación de pozos, sus funciones están presentes durante todo el proyecto. En un departamento de perforación se ven involucrados:

- Jefe de la unidad o departamento.
- Personal de diseño.
- Personal de operación.
- Personal de servicio a pozos.
- Personal de servicios auxiliares.
- Personal de administración y finanzas.
- Personal de seguridad y protección ambiental.
- Personal técnico y obrero.



**Ilustración 3.9** Personal involucrado en la perforación de un pozo petrolero.

Por el número de personal involucrado, la seguridad y la proyección ambiental deberán tener la más alta prioridad cuando se planee y ejecute la perforación. En la mayoría de los casos, se observará una variación de los eventos en relación con lo previsto, debido a problemas o sucesos inesperados (*Anexo B*) que pudieran poner en riesgo la integridad del personal o del medio ambiente.

Para el cuidado del personal es necesario tomar en cuenta:

- Capacitación y actualización continua en los procesos de perforación.
- Procedimientos escritos para cada tarea.
- Equipo de protección.
- Ambiente laboral adecuado.

Para el medio ambiente:

- Cumplir con la normativa ambiental vigente.
- Cero descargas.
- Utilización de materiales biodegradables (cuando sea posible).
- Utilización de macroperas.

#### **b) Economía.**

Un objetivo relevante dentro de la planeación de un proyecto en la industria petrolera es minimizar el costo del pozo sin escatimar los aspectos de seguridad y en el tiempo programado (como mínimo). En la mayoría de los casos, los costos pueden abatir a un cierto nivel si se incrementan los esfuerzos para hacer la planeación, buscando siempre objetivos alcanzables.

En la construcción de un pozo, el 80% del costo lo conforman los materiales y los diversos servicios requeridos, como son:

- Tuberías de revestimiento (TR).
- Tubería de perforación.
- Fluido de perforación.
- Servicio direccional.

- Registros.

La estimación del costo de perforación es de suma importancia para determinar la factibilidad económica de su realización. Razón por la cual, se debe mantener un estricto control durante su ejecución para minimizarlos y obtener la máxima rentabilidad. Generalmente, la perforación de un pozo de aceite o de gas, bajo las mismas condiciones, da como resultado costos muy similares. Los costos de construcción de un pozo se clasifican en:

Costos de inversión	Costos de operación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camino de acceso.</li> <li>• Localización.</li> <li>• Tuberías.</li> <li>• Fluido de perforación.</li> <li>• Barrenas.</li> <li>• Logística.</li> <li>• Renta del equipo (compañía).</li> <li>• Servicios (cementaciones, registros, apriete, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pago de mano de obra.</li> <li>• Mantenimiento del equipo.</li> </ul>

**Tabla 3.1** Costos de construcción de un pozo.

### c) Equipo de perforación.

Para la realización de un pozo petrolero es indispensable el uso de diversos recursos (humanos, financieros y materiales), por lo que el equipo de perforación toma un papel importante debido a la diversidad de elementos involucrados para ejecutar cada una de las actividades.

#### *Equipo de perforación terrestre.*

Comúnmente se fabrica en configuración liviana, mediana y pesada, la cual es transportada por medio de camiones de carga pesada y grúas. Existen dos tipos de equipos: los autotransportables y los convencionales.

#### *Equipos autotransportables.*

Son aquellos equipos montados sobre unidades móviles y son utilizados principalmente para la perforación de pozos verticales, haciendo uso de la torre en posición fija (vertical). Disponen de malacate y motores C.I. montados sobre un remolque que se autotransporta, de esta

manera es más fácil su transporte de un lugar a otro, aunque este equipo suele ser de menor capacidad en la profundidad de perforación.



**Ilustración 3.10** Equipo de perforación autotransportable.<sup>7</sup>

#### *Equipos convencionales.*

Son aquellos equipos armables que sus componentes van montados en “patines”, así el equipo puede moverse en unidades que pueden ser acopladas fácilmente. La torre es ensamblada por partes en el terreno, posteriormente se pone de pie como una unidad integral con ayuda del sistema de levantamiento del equipo.

En comparación con el equipo autotransportable, el equipo convencional tiene mayor capacidad en la profundidad de perforación.



**Ilustración 3.11** Equipo de perforación convencional.

Cada uno de los elementos del equipo de perforación se detalla en el *Anexo A*.

---

<sup>7</sup> Sovonex.

### **3.2 Análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo.**

De acuerdo con el orden propuesto para la realización del análisis, se describirán cada una de las técnicas y el tipo de simulación a emplear para auditar el proceso de perforación de un pozo petrolero, de tal manera que, se estudien los tiempos no productivos porque en ellos se encuentran las incidencias, malas prácticas, deficiencias, etc.; las cuales provocan un incremento en los costos por la extensión del proyecto.

#### **3.2.1 Técnica 1: Sistema de Información Operativa de Perforación (SIOP).**

Para la identificación de los riesgos relevantes para la perforación de un nuevo pozo, es indispensable estudiar procesos anteriores a través de la documentación de información histórica. Analizando datos relevantes, es posible predecir un comportamiento futuro, así como la ocurrencia de los eventos no deseados que impactarían en los tiempos reales de ejecución del proceso.

El SIOP (Sistema de Información Operativa de Perforación) es una bitácora donde se describen cada una de las actividades e intervenciones al pozo durante todo el proceso. El registro se debe realizar cada determinado tiempo porque de esta manera se puede tener una secuencia de los acontecimientos, del comportamiento del yacimiento, de los tiempos y profundidades logradas.

Los datos que proporciona se convierten en evidencia importante para determinar si el proceso se realizó adecuadamente, buscar la mejora continua y poder identificar riesgos en futuros pozos correlación.

Dicha información es obtenida en la etapa “Post mortem”. Esta etapa es un paso posterior de la ejecución de un proyecto. En el caso de la perforación de un pozo, es necesario un análisis post mortem para evaluar la construcción del pozo y analizar los tiempos reales, verificando que se hayan cumplido las metas, con base en el plan de desarrollo. Al final, se evalúa el desempeño del equipo de trabajo.

El análisis en esta etapa pretende tomar medidas ante las incidencias que se presentaron, identificando sus orígenes y causas, para poder proponer mejoras en proyectos futuros.

### a) Tiempos reales de perforación.

El tiempo real es aquel necesario para la ejecución de todas las operaciones de perforación. A su vez, es la suma del tiempo productivo y el no productivo.

Los tiempos reales de perforación se clasifican en:

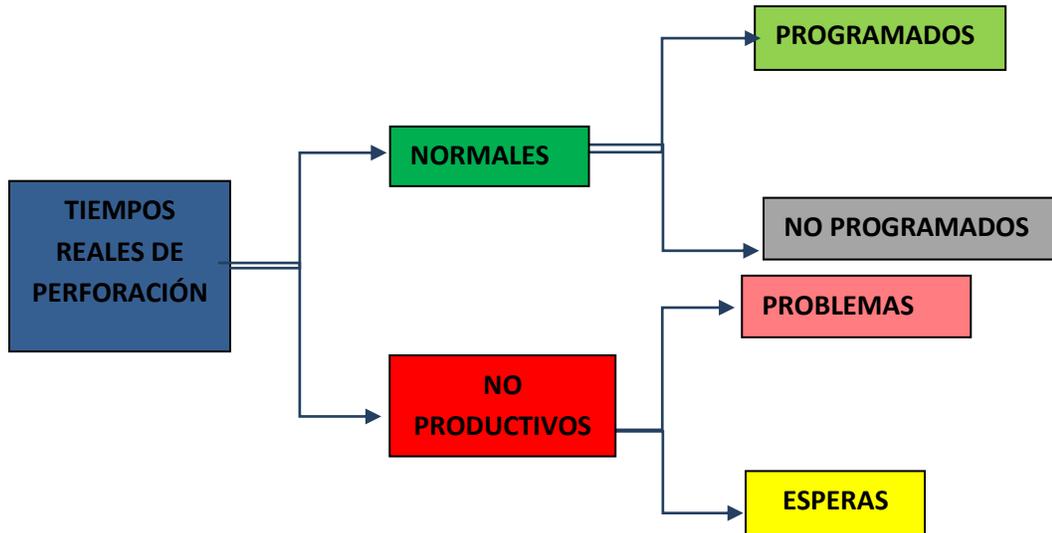


Ilustración 3.12 Tiempos reales de perforación.

*Tiempos normales:* es el periodo de tiempo productivo en la ejecución de operaciones de perforación, sin considerar cualquier tipo de retraso.

- *Tiempos programados:* es el periodo de tiempo que forma parte del programa de desarrollo inicial, asociado con las actividades de perforación.
- *Tiempos no programados:* es el periodo de tiempo que no forma parte del programa de desarrollo inicial, asociado con las actividades de perforación.

*Tiempos no productivos (NPT - Non Productive Time):* es el periodo de tiempo inactivo debido a sucesos o actividades que retrasan el avance de la perforación, según lo contemplado en el programa de desarrollo. Inicia al detectarse el problema y termina al darle una solución, continuando así con las operaciones de perforación.

- *Tiempos por problemas:* es el periodo de tiempo inactivo durante las actividades de perforación, debido a fallas y/o reparación del equipo (componentes).

- *Tiempos por esperas:* es el periodo de tiempo inactivo durante las actividades de perforación, ocasionado por problemas de logística, mal tiempo, espera de suministros, toma de decisiones, servicios de la compañía, entre otros.

### 3.2.1.1 Estructura del SIOP.

Este documento contiene características que facilitan el estudio de los tiempos reales de perforación.

FECHA	HRS.INICIO	HRS. FIN	HRS	ACTIVIDAD	ETAPA	CONSECUTIVO PROGRAMA	HR.ACUM	D.ACUM	MD (m)	MD@BIT (m)	DL (g/cc)	OBSERVACIÓN
28-abr-2013	17:00	21:00	4.00	PERFORA CON BNA. DE 6 3/4" Y SISTEMA ROTATORIO DE CIA. BAKER DE 2582 MTS. A 2587 M. DONDE TOMO SURVEY Y ENVIÓ COMANDOS A SU HTA. SATISFACTORIAMENTE. CONTINUO PERFORANDO HASTA 2599 MTS. SUSPENDE POR SISTEMA HCO.-MECANICO DEL SISTEMA ROTATORIO NO RESPONDE.	4 1/2"	89	3758.00	156.58	2599.00	2599.00	149	INICIA 5ta ETAPA TR 4 1/2"
28-abr-2013	21:00	00:00	3.00	PERSONAL DE CIA. ENVIA COMANDOS A SISTEMA ROTATORIO OBSERVANDO QUE LOS ACEPTA, PERO NO RESPONDE EL SISTEMA HCO.-MECANICO PARA INCREMENTAR ANGULO, INTENTO RESTABLECER CON VARIACION DE GASTOS 250, 265, 180, 210, GPM SIN OBTENER RESPUESTA.	4 1/2"	89	3761.00	156.71	2599.00	2599.00	149	
29-abr-2013	00:00	01:00	1.00	CON BNA. A 2599 MTS. PERSONAL DE CIA. CONTINUA HACIENDO PRUEBAS AL SISTEMA ROTATORIO PARTE HCO. MECANICO PARA INCREMENTAR ANGULO, INTENTO RESTABLECER CON VARIACION DE GASTOS 250, 265, 180, 210, GPM SIN OBTENER RESPUESTA.	4 1/2"	89	3762.00	156.75	2599.00	2599.00	149	
29-abr-2013	01:00	01:30	0.50	COLOCO 5M3 DE BACHE ECOLOGICO DE 167 GR/CC	4 1/2"	89	3762.50	156.77	2599.00	2599.00	149	
29-abr-2013	01:30	15:00	13.50	SACO BNA. DE 6 3/4" CON SISTEMA ROTATORIO ( AUTO-TRAK) CON MWD-LVD DE CIA. EXTREMO A 20 M, LLENANDO X E.A. CADA 3 LING. CON TIV Y PERSONAL DE CIA. RECUPERA INFORMACION DE SISTEMA ROTATORIO	4 1/2"	89	3776.00	157.33	2599.00	20.00	149	LEVANTA A SUP POR FALLA DE HTTA DIRECCIONAL
29-abr-2013	15:00	16:00	1.00	DESCONECTO BNA. Y ELIMINA SISTEMA ROTATORIO AL 100%. IRON DEPRICKMAN SE ENCUENTRA EN LOS TALLERES DE CIA. PARA SU REPARACION A PARTIR DEL 22/04/2013	4 1/2"	89	3777.00	157.38	2599.00	0.00	149	
29-abr-2013	16:00	17:30	1.50	EN ESPERA DE SISTEMA ROTATORIO BAJA TP DE 4" XT-39 FRANCA A 500 MTS.	4 1/2"	89	3778.50	157.44	2599.00	500.00	149	
29-abr-2013	17:30	00:00	6.50	EN ESPERA DE SISTEMA ROTATORIO DE CIA. ELABORO PERMISO DE TRABAJO CLASE "A" # 344409, CON APOYO DE CIA. INSTALO BRAZO DEL CHANGO PENDIENTE CONECTARLO, CON PERSONAL DE OPERACION REVISO BBA. # 2 CAMBIO 3 VALV. Y UN ASIEN TO DE VALV. Y DESLIZO 16.5 MTS DE CABLE DE OPERACION DE 1 3/8" AL TAMBOR PRINCIPAL DEL MALACATE.	4 1/2"	89	3785.00	157.71	2599.00	500.00	149	
30-abr-2013	00:00	01:30	1.50	SACA TP 4" XT39 FRANCA DE 500 MTS A SUPERFICIE, LLENANDO CON T.V.	4 1/2"	89	3786.50	157.77	2599.00	0.00	149	
30-abr-2013	01:30	03:00	1.50	CON APOYO DE PERSONAL DE CIA, ARMA BNA. DE 6 3/4" Y SISTEMA ROTATORIO BAJA A 18 MTS.	4 1/2"	89	3788.00	157.83	2599.00	18.00	149	
30-abr-2013	03:00	04:00	1.00	CON BNA. DE 6 3/4" A 18 MTS. CIA PRUEBA SISTEMA ELECTRONICO DEL SISTEMA ROTATORIO SATISFACTORIAMENTE	4 1/2"	89	3789.00	157.88	2599.00	18.00	149	

Ilustración 3.13 SIOP, fuente: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

*Fecha:* indica el día en el que se realizó la actividad.

*Hora:* horario en que da inicio y fin de la actividad, como complemento las horas totales de su realización.

*Actividad:* descripción del evento o intervención al pozo. Se espera que sea ampliamente detallada.

*Etapa:* segmento en el que se encuentra la perforación de acuerdo con su diseño previo.

Consecutivo programa: número de actividad en la que se encuentra la perforación de acuerdo con su diseño previo.

*Horas y días acumulados:* acumulativo del día uno (inicio) al día “n” en el que se encuentra la perforación.

*MD:* metros direccionales (profundidad) a la que se ha llegado hasta el momento.

*DL:* densidad del lodo registrado a dicha profundidad. Se estudia su variación para determinar posible presencia de brotes o gasificaciones (manifestaciones del yacimiento).

*Observación:* Acontecimiento relevante por resaltar.

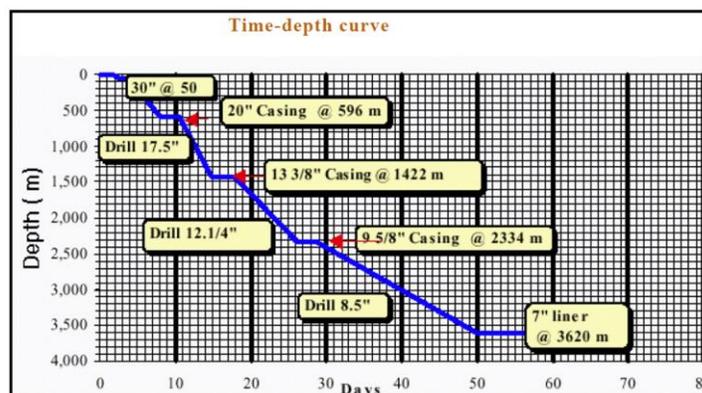
La importancia de este documento depende de la integridad de la información emitida y en el registro de todos los eventos en tiempo y forma, por lo que el auditor deberá cuestionarla.

### 3.2.1.2 Análisis del SIOP.

Los tiempos de perforación dentro del SIOP se analizan por etapa y están clasificados por actividades:

- Movimiento de equipo.
- Perforación.
- Cambio de etapa.
- Toma de información.
- Terminación.

En el análisis (que corresponde a la etapa postmortem), los tiempos programados son comparados con los reales utilizando el número consecutivo de las actividades planeadas en el programa de perforación.



**Ilustración 3.14** Ejemplificación gráfica del comportamiento de una perforación, días vs profundidad.

El resultado de esta técnica es un informe emitido por un experto en el área, donde facilitará el entendimiento de todas las operaciones.



**Ilustración 3.15** Análisis del SIOp (post mortem).

La información que podrá obtener el auditor del análisis del SIOp es amplia, para este estudio, se propone que ponga un interés especial en la distribución de tiempos, revisar a detalle las etapas con mayor holgura y obtener datos de frecuencias para aplicar posteriormente simulación (estimar la probabilidad de ocurrencia en pozos futuros).

### 3.2.2 Simulación Monte Carlo.

El riesgo es la combinación de la probabilidad que ocurra un evento no deseado y el impacto que este tendrá en el desarrollo de proceso. Para obtener esa probabilidad de manera cuantitativa, se empleará simulación Monte Carlo.

La simulación es la utilización de un modelo de sistemas, que trata de acercarse más a las características de la realidad, a fin de reproducir la esencia de las operaciones reales. Asimismo, es la una representación de un proceso real, mediante el empleo de un modelo o

sistema que reaccione de la manera similar a la que reaccionaría uno real, en un conjunto de condiciones dadas.<sup>8</sup>

La simulación Monte Carlo es un método computacional utilizado para estudiar el comportamiento de sistemas matemáticos, físicos o de cualquier índole, a partir del uso de muestreo estadístico y números aleatorios, caracterizándose por ser iterativo. Fue desarrollado por S. Ulam y J. Von Neumann en 1949.

Se destaca por combinar conceptos estadísticos, financieros, económicos y de investigación de operaciones, con la capacidad que tienen los ordenadores para automatizar cálculos.

El procedimiento de modelar problemas reales resulta complejo en ocasiones, por lo que actualmente se opta por la utilización de simulación porque intenta duplicar aspectos, características y escenarios de un sistema real, beneficiando primordialmente en la toma de decisiones, siendo adaptable a las complejidades y cambios de los negocios.

#### **a) Ventajas.**

Algunas de los beneficios que trae consigo la implementación de la simulación en el análisis de riesgos dentro de una organización son:

- Es flexible, por lo que es posible modelar a partir de datos estadísticos.
- Se puede utilizar para analizar situaciones grandes y complejas dentro del negocio que no pueden ser resueltas por otro tipo de modelos.
- Permite el uso de información histórica para garantizar resultados factibles.
- Permite la inclusión de complicaciones del mundo real que la mayoría de los modelos simbólicos no permiten.
- Se puede utilizar cualquier distribución de probabilidad que defina el usuario (no requiere de distribuciones estándar).
- Permite resolver diversas preguntas: ¿Qué sucedería si ...?
- No interfiere con los sistemas del mundo real.
- Permite estudiar el efecto interactivo de los componentes.
- Permite conocer la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado.

---

<sup>8</sup> Robert E. Shannon, citado en Coss Bú, Raúl, "Simulación: un enfoque práctico", Limusa, México, 2003, pp.12.

**b) Desventajas.**

- Los buenos modelos simulación pueden ser muy caros y tomar varios años para desarrollarse.
- La simulación no genera soluciones óptimas, es un sistema de ensayo y error que puede producir soluciones diferentes en corridas repetidas.
- Los que simulan deben generar todas las condiciones y restricciones que desean examinar.
- Cada modelo de simulación es único.

La clave en la simulación Monte Carlo consiste en crear un modelo matemático del sistema, proceso o actividad que se quiere analizar. Sin embargo, es conveniente señalar que el proceso de generación valores de variables aleatorias no uniformes se hace a partir de números aleatorios.

Los números aleatorios conocidos como números *pseudo-aleatorios* son los elementos básicos a partir de los cuales se desarrolla cualquier simulación por un ordenador. La importancia de los números aleatorios radica en su uso para la generación de valores para las variables aleatorias más complicadas que son requeridas en los experimentos de simulación.

Las hojas de cálculo como Excel (y cualquier lenguaje de programación estándar) son capaces de generar números *pseudo-aleatorios* provenientes de una distribución uniforme entre el 0 y el 1 en los que se cumple lo siguiente:

- El enfoque se basa en métodos numéricos.
- La serie específica, depende de un valor inicial proporcionado por el usuario de acuerdo con una serie de datos determinados, es decir, información histórica para crear un nuevo escenario futuro.

Independientemente del proceso o procedimiento que se utilice para la generación de números aleatorios estos deben poseer ciertas características deseables que aseguren o aumenten la confiabilidad de los resultados obtenidos en la simulación. Tales características son:

- Son uniformemente distribuidos (generados por una distribución probabilística uniforme).
- Son estadísticamente independientes.
- Son reproducibles.

**c) Su aplicación.**

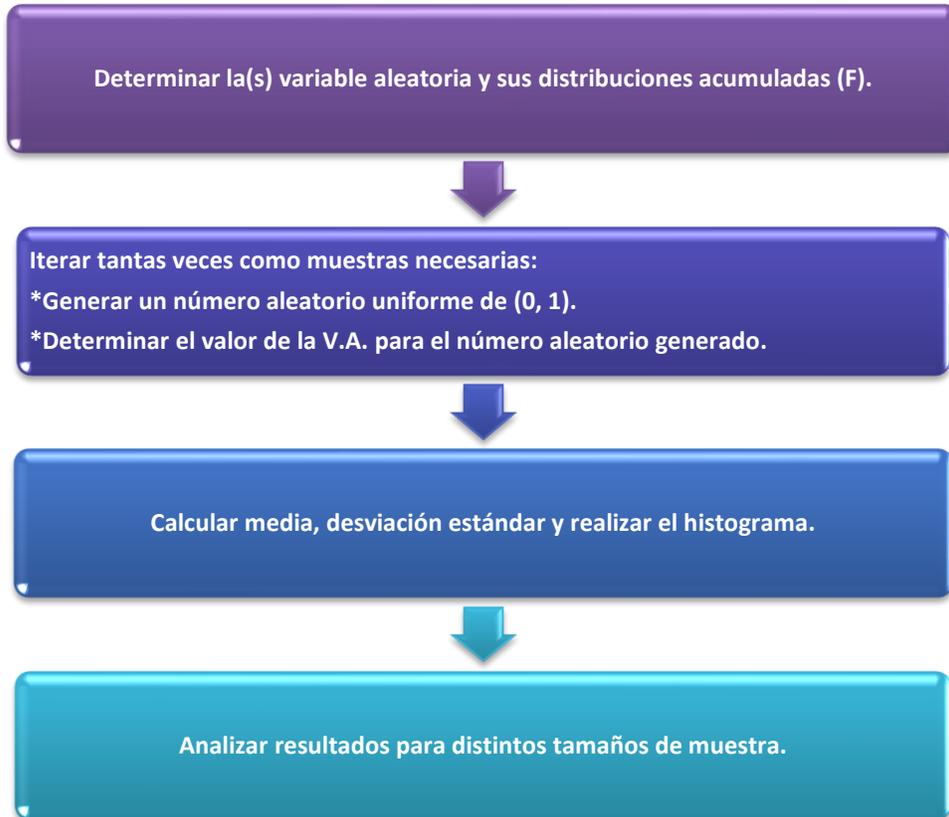
Las estimaciones del tiempo y costo que hacemos durante la planificación de un proyecto de perforación de pozos están sujetas a *variabilidad*. Esta variabilidad es debida tanto a la variabilidad intrínseca de las estimaciones, una determinada tarea no cuesta o dura siempre lo mismo, como a los riesgos asumidos, los cuales tienen una determinada probabilidad de ocurrir y un impacto.

Por ello se basa en un *valor medio* y una *variabilidad* para el costo y la duración total, los cuales pueden determinarse mediante el análisis de Monte Carlo.

El método de Monte Carlo permite calcular el valor de costo y duración del proyecto en base a un determinado grado de confianza, y así determinar en qué momento de nuestra planificación es viable fijar nuestros objetivos para el proceso de perforación de un pozo correlación.

**d) Procedimiento.**

Los pasos para aplicar Simulación Monte Carlo consisten en:



**Ilustración 3.16** Pasos de la Simulación Monte Carlo

Otra opción para trabajar con Monte Carlo, cuando la variable aleatoria no es directamente el resultado de la simulación o tenemos relaciones entre variables es la siguiente:



**Ilustración 3.17** Pasos de la Simulación Monte Carlo

Como se puede apreciar, con el método Monte Carlo es posible que el auditor pueda simular diversos escenarios de riesgo, permitiéndole realizar estimaciones de todas las posibles situaciones futuras. Corriendo distintos escenarios se tiene la posibilidad de manejar la incertidumbre del futuro y pensar en términos futuros. Con los resultados generados por los escenarios se reducen los riesgos de inversión y se facilita la elección de los controles destinados a reducir estos riesgos.

El método Monte Carlo básicamente es una forma de resolver problemas complejos mediante aproximaciones usando gran cantidad de números aleatorios. Esta investigación apuesta un poco más al análisis cuantitativo del riesgo en comparación con el análisis cualitativo, debido

a que de la implementación de la simulación se obtiene un resultado fundamentado con información histórica.

### 3.2.3 Técnica 2: Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

En la evaluación del riesgo, la toma de decisiones es primordial debido a que con los resultados del análisis de riesgo es posible priorizar los tratamientos propuestos para evitar los eventos no deseados, en relación con impacto económico que traerían consigo en el proyecto. Para que la toma de decisiones sea eficiente y eficaz, se propone la utilización de la herramienta AHP (Analytic Hierarchy Process).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica que facilita los entornos multistakeholder y multicriterio. Fue desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980, está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples.

El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios, después especifica su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas.

Mediante un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y grafica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambio en los niveles y sintetizar. *“Desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión”*.<sup>9</sup>

#### a) Fundamentos.

- La estructura del modelo es jerárquica (representación del problema mediante la identificación de metas, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.

---

<sup>9</sup> Thomas L. Saaty, *“The analytical hierarchical process”*, J. Wiley, New York, 1980.

- Síntesis.
- Análisis de sensibilidad.

*Ventajas:*

- Presentar un sustento matemático.
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes.
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones pertinentes.
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

**b) Base matemática.**

Esta metodología trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión. Formando así de esta manera el modelo convencional.

El AHP hace posible la toma de decisiones grupal mediante el agregado de opiniones, de tal manera que satisfaga la relación recíproca al comparar dos elementos. Luego toma el promedio geométrico de las opiniones. Cuando el grupo consiste en expertos, cada uno elabora su propia jerarquía, el AHP combina los resultados por el promedio geométrico.

*Prioridades del modelo AHP.*

Pide a quien toma las decisiones señalar una preferencias o prioridad con respecto a cada alternativa de decisión en términos de las medidas en la que contribuya a cada criterio. Teniendo la información sobre la importancia relativa y las preferencias, se utiliza el proceso

matemático denominado *síntesis*, para resumir la información y para proporcionar una jerarquización de prioridades de las alternativas.

*Comparaciones.*

Las comparaciones son bases fundamentales del AHP, el cual, utiliza una escala subyacente con valores numéricos de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos. Investigaciones anteriores han determinado que esta escala es razonable para distinguir las preferencias entre dos alternativas.

Escala de preferencias	
<i>Planteamiento verbal de la preferencia</i>	<b>Calificación numérica</b>
<i>Extremadamente preferible</i>	9
<i>Entre muy fuertemente y extremadamente preferible</i>	8
<i>Muy fuertemente preferible</i>	7
<i>Entre fuertemente preferible y muy fuertemente preferible</i>	6
<i>Fuertemente preferible</i>	5
<i>Entre moderadamente y fuertemente preferible</i>	4
<i>Moderadamente preferible</i>	3
<i>Entre igualmente y moderadamente preferible</i>	2
<i>Igualmente preferible</i>	1

**Tabla 3.2** Escala de preferencias del método AHP

*Matriz de comparaciones.*

Partiendo de una matriz cuadrada de  $n \times n$  que contiene comparaciones de alternativas o criterios.

Sea  $A$  una matriz  $n \times n$  y,  $a_{ij}$  el elemento  $(i,j)$  de  $A$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ , y  $j = 1, 2, \dots, n$ . Decimos que  $A$  es una matriz de comparaciones de  $n$  alternativas, si  $a_{ij}$  es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón  $i$  cuando se le compara con la alternativa de la columna  $j$ . Cuando  $i=j$ , el valor de  $a_{ij}$  será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además, se cumple que:  $a_{ij} * a_{ji} = 1$ ; es decir:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

*Axiomas del AHP.*

#### Axioma 1: Juicios recíprocos

- Si A es una matriz de comparaciones se cumple  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

#### Axioma 2: Homogeneidad

- Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud o jerarquía.

#### Axioma 3: Estructura dependiente

- Existe dependencia jerárquica en los elementos de dos niveles consecutivos.

#### Axioma 4: Orden de rango

- Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

**Ilustración 3.18** Axiomas.

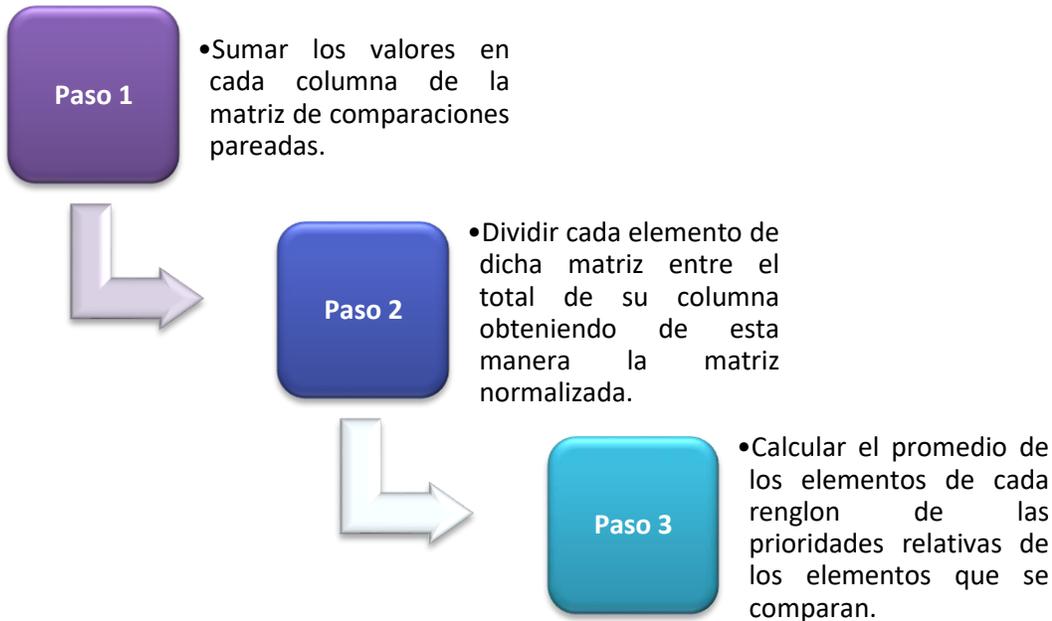
### **Síntesis**

Una vez fabricada la matriz de comparaciones se puede calcular lo que se denomina *prioridad* de cada uno de los elementos que se comparan. Este paso del AHP tiene por nombre *sintetización*. El proceso matemático preciso que se requiere para realizar tal sintetización

implica el cálculo de valores y vectores característico proporcionando de esta manera una buena aproximación de las prioridades sintetizadas.

*Sintetización de juicios.*

El proceso para sintetizar juicios se basa en los siguientes 3 pasos:



**Ilustración 3.19** Pasos de la sintetización de juicios.

*Matriz de prioridades.*

Se considera las prioridades de cada criterio en términos de la meta global:

$$\begin{array}{cc}
 \text{Criterio} & \text{Meta global} \\
 1 & \left( P'_1 \right) \\
 2 & \left( P'_2 \right) \\
 \dots & \dots \\
 m & \left( P'_m \right)
 \end{array}$$

Donde  $m$  es el número de criterios y  $P'_i$  es la prioridad del criterio,  $i$  con respecto a la meta global, para  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Se denominada matriz de prioridades a la que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. Para  $m$  criterios y  $n$  alternativas tenemos:

$$\begin{array}{c}
 \textit{Alternativa} \\
 1 \\
 2 \\
 \dots \\
 n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \textit{Criterio} \\
 \left( \begin{array}{cccc}
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Donde  $P_{ij}$  es la prioridad de la alternativa  $i$  con respecto al criterio  $j$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$ ; y  $j = 1, 2, \dots, m$ .

La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ \dots \\ P'_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Pg_1 \\ Pg_2 \\ \dots \\ Pg_n \end{pmatrix}$$

Donde  $Pg_i$  es la prioridad global (respecto a la meta global) de la alternativa  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

#### Consistencia.

El AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia entre las opiniones que proporciona el responsable de las decisiones. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones antes de continuar con el análisis.

De forma matemática, decimos que una matriz de comparación  $A$   $n \times n$  es consistente si:  $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$ , para  $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ . Esta propiedad requiere que todas las columnas y renglones de  $A$  sean linealmente dependientes. En particular, las columnas de cualquier matriz de comparación  $2 \times 2$  son dependientes y, por tanto, una matriz  $2 \times 2$  siempre es consistente.

Para determinar si el nivel de consistencia es o no "razonable", se necesita desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación  $A$   $n \times n$  (donde  $n$  es el número de alternativas comparadas). Se sabe que si la matriz  $A$  es perfectamente consistente produce una matriz  $N$   $n \times n$  normalizada, de elementos  $w_{ij}$  (para  $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), tal que todas las columnas son idénticas, es decir,  $w_{12} = w_{13} = \dots = w_{1n} = w_1$ ;  $w_{21} = w_{22} = \dots = w_{2n} = w_2$ ;  $w_{n1} = w_{n2} = \dots = w_{nn} = w_n$ .

*Nota:* Se dice que una matriz es normal o está normalizada, si conmuta con su transpuesta. Las matrices simétricas, antisimétricas u ortogonales son necesariamente normales. Sea  $M$  una matriz, se dice que es normal si  $MM^T = M^TM$ .

$$N = \begin{pmatrix} W_1 & W_1 & \dots & W_1 \\ W_2 & W_2 & \dots & W_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n & W_n & \dots & W_n \end{pmatrix}$$

Se concluye entonces que la matriz de comparación correspondiente  $A$ , se puede determinar a partir de  $N$ , dividiendo los elementos de la columna  $i$  entre  $w_i$  (que es el proceso inverso de determinación de  $N$  a partir de  $A$ ). Entonces tenemos:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

De la definición dada de  $A$ , tenemos:

$$\begin{pmatrix} 1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & 1 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nW_1 \\ nW_2 \\ \vdots \\ nW_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix}$$

Por lo que podemos asumir que  $A$  es consistente si y solo si:

$$AW = nW$$

Donde  $W$  es un vector columna de pesos relativos  $w_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) se aproxima con el promedio de los  $n$  elementos del renglón en la matriz normalizada  $N$ . Haciendo  $\bar{W}$  el estimado calculado, se puede mostrar que:

$$A * \bar{W} = n_{max} * \bar{W}$$

Donde  $n_{max} \geq n$ . en este caso, entre más cercana sea  $n_{max}$  a  $n$ , más consistente será la matriz de comparación  $A$ . Como resultado, el AHP calcula la razón de consistencia (RC) como el cociente entre el índice de consistencia de  $A$  y el índice de consistencia aleatorio.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde  $IC$  es el índice de consistencias de  $A$ .

$$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

El valor de  $n_{max}$  se calcula de  $A * \bar{W} = n_{max} * \bar{W}$  observando que la  $i$ -ésima ecuación es:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{W}_j = n_{max} \bar{W}_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Dado que  $\sum_{i=1}^n \bar{W}_i = 1$ , obtenemos:

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{W}_j \right) = n_{max} \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$$

Esto significa que el valor de  $n_{max}$  se determina al calcular primero el vector columna  $A$  y después sumando sus elementos.

$IA$  es el índice de consistencia aleatoria de  $A$ , es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones generada en forma aleatoria. Se puede mostrar que el  $IA$  depende del número de elementos que se comparan, y asume los siguientes valores:

Elementos comparados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0.00	0.00	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

**Tabla 3.3** índice de consistencia.

Algunos autores sugieren la siguiente estimación para el  $IA$ :

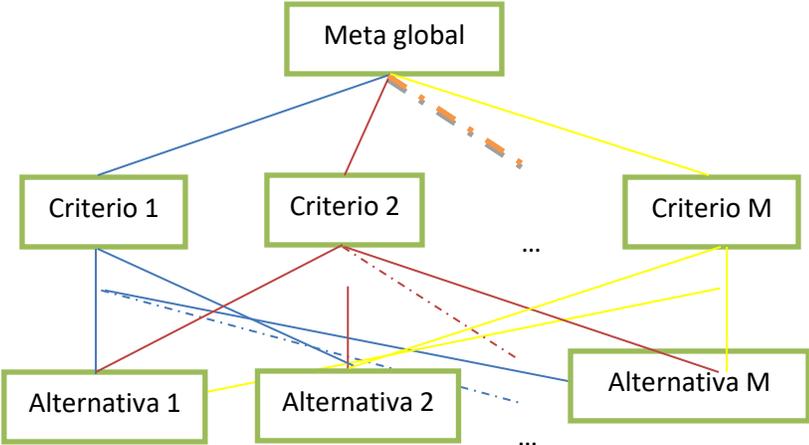
$$IA = \frac{1.98(n - 2)}{n}$$

Se calcula la razón de consistencia (RC) (o CR, de Consistency Ratio). Esta razón o cociente está diseñado de manera que los valores que exceden de 0.10 son señal de juicios inconsistentes; es probable que en estos casos el tomador de decisiones desee reconsiderar y modificar los valores originales de la matriz de comparaciones pareadas. Se considera que los valores de la razón de consistencia de 0.10 o menos son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas.

$$RC = \frac{IC}{IA}; \left\{ \begin{array}{l} RC \leq 0.10 : \text{Consistencia razonable} \\ RC > 0.10 : \text{Inconsistencia} \end{array} \right\}$$

d) Proceso de la metodología AHP

Etapa	Actividad
<p><b>1. Estructurar del modelo jerárquico</b></p>	<p>1.1 Desglosar el problema en componentes más relevantes. La jerarquía básica consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Identificar del problema</i></li> <li>• <i>Definir el objetivo</i></li> <li>• <i>Identificar criterios</i></li> <li>• <i>Identificar alternativas</i></li> </ul>
<p><b>2. Identificar el problema</b></p>	<p>2.1 Seleccionar alternativas obtenidas por el responsable/grupo de trabajo priorizando las mismas. 2.2 Comparar las alternativas entre si mediante la evaluación de criterios. 2.3 Clasificar las alternativas en función de la prioridad del problema</p> <p>¿El responsable/grupo de trabajo está de acuerdo en la clasificación? <b>Si:</b> Continúa con la etapa 3 <b>No:</b> Regresa al punto 2.1</p>
<p><b>3. Definir del objetivo</b></p>	<p>3.1 Definir el objetivo y los subobjetivos a partir de la etapa 2 3.2 Clasificar el objetivo en largo, mediano y corto plazo</p> <p>¿Los objetivos establecidos cumplen con las necesidades e intereses generales? <b>Si:</b> Continúa con la etapa 4 <b>No:</b> Regresa al punto 3.1</p>
<p><b>4. Identificar los criterios</b></p>	<p>4.1 Expresar las preferencias de los implicados en la toma de decisión. 4.2 Incluir aspectos cuantitativos y cualitativos.</p>
<p><b>5. Identificar las alternativas</b></p>	<p>5.1 proponer alternativas factibles mediante las cuales se alcance el objetivo. 5.2 Establecer los pro y contras de cada una de las alternativas.</p>

<p><b>6. Árbol de jerarquías</b></p>	<p>6.1 elabora un diagrama del problema en términos de la meta global, los criterios y las alternativas de decisión.</p>  <p>6.2 Generar todas las características que permiten diferenciar entre las alternativas.</p> <p>6.3 Agrupa las características que tienen un factor común para cada criterio, según sea el caso.</p> <p><b>Nota:</b> Se recomienda hacer el proceso partiendo de las alternativas conociendo pros y contras de caso contrario iniciar desde los objetivos.</p>
<p><b>7. Evaluación del modelo</b></p>	<p>7.1 Examina los elementos del problema aisladamente por medio de comparación de pares.</p> <p>7.2 Evalúa el modelo consensuado de acuerdo con los interés y necesidades del objetivo</p> <p>Pasos que seguir de acuerdo con los componentes del modelo jerárquico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer prioridades</li> <li>• Emisión de juicios</li> <li>• Evaluaciones</li> </ul>
<p><b>8. Establecer las prioridades</b></p>	<p>8.1 Utilizar comparaciones pareadas para establecer medidas de prioridad para los criterios como para las alternativas.</p>
<p><b>9. Emisión de juicios y evaluaciones</b></p>	<p>9.1 Recabar información científica, técnica, por experiencia y conocimientos del grupo de trabajo.</p> <p>9.2 Considerar las opiniones del equipo de trabajo involucrado en la toma de decisión.</p> <p>9.3 Evalúa por medio de comparaciones binarias frente a un tercer elemento.</p>

	<p>9.4 Realiza las preguntas correspondientes en términos de importancia, preferencia o probabilidad.</p> <p><b>Nota:</b> En el punto 9.4 se debe de apoyar de la escala de Saaty que mide los juicios emitidos.</p> <p>9.5 Encuentra el vector propio asociado al mayor valor propio de la matriz de comparaciones a pares.</p>
<p><b>10. Resultado final</b></p>	<p>10.1 Desarrolla la síntesis de las alternativas organizando de mejor a peor.</p> <p>10.2 Sintetiza las prioridades para obtener un orden de las alternativas.</p> <p>10.3 Realiza el análisis de sensibilidad.</p> <p>¿El análisis de sensibilidad cumple con el margen de Razón de Consistencia?</p> <p><b>Si:</b> Realiza reporte final y entrega resultados.</p> <p><b>No:</b> Regresa a la etapa 1 haciendo los ajustes pertinentes.</p>

**Tabla 3.4** Procedimiento AHP.

Este método, además de incorporar aspectos cuantitativos, permite involucrar aspectos cualitativos que, a menudo, suelen quedarse fuera de los análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes para algunos aspectos involucrados en la toma de decisión, como es el caso del tratamiento de los riesgos.

Esta herramienta es útil para el auditor debido a que desglosa la esencia de los problemas para tomar una decisión, incluyendo las similitudes y diferencias entre los puntos a comparar. Permitiéndole poner un interés especial a aquellos riesgos que tengan el mayor impacto económico, principalmente.

### 3.2.4 Técnica 3: Matriz de evaluación de recomendaciones.

Evaluar las recomendaciones que pudiese emitir el auditor permite conocer su factibilidad.

La implementación de esta técnica beneficia al auditor al momento de emitir su informe. Cada recomendación que se propone obtendrá una calificación de 1 al 5 (baja a alta) respecto al criterio que busque una mejora dentro del proyecto.

La finalidad de la matriz es que el auditor pueda comprobar que sus argumentos y opinión en verdad resuelven problemas, y que, la solución propuesta beneficie la mayor parte de los criterios por resolver.

De la misma manera, cada criterio se evaluará con el propósito de conocer su grado de importancia dentro de los criterios por resolver.

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RECOMENDACIONES PROPUESTAS.						
		CRITERIOS				Calificación final
		Criterio 1	Criterio 2	Etc...		
Importancia relativa (Ponderador) ==>						
RECOMENDACIONES PROPUESTAS	Recomendaciones principales					
	A) Primer recomendación					-
	B) Segunda recomendación					-
	C) Etc...					-
	D)					-
	E)					-
	Recomendaciones secundarias					
						-
						-
						-

<b>ESCALA ==&gt;</b>	5 = Alta
	4 = Media a alta
	3 = Media
	2 = Baja a media
	1 = Baja

Ilustración 3.20 Matriz de evaluación de recomendaciones propuestas.

Cada sugerencia tendrá una relación con el criterio a resolver, todo en función de la anticipada importancia relativa otorgada por el auditor.

Las recomendaciones cuya calificación final sean de mayor valor respecto a las demás, será aquellas más factibles por proponer en el informe de auditoría.

La importancia de emitir una opinión certera radica en que todos los procedimientos y tareas realizadas durante la auditoría ayuden a la dirección a tomar decisiones que tengan una trascendencia significativa para la entidad.



# **CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### 4.1 Ejecución de auditoría.

Para poder gestionar un programa de auditoría para un proceso de este tipo, haremos referencia a la ISO 19011:2018 que, proporciona una guía para todos los tamaños y tipos de organizaciones y auditorías de diferentes alcances y escalas, incluidas aquellas realizadas por grandes equipos de auditoría, generalmente de organizaciones más grandes, y aquellas realizadas por auditores individuales, ya sea en organizaciones grandes o pequeñas. Esta orientación debería adaptarse según corresponda al alcance, la complejidad y la escala del programa de auditoría.<sup>10</sup>

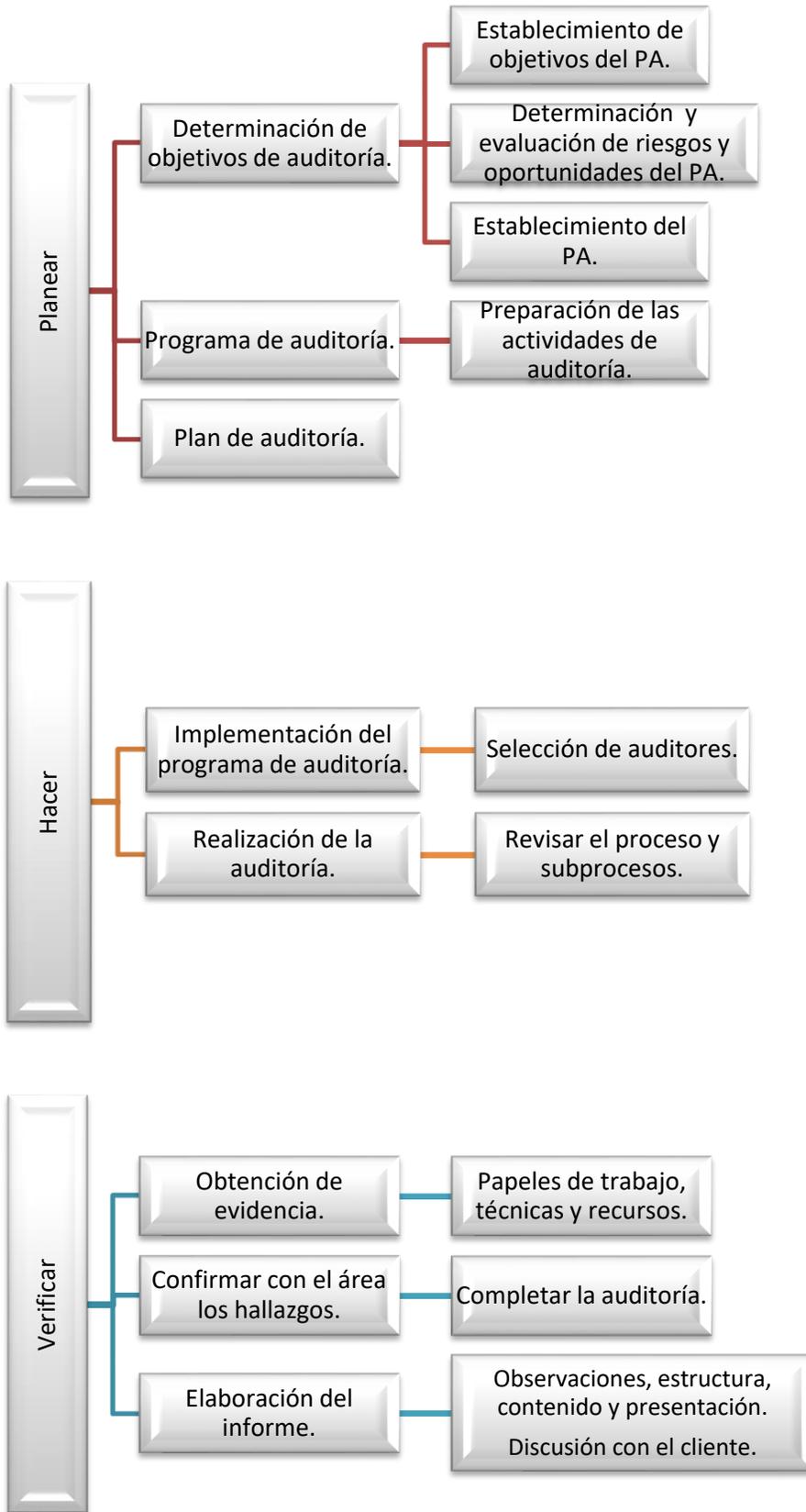
Para la realización de la auditoría es necesario establecer un programa con objetivos definidos, cuyo alcance debería basarse en el tamaño y la naturaleza del auditado, así como en la naturaleza, funcionalidad, complejidad, el tipo de riesgos y oportunidades, y el nivel de madurez de los sistemas de gestión en caso de ser auditados. Además, es necesario incluir cronograma (número/duración/frecuencia) de las auditorías, tipo de auditoría (interna o externa), criterios, métodos a aplicar, cómo se determina a los miembros del equipo de auditoría e información documentada relevante.

Una vez establecido del programa de auditoría, se da paso a la ejecución. La ISO 19011:2018 orienta al auditor cómo preparar y llevar a cabo una auditoría específica como parte de un programa de auditoría.

Dentro de la misma norma, se señalan cuatro pasos importantes para la realización de una auditoría, por lo tanto, a continuación, se presenta una secuencia basada en la misma. Es importante destacar que la secuencia puede variar según el auditado, los procesos y las circunstancias específicas de la auditoría.

---

<sup>10</sup> Con base en la Norma Internacional ISO 19011, *Directrices para la auditoría de Sistemas de Gestión*, Suiza, 2018, pp. vi





**Ilustración 4.1** Secuencia de la auditoría basada en la ISO 19011:2018 (ciclo planear – hacer – verificar – actuar).

A partir de dicha secuencia, se describirán algunos elementos llevados a cabo en la auditoría propuesta para la evaluar el proceso de perforación de un pozo petrolero.

#### 4.1.1 Determinación de objetivos de auditoría.

La auditoría propuesta, tiene como objetivo verificar el grado de cumplimiento del programa de perforación determinado por la empresa contra la operación diaria (previamente documentada). Para llevar a cabo dicha tarea, se estudiarán los tiempos no productivos (NPT) porque permiten encontrar áreas de mejora, además de ser un indicador importante dentro de la industria en términos de eficiencia (costos) y eficacia (logro de metas).

Dentro de la industria, la realización de este tipo de auditoría beneficia principalmente a la ejecución de actividades involucradas en el proceso, de esta manera se podrán optimizar prácticas y tiempos de perforación en un nuevo proyecto. Con esto, los costos no tendrán un intervalo de diferencia considerable (recordemos que los costos por un día de perforación son elevados).

El alcance que se establece aplica a todos los subprocesos que integran un proyecto de este tipo: acondicionamiento del área, perforación, toma de información, colocación de tubería de revestimiento y cementación.

Por otra parte, los criterios a considerar son: el programa de perforación (principalmente) y; todo aquel procedimiento, programa y normativa que aplique a cada uno de los subprocesos.

#### **4.1.2 Programa de auditoría.**

Actualmente el concepto de auditoría no se aplica en su totalidad, debido a que la terminología técnica es un impedimento para el auditor y por la considerable cantidad de datos que se genera. Sin embargo, diversas empresas realizan un análisis post-mortem, en ellos identifican sus tiempos no productivos y sus causas.

A pesar de que los interesados (a través de su análisis) determinan las oportunidades de mejora, las posibles soluciones que puedan proporcionar (la mayoría de las veces) no pasan de un reporte anual.

Por lo anterior, se recomienda que este tipo de auditoría se implemente cada 6 meses, con la finalidad de que en la elaboración de un nuevo proyecto se puedan prevenir riesgos relevantes.

Llevar a cabo este tipo de auditoría, facilita la toma de decisiones, todo esto debido a que las cifras obtenidas al final del análisis metodológico no pasan desapercibidas por la parte interesada.

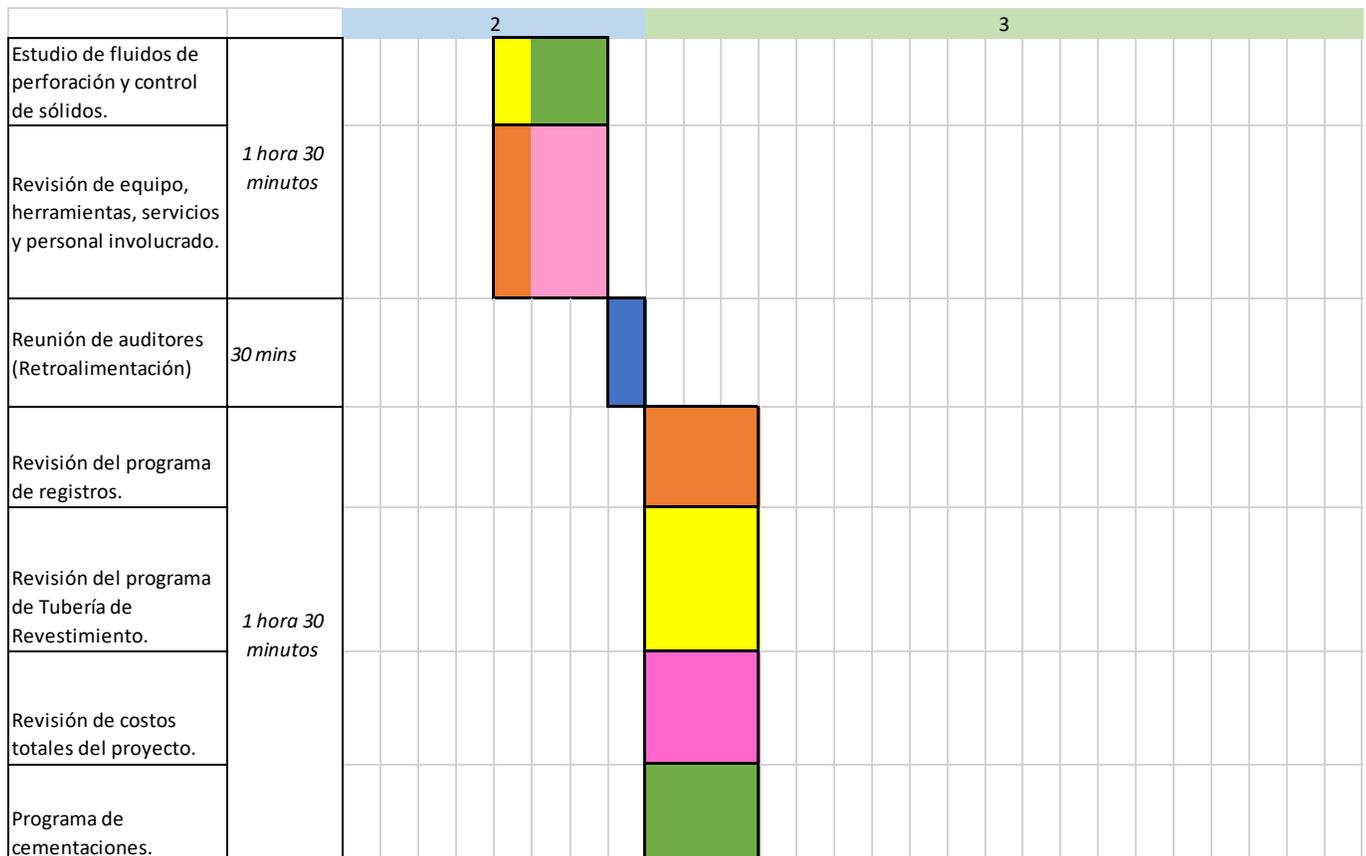
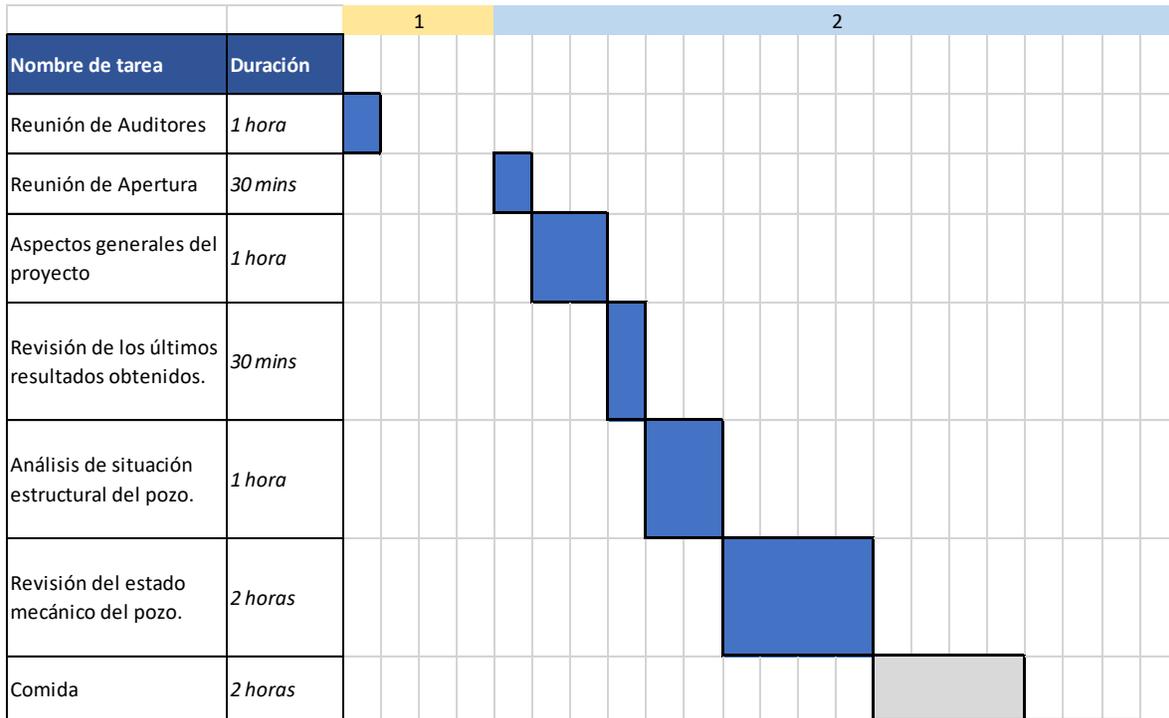
#### **4.1.3 Plan de auditoría e implementación del programa de auditoría.**

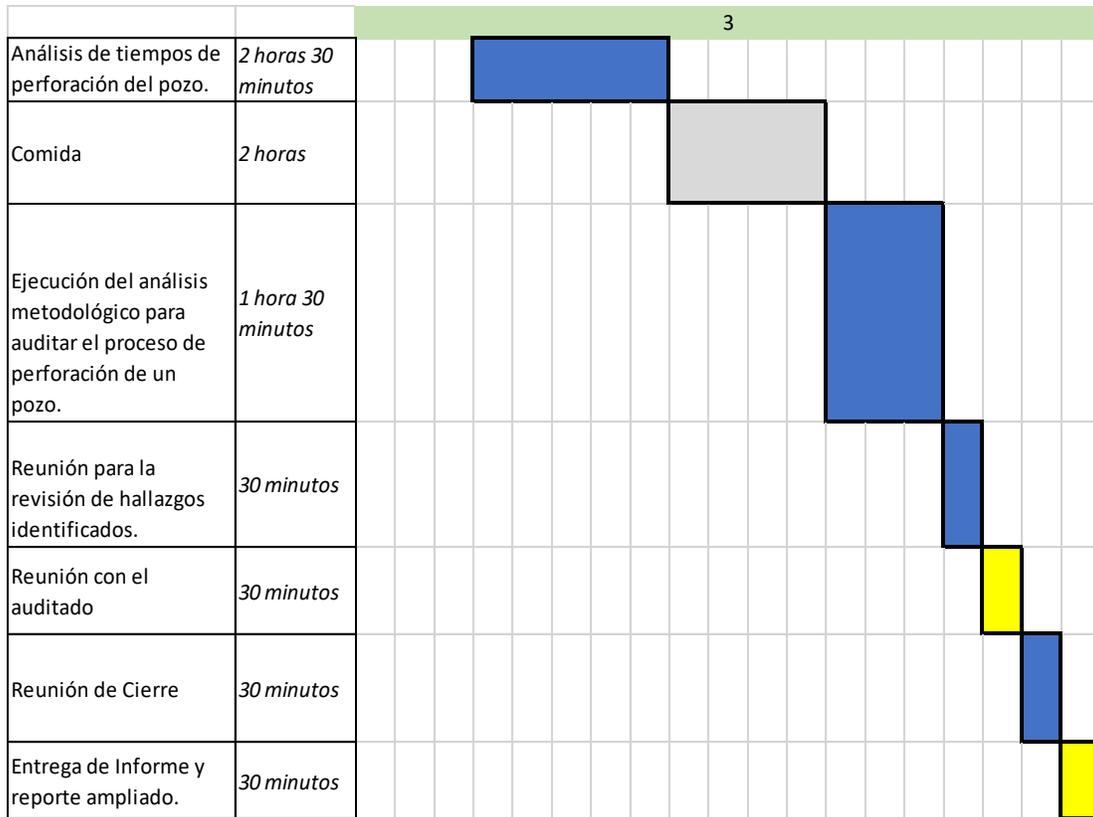
Para efectuar una auditoría de este tipo se recomienda ejecutarla en un período de tres días con la integración de un equipo auditor con cuatro elementos.

Se espera que cada auditor tenga conocimientos del proceso a revisar y capacitación constante, así como experiencia en el rubro (en función de las actividades asignadas).

El auditor líder debe tener experiencia en el análisis de la información que se pueda obtener durante la etapa post mortem de la perforación del pozo.

Los tiempos definidos para cada una de las actividades asignadas al equipo auditor son las siguientes:





**Ilustración 4.2** Cronograma de actividades para la realización de la auditoría.

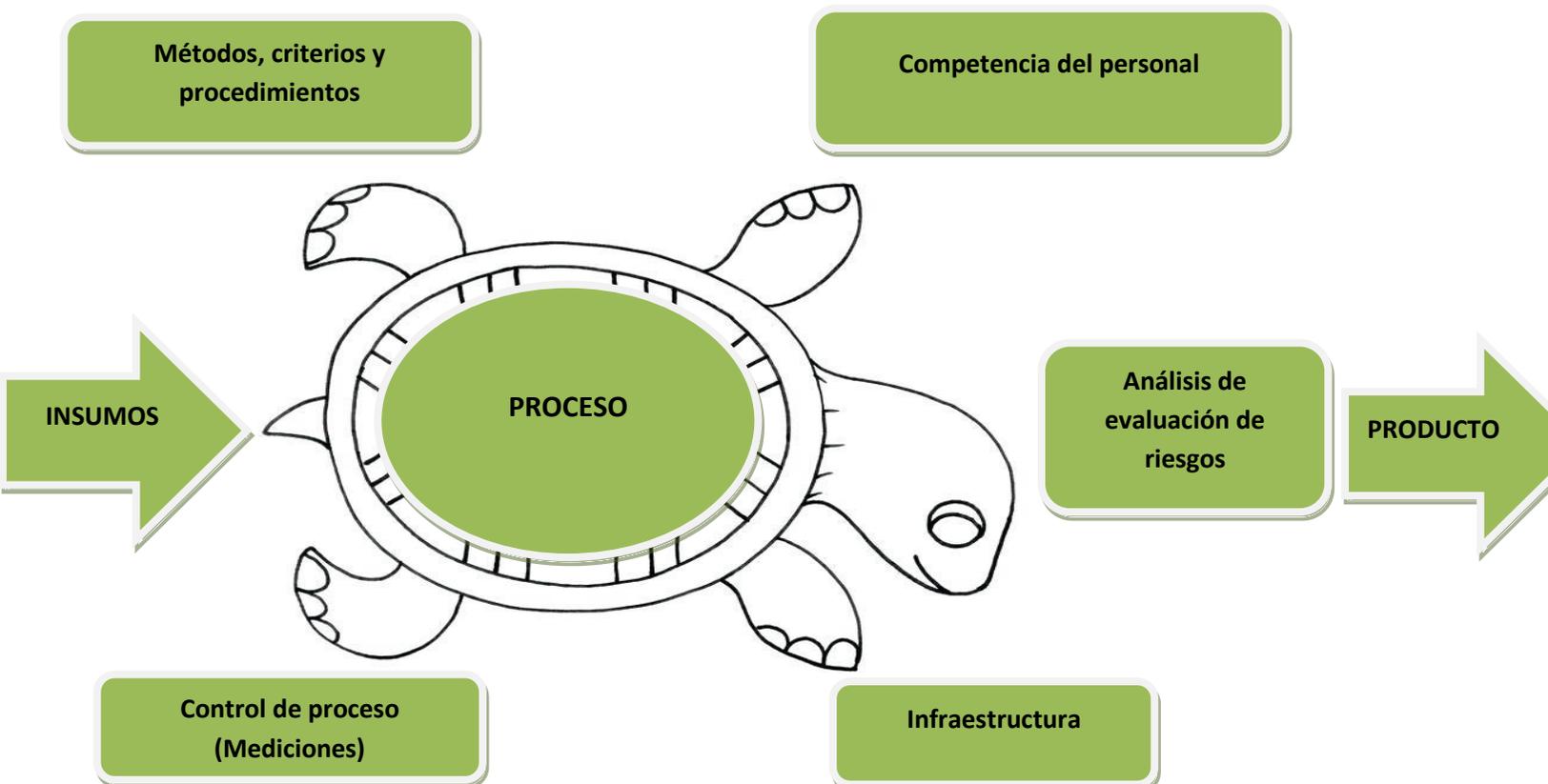
En el anexo C se describe a detalle el plan de auditoría.

#### 4.1.4 Realización de la auditoría

##### 4.1.4.1 Estudio del proceso.

Para la realización de una auditoría a un proceso de perforación de un pozo, es importante definir algunos aspectos clave. De acuerdo con la Norma Internacional ISO (Organización Internacional de Normalización) 19011:2018, que proporciona las directrices para la auditoría de los sistemas de gestión y con un enfoque basado en procesos, es posible definir nuestro proceso de manera global.

<b>Proceso:</b>	Perforación de un pozo petrolero.
<b>Subprocesos Operativos:</b>	Acondicionamiento del área, perforación, toma de información, colocación de tubería de revestimiento y cementación.
<b>Dueño (responsable) del Proceso:</b>	Compañía outsourcing.
<b>Subdirección/área:</b>	Perforación y Terminación de Pozos.
<b>Objetivo del Proceso o Subproceso:</b>	Probar el concepto de play no convencional de aceite y gas en lutitas y evaluar el recurso potencial de hidrocarburos contenidos en secuencias arcillo-carbonatadas de edad Jurásico Superior.



Insumos	Métodos, criterios y procedimientos	Control de proceso (Mediciones)	Competencia del personal
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Solicitud del Proyecto</li> <li>•Barrena</li> <li>•Lodo de perforación</li> <li>•Registros eléctricos</li> <li>•Tubería de</li> <li>•Revestimiento.</li> <li>•Cemento Portland</li> <li>•BOP's</li> <li>•Herramientas especiales.</li> <li>•EPP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Programa de perforación del Pozo.</li> <li>•<i>Proc. EP-OP- 0023-2011.</i></li> <li>•<i>Proc. PG-SS-TC-0037-2011.</i></li> <li>•<i>Proc. EPP.</i></li> <li>•<i>Proc. PG-SS-TC-0036-2011.</i></li> <li>•<i>Proc. Delimitación de áreas.</i></li> <li>•<i>Proc. OP-211-0154 para meter TR.</i></li> <li>•<i>NOM-115-STPS-2009</i></li> <li>•<i>NOM-052-SEMARNAT- 2005</i></li> <li>•<i>LGEEPA</i></li> <li>•<i>Ley de hidrocarburos</i></li> <li>•<i>Lineamientos de Perforación de Pozos (CNH).</i></li> <li>•<i>NOM-115-SEMARNAT-2003 (Perforación de pozos terrestres).</i></li> <li>•<i>Reglamento de trabajos petroleros.</i></li> <li>•<i>Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.</i></li> <li>•<i>Normatividad aplicable a UPMP: operaciones de perforación de pozos.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Días de perforación.</li> <li>•Profundidad.</li> <li>•% de Avance (días).</li> <li>•% de Avance (profundidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Superintendente.</li> <li>•Ingeniero.</li> <li>•Perforador.</li> <li>•Auxiliares.</li> <li>•Ayudantes de trabajos de piso.</li> <li>•Químico.</li> <li>•Mecánico.</li> <li>•Electricista.</li> <li>•Soldador.</li> <li>•Supervisores.</li> <li>•Personal idóneo para el proceso.</li> </ul>



**Ilustración 4.3** Desglose del proceso (diagrama de tortuga).

Una vez definido nuestro proceso, es más fácil identificar los aspectos a revisar para poder cubrir con los objetivos de la auditoría.

#### 4.1.4.2 Análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo.

De acuerdo con el orden propuesto para la realización del análisis, se presentarán los resultados de cada una de las técnicas y el tipo de simulación que se empleó para auditar el proceso de perforación de un pozo petrolero, todo a partir del estudio de los tiempos no productivos de diez pozos ya perforados en un mismo campo. Lo anterior, con la intención de prever los riesgos relevantes para la perforación de un nuevo pozo correlación.

Para realizar los diversos cálculos matemáticos de las técnicas y la simulación, se propone el uso del programa Microsoft Excel por su fácil manejo.



**Ilustración 4.4** Pantalla de inicio del análisis metodológico.

El archivo, también cuenta con un menú para elegir la hoja de cálculo correspondiente a cada uno de los elementos que integran este análisis metodológico.



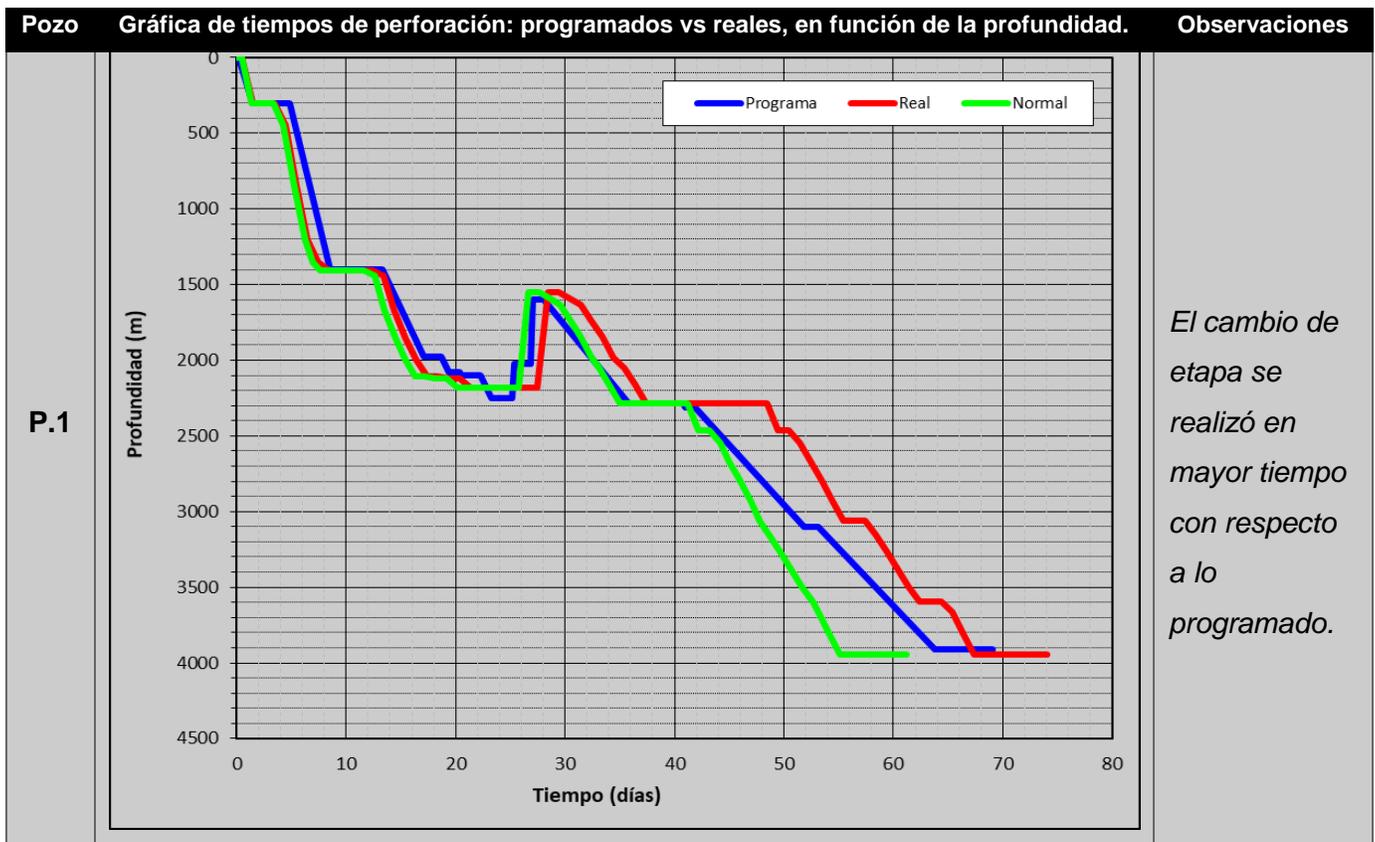
**Ilustración 4.5** Matriz de evaluación de recomendaciones propuestas.

**4.1.4.3 Técnica 1: Sistema de Información Operativa de Perforación (SIOP).**

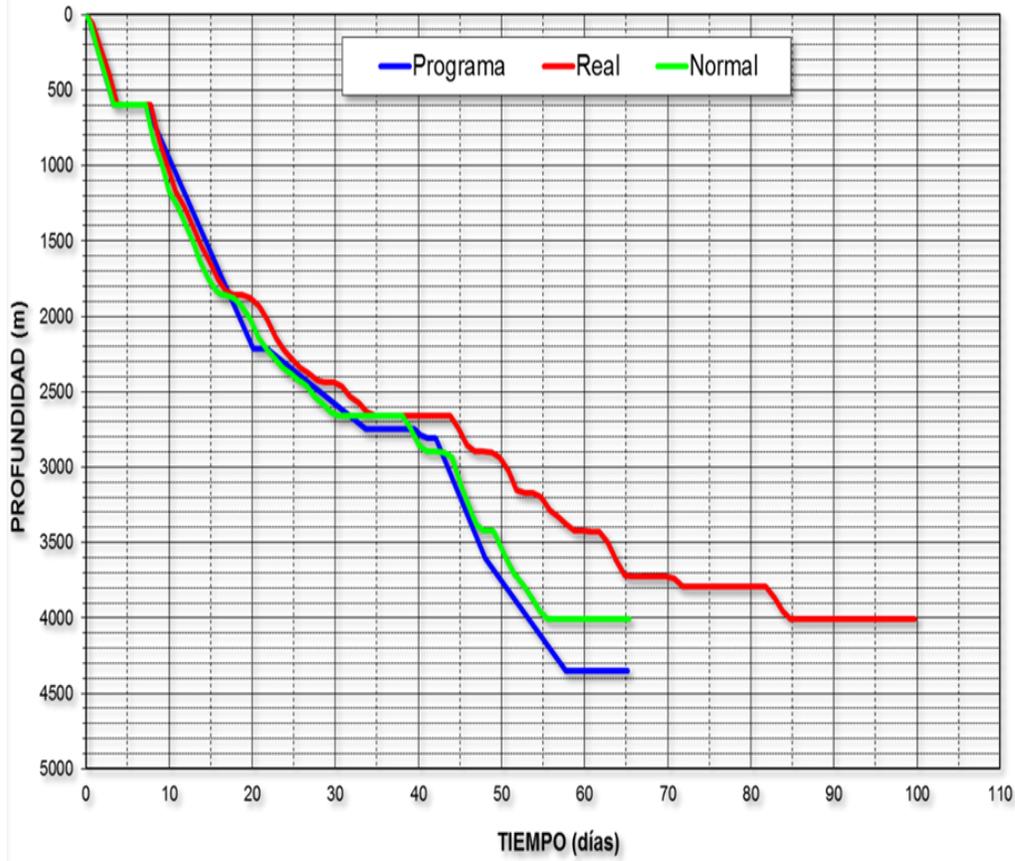
El botón “Análisis del SIOP” contiene información general de procesos de perforación pasados, con la finalidad de emplear datos reales a partir de una muestra. Parte de la información contenida en la hoja de cálculo se presenta en este apartado.

Como principales consideraciones, el campo está contenido totalmente en el estado de Coahuila, México, donde se explotan hidrocarburos de la formación Eagle Ford, siendo yacimientos no convencionales en búsqueda de aceite y gas en lutitas (cuenca de Burgos). Los diez pozos estudiados poseen una arquitectura similar.

A continuación, se mostrarán las distribuciones de los tiempos por pozo.

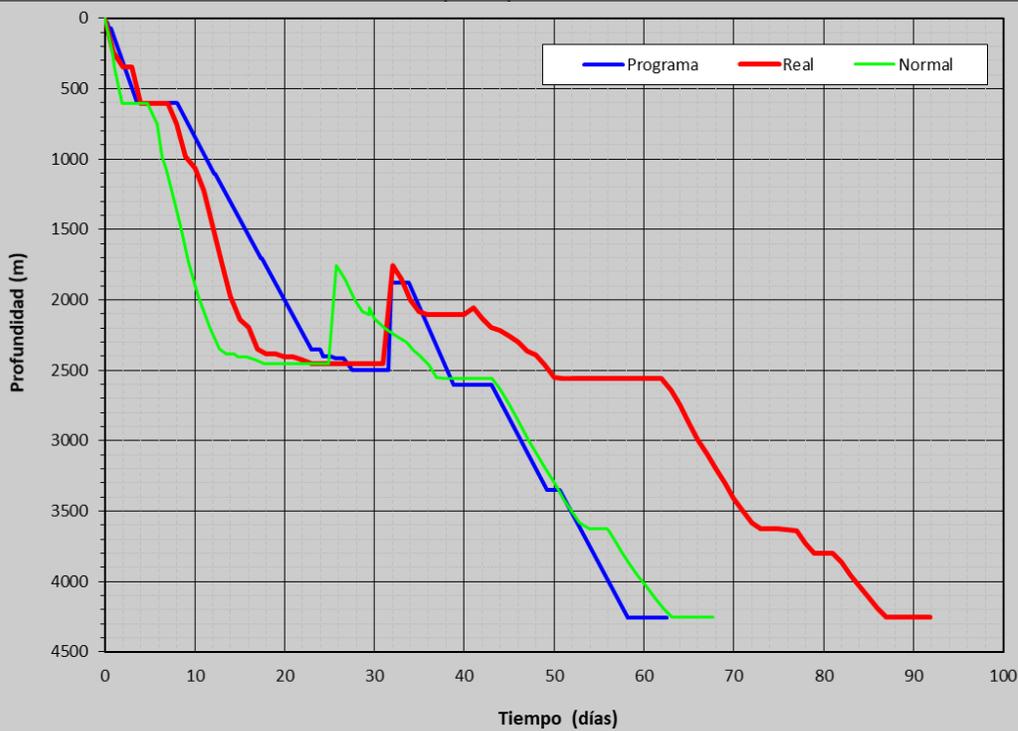


P.2



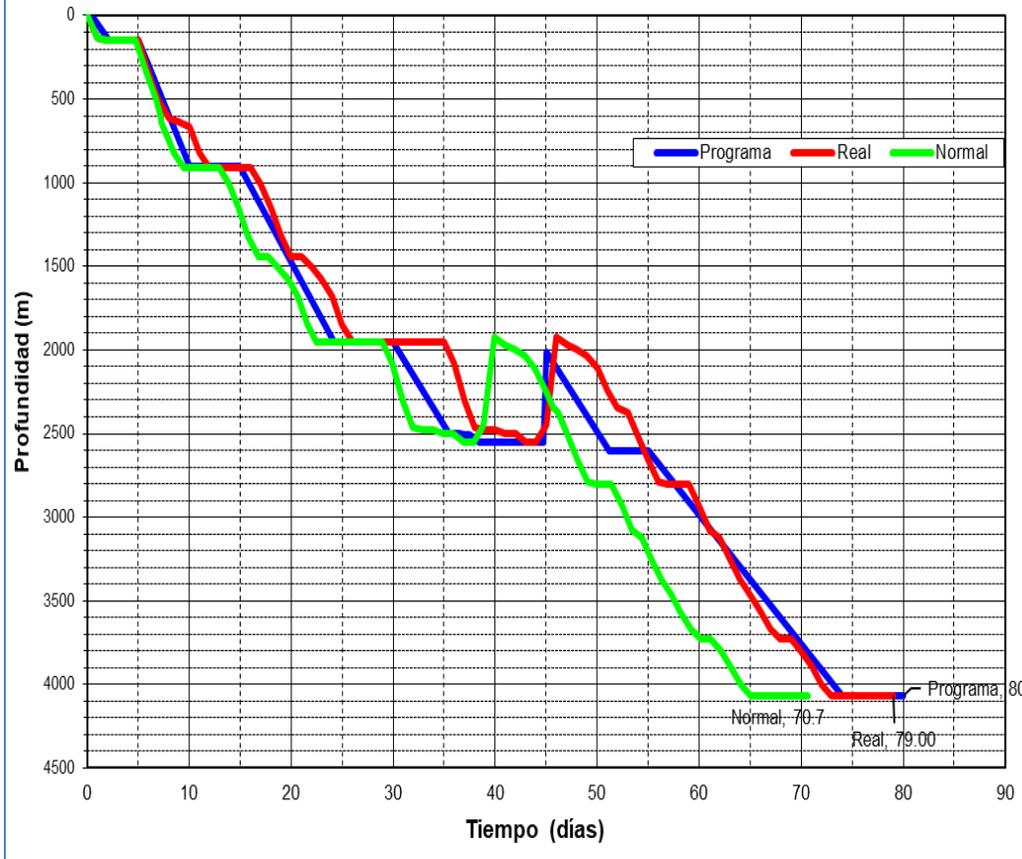
*La perforación se realizó en mayor tiempo con respecto a lo programado.*

P.3



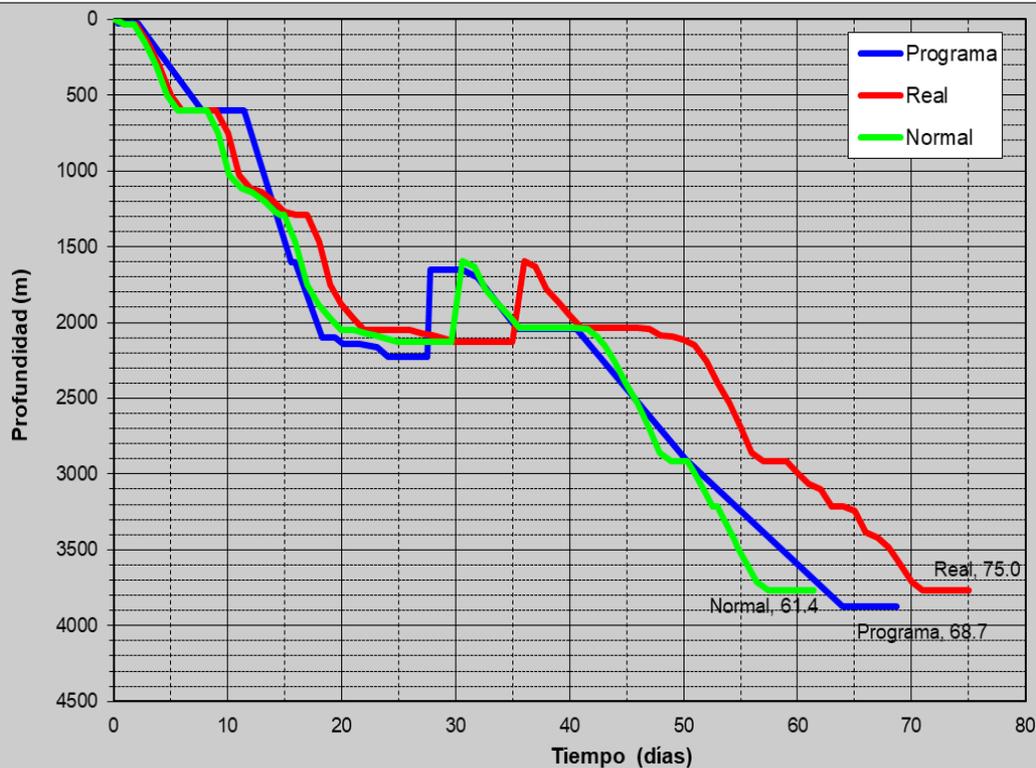
*La perforación y el cambio de etapa se realizaron en mayor tiempo con respecto a lo programado.*

P.4



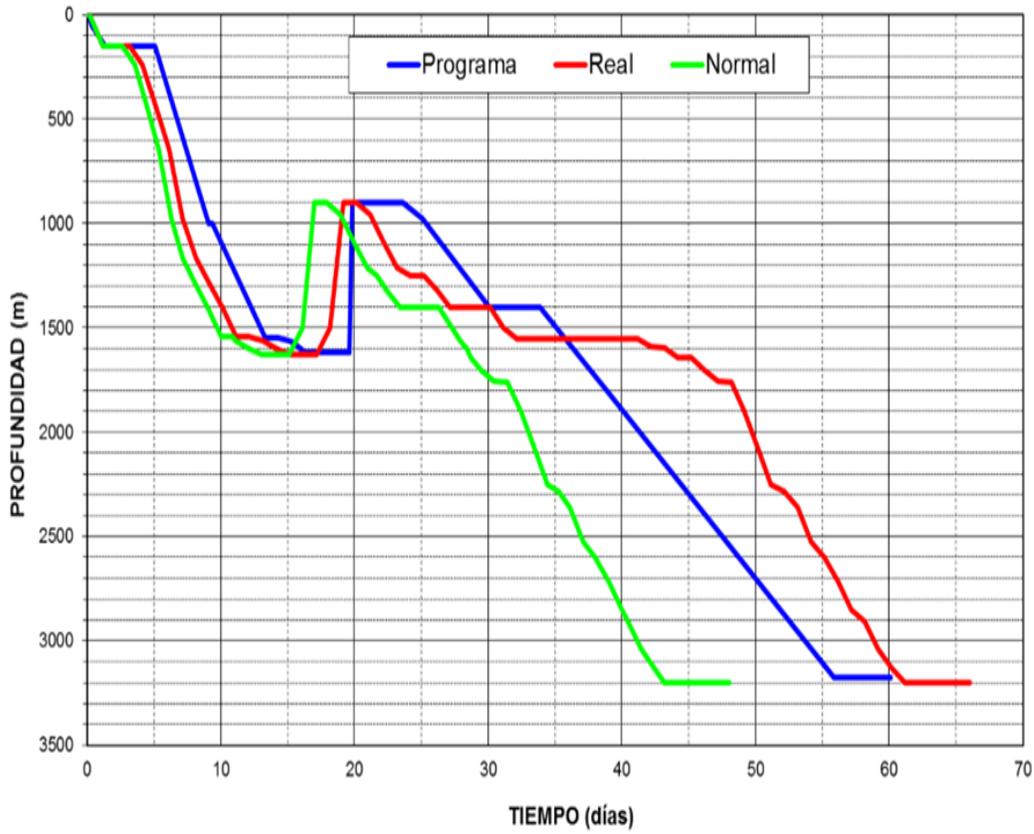
*Tanto la actividad de perforación, cambio de etapa y toma de información se realizaron eficientement e con respecto a lo programado.*

P.5



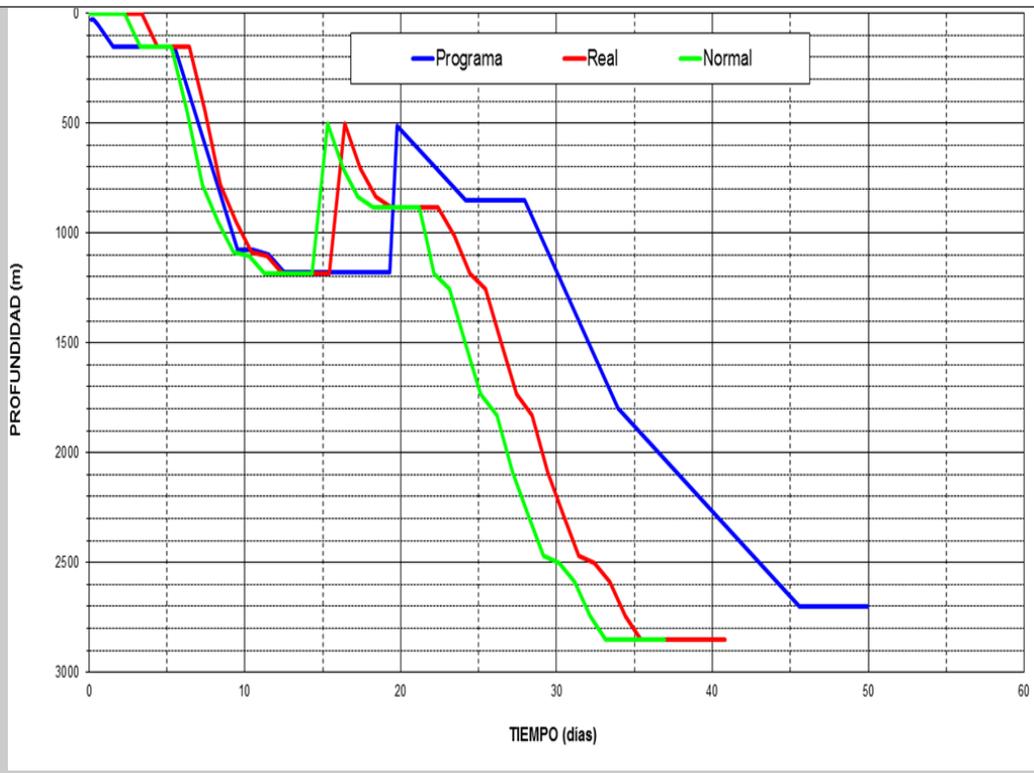
*La perforación se realizó en mayor tiempo con respecto a lo programado.*

P.6

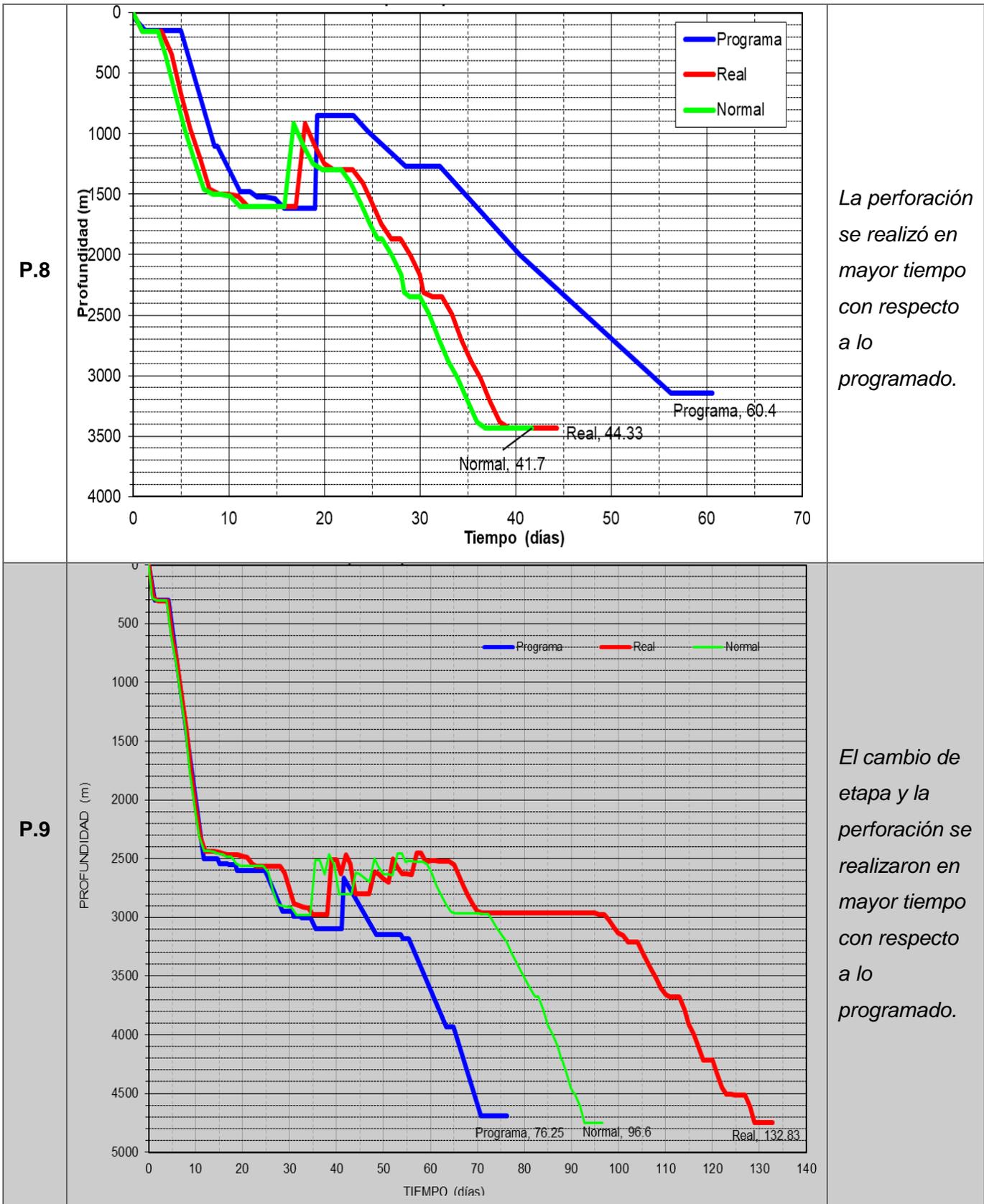


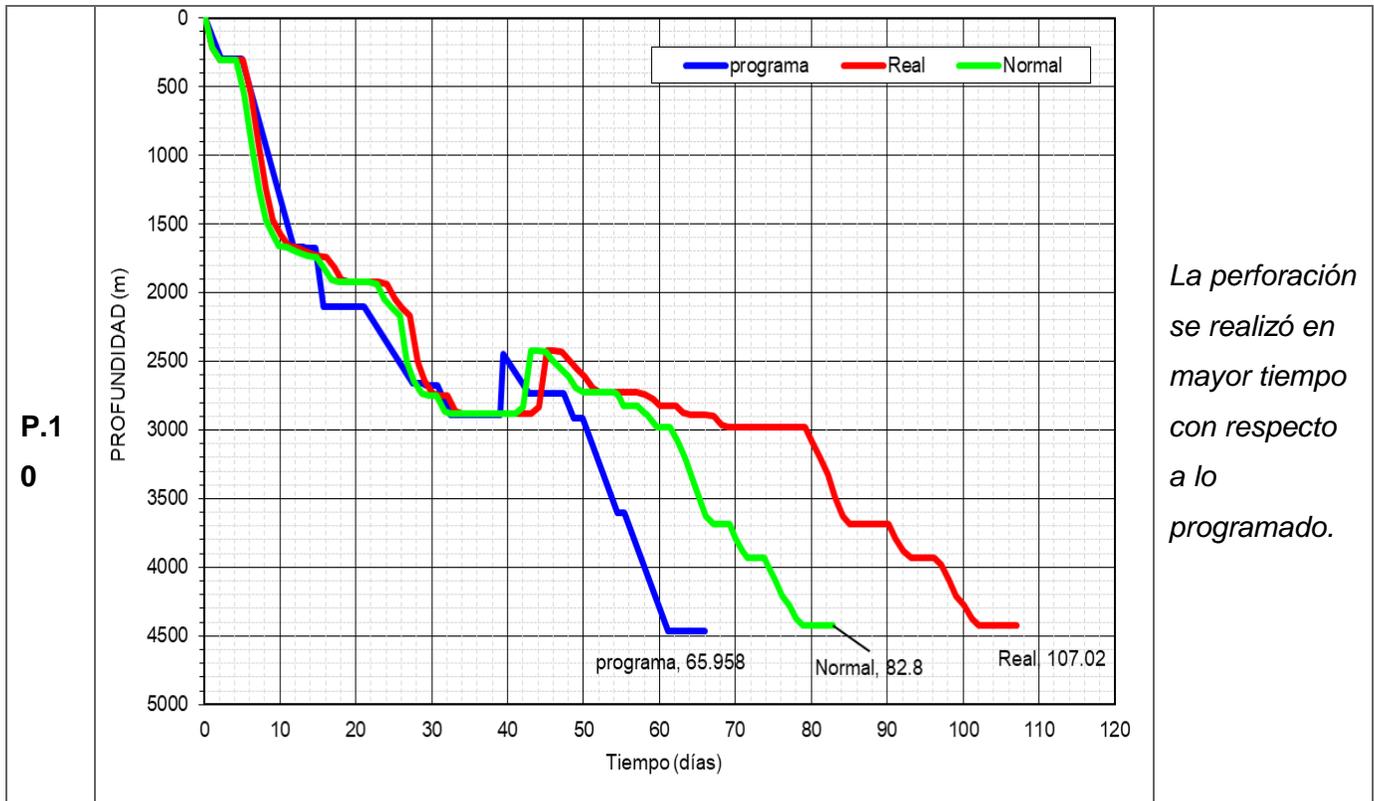
*La perforación se realizó en mayor tiempo con respecto a lo programado.*

P.7



*El cambio de etapa se realizó en mayor tiempo con respecto a lo programado.*





**Tabla 4.1** Análisis del SIOF (post mortem).

Posteriormente al estudio de los tiempos reales, la integración de datos históricos relevantes de los diez pozos estudiados ayudará a crear un nuevo escenario para poder predecir los principales riesgos que darían lugar a un incremento de tiempos no productivos y costos dentro de un proyecto de perforación de pozos petroleros.

Pozos	Planeados (días)				Reales (días)				Profundidad (mD)	NPT
	Perforación n	Cambio de etapa	Toma de información	Total	Perforación n	Cambio de etapa	Toma de información	Total		
P.1	47.42	17.63	4.03	69.08	42.02	27.35	4.67	74.04	3937	4.96
P.2	48.76	11.84	4.62	65.22	82.44	14.52	2.77	99.73	4007	34.51
P.3	43.65	13.93	4.98	62.56	61.75	25.35	4.78	91.88	3937	29.32
P.4	47.84	25.71	6.46	80.01	48.67	25.4	4.94	79.01	4071	-1
P.5	38.26	23.42	7	68.68	52.17	19.52	3.31	75	3770	6.32
P.6	47.46	8.81	3.83	60.1	53.19	8.75	4.08	66.02	3200	5.92
P.7	29.63	16.48	2.23	48.34	26.85	11.71	3.83	42.39	2850	-5.95
P.8	38.43	16.31	5.88	60.62	25.83	13.98	5.65	45.46	3436	-15.16
P.9	44.43	17.99	13.82	76.24	62.92	59.56	10.35	132.83	4750	56.59
P.10	41.38	17.12	7.48	65.98	77.17	22.67	7.19	107.03	4417	41.05

**Tabla 4.2** Análisis de tiempos no productivos de diez pozos.

#### 4.1.4.4 Simulación Monte Carlo.

De la mano con el análisis del SIOP, es posible dar lugar a la Simulación Monte Carlo.

El riesgo por analizar del presente estudio involucra a los costos y tiempos de perforación, conociendo la posibilidad de que uno o varios eventos no deseados actúen en contra de los intereses del proyecto. Lo anterior, involucra desde déficits al momento de realizar una actividad programada hasta incidencias de gran magnitud con pérdidas humanas.

Si los riesgos son del conocimiento de la entidad, deberán ser calculados y considerados tanto en la cotización como en los programas operativos.

Los costos que se simularon por el método de Monte Carlo se dividen en costos indirectos y costos directos.

Los costos indirectos son aquellos que la empresa debe afrontar independientemente de la cantidad de obra que se esté efectuando.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salarios y prestaciones del personal fijo</li> <li>• Dirección</li> <li>• Ingeniería</li> <li>• Ventas</li> <li>• Administración</li> <li>• Compromisos adquiridos en la compra de bienes muebles e inmuebles como:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Equipos de perforación y reparación de pozos</li> <li>○ Equipos auxiliares de perforación</li> <li>○ Cabina de registros geofísicos</li> <li>○ Unidad cementadora</li> <li>○ Unidad de inspección tubular</li> <li>○ Unidades de control de sólidos</li> <li>○ Unidad de tubería flexible</li> </ul> </li> </ul>	<p>Infraestructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificios</li> <li>• Equipamiento de oficina y equipo de cómputo</li> <li>• Talleres de mantenimiento y operación</li> <li>• Patios de tuberías</li> <li>• Laboratorios</li> <li>• Plantas de cemento</li> <li>• Plantas de lodo</li> <li>• Almacenes</li> <li>• Plantas de ácido</li> </ul>
<p>Transportes y equipo de movimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Embarcaciones</li> <li>• Helicópteros</li> <li>• Equipo de transportación terrestre</li> <li>• Transporte de personal</li> <li>• Grúas</li> <li>• Montecargas</li> <li>• Cargadores frontales de tubería</li> </ul>	<p>Herramientas especiales de perforación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías de perforación</li> <li>• Lastrabarrenas</li> <li>• Preventores</li> <li>• Llaves de apriete</li> <li>• Martillos</li> <li>• Coronas</li> <li>• Barrenas</li> </ul> <p>Mantenimiento y servicios de equipos suspendidos.</p>

**Tabla 4.3** Costos indirectos.

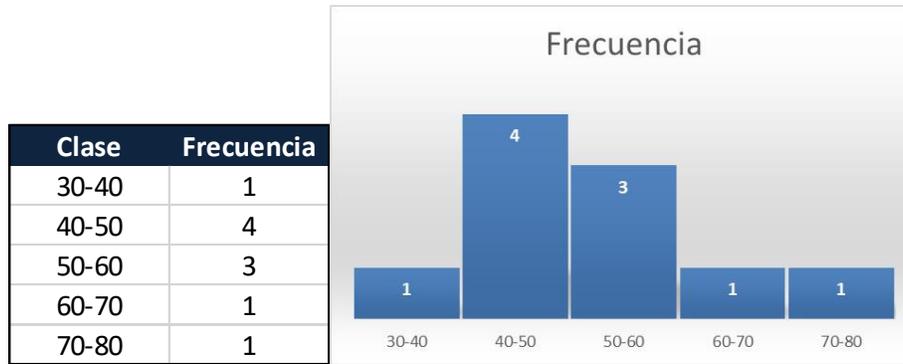
Los costos directos son aquellos que se asignan para la perforación y mantenimiento de pozos. Varían de acuerdo con los días de obra generada. Los constituyen principalmente:

<p><b>Mano de obra directa</b></p> <p>Materiales definitivos para el pozo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubería de revestimiento y producción.</li> <li>• Árbol de válvulas</li> <li>• Aparejo de producción</li> <li>• Cementos y aditivos</li> </ul> <p>Consumibles para el pozo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluidos de perforación</li> <li>• Barrenas</li> <li>• Herramientas especiales</li> <li>• Pescantes y refacciones</li> <li>• Accesorios de tubulares</li> </ul> <p>Consumibles para el equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustibles</li> <li>• Filtros para la maquinaria</li> <li>• Agua</li> <li>• Lubricantes</li> <li>• Refacciones para las conexiones superficiales de control</li> </ul> <p>Materiales diversos de mantenimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soldadura</li> <li>• Placa de acero</li> <li>• Cable de acero para malacate y grúas</li> <li>• Oxígeno y acetileno</li> <li>• Bandas</li> <li>• Cable eléctrico</li> <li>• Filtros</li> <li>• Refacciones de bombas de lodos</li> <li>• Pintura y anticorrosivos</li> </ul>	<p><b>Materiales y servicios para mantenimiento preventivo y correctivo.</b></p> <p>Materiales y equipo de seguridad industrial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el personal (guantes, botas, casco, lentes, ropa de trabajo, etc.)</li> <li>• Para el equipo (botes salvavidas, redes contra incendio, anuncios de seguridad, etc.)</li> </ul> <p><b>Equipo, materiales y servicios para protección ambiental</b></p> <p>Servicios al pozo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros geofísicos</li> <li>• Cementaciones</li> <li>• Control de desviación</li> <li>• Asesorías especializadas</li> <li>• Árboles de válvulas</li> <li>• Aparejos de producción</li> <li>• Llaves de aprieta</li> <li>• Inspección tubular.</li> </ul> <p><b>Servicios de terminación del pozo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disparos</li> <li>• Pruebas de formación</li> <li>• Estimulación y/o fractura</li> <li>• Ácidos y aditivos</li> <li>• Tubería flexible</li> <li>• Aforos</li> <li>• Registros de producción</li> <li>• Servicios de línea de acero</li> <li>• Nitrógeno</li> <li>• Fluidos de terminación</li> <li>• Filtros</li> </ul>
--	--

**Tabla 4.4** Costos Directos.

Todos los riesgos implican costo, debido a que para minimizarlos o combatirlos implica una inversión considerable para la entidad, generándole así una pérdida económica.

Con ayuda de la Simulación de Monte Carlo, los riesgos fueron calculados de acuerdo con la incidencia histórica, por lo que la estadística de riesgos permitió seleccionar datos históricos de pozos similares (pertenecientes del mismo campo), generando así una tendencia de probabilidades en un histograma.



**Ilustración 4.6** Índice de perforación en metros/días.

Se grafica el número de pozos perforados a diferentes rangos de ritmo de perforación (metros perforados/día). Se observa que la mayor concentración de pozos fue perforada entre 40 y 50 m/d, lo que significa que las posibilidades de continuar con esta tendencia son mayores, aunque pueden existir casos en los cuales la perforación sea más lenta, provocando un aumento en el costo. Con esta información y con los datos obtenidos a través del análisis del SIOP se inició la simulación.

Inicialmente, se examinaron los datos referentes a días planeados y reales. Para los días planeados se calcularon sus frecuencias (de acuerdo con información histórica) según los días que se esperaban para realizar la perforación de los 10 pozos estudiados; logrando crear intervalos para precisar el número de días correspondientes para un número aleatorio.

Pozos	Días Planeados	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Int_Inf	Int_Sup	Días
P.1	69.08	11%	11%	0%	11%	69.08
P.2	65.22	10%	20%	11%	20%	65.22
P.3	62.56	10%	30%	20%	30%	62.56
P.4	80.01	12%	42%	30%	42%	80.01
P.5	68.68	10%	53%	42%	53%	68.68
P.6	60.1	9%	62%	53%	62%	60.1
P.7	48.34	7%	69%	62%	69%	48.34
P.8	60.62	9%	78%	69%	78%	60.62
P.9	76.24	12%	90%	78%	90%	76.24
P.10	65.98	10%	100%	90%	100%	65.98

**Ilustración 4.7** Datos iniciales para la simulación (días planeados).

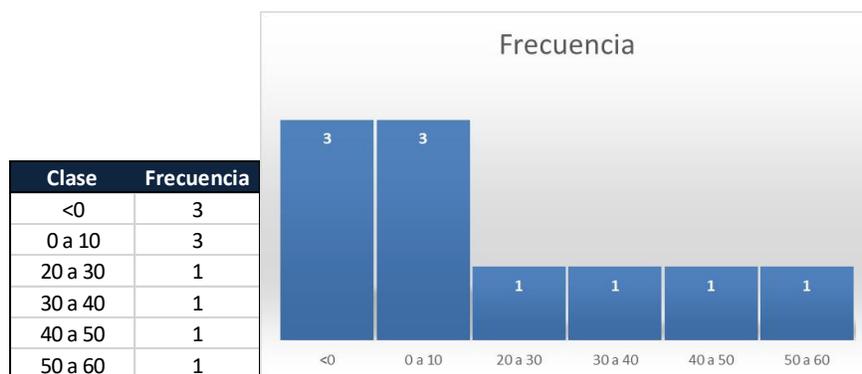
Por otra parte, para los días reales se obtuvieron los tiempos no productivos, los cuales causaron un incremento considerable en costos tanto por fallas con herramientas, el comportamiento del pozo y malas prácticas, principalmente.

Pozos	Días Reales	Profundidad (mD)	m/día	NPT
P.1	74.04	3937	53.17	4.96
P.2	99.73	4007	40.18	34.51
P.3	91.88	3937	42.85	29.32
P.4	79.01	4071	51.53	-1
P.5	75	3770	50.27	6.32
P.6	66.02	3200	48.47	5.92
P.7	42.39	2850	67.23	-5.95
P.8	45.46	3436	75.58	-15.16
P.9	132.83	4750	35.76	56.59
P.10	107.03	4417	41.27	41.05



**Ilustración 4.8** Datos iniciales para la simulación (días reales).

Además, se estimó la media y desviación estándar para utilizar números aleatorios, permitiendo crear también un posible escenario. Adicionalmente, se obtuvo un histograma para los tiempos no productivos, el cual demuestra que, en la perforación de diez pozos, tres se realizaron días antes de lo planeado y los demás se ocuparon más tiempo.



**Ilustración 4.9** Índice de NPT (tiempos no productivos) de los diez pozos estudiados.

Continuando con el método, el experimento se calculó para 1000 iteraciones (mil escenarios futuros), empleando números aleatorios para poder así obtener un escenario de la cantidad de días en los que se incrementaría el tiempo para la perforación de un nuevo pozo.

Es importante señalar que los modelos de simulación se utilizan para analizar decisiones bajo riesgo, es decir, un modelo en el cual uno o más de los factores no se conoce con certeza. Por tal motivo, el uso de una variable aleatoria es necesario. El comportamiento de dicha variable aleatoria se describirá mediante una distribución de probabilidad.

Número aleatorio proporcionado por Excel (0-1)

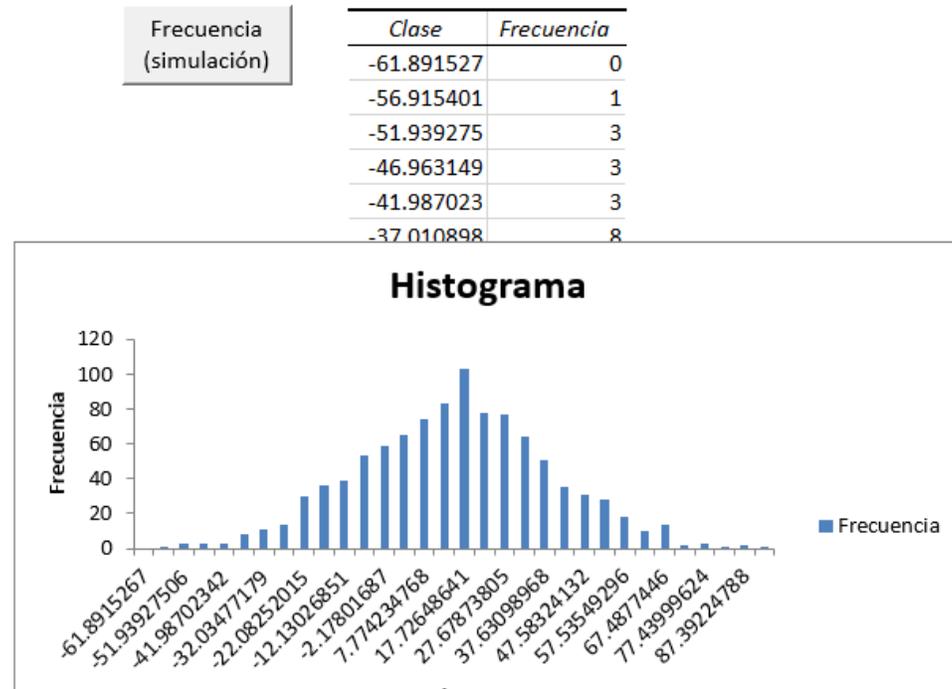
Simulación			
Iteraciones	Días Planeados	Días Reales	NPT
1	80.01	72.789	-7.221
2	65.22	105.392	40.172
3	76.24	86.412	10.172
4	65.22	61.132	-4.088
5	60.62	92.334	31.714
6	80.01	87.078	7.068
7	60.62	84.773	24.153
8	68.68	115.456	46.776
9	62.56	69.835	7.275
10	65.98	72.011	6.031
11	65.98	100.677	34.697
12	65.98	76.715	10.735
13	76.24	73.292	-2.948
14	60.62	63.320	2.700
15	65.98	76.590	10.610
16	69.08	92.884	23.804
17	65.22	53.999	-11.221

**Ilustración 4.10** Cálculo de NPT (tiempos no productivos) mediante Simulación Monte Carlo.

Una variable aleatoria  $x$  puede tomar un conjunto de valores  $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}\}$ , con probabilidades  $\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}\}$ . Para este caso, se utilizó una variable aleatoria discreta, esto quiere decir que toma valores de un conjunto específico. Cuando la variable aleatoria

discreta es definida, es necesario asignarle las probabilidades a cada valor que puede tomar dicha variable (intervalo [0, 1)).

Para una mejor interpretación, se generó el siguiente histograma que afirma que posiblemente los días que se incrementen en la realización del próximo proyecto tiendan a ser **17.72 días**. Siendo un riesgo importante para el cumplimiento de los objetivos de los diversos niveles dentro de la empresa.



**Ilustración 4.11** Tendencia de NPT (tiempos no productivos) para el próximo proyecto.

Con los resultados de la simulación, se obtuvo una tabla de estadística, donde los datos dicen que:

- En el peor escenario, los tiempos no productivos podrían alcanzar 80.16 días más de lo planeado.
- La probabilidad de que este riesgo se materialice es del 73% para un nuevo pozo, según el estudio de diez pozos anteriores dentro del mismo campo.
- De acuerdo con los 1000 experimentos, el promedio para un proyecto futuro llevaría 14.853 días más de lo que posiblemente planeáramos.
- La desviación que se tendría tanto positiva como negativamente serían de 23.75 días.
- Como mínimo se incrementarían 13.38 días.

- Como máximo se incrementarían 16.32 días.

Estadísticos					
NPT Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
80.160	73%	14.853	23.7509109	13.381	16.326

**Ilustración 4.12** Tendencia estadística para el próximo proyecto.

Para reafirmar lo anterior, se ejecutaron mil experimentos más para la tendencia estadística.

Calcular	Iteraciones	Simulación					
		NPT Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
	1000	84.4562814	0.73	14.6044174	23.4419218	13.1514988	16.0573361
		97.5505587	0.703	13.8860458	25.0129442	12.3357559	15.4363356
		78.3377006	0.708	12.9523285	23.8558555	11.4737544	14.4309026
		81.5695136	0.721	13.6699691	23.5561142	12.2099729	15.1299654
		85.7906283	0.726	14.6103121	23.8683568	13.1309632	16.089661
		84.581466	0.711	12.8548358	24.5078448	11.3358517	14.3738198
		84.8938598	0.753	15.5525649	24.2426097	14.05002	17.0551098
		117.224908	0.755	16.597595	23.4829228	15.1421351	18.0530549
		92.1688612	0.754	14.6706768	23.0092818	13.244573	16.0967807
		105.790111	0.713	12.7135601	23.2748781	11.2709947	14.1561255
		89.8242546	0.732	14.6150695	23.4145995	13.1638443	16.0662948
		88.5011005	0.732	14.0874424	24.1178776	12.5926284	15.5822565
		90.5290687	0.745	14.8342969	23.6188681	13.3704112	16.2981826
		88.386291	0.747	14.1826872	23.6262591	12.7183434	15.647031
		97.8457551	0.732	15.1150926	24.8331138	13.5759486	16.6542367
		100.131783	0.727	14.2724879	24.2072333	12.7721356	15.7728402
		82.9065852	0.736	14.21694	23.6078192	12.7537391	15.6801409
		84.9320907	0.725	14.8219845	23.7807079	13.348068	16.2959009
		87.6308374	0.725	15.0956766	23.3631851	13.6476379	16.5437152
		85.7657303	0.72	14.4965932	24.0227735	13.0076736	15.9855128
		99.8547758	0.724	14.5845126	24.7856719	13.0483089	16.1207162
		86.0574608	0.711	13.3817567	23.5633332	11.921313	14.8422004
		79.5243457	0.726	14.7210597	23.8618832	13.242112	16.2000074

**Ilustración 4.13** Simulación de la tendencia estadística para el próximo proyecto.

Obteniendo que:

- En el peor escenario, los tiempos no productivos podrían alcanzar 139.658 días más de lo planeado.
- La probabilidad de que este riesgo se materialice es del 73% para un nuevo pozo, según el estudio de diez pozos anteriores dentro del mismo campo.
- De acuerdo con los 1000 experimentos, el promedio para un proyecto futuro llevaría 14.570 días más de lo que posiblemente planeáramos.
- La desviación que se tendría tanto positiva como negativamente serían de 23.81 días.
- Como mínimo se incrementarían 10.526 días.
- Como máximo se incrementarían 18.70 días.

Resumen de la simulación					
NPT Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
139.658	73%	14.570	23.8137719	10.526	18.700

**Ilustración 4.14** Tendencia de NPT (tiempos no productivos) para el próximo proyecto.

Los resultados generados en esta ocasión son similares al anterior. Por lo cual, se confirma *la probabilidad del 73% que este riesgo se materialice.*

Comúnmente, el auditor de acuerdo con su juicio profesional le da un valor al riesgo con la siguiente escala:

Probabilidad	Valor
Muy Alta	5
Alta	4
Media	3
Baja	2
Muy Baja	1

**Tabla 4.5** Escala de valoración de la probabilidad.

Con la ayuda de la Simulación de Monte Carlo el valor asignado puede ser más preciso. Considerando la siguiente escala, podemos concluir que *la probabilidad de que el riesgo (Incremento de tiempo por días no productivos) se materialice en un nuevo proyecto es Alta*.

Probabilidad	Valor
Muy Alta	Mayor al 91%
Alta	71 – 90%
Media	30 – 70%
Baja	11 – 29%
Muy Baja	Menor al 10%

Tabla 4.6 Escala de valoración de la probabilidad.

Para poder determinar el impacto del riesgo, se realizó un procedimiento similar, con ciertas variantes, utilizando los resultados del posible escenario de los NPT e involucrando costos.

Inicialmente, se tenían los resultados de la simulación anterior (tiempos). Por lo que para este nuevo proceso se incluyeron datos promedio relacionados con los costos de los diez pozos en estudio. Los cuales fueron:

Costos promedios	Costos en un proyecto	Porcentaje por proyecto
	Insumos	\$ 88,428,323.00
Tarifas	\$ 3,779,516.00	2.72%
Cuotas	\$ 503,536.00	0.36%
Costos indirectos por	\$ 46,339,455.00	33.33%
	\$139,050,830.00	100%

Ilustración 4.15 Datos iniciales (Costos por proyecto).

Con lo anterior, se observa que el costo planeado para los proyectos de perforación son aproximadamente 139 millones de pesos, donde los insumos, tarifas, cuotas y costos indirectos (por proyecto) tienen un porcentaje asignado.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Continuando con el método, el experimento se calculó también para 1000 iteraciones (mil escenarios futuros), en función números aleatorios (previamente asignados) para poder obtener un escenario del aumento de los costos para la perforación de un nuevo pozo.

Como resultado, una estimación de los posibles costos para la planeación de un proyecto, tomando en cuenta los días planeados y la profundidad próxima para llevarse a cabo.

Simulación								
Días Planeados	Días Reales	NPT	Profundidad (mD)	Costos Planeados				
				Insumos	Tarifas	Cuotas	Costos indirectos	Costos Totales
62.56	79.974	17.414	3661	\$ 63,733,593.17	\$ 2,724,038.26	\$ 362,917.19	\$ 33,398,574.94	\$ 100,219,123.56
76.24	107.827	31.587	4462	\$ 77,670,222.87	\$ 3,319,703.92	\$ 442,276.32	\$ 40,701,843.88	\$ 122,134,047.00
62.56	92.363	29.803	3661	\$ 63,733,593.17	\$ 2,724,038.26	\$ 362,917.19	\$ 33,398,574.94	\$ 100,219,123.56
65.98	86.909	20.929	3862	\$ 67,217,750.59	\$ 2,872,954.67	\$ 382,756.97	\$ 35,224,392.18	\$ 105,697,854.42
62.56	43.545	-19.015	3661	\$ 63,733,593.17	\$ 2,724,038.26	\$ 362,917.19	\$ 33,398,574.94	\$ 100,219,123.56
80.01	42.265	-37.745	4683	\$ 81,510,946.12	\$ 3,483,860.31	\$ 464,146.49	\$ 42,714,513.76	\$ 128,173,466.69
60.10	58.012	-2.088	3517	\$ 61,227,444.84	\$ 2,616,922.94	\$ 348,646.47	\$ 32,085,267.81	\$ 96,278,282.06
60.62	71.107	10.487	3548	\$ 61,757,199.77	\$ 2,639,565.21	\$ 351,663.05	\$ 32,362,877.44	\$ 97,111,305.47
68.68	57.758	-10.922	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
76.24	110.008	33.768	4462	\$ 77,670,222.87	\$ 3,319,703.92	\$ 442,276.32	\$ 40,701,843.88	\$ 122,134,047.00
68.68	78.573	9.893	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
68.68	86.829	18.149	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
68.68	78.588	9.908	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
60.10	102.345	42.245	3517	\$ 61,227,444.84	\$ 2,616,922.94	\$ 348,646.47	\$ 32,085,267.81	\$ 96,278,282.06
76.24	48.485	-27.755	4462	\$ 77,670,222.87	\$ 3,319,703.92	\$ 442,276.32	\$ 40,701,843.88	\$ 122,134,047.00
69.08	58.382	-10.698	4043	\$ 70,375,904.99	\$ 3,007,937.39	\$ 400,740.40	\$ 36,879,372.71	\$ 110,663,955.49
68.68	60.295	-8.385	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
65.98	74.925	8.945	3862	\$ 67,217,750.59	\$ 2,872,954.67	\$ 382,756.97	\$ 35,224,392.18	\$ 105,697,854.42
76.24	99.726	23.486	4462	\$ 77,670,222.87	\$ 3,319,703.92	\$ 442,276.32	\$ 40,701,843.88	\$ 122,134,047.00
68.68	88.330	19.650	4020	\$ 69,968,401.19	\$ 2,990,520.26	\$ 398,419.96	\$ 36,665,826.84	\$ 110,023,168.25
65.98	49.238	-16.742	3862	\$ 67,217,750.59	\$ 2,872,954.67	\$ 382,756.97	\$ 35,224,392.18	\$ 105,697,854.42
76.24	114.073	37.833	4462	\$ 77,670,222.87	\$ 3,319,703.92	\$ 442,276.32	\$ 40,701,843.88	\$ 122,134,047.00
60.10	72.993	12.893	3517	\$ 61,227,444.84	\$ 2,616,922.94	\$ 348,646.47	\$ 32,085,267.81	\$ 96,278,282.06
60.62	116.100	55.480	3548	\$ 61,757,199.77	\$ 2,639,565.21	\$ 351,663.05	\$ 32,362,877.44	\$ 97,111,305.47

**Ilustración 4.16** Posibles costos planeados para un nuevo proyecto.

Tomando en cuenta las mismas variables, se calcularon los posibles costos reales, es decir, el costo que tendría la realización de un proyecto de perforación de pozos petroleros.

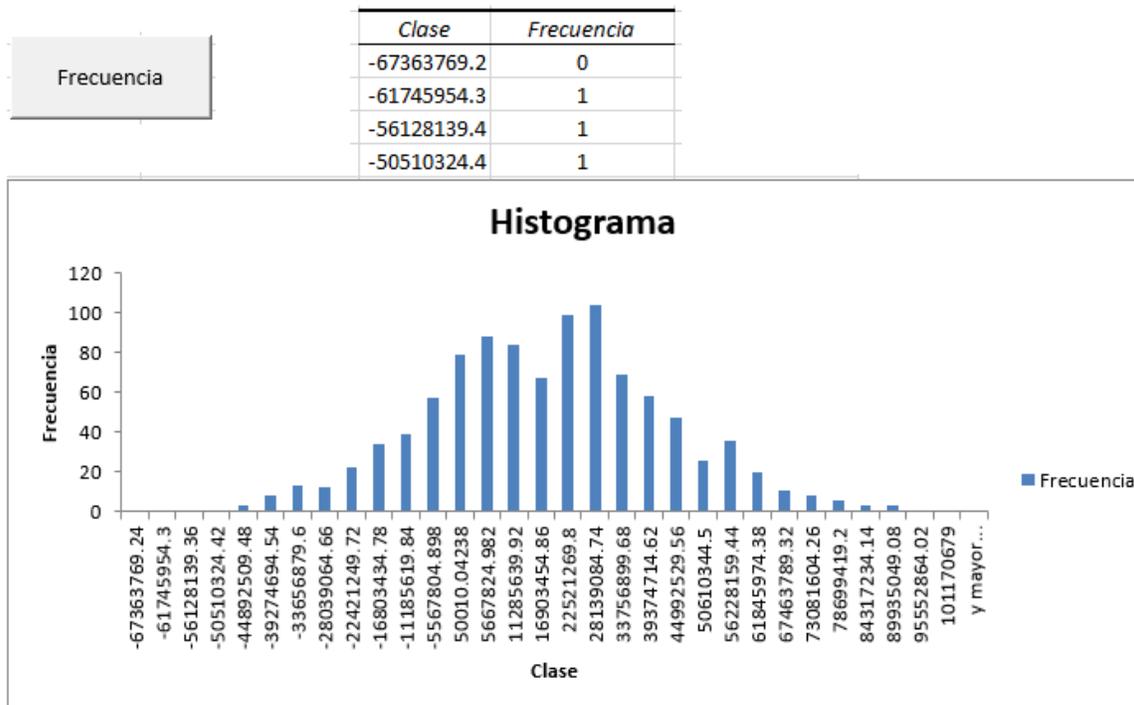
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Costos Reales						Costos por NPT
Insumos	Tarifas	Cuotas	Costos indirectos	Costos Totales		
\$ 75,562,100.74	\$ 3,229,600.64	\$ 430,272.07	\$ 33,398,574.94	\$ 118,819,089.50	\$ 18,599,965.94	
\$ 99,125,913.85	\$ 4,236,741.86	\$ 564,451.12	\$ 40,701,843.88	\$ 155,872,464.02	\$ 33,738,417.02	
\$ 83,977,068.28	\$ 3,589,264.87	\$ 478,189.29	\$ 33,398,574.94	\$ 132,051,368.26	\$ 31,832,244.70	
\$ 81,433,979.31	\$ 3,480,570.67	\$ 463,708.22	\$ 35,224,392.18	\$ 128,052,438.73	\$ 22,354,584.32	
\$ 50,817,577.66	\$ 2,171,994.69	\$ 289,369.73	\$ 33,398,574.94	\$ 79,909,084.69	-\$ 20,310,038.87	
\$ 55,872,837.33	\$ 2,388,061.60	\$ 318,155.81	\$ 42,714,513.76	\$ 87,858,325.72	-\$ 40,315,140.96	
\$ 59,809,299.57	\$ 2,556,309.98	\$ 340,571.15	\$ 32,085,267.81	\$ 94,048,292.05	-\$ 2,229,990.02	
\$ 68,880,390.99	\$ 2,944,017.61	\$ 392,224.52	\$ 32,362,877.44	\$ 108,312,305.53	\$ 11,201,000.06	
\$ 62,549,623.76	\$ 2,673,434.21	\$ 356,175.33	\$ 36,665,826.84	\$ 98,357,367.92	-\$ 11,665,800.33	
\$ 100,607,301.12	\$ 4,300,057.85	\$ 572,886.56	\$ 40,701,843.88	\$ 158,201,900.14	\$ 36,067,853.15	
\$ 76,688,006.33	\$ 3,277,722.99	\$ 436,683.30	\$ 36,665,826.84	\$ 120,589,541.55	\$ 10,566,373.30	
\$ 82,296,293.59	\$ 3,517,426.86	\$ 468,618.48	\$ 36,665,826.84	\$ 129,408,401.53	\$ 19,385,233.27	
\$ 76,698,240.40	\$ 3,278,160.40	\$ 436,741.58	\$ 36,665,826.84	\$ 120,605,634.32	\$ 10,582,466.07	
\$ 89,922,462.09	\$ 3,843,377.02	\$ 512,044.05	\$ 32,085,267.81	\$ 141,400,317.96	\$ 45,122,035.90	
\$ 58,817,715.44	\$ 2,513,928.67	\$ 334,924.79	\$ 40,701,843.88	\$ 92,489,056.37	-\$ 29,644,990.62	
\$ 63,109,012.70	\$ 2,697,343.06	\$ 359,360.65	\$ 36,879,372.71	\$ 99,236,989.90	-\$ 11,426,965.59	
\$ 64,273,029.37	\$ 2,747,094.31	\$ 365,988.89	\$ 36,665,826.84	\$ 101,067,370.47	-\$ 8,955,797.78	
\$ 73,293,647.02	\$ 3,132,644.63	\$ 417,354.85	\$ 35,224,392.18	\$ 115,252,015.49	\$ 9,554,161.07	
\$ 93,623,221.63	\$ 4,001,551.22	\$ 533,117.23	\$ 40,701,843.88	\$ 147,219,649.01	\$ 25,085,602.01	
\$ 83,315,692.84	\$ 3,560,997.01	\$ 474,423.23	\$ 36,665,826.84	\$ 131,011,375.63	\$ 20,988,207.38	
\$ 55,845,607.78	\$ 2,386,897.78	\$ 318,000.76	\$ 35,224,392.18	\$ 87,815,508.08	-\$ 17,882,346.33	
\$ 103,368,449.78	\$ 4,418,072.14	\$ 588,609.33	\$ 40,701,843.88	\$ 162,543,721.85	\$ 40,409,674.86	
\$ 69,985,149.85	\$ 2,991,236.12	\$ 398,515.33	\$ 32,085,267.81	\$ 110,049,505.00	\$ 13,771,222.93	
\$ 99,441,808.58	\$ 4,250,243.52	\$ 566,249.92	\$ 32,362,877.44	\$ 156,369,198.82	\$ 59,257,893.35	

**Ilustración 4.17** Posibles costos reales para un nuevo proyecto.

Adicionalmente, se obtuvo el costo que tendría como consecuencia del incremento de los tiempos para la realización de todas las actividades de perforación.

Posteriormente, para una mejor interpretación, se generó el siguiente histograma que afirma que posiblemente los costos en la realización del próximo proyecto tiendan a incrementar (en promedio) acerca de **\$28,139,084.74 de pesos**. Siendo un riesgo importante para el cumplimiento de los objetivos de los diversos niveles dentro de la empresa.



**Ilustración 4.18** Tendencia de los costos para el próximo proyecto.

Con los resultados, se obtuvo una tabla de estadística, donde los datos dicen que:

- En el peor escenario, los costos podrían incrementarse hasta \$93,253,601.59 pesos más de lo planeado.
- La probabilidad de que este riesgo se materialice es del 73% para un nuevo pozo, según el estudio de diez pozos anteriores dentro del mismo campo.
- De acuerdo con los 1000 experimentos, el promedio para un proyecto futuro tendría un costo de \$15,008,078.11 pesos más de lo que posiblemente planearíamos.
- La desviación que se tendría tanto positiva como negativamente sería \$24,604,783.59 pesos.
- Como mínimo se incrementarían \$13,483,085.84 pesos.
- Como máximo se incrementarían \$16,533,070.37 pesos.

Estadísticos					
Costo Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
\$ 93,253,601.59	73%	\$15,008,078.11	\$24,604,783.59	\$13,483,085.84	\$16,533,070.37

**Ilustración 4.19** Tendencia estadística de los costos para el próximo proyecto.

Para reafirmar lo anterior, se ejecutaron mil experimentos más para la tendencia estadística.

Calcular	Simulación						
	Iteraciones	Costo Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
	500	114809355	0.724	16146660	26215942	14521808.68	17771511
		87553575	0.739	15541516	25126116	13984212.29	17098821
		112809118	0.732	16281092	26054428	14666251.31	17895932
		109126702	0.739	16526433	25367564	14954163.82	18098702
		112266645	0.737	16584708	26412825	14947654.07	18221762
		95448068	0.727	15497240	25847413	13895230.35	17099250
		100688640	0.709	15051098	26781369	13391201.88	16710994
		101914724	0.747	16497595	25243958	14932987.5	18062203
		88829944	0.74	16161659	25038214	14609803.18	17713515
		101096247	0.749	16614300	24830806	15075299.31	18153301
		92050487	0.717	15666170	24974838	14118241.67	17214098
		86853937	0.734	14825269	25047801	13272818.95	16377719
		91822001	0.72	13877698	24861789	12336776.44	15418619
		110605521	0.727	14923747	26456551	13283983.52	16563511
		101936426	0.722	15588323	25534082	14005733.36	17170913
		98983671	0.744	17100634	25579628	15515221.72	18686047
		96105673	0.717	14587147	24653961	13059106.35	16115187
		88128563	0.73	14822422	25673287	13231204.19	16413639
		103504111	0.743	17080651	26617989	15430881.67	18730421
		96736957	0.733	15673168	24617796	14147369.71	17198967
		105547701	0.727	16042539	25040282	14490555.22	17594524

**Ilustración 4.20** Simulación de la tendencia estadística para el próximo proyecto.

Obteniendo que:

- En el peor escenario, los costos podrían incrementarse hasta \$127,526,259.30 pesos más de lo planeado.
- La probabilidad de que este riesgo se materialice es del 73% para un nuevo pozo, según el estudio de diez pozos anteriores dentro del mismo campo.
- De acuerdo con los 1000 experimentos, el promedio para un proyecto futuro tendría un costo de \$15,614,236.58 pesos más de lo que posiblemente planeáramos.

- La desviación que se tendría tanto positiva como negativamente sería \$25,413,745.42 pesos.
- Como mínimo se incrementarían \$11,565,381.98 pesos.
- Como máximo se incrementarían \$19,660,363.02 pesos.

Resumen de la simulación					
Costo Máximo	Prob. de Pérdida	Media	DesStandar	IC Inf	IC Sup
\$ 127,526,259.30	73%	\$15,614,236.58	\$25,413,745.42	\$11,565,381.98	\$19,660,363.02

Ilustración 4.21 Tendencia de costos para el próximo proyecto.

Los resultados generados en esta ocasión son similares al anterior. Por lo cual, se confirma una probabilidad del **73%** para este riesgo, incrementando los costos un **20.24%**.

Igual que la probabilidad, se tiene una escala de valores para el impacto de un riesgo.

Impacto	Valor
Muy Alto	5
Alto	4
Medio	3
Bajo	2
Muy Bajo	1

Tabla 4.7 Escala de valoración de la probabilidad.

Con los resultados obtenidos y considerando la siguiente escala, podemos concluir que el impacto del riesgo (Incremento de tiempo por días no productivos) para un nuevo proyecto es **Muy Alto**.

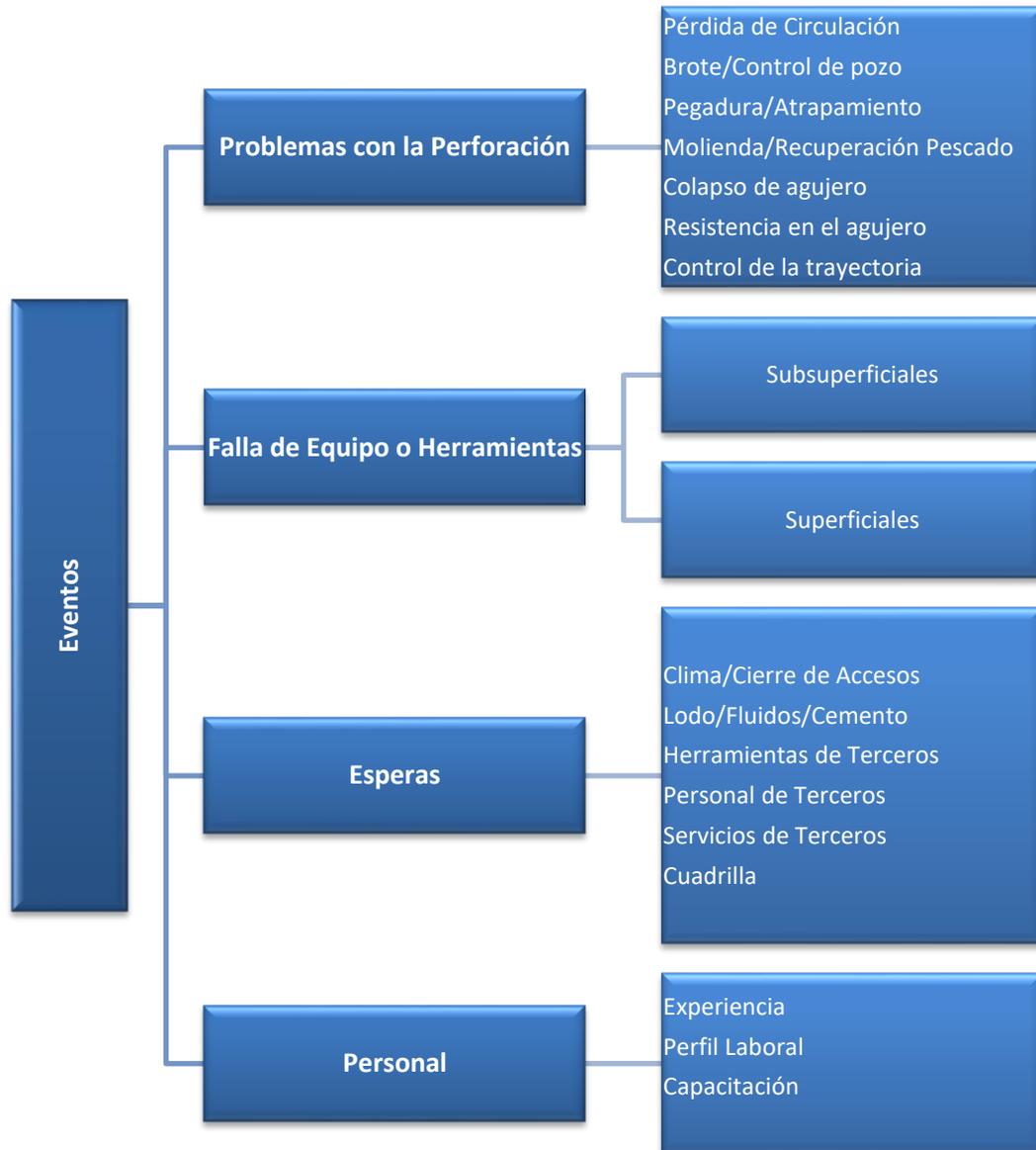
Impacto	Valor
Muy Alto	Incremento de costos mayor al 20%
Alto	Incremento de costos entre 10 y 20%
Medio	Incremento de costos entre 5 y 10%
Bajo	Incremento de costos menor al 5%
Muy Bajo	Sobre costos insignificantes

Tabla 4.8 Escala de valoración del impacto.

**4.1.4.5 Técnica 2: Proceso Analítico Jerárquico (AHP).**

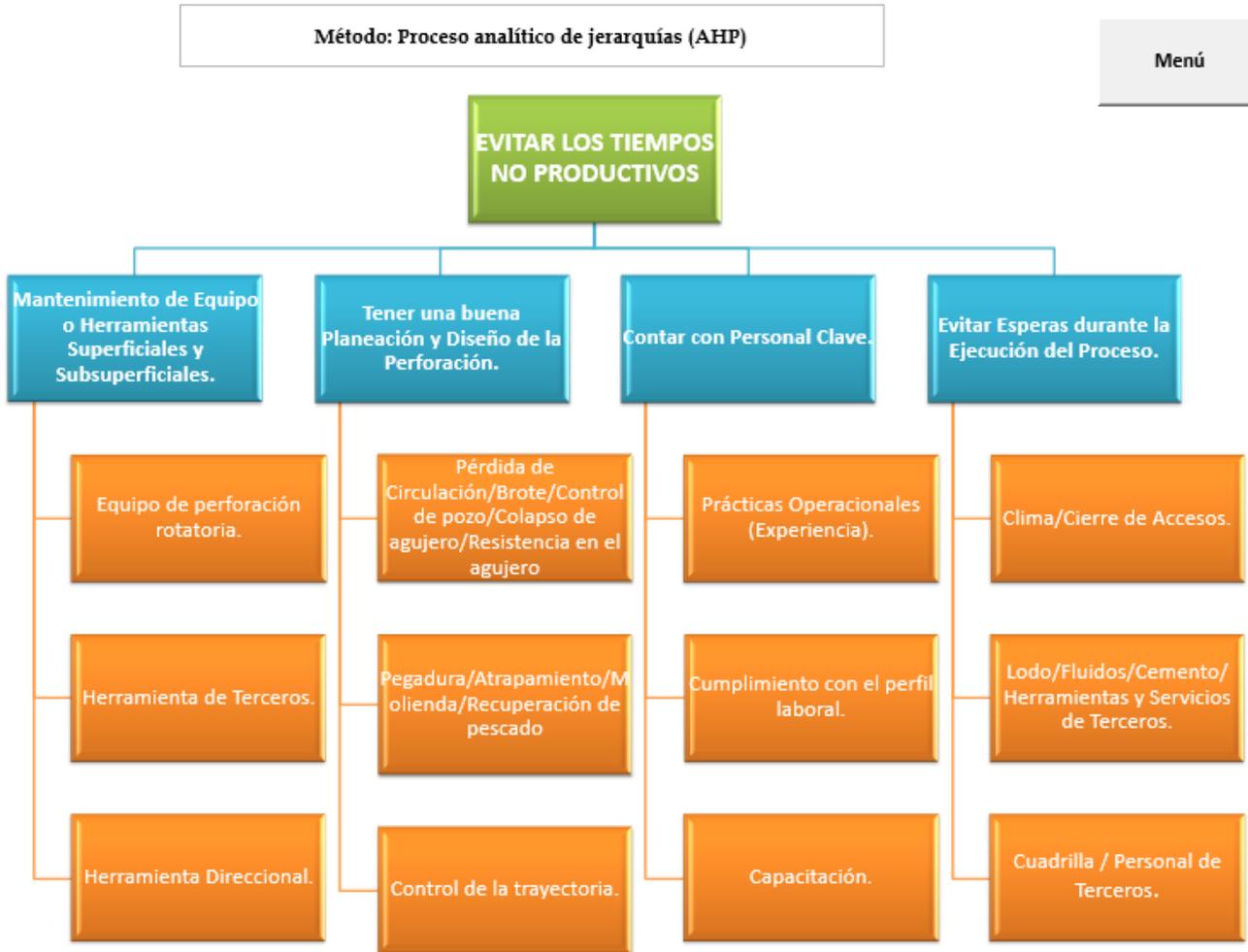
Para poder evitar que existan tiempos no productivos en el próximo proyecto de perforación de pozos petroleros, se plantean los posibles eventos no deseados que provocarán que el riesgo se materialice.

A continuación, se muestra la clasificación propuesta:



**Ilustración 4.22** Clasificación de eventos.

Para iniciar con el Proceso Analítico Jerárquico, es importante definir aquellos criterios u objetivos a considerar para prevenir que el riesgo no se materialice. Para este estudio se evaluaron de la siguiente manera:



**Ilustración 4.23** Clasificación de eventos.

Posteriormente se evaluarán los criterios de acuerdo con nivel de importancia que el usuario asigne de acuerdo con el proceso de perforación. Es importante señalar que es necesario conocer el proceso para ser objetivos al asignarle una calificación.

Se evaluaron los cuatro aspectos principales:

Objetivos
Mantenimiento de Equipo o Herramientas Superficiales y Subsuperficiales.
Tener una Buena Planeación y Diseño de la Perforación.
Contar con Personal Clave.
Evitar Esperas Durante la Ejecución del Proceso.

Ilustración 4.24 Clasificación de eventos.

La escala de evaluación fue la siguiente:



Ilustración 4.25 Escala de valores (AHP).

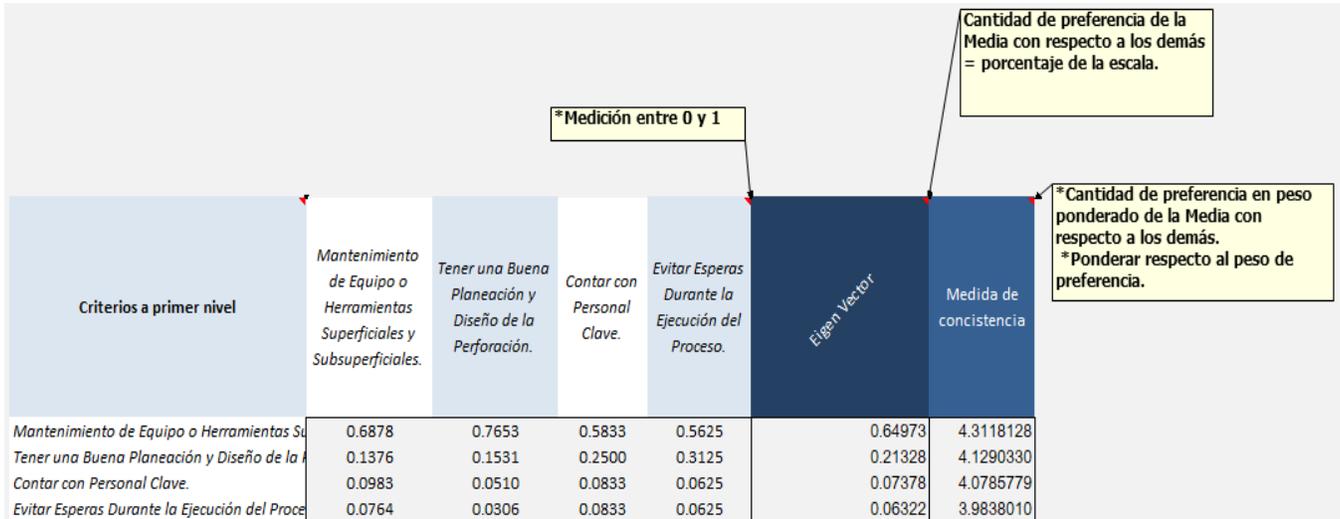
Se evaluaron criterio “A” vs criterio “B”, si el nivel de preferencia se encuentra del lado A, se registra en la parte triangular superior de la matriz con un número entero, en caso de que la preferencia se encuentre del lado B, se registra su inverso (1 / Valor) y, en caso de no tener preferencia por ninguna opción, registrar 1 (igual). La diagonal siempre será 1.

El vector de prioridades es una matriz columna que contiene la importancia relativa de los criterios. Los valores contenidos en ella representan el peso que tiene cada criterio en el objetivo general.

Criterios a primer nivel	Mantenimiento de Equipo o Herramientas Superficiales y Subsuperficiales.	Tener una Buena Planeación y Diseño de la Perforación.	Contar con Personal Clave.	Evitar Esperas Durante la Ejecución del Proceso.	Eigen Vector	% de Eigen Vector
Mantenimiento de Equipo o Herramientas Superficiales y Subsuperficiales.	1.0000	5.0000	7.0000	9.0000	0.64973	64.97%
Tener una Buena Planeación y Diseño de la Perforación.	0.2000	1.0000	3.0000	5.0000	0.21328	21.33%
Contar con Personal Clave.	0.1429	0.3333	1.0000	1.0000	0.07378	7.38%
Evitar Esperas Durante la Ejecución del Proceso.	0.1111	0.2000	1.0000	1.0000	0.06322	6.32%

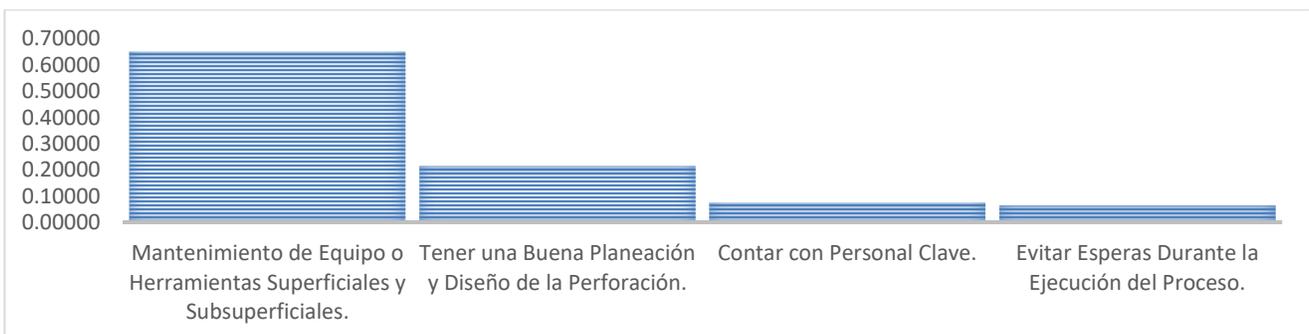
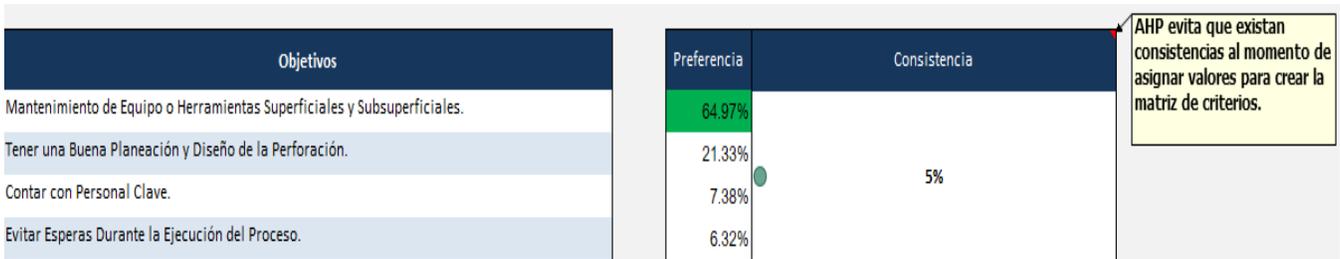
Ilustración 4.26 Matriz (AHP).

El siguiente paso es normalizar la matriz, es decir, obtener una frecuencia. Esto con la finalidad de poder unificar los valores y poder cambiar a una nueva escala (intentar que todas las variables se ajusten a un mismo valor para tomar una decisión razonable).



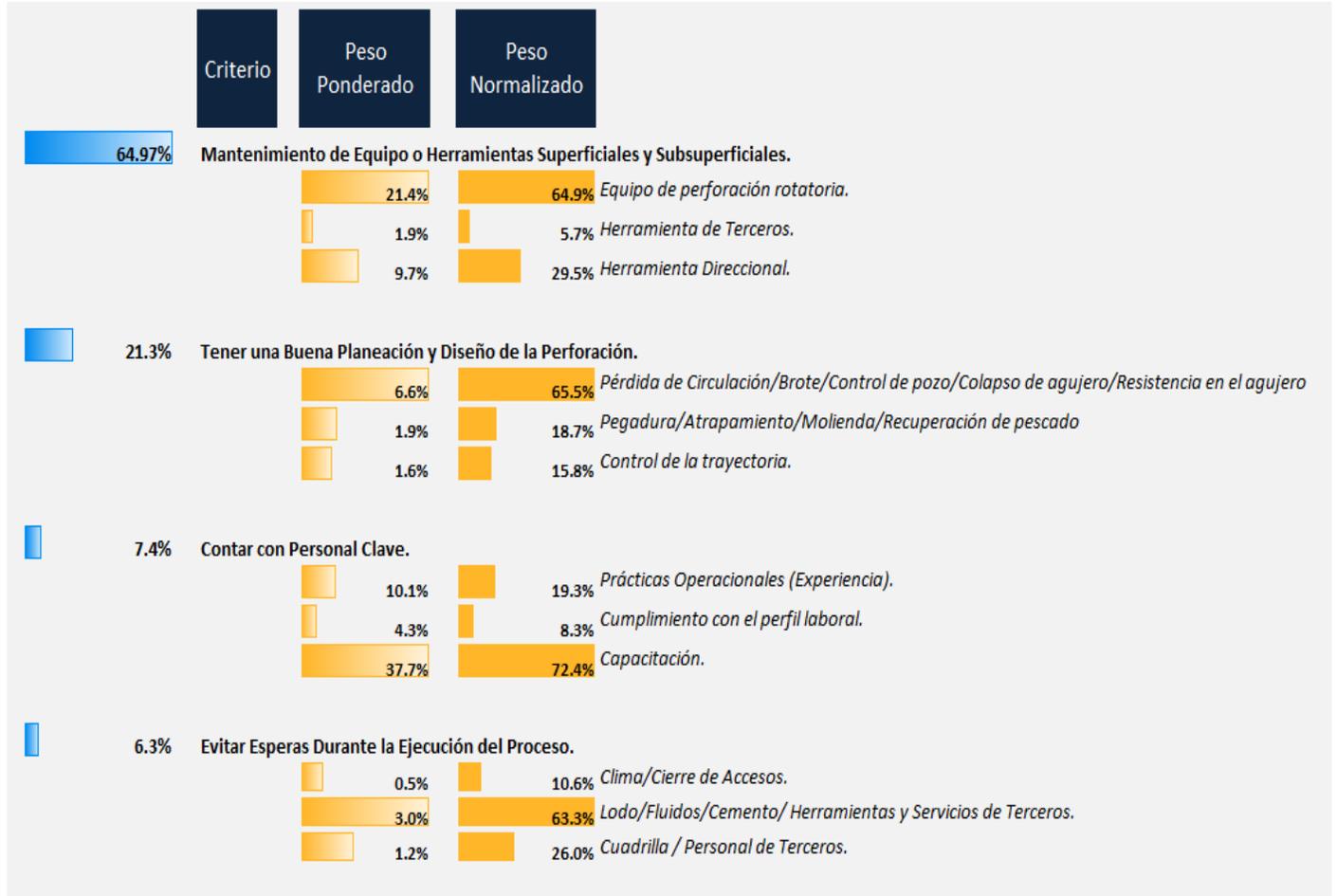
**Ilustración 4.27** Normalización de la Matriz (AHP).

Como resultado de la evaluación de los primeros criterios, se obtuvieron porcentajes que indican la preferencia, esto beneficia principalmente en la toma de decisiones debido a prioriza criterios, lo cual indica que sería ideal tener una buena planeación y diseño de la perforación, para minimizar los tiempos no productivos.



**Ilustración 4.28** Resultados de la evaluación de los primeros criterios (AHP).

De la misma manera se evaluaron cada uno de los subcriterios, con la finalidad de desglosar un todo al momento de saber qué elementos prevenir primero. Los resultados fueron los siguientes:



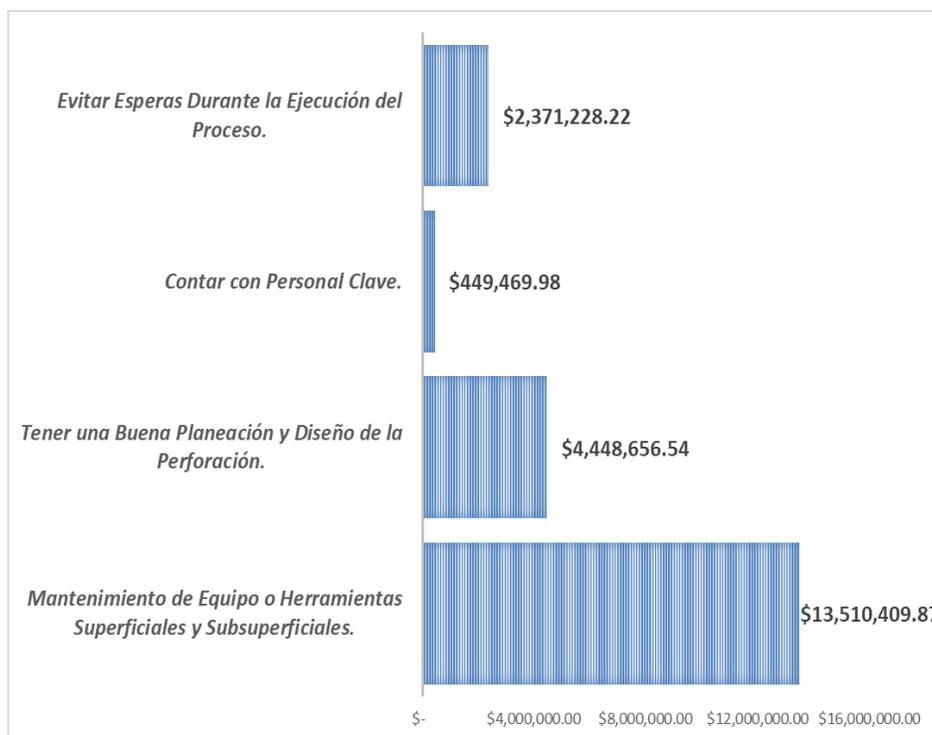
**Ilustración 4.29** Resultados finales de la técnica (AHP).

Los resultados anteriores determinan que, el “tener un mantenimiento del equipo o herramientas superficiales y subsuperficiales” y “tener una buena planeación y diseño” evitaría el aumento de tiempos y costos durante la perforación.

Estudiando los NPT (tiempos no productivos) de pozos anteriores, se calcularon los costos que aproximadamente se tendrían si se llegaran a presentar los eventos no deseados, concluyendo que la mayor parte de los costos aumentan por fallas en el equipo y herramientas de trabajo.

Costos	% de NPT dentro del proyecto	Costo en el proyecto	
	65%	\$ 13,510,409.87	Mantenimiento de Equipo o Herramientas Superficiales y Subsuperficiales.
	21%	\$ 4,448,656.54	Tener una Buena Planeación y Diseño de la Perforación.
	2%	\$ 449,469.98	Contar con Personal Clave.
	11%	\$ 2,371,228.22	Evitar Esperas Durante la Ejecución del Proceso.
		\$ 200,199.26	Desviación Estándar

**Ilustración 4.30** Resultados finales de la técnica (AHP) incluyendo costos.



**Ilustración 4.31** Gráfica de los resultados finales de la técnica (AHP) incluyendo costos.

Con ayuda de estos índices, es posible dirigir las recomendaciones que el auditor podría emitir.

#### 4.1.4.6 Técnica 3: Matriz de evaluación de recomendaciones.

Las recomendaciones propuestas para que el proceso de perforación de pozos petroleros sea más eficiente y eficaz, por criterio son:

*Mantenimiento del equipo o herramientas superficiales y subsuperficiales.*

- Realizar una inspección y mantenimiento adecuado al equipo de perforación utilizado para el proceso. Algunas de las fallas pueden ser por desgaste, uso inapropiado o por un ambiente hostil; por tal motivo la revisión contante de las condiciones del equipo previene problemas como malas lecturas, fugas, fatiga o riesgo al personal.
- Supervisar durante la operación, el uso que se le da al equipo.
- Verificar que se llevan a cabo pláticas para la difusión de procedimientos operativos.
- Validar la difusión de las mejores prácticas operativas.
- Constatar que se tenga un plan de mantenimiento preventivo al equipo de perforación y se ejecute adecuadamente.
- Verificar constantemente la operación del equipo.
- Validar la existencia de un stock de refaccionamiento.
- Llevar un control estadístico de las fallas previas y acciones realizadas para prevenir una mayor.
- Realizar evaluaciones de las condiciones en las cuales se encuentra el equipo antes de la instalación.
- Comprobar que el personal encargado de dicho equipo tenga una capacitación para la correcta instalación y la detección oportuna de daños presentes en dicha unidad.

*Buena planeación y diseño de la perforación.*

- En las últimas etapas de los pozos presentados se puede observar que los NPT's son mayores, debido a la complejidad geológica de la formación y al alto grado de desviación. En este tipo de casos, verificar que se tenga una selección correcta de barrenas ayuda a reducir el tiempo no productivo, ya que, evitamos cambios constantes de barrenas por desgaste de estas.
- Analizar los pozos de correlación para ajustar propiedades de los fluidos y caracterización.
- Verificar con el geólogo los cambios de litología.

*Personal clave.*

- Corregir las malas prácticas operacionales porque afectan a la perforación. Debido a la falta de experiencia del personal se suele trabajar con información errónea desde la columna geológica pronosticada. Por consecuencia se tendrá un diseño de pozo, una estimación de geopresiones, un lodo y un programa de perforación erróneo.
- Realizar un buen trabajo en equipo.
- Difundir procedimientos en juntas operativas de cambios de guardia.
- Verificar que se cuente con personal que cumpla con el perfil laboral y con capacitación para el conocimiento del proceso y del manejo del equipo.

*Esperas durante la ejecución del proceso.*

- Registrar en una base de datos aquellas herramientas que suelen desgastarse con frecuencia en las actividades de perforación; contribuyendo así, a la mejora del procedimiento de logística y reducción de esperas por herramientas.
- Comprobar que exista comunicación para el suministro oportuno de materiales.
- Verificar la disponibilidad del material en espera con compañía, en caso de no tener disponibilidad buscar una compañía alterna.
- Confirmar que, la transportación de materiales y/o herramientas sea ágil.
- Corregir y atender lo antes posible a las demandas de la comunidad o del personal involucrado, para evitar esperas por personal o por cierre de accesos.

La matriz de evaluación de recomendaciones propuestas está basada en elegir “n” criterios, a los cuales se les asignó un valor de importancia relativa según la escala propuesta (1-5). A partir de aquí, es posible obtener un porcentaje por cada criterio. Con dicho porcentaje y el valor otorgado a cada recomendación para cada criterio se obtiene una calificación final.

De acuerdo a lo anterior, se evaluaron las recomendaciones con la técnica propuesta, obteniendo las siguientes calificaciones:

Matriz de evaluación de recomendaciones propuestas						
Importancia relativa (Ponderador)⇒	CRITERIOS					Calificación final
	Mantenimiento de Equipo o Herramientas Superficiales y Subsuperficiales.	Tener una Buena Planeación y Diseño de la Perforación.	Contar con Personal Clave.	Evitar Esperas Durante la Ejecución del Proceso.		
	4	4	3	2		
RECOMENDACIONES PROPUESTAS	Recomendaciones principales					
	Supervisar constantemente la operación	4	4	4	3	3.85
	Analizar pozos correlación	3	5	2	3	3.38
	Verificar que se capacite constante al personal involucrado	5	5	4	1	4.15
	Constatar la realización de pláticas para difusión de procedimientos operativos	4	5	4	2	4.00
	Validar el procedimiento de logística	4	4	3	5	3.92
	Recomendaciones secundarias					
	Verificar las condiciones en las cuales se encuentra el equipo antes de la instalación (evaluaciones)	5	3	2	5	3.69
					-	
					-	

A partir de la serie de alternativas propuestas, es posible proporcionarles una calificación, de manera que la solución sea aún más factible (logre resolver el mayor número de objetivos).

Menú

**ESCALA⇒**

5 = Alta
4 = Media a alta
3 = Media
2 = Baja a media
1 = Baja

Ilustración 4.32 Resultado de la evaluación de alternativas.

Es posible observar que, la recomendación propuesta que logra abarcar más criterios, es decir, evitar que dichos criterios afecten en los tiempos no productivos, tiene un puntaje final del 4.15.

La finalidad de utilizar esta técnica es verificar que las recomendaciones propuestas por el auditor para el proceso de perforación de un pozo resuelven posibles riesgos para poder evitarlos o minimizarlos.

Es decir, si es necesario atender a estos criterios, primeramente, es necesario verificar que capacite constantemente al personal en todos los niveles y que se difundan los procedimientos operativos, porque esta recomendación resuelve el mayor número de los posibles eventos no deseados.

## CONCLUSIONES

Tras la reforma energética, diversas empresas se han involucrado en el sector petrolero dentro del país, por lo que cada una buscará alcanzar la optimización en cada uno de sus procesos.

Es un hecho que, en el proceso de perforación de un pozo, los eventos no deseados que pudiesen presentarse son muchos, por lo que tomar en consideración su probabilidad de ocurrencia por experiencias pasadas es rescatable para identificar oportunidades de mejora. Por esta razón, el papel del auditor es fundamental, porque si cuantifica el riesgo al que estará expuesto dicho proceso de manera puntual, es muy probable que sus recomendaciones sean trascendentes para la empresa

Como sabemos, durante la realización de una auditoría, el auditor se limita a realizar simplemente los procedimientos tradicionales. Esta investigación apuesta por incluir diversas herramientas de apoyo para auditar el proceso de perforación de un pozo petrolero porque permite emitir una opinión con un valor agregado.

Con esta investigación, se cumplen los objetivos e hipótesis, porque las herramientas cuantitativas como apoyo en la realización de una auditoría facilitan la toma de decisiones y mejora de procesos. También beneficiarán a futuras auditorías en pozos correlación, debido a que le permite al auditor crear su propio modelo de medición. Así, la próxima auditoría será medida con los mismos parámetros con la finalidad de observar la mejora del proceso.

La razón de que las herramientas sean cualitativas y cuantitativas facilita la identificación de riesgos y toma de acciones que realmente impactarán en un proyecto dentro de la industria petrolera, lo cual, asegura que su clasificación dejará de ser subjetiva. El no categorizar apropiadamente los posibles eventos no deseados llegan a costar mucho para un proyecto, no sólo en aspectos económicos, también repercute en los tiempos de entrega del pozo e inclusive en la integridad del personal. Utilizar diversas herramientas de apoyo es importante para la auditoría porque se convierte en un complemento clave para el auditor, debido a que muestra características multidisciplinarias que enriquecen su trabajo.

El uso de una simulación a partir de un análisis previo permite al auditor observar una “experiencia artificial” que le ayudará a contribuir con recomendaciones inteligentes para lograr la perforación optimizada. Asimismo, utilizar el proceso analítico jerárquico (AHP) le muestra al auditor qué criterios tomar en cuenta para basar sus recomendaciones y/o sugerencias, donde también, de manera cuantitativa podrá sustentar ante la entidad el por qué debe tomar ciertas decisiones. Por último, la matriz de evaluación de recomendaciones le mostrará al auditor si sus recomendaciones realmente ayudan a mitigar el mayor número de riesgos potenciales para evitar los tiempos no productivos.

Con el uso de herramientas, el auditor identificará las actividades operativas relevantes del proceso junto con sus controles para verificar que se hagan adecuadamente, de no ser así, buscar las oportunidades de mejora.

Actualmente, la perforación de pozos petroleros muestra futuros retos cada vez más difíciles, por lo que las auditorías beneficiarán a las empresas en la optimización de procesos dentro de sus respectivas áreas. Las operaciones de perforación están enfocadas a evitar los tiempos no productivos, dado el costo de los equipos y personal. Si todos los aspectos que forman parte del proceso de perforación están alineados, como lo son objetivos alcanzables o realistas, seguridad del personal, buen manejo de herramientas y equipos, planes de acción que funcionen y se implementen fielmente, el logro de las metas será seguro.

En general, las ventajas que ofrece el realizar un análisis como el presentado a través de herramientas, se traduce en un mejor entendimiento del proceso, oportunidades de mejora en futuros proyectos y, lo más importante, un aporte al desarrollo profesional del auditor, porque logrará dar cierta satisfacción con su trabajo al cliente y a las partes interesadas. Si el auditor, adopta herramientas no convencionales se dará cuenta que las soluciones nacen de la creatividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- John W. Cook y Gary M. Winkle (1987), *Auditoría*, 3° Edición, McGRAW-HILL, Buenos Aires-Argentina.
- Dr. J. Enrique D'Ottone Clemenco; *Introducción a la Auditoría Interna de Sistemas de Gestión ISO 9001: 2008*; Enero del 2009.
- Academia Mexicana de Auditoría Integral A. C., Boletín 2. *Metodología de la Auditoría Integral*, Dofiscal Editores, 1996.
- IMAI. *Declaraciones sobre las Normas para la Práctica Profesional de la Auditoría Interna SIAS*, Boletines del 1 al 13, México, 1998.
- Santillana González, Juan Ramón. *Auditoría interna*. Tercera edición. PEARSON EDUCACIÓN. México. 2013.
- Arens, A. (2007). *Auditoría: un enfoque integral*. México: Pearson Prentice Hall.
- Franklin, E. B. (2007). *Auditoría administrativa: gestión estratégica del cambio*. México: Pearson Prentice Hall.
- Comisión de Auditoría Operacional del Instituto Mexicano de Contadores Públicos. *Boletín No.1*. México, 1990.
- Comisión de Auditoría Operacional del Instituto Mexicano de Contadores Públicos. *Boletín No.2*. México, 1990.
- Cepeda, Gustavo. *Auditoría y Control Interno*. Mc Graw Hill. Santafé de Bogotá D.C.: 1998
- García González, Jaime. *El Sistema de Control Interno. Una forma práctica de conceptualizarlo, aplicarlo y evaluarlo*. Autoedición. Santiago de Cali: 1999
- Asociación de Ingenieros Petroleros de México A.C. (AIPM). (2000). *Un Siglo de la Perforación en México*. México.
- Salas, Roberto I. (2010). *Problemas operacionales durante la perforación de pozos*. Cumaná, Venezuela.
- Thomas L. Saaty, "*The analytical hierarchical process*", J. Wiley, New York, 1980.
- PEMEX. (2010). *Glosario de términos usados en la Industria Petrolera*. México: PEMEX.

- Norma Internacional ISO 9000, Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario, Suiza, 2015.
- Norma Internacional ISO 19011, Directrices para la auditoría de Sistemas de Gestión, Suiza, 2018.
- Estándar Australiano de Administración del Riesgo AS/NZS 4360. (1999).
- B. P. Demidowitsch. I. A. Maron, E. S. Schuwalowa. *Métodos numéricos de análisis*. Editorial Paraninfo (1980).
- Robert E. Shannon. *Simulación: un enfoque práctico*. Limusa, México, 2003.
- Sánchez, Ramiro. *La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico*. Centro de Planificación y Gestión, Universidad Mayor de San Simón. 2001.
- Saaty, Thomas. *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. University of Pittsburgh. 1994.
- Y. Grijalva (Compilador), *Métodos cuantitativos para los negocios*, Capítulo 8, 2009. <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r94434.pdf>

## ANEXO A

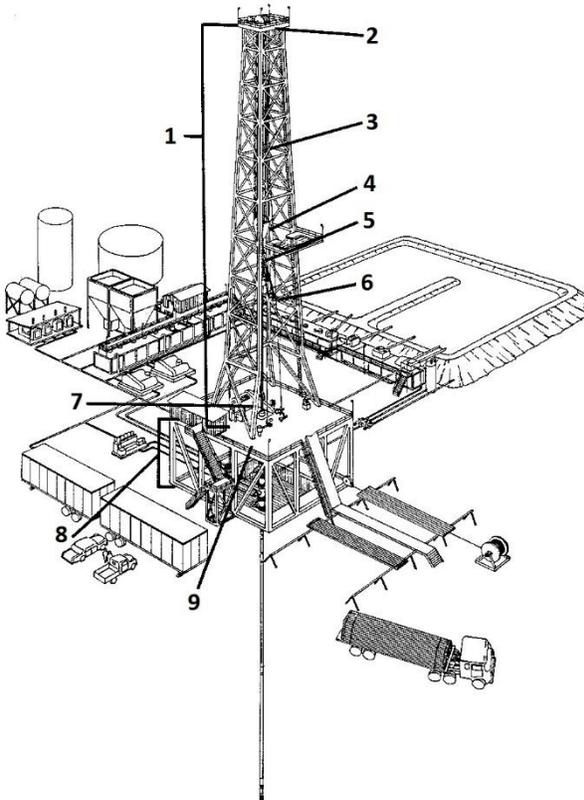
### Componentes del equipo de perforación rotatoria.

El equipo que compone al sistema rotatorio se integra de cinco subsistemas, los cuales son:

- El subsistema de izaje.
- El subsistema rotatorio.
- El subsistema de circulación del lodo.
- El subsistema de energía.
- El subsistema para control del pozo.

#### A.1 Componentes del subsistema de izaje.

1. Mástil o torre.
2. Bloque de la corona.
3. Línea de perforación.
4. Polea viajera.
5. Gancho.
6. Elevadores.
7. Malacates.
8. Subestructura.
9. Piso de perforación.



**Ilustración** Componentes de subsistema de izaje.

### ***La torre o el mástil.***

Son una estructura de acero con capacidad de soportar el ensamble de las herramientas y el equipo usado en el proceso de perforación rotatoria. La longitud de la estructura soportadora va desde 24.5 a 57.5 metros y consiste en:

- La subestructura.
- Un lugar revestido sobre la subestructura (piso del equipo de perforación).
- Una torre de perforación.

Las torres o mástiles se clasifican de acuerdo a su capacidad para soportar cargas verticales, así como la velocidad del viento que puede soportar de lado. Otra consideración que hay que tomar en cuenta en el diseño de la instalación es la altura.

El equipo que debe de ser soportado por *la torre o el mástil* es:

*La corona:* es una plataforma localizada en la parte superior de la torre o el mástil.

*La changuera:* es una plataforma de trabajo, localizada arriba del piso de perforación y sobre la torre o el mástil, la cual soporta al personal que trabaja en ella para poner de pie la tubería de perforación y los lastrabarrenas durante las operaciones de perforación.

*Rampa de tuberías:* se encuentra en la parte frontal de la torre o el mástil, donde la tubería es elevada y puesta en el piso de perforación, cuando se adhieren secciones de tuberías.

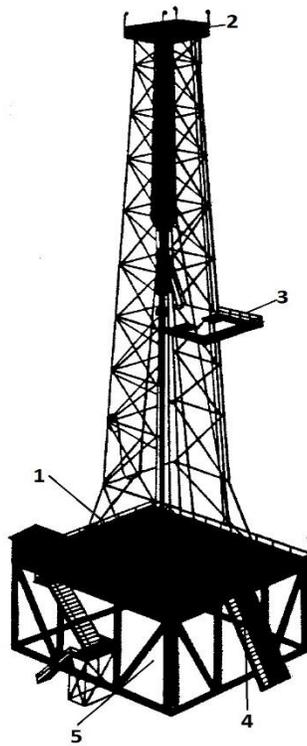
*Contrapozo:* estructura que se construye en el subsuelo para ubicar el sitio donde se hará el agujero del pozo. Tiene como funciones principales facilitar el hincado del tubo conductor y alojar los preventores para el control del pozo durante la perforación.

*El piso de perforación:* es un sitio cubierto sobre la subestructura, el cual provee una plataforma de trabajo para las operaciones de perforación.

Esta plataforma tiene dos funciones:

- Soporta el equipo y las herramientas.
- Provee del espacio suficiente para los trabajos de perforación.

1. Piso de perforación.
2. Corona.
3. Changuera.
4. Rampa de tubería.
5. Contrapozo.



**Ilustración** Equipo que debe ser soportado por la torre o el mástil.

### **Subestructura.**

Es una estructura de trabajo larga de acero, la cual es ensamblada directamente sobre el sitio de perforación.

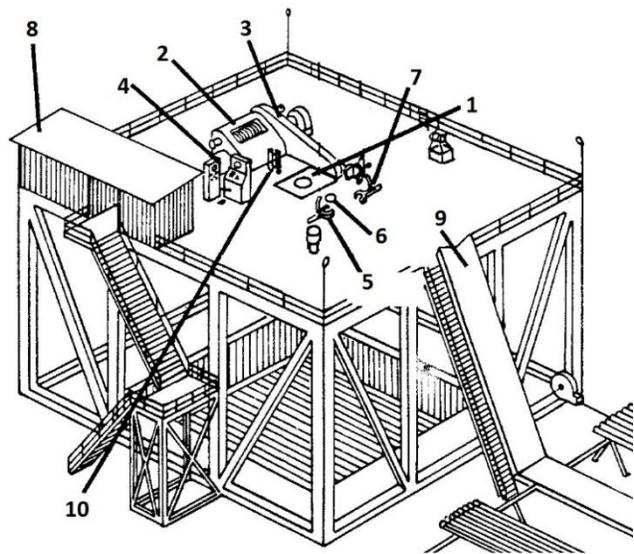
Sus propósitos principales:

- Soportar el piso de la instalación.
- Proveer el espacio para el equipo y empleados.
- Proveer el espacio debajo del piso para enormes válvulas, mejor conocidas como preventores.

*Las llaves de apriete y el agujero de ratón:* usadas para el apriete de las tuberías de perforación, lastrabarrenas, TR, etc., para su conexión o desconexión.

*“La casa del perro”:* es un cobertizo chico usado como oficina del perforador y donde se guardan las herramientas pequeñas.

1. Mesa rotaria.
2. Malacate.
3. Transmisión de la rotaria.
4. Consola del perforador.
5. Llaves para aprieta de tubería.
6. Agujero de ratón.
7. Llaves para desconectar la tubería.
8. Casa del perro.
9. Rampa de tuberías.
10. Gato hidráulico.



**Ilustración** Equipo que debe ser soportado por la subestructura.

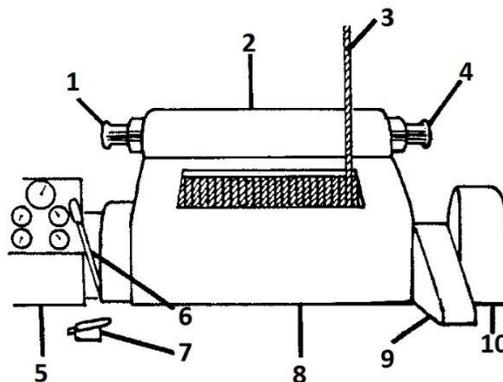
### ***El malacate.***

Es la pieza principal (máquina) del equipo, consiste en un tambor que gira sobre un eje, alrededor del cual se enrolla un cable de acero, llamado cable de perforación.

Los propósitos principales del malacate son los de izar e introducir la tubería al agujero. El cable de acero es enrollado en el carrete del malacate y cuando funciona gira. Dependiendo en qué dirección gire el carrete, el bloque del aparejo o polea viajera que lleva conectada la sarta de perforación sube o baja a medida que el carrete enrolla o desenrolla el cable.

Una de las características sobresalientes del malacate, es el sistema de frenos que hace posible que el perforador controle fácilmente las cargas de tubería de perforación o de revestimiento, y un sistema de enfriamiento para disipar el calor generado por la fricción en las balatas.

1. Tambor para enrollar.
2. Casco de los tambores.
3. Línea de perforación.
4. Tambor para desconectar.
5. Consola del perforador.
6. Palanca del freno.
7. Acelerador.
8. Casco del malacate.
9. Trasmisión de la rotaria.
10. Sistema de freno hidráulico.



**Ilustración** Malacate.

### Los bloques y el cable de perforación.

Conjunto cuya función es soportar la carga que está en la torre o mástil, mientras se introduce o se extrae del agujero la tubería.

1. Carcasa de la polea viajera (protección de las poleas).
2. Polea de la línea de tambor.
3. Marco base del portapoleas de la corona.
4. Eje del bloque de la corona.
5. Armazón del bloque de la corona.
6. Polea del bloque de la corona.
7. Líneas de perforación (10 líneas).
8. Polea viajera.
9. Seguro para el eslabón del elevador.
10. Candado de seguridad para el gancho y la unión giratoria.
11. Gancho.
12. Elevadores.

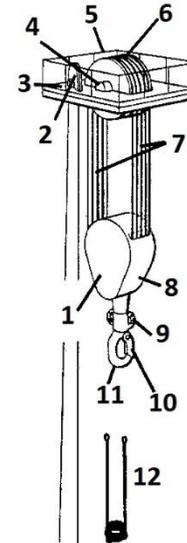


Ilustración Bloques y cable de perforación.

También requerimos en la polea viajera un muelle que actúa como un cojín para absorber choques y un gancho al cual se le une el equipo para soportar la sarta de perforación.

Los elevadores son un juego de eslabones que sujetan la sarta de perforación para permitir al perforador bajar o subir la sarta de perforación en el pozo.

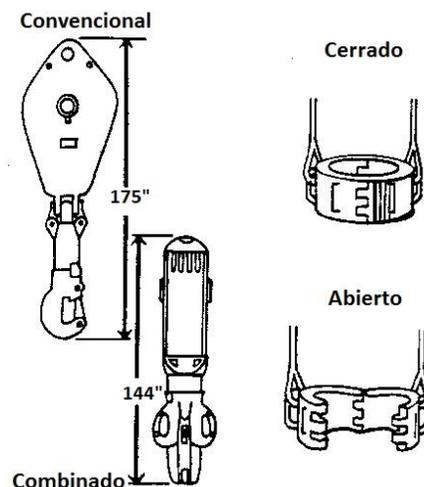
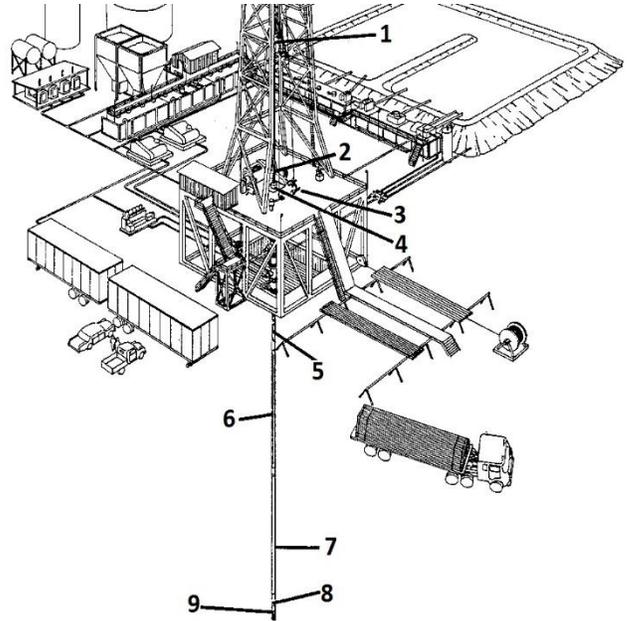


Ilustración Polea viajera, gancho y elevadores.

## A.2 Componentes del subsistema rotatorio.

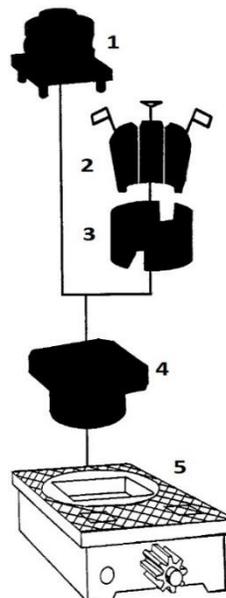
1. Unión giratoria.
2. Flecha.
3. Accesorios de la rotaria.
4. Mesa rotaria.
5. Sustituto de la flecha.
6. Tubería de perforación.
7. Lastrabarrenas.
8. Estabilizadores.
9. Barrena.



**Ilustración** Componentes del subsistema rotatorio.

### ***Mesa rotaria.***

Recibe la energía del malacate mediante la cadena de transmisión de la rotaria. Esta es un ensamble que nos provee un movimiento giratorio, que en conjunto con los bujes es transmitido a la flecha, al swivel y a la sarta de perforación.



1. Bujes de la flecha.
2. Cuñas.
3. Caja de insertos.
4. Bujes maestros.
5. Mesa rotaria.

**Ilustración** Mesa rotatoria.

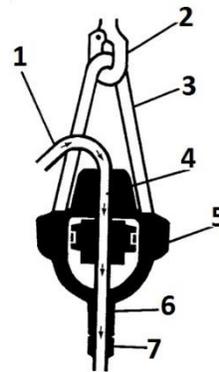
### **Unión giratoria o swivel.**

Es un aparato mecánico que va conectado al bloque del aparejo por unas enormes asas y se instala en la parte superior de la flecha. Tiene tres funciones básicas:

- Soportar el peso de la sarta de perforación.
- Permitir que la sarta de perforación gire libremente.
- Proveer de un sello hermético y un pasadizo para que el lodo de perforación pueda ser bombeado por la parte interior de la sarta.

El fluido de perforación estará a alta presión y entrará por el cuello de ganso, el cual es un tubo curvado que conecta a la unión giratoria con una manguera que transporta al fluido desde la bomba del lodo. El fluido pasa a través del tubo lavador, que es un tubo vertical en el centro del cuerpo de la unión giratoria, hasta el kelly y la sarta de perforación.

1. Manguera del kelly o de la rotaria.
2. Gancho.
3. Asa.
4. Tubo lavador.
5. Cuerpo de la unión giratoria.
6. Acoplador de la unión giratoria.
7. Conexión de caja con la flecha (macho).



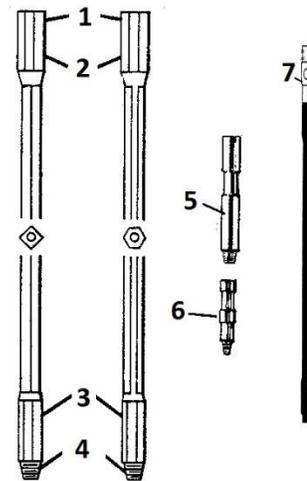
**Ilustración** Unión giratoria o swivel.

### **Flecha o Kelly.**

Es una pieza de tubo cuadrada o hexagonal de un metal pesado (acero) que mide aproximadamente 40 ft (12.20 m) y forma el extremo superior de la sarta. El kelly transmite la rotación a la sarta de perforación y a la barrena, también sirve como un pasadizo para que el fluido de perforación baje hacia el pozo.

El extremo superior de la flecha va conectada a la unión giratoria y su extremo inferior a la tubería de perforación.

1. Conexión de caja, rosca izquierda.
2. Refuerzo exterior.
3. Refuerzo inferior.
4. Conexión de piñón, rosca derecha.
5. Sustituto de la flecha.
6. Válvula de seguridad automática.
7. Válvula de seguridad de la flecha.



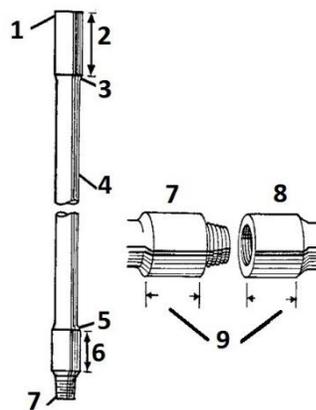
**Ilustración** Flecha o kelly.

### **Sarta de perforación.**

Está compuesta de la tubería de perforación y la tubería de paredes gruesas llamada lastrabarrenas. Cada junta de tubería de perforación mide 30 ft (9 m) y cada extremo de la misma contiene roscas.

El extremo con las roscas interiores se conoce como la caja y el extremo con las roscas exteriores se conoce como piñón. Cuando se conecta la tubería, el piñón se centra dentro de la caja y la conexión se ajusta, son piezas separadas que el fabricante solda a la parte exterior de la junta del tubo.

1. Conexión de caja.
2. Junta.
3. Refuerzo.
4. Tubería.
5. Refuerzo.
6. Junta del piñón.
7. Conexión del piñón.
8. Conexión de caja.
9. Área para la llave.



**Ilustración** Sarta de perforación.

## Lastrabarrenas.

Son tubos de acero a través de los cuales se puede bombear lodo. Los lastrabarrenas son más pesados que la tubería de perforación y se utilizan en el extremo inferior de la sarta para poner peso sobre la barrena. Miden aproximadamente 30 ft (9m) de largo y a diferencia de la tubería de perforación que tiene uniones de tubería soldadas, las roscas son cortadas directamente en los lastrabarrenas.

Existen diferentes tipos de lastrabarrenas como son los lastrabarrenas estándar, espiral y Zipped.

1. Tubería de perforación.
2. Lastrabarrenas.
3. Parte superior.
4. Parte inferior.
5. Conexión de caja.
6. Tubo de pared gruesa.
7. Conexión de piñón.
8. Lastrabarrena estándar.
9. Lastrabarrena espiral.
10. Caja para cuñas.
11. Lastrabarrena Zipped.
12. Caja para el elevador.

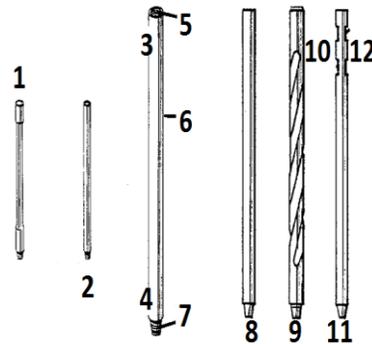


Ilustración Lastrabarrenas.

## Barrena.

Es la herramienta principal en la perforación, su función es triturar la formación de interés.

Durante la perforación se utilizan distintos diámetros de barrenas los cuales determinan la apertura del agujero y se colocan en la parte inferior de la sarta de perforación. Existen distintos tipos de barrenas (según sea el objetivo), su correcta selección y mantenimiento hacen al proceso exitoso.

1. Barrena tricónica.
2. Barrena de diamante.
3. Barrena PDC.



Ilustración Barrenas.

### ***Top drive.***

Este sistema de motor transmite la rotación a la tubería de perforación y por consecuencia a la barrena. Es capaz de reemplazar ciertas funciones de la mesa rotaria.

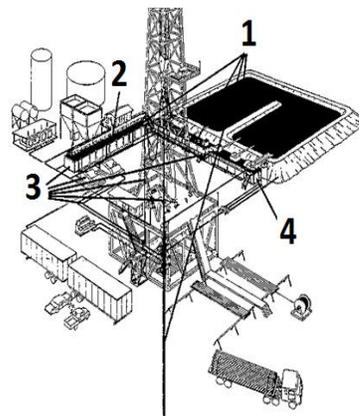
Su uso es muy costoso, por lo que se utiliza en pozos altamente desviados, pozos horizontales, pozos multilaterales y perforación bajo balance.



**Ilustración Top drive.**

### **A.3 Componentes del subsistema de circulación del lodo.**

1. Fluido de perforación.
2. Área de preparación.
3. Equipo de circulación.
4. Área de acondicionamiento.



**Ilustración Componentes del subsistema de circulación del lodo.**

### ***Fluidos de perforación.***

Son sustancias capaces de fluir y se deforman continuamente bajo un esfuerzo de corte (un esfuerzo de corte es la componente tangencial a la superficie sobre la que actúa la fuerza).

Los tres tipos básicos de fluidos son: con base agua, con base aceite y con aire o gas. Un fluido de perforación tiene las siguientes funciones:

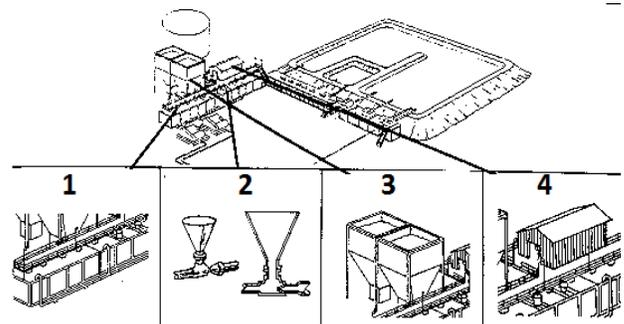
- Limpiar el fondo del pozo y acarrear los recortes a la superficie.
- Mantener los recortes y material densificante en suspensión, cuando se interrumpa la circulación y permitir el asentamiento de los recortes en las presas.
- Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación.
- Transmitir la potencia hidráulica a la formación.
- Controlar las presiones subsuperficiales.
- Efecto de flotación de la sarta y TR.
- Formación de un enjarre impermeable en la pared del agujero.
- Evitar daño a formaciones productoras.

### ***Tanques y bombas de lodo.***

El lodo se mezcla en las presas con la ayuda de una tolva, dentro de la cual se colocan los ingredientes secos del lodo. Estas presas contienen agitadores que mezclan al lodo con aceite o agua, dependiendo de las propiedades de este.

Las bombas de lodo deben ser capaces de mover grandes volúmenes de fluido a presiones altas. Cuando se está circulando aire o gas, la bomba es reemplazada por compresores y las presas de lodos no son necesarias.

1. Presas de lodo
2. Tolva de mezclado.
3. Almacén de lodo.
4. Casa de lodo.



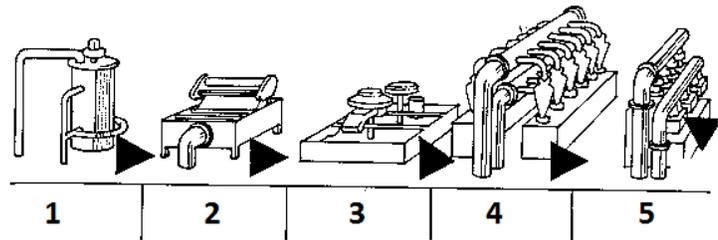
**Ilustración** Elementos que participan con los tanques y bombas de lodo.

### ***Equipo de circulación.***

Es el sistema donde viaja el fluido de perforación, desde el tanque de almacenamiento va circulando hacia el swivel hasta llegar a la barrena. El fluido regresa del pozo hasta la

temblorina, separando los recortes y desechos con demás tratamientos para que regrese al tanque. Se repite este ciclo.

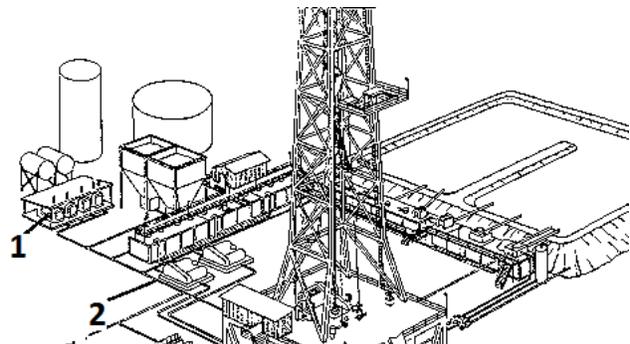
1. Separador de gas y lodo.
2. Temblorina.
3. Desgasificador.
4. Desarenador.
5. Desarcillador.



**Ilustración** Elementos del equipo de circulación.

#### A.4 Componentes del subsistema de energía.

1. Generación de potencia (motor).
2. Sistema de transmisión.



**Ilustración** Componentes del subsistema de energía.

Está conformado por dos partes:

- *Generación de potencia.*
- *Transmisión de potencia.*

Transmisión eléctrica.

Transmisión mecánica.

#### ***Generación de potencia.***

Es necesario transmitir energía al malacate, las bombas, el sistema de rotación y algunos sistemas auxiliares. La forma más común es el utilizando motores de combustión interna, los cuales son normalmente alimentados por combustible diésel.

Su número depende del tamaño del equipo al que van a suministrar energía, muchos equipos modernos tienen 8 motores de combustión interna o más.



**Ilustración** Generadores de energía.

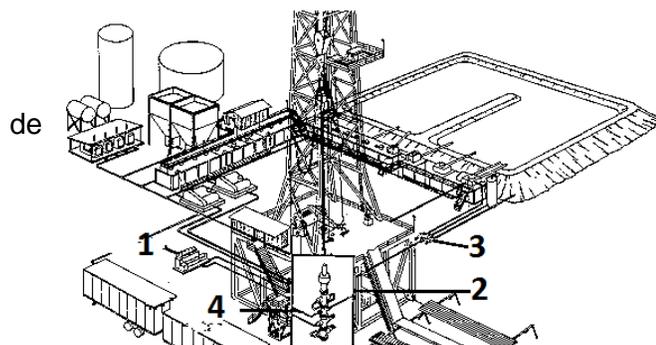
### ***Transmisión de potencia.***

*Transmisión eléctrica:* los motores suministran energía a grandes generadores, los cuales producen electricidad que se transmite por cables de conducción eléctrica hasta llegar a un dispositivo de distribución, y de éste a los motores eléctricos que van conectados directamente al equipo (bombas, malacate y rotaria).

*Transmisión mecánica:* consiste en una serie de correas, cadenas, poleas, piñones dentados y engranajes. La transmisión de energía va desde la toma de fuerza del motor diésel de combustión interna hasta la flecha de entrada de la maquinaria de perforación (malacate, rotatoria y bombas de lodo), a través de los convertidores de torsión. Actualmente no es muy utilizada, a excepción de equipos viejos.

### **A.5 Componentes del subsistema para control del pozo.**

1. Acumulador.
2. Conjunto preventores.
3. Estrangulador.
4. Línea de matar.



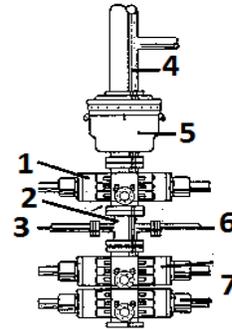
**Ilustración** Componentes del subsistema para control del pozo.

### **Preventor.**

Su función es controlar el paso de fluidos de una formación productora hacia la superficie, tanto por el espacio anular como por el interior de la tubería de producción, ya sea gas, agua o aceite.

Para seleccionar el arreglo de preventores se debe de considerar la magnitud del riesgo expuesto y el grado de protección requerida.

1. Preventor para la tubería.
2. Cuello.
3. Línea de matar.
4. Niple de campana.
5. Preventor anular.
6. Línea de estrangulación.
7. Preventor doble de tubería y ciego.



**Ilustración** Componentes del preventor.

### **Acumulador.**

Es un dispositivo utilizado en el sistema hidráulico para almacenar energía o para amortiguar fluctuaciones de presión. La energía se almacena mediante la compresión de un bolsón de gas precargado con fluido hidráulico desde el sistema operativo o de carga.<sup>11</sup>

### **Estrangulador.**

Son válvulas ajustables y fijas. El estrangulador ajustable es operado neumáticamente o hidráulicamente y tiene una apertura capaz de ser cerrada o restringida, la cual puede variar en tamaño, desde la posición cerrada hasta completamente abierta. Un estrangulador fijo tiene un flujo restringido de tamaño permanente. Ambos evitan que entre más fluido de la formación mientras se está llevando a cabo la operación de cerrar el pozo.

<sup>11</sup> Grosario Schlumberger: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>

***Línea de matar.***

Es una línea que permiten la entrada o salida controlada del fluido a presión. Se enlaza de manera opuesta del estrangulador.

## ANEXO B.

### Problemas comunes durante la perforación.

#### B.1 Inestabilidad del agujero.

Es un derrumbe dentro del agujero, ocasionado por las tensiones en la pared del hoyo, que exceden los esfuerzos compresionales de la formación. En esta acción, influyen diversos factores como esfuerzos tectónicos, presión de poro, buzamiento de capas y grado de compactación.

La inestabilidad del agujero ocurre generalmente en lutitas, debido a su composición parcialmente de minerales arcillosos y a su baja permeabilidad.

Las causas principales son:

- Lutitas naturalmente fracturadas
- Peso incorrecto del lodo
- Invasión de presión
- Invasión de fluido y esfuerzo de hidratación
- Vibración de la sarta de perforación

*Lutitas naturalmente fracturadas:* suele ser un problema que no se puede prevenir, solo minimizar. Es necesario optimizar la limpieza del agujero antes de continuar la perforación, limitar la velocidad de rotación al reparar y restringir las velocidades de viaje a través de las fracturas (el uso del escariador podría ser necesario).

*Peso incorrecto del lodo:* el incremento del esfuerzo en la roca alrededor del agujero suele ser contrarrestado por la presión hidrostática de la columna de lodo.

Si el esfuerzo de la roca es mayor que la presión hidrostática del lodo (peso del lodo muy bajo), la lutita puede fallar y fragmentarse, dando lugar a la caída de la misma dentro del pozo. Por otro lado, si la presión hidrostática del lodo es demasiado alta, la formación puede derrumbarse y causar pérdidas.

Es por eso, que la distribución del esfuerzo alrededor del agujero depende de la inclinación y acimut.

En caso de los pozos desviados, se necesitan pesos de lodo mayores.

*Invasión de presión:* debido a su extremadamente baja permeabilidad, las lutitas no forman un enjarre en la pared del agujero, en comparación con las formaciones permeables donde el enjarre actúa como una membrana impermeable.

Es por eso que la presión hidrostática del lodo se introduce directamente con la formación y se iguala con la presión de poro alrededor del agujero. Debido a la invasión, incrementan los niveles de esfuerzo en la roca.

*Invasión de fluido y esfuerzo de hidratación:* las lutitas tienen el potencial de hidratarse, hincharse y desintegrarse al contacto con el agua. La hidratación puede presentarse en la falla de las lutitas, cuando ocurre la invasión de presión de poro en la pared del agujero. El hinchamiento puede impedirse, permitiendo que la actividad del agua en la fase interna del lodo sea igual a la actividad del agua en la formación de lutita (registro de densidad).

Tanto el hinchamiento y la dispersión de lutitas pueden ser reducidas con el uso de lodos que contengan sales (KCl), poligliceros, lodos con bajo contenido de sólidos o lodos base aceite de actividad balanceada.

## **B.2 Pérdida de circulación.**

Problema que puede ocurrir a cualquier profundidad durante la perforación. La pérdida puede ser gradual, parcial o total de fluido hacia la formación. Generalmente, es causada cuando la presión hidrostática de la columna de lodo excede el esfuerzo de la roca y en ocasiones, se controla utilizando aditivos de pérdida de fluido para controlar el proceso, evitando daños potenciales al yacimiento.

Hay dos tipos de pérdidas de circulación:

- *Pérdida parcial:* se pierde una pequeña fracción de lodo, generalmente manifestada por una disminución gradual del nivel del lodo en los tanques.
- *Pérdida total:* se pierde el lodo que se encuentra en el agujero, ya que se desplaza en su totalidad hacia la formación.

Las pérdidas se presentan de manera natural (intrínseca) o mecánica (inducida). Existen diversos factores que originan pérdidas de circulación, se relacionan con el tipo de formación, condiciones del agujero y la presión que ejerce la columna del lodo. Es decir, para que se

pierda el lodo, el tamaño de los poros de la formación debe ser tres veces más grande que las partículas del lodo y la presión del lodo debe ser mayor a la presión de la formación.

Los tipos de formación que pueden generar pérdida de circulación son:

- Formaciones superficiales de gran porosidad y permeabilidad, por lo general arenas y gravas poco consolidadas.
- Formaciones naturalmente fracturadas.
- Fracturas inducidas mediante desbalance de presiones (Conexiones o maniobras por velocidad excesiva de la sarta).
- Formaciones con cavidades de disolución y cavernosas.

Las pérdidas de circulación durante la perforación se detectan con la disminución de volumen en los tanques, disminución en gastos de flujo, disminución de presión de la bomba, aumento en el peso de la sarta y cuando el agujero no mantiene un nivel estático al parar la bomba.

*Consecuencias.*<sup>12</sup>

- *Disminución de la presión hidrostática del lodo:* la presión hidrostática es directamente proporcional a la altura de la columna de lodo.
- *Atascamiento de la tubería:* la reducción de flujo en el espacio anular disminuye la capacidad de acarreo del lodo.
- *Daño a la formación:* una alta pérdida de filtrado disminuye la productividad de la formación.
- *Reventones subterráneos:* se puede originar la entrada del fluido de la formación a la zona de pérdida, produciéndose un reventón subterráneo.
- *Altos costos:* resultado del tiempo que lleve resolver los problemas y el costo del lodo perdido, mientras se recupera la circulación.

*Prácticas recomendadas para las pérdidas de circulación.*

---

<sup>12</sup> Problemas operacionales durante la perforación, Ing. Roberto Salas.

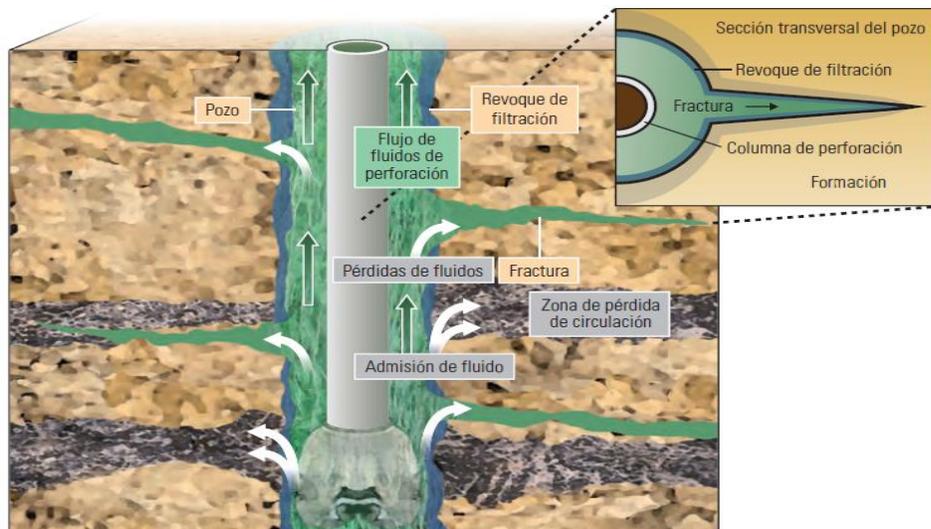
Para reducir de la manera posible las pérdidas, se recomienda realizar las siguientes prácticas:

- Emplear la densidad mínima de lodo que permita el pozo.
- Incrementar la viscosidad del lodo.
- Mantener el mínimo de sólidos en el pozo.
- Mantener los valores reológicos en condiciones óptimas de operación.
- Reducir las pérdidas de presión por fricción en el espacio anular.
- Evitar incrementos bruscos de presión.
- Reducir la velocidad de introducción de la sarta.

#### *Acciones Remediales.*

Si las prácticas anteriores no detienen o reducen significativamente el problema, puede añadirse al lodo material de control de pérdidas (Lost Circulation Material / LCM). Ya que las pérdidas deben ser manejadas tan pronto ocurran, el agujero debe mantenerse lleno en todo momento, incluso si esto significa cubrir el espacio anular con agua de mar.

Por tal motivo, se recomienda tener una presa lista y con una pastilla de LCM mezclada. Las pastillas de LCM tienen que cubrir la necesidad, utilizando concentraciones más bajas para pérdidas de filtración y concentraciones más altas para pérdidas totales.



**Ilustración 2.27** Pérdida de circulación. (Schlumberger, 2012)

### **B.3 Brote.**

Es la entrada de fluidos provenientes de la formación al pozo. Ocurren debido a que la presión de formación es mayor que la ejercida por la presión hidrostática del lodo, ocasionando que los fluidos fluyan hacia el pozo.

Al irse del pozo una cantidad de lodo considerable, sin detectarse ni corregirse a tiempo el brote, se tiene el riesgo de que se produzca un reventón o descontrol (brote de fluidos difícil de manejar).

*Causas.*

Un brote puede ser originado por:

- *Densidad insuficiente del lodo:* en la perforación, las densidades del lodo deben ser mínimas para tener un control con la presión de formación y optimizar las velocidades en el proceso. Al perforar zonas permeables, se debe cuidar que los fluidos de formación no alcancen al pozo y produzcan un brote.
- Incrementar la densidad de lodo no es una solución muchas veces, ya que se podría exceder el gradiente de fractura, se tendría una mayor probabilidad de pegaduras por presión diferencial y se reduciría la velocidad de penetración.
- *Llenado insuficiente durante los viajes:* al extraer la tubería sin que el pozo se llene con lodo, la presión hidrostática y el nivel de lodo disminuyen, debido al volumen desplazado por el acero en el interior. La disminución puede ser mayor si se sacan los lastrabarras y la tubería pesada de perforación, ya que, son herramientas con mayor desplazamiento.
- *Efectos de sondeo al sacar la tubería:* el efecto de sondeo se refiere a la acción que ejerce la sarta de perforación dentro del pozo. Cuando la sarta se mueve hacia arriba, levanta al lodo con mayor velocidad que aquella que el lodo tiene al caer por la sarta y la barrena.
- La velocidad de extracción de la tubería, las propiedades reológicas del lodo, la geometría del pozo y la estabilización de la sarta, influyen en el efecto de sondeo. Se recomienda tener una presión hidrostática ligeramente mayor que la presión de formación, de esta manera se estaría evitando un brote.

- *Contaminación del lodo con gas:* la densidad del lodo tiende a disminuir por la presencia de gas en la roca cortada. Al perforar demasiado rápido, el gas contenido en los recortes se libera, causando la reducción de la presión hidrostática, la entrada de gas al pozo, y por consecuencia, el peligro de un reventón.
- En esta situación, se recomienda reducir el ritmo de penetración, aumentar el gasto de circulación y circular el tiempo necesario para desgasificar el lodo.
- *Pérdidas de circulación:* si la pérdida de circulación se presenta durante la perforación, se corre el riesgo de tener un brote, este se incrementa al estar en zonas de alta presión o en el yacimiento, en pozos delimitadores y exploratorios.

*Indicadores que anticipan un brote.*

Los indicadores de que el lodo fluye fuera del pozo durante el proceso de perforación son:

- *Al perforar:* tener un aumento en la velocidad de perforación, una disminución de la presión de bombeo y aumento de emboladas, cambios en propiedades geológicas y contaminación del lodo por gas o cloruros.
- *Al sacar o meter tubería de perforación:* tener un aumento de volumen en las presas, un flujo sin circulación y que el pozo tome menos volumen o desplace mayor volumen de lodo.
- *Sin tubería dentro del pozo:* tener un aumento de volumen en las presas y un flujo sin bombeo.

#### **B.4 Pegadura de tubería.**

Es la limitación del movimiento de la tubería o la sarta de perforación. Cuando no se puede levantar la tubería, se dice que la tubería se ha pegado.

Las causas pueden ser clasificadas en forma general bajo tres mecanismos principales:

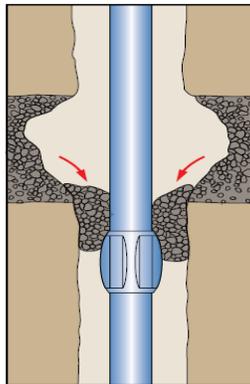
- *Empaquetamiento (Pack-off) o puenteo (bridge).*
- *Pegadura por presión diferencial.*
- *Geometría de pozo.*

*Empaquetamiento (Pack-off) o puenteo (bridge):* se genera cuando partículas pequeñas de la formación (recortes) caen dentro del pozo, asentándose y llenando el espacio anular, alrededor de la sarta de perforación.

Generados principalmente por:

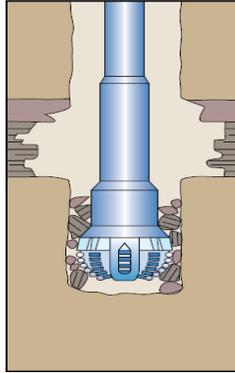
- Formaciones no consolidadas.
- Formaciones fracturadas.
- Formaciones reactivas.
- Cemento blando.
- Bloques de cemento.
- Formaciones móviles.
- Zonas represionadas.
- Chatarra.

*Formaciones no consolidadas:* suelen desmoronarse en el interior del pozo, empaquetando la sarta de perforación a medida que la barrena remueve la roca que sirve como soporte.



**Ilustración** Pegadura a causa de formaciones no consolidadas. (Schlumberger, 2012)

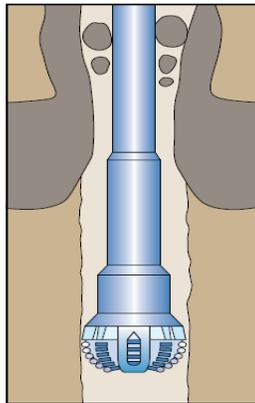
*Formaciones fracturadas:* las calizas, las lutitas laminadas, las fracturas y las fallas, son naturalmente frágiles. Estas formaciones generan rocas sueltas durante la perforación, las cuales atrapan la sarta al desmoronarse y caer dentro del agujero.



**Ilustración** Pegadura a causa de formaciones fracturadas. (Schlumberger, 2012)

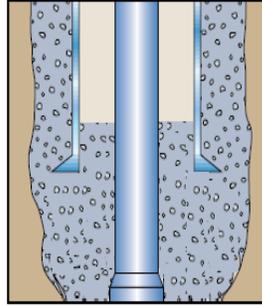
Formaciones reactivas: las arcillas se caracterizan por poseer una alta sensibilidad al agua, con la fase líquida del lodo, reaccionan absorbiendo el agua y se dilatan (hinchán) dentro de las paredes del agujero.

La dilatación química de las arcillas hace que se produzca un aprisionamiento o atascamiento de la sarta de perforación por la reducción del diámetro del pozo, lo que restringe el flujo de fluidos. Esta reacción dependerá del tiempo de exposición, para evitarla se recomienda utilizar lodos inhibidos, lodos en base aceite o lodos de perforación a base de polímeros.



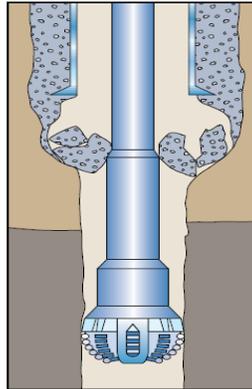
**Ilustración** Pegadura a causa de formaciones reactivas. (Schlumberger, 2012)

Cemento blando: el cemento no fragüado, puede atrapar a la sarta de perforación después de una operación de entubación. Al intentar circular, la presión de bomba sobre el cemento actúa como catalizador para endurecer el cemento, ocasionando que la sarta quede sin rotación y sin circulación, es decir pegada.



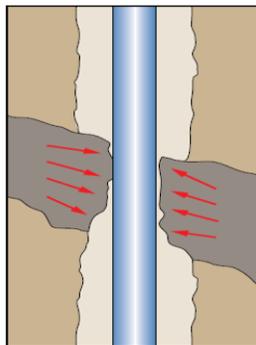
**Ilustración** Pegadura a causa de cemento blando. (Schlumberger, 2012)

Bloques de cemento: el atascamiento ocurre cuando el cemento duro alrededor de la zapata de entubación se desprende en bloques y cae por encima de la sarta, acuñando el BHA en el nuevo intervalo de agujero descubierto.



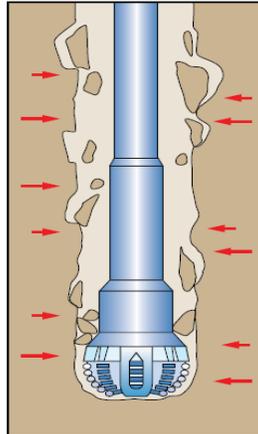
**Ilustración** Pegadura a causa de bloques de cemento. (Schlumberger, 2012)

Formaciones móviles: generalmente se presenta en zonas de composición salina o arcillosa y pueden tener un comportamiento plástico debido a los componentes de sus materiales. Cuando son comprimidas por los estratos de sobrecarga, tienden a entrar al pozo, restringiendo y atrapando la tubería.



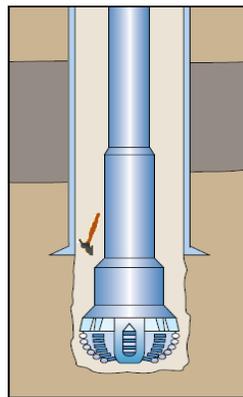
**Ilustración** Pegadura a causa de formaciones móviles. (Schlumberger, 2012)

Zonas represionadas: en formaciones donde la presión de formación es mayor que la presión hidrostática, por ejemplo, las lutitas sobrepresionadas, la densidad insuficiente del lodo afecta la estabilidad del pozo y hace que la formación colapse, atrapando la tubería.



**Ilustración** Pegadura a causa de zonas represionadas. (Schlumberger, 2012)

Chatarra: es causado por la caída de equipo o herramientas dentro del pozo, que al sacar la tubería puede atascarla. Normalmente ocurre por falta de mantenimiento en la caseta de la mesa rotaria, cubierta del hueco no instalada y fallas en el equipo de fondo.



**Ilustración** Pegadura a causa de chatarra. (Schlumberger, 2012)

Pegadura por presión diferencial: es el producto de la presión diferencial cuando se ejercen fuerzas de alto contacto, causadas por las bajas presiones del yacimiento, las altas presiones del pozo, o ambas presiones en un área suficientemente grande de la sarta de perforación. Al

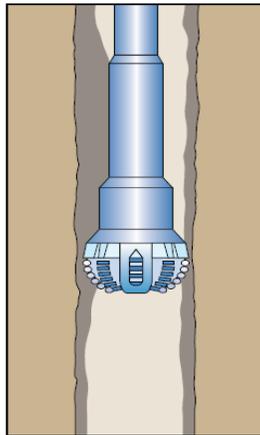
tener contacto la sarta de perforación con la pared del pozo, la presión diferencial atrae a la tubería.

Los dos elementos que ocasionan la pegadura diferencial son:

Formación permeable: en ella se forma una costra de lodo en la pared del pozo, ocasionada por la pérdida de fluido. Si la costra es gruesa incrementa el riesgo de pegadura.

Condición de sobre balance: presión hidrostática de la columna de lodo es mayor que la presión de formación.

Para liberar la tubería es necesario reducir la presión diferencial con la reducción de la densidad del lodo. En otro caso, colocar una píldora o bache de aceite alrededor de la sección pegada.

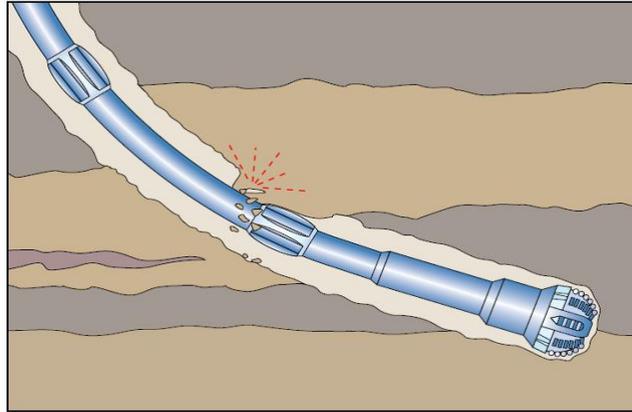


**Ilustración** Pegadura por presión diferencial. (Schlumberger, 2012)

*Geometría del pozo:* la pegadura ocurre cuando existe una combinación con la geometría del pozo y sus cambios de dirección. Por tal motivo, el ensamblaje de fondo (BHA) puede pegarse al bajarlo por el trayecto que fue perforado con sarta flexible, principalmente en zonas con alta desviación.

En pozos con altos ángulos es común el desgaste de la tubería por los cambios abruptos en la trayectoria.

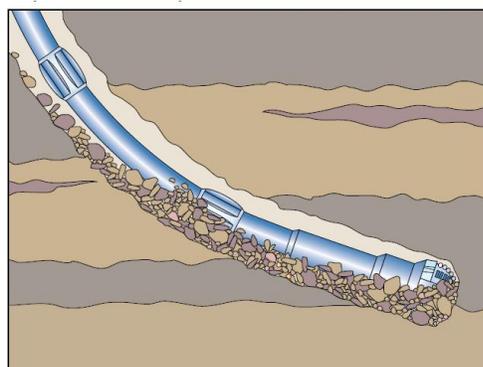
Para prevenir la pegadura, se recomienda minimizar la severidad en los cambios de ángulos (siempre respetando lo programado) y realizar viajes lentamente después de haber corrido una tubería empacada flexiblemente.



**Ilustración** Pegadura por geometría del pozo. (Schlumberger, 2012)

Limpieza del pozo: cuando los recortes se depositan en el lado bajo de los pozos desviados, se forman capas estratificadas que pueden empacarse alrededor del BHA, dificultando el transporte de sólidos fuera del pozo. Este problema es ocasionado por tasas de flujo anular bajas, propiedades inadecuadas del lodo, agitación mecánica insuficiente y un tiempo de circulación corto.

Para mejorar la limpieza, se recomienda que la penetración no sea muy alta para evitar un exceso de recortes, aumentar la revolución de la sarta y circular altos volúmenes.



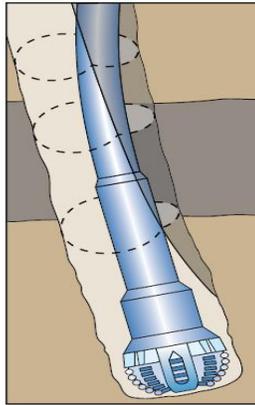
**Ilustración** Limpieza del pozo. (Schlumberger, 2012)

Ojo de llave o llavetero (Key seat): es muy común durante la perforación direccional (cambios bruscos de dirección), causado por la rotación de la tubería contra las paredes del agujero en

un mismo punto, produciendo una ranura en el radio del cambio de curvatura. El tramo desgastado en la pared del pozo por la sarta de perforación (en los puntos con alta inflexión), tendrá un diámetro de paso menor al de las juntas de la tubería, formando el ojo de llave.

El ángulo de desviación de un pozo es necesario cuando ocurren cambios litológicos o cuando se atraviesa por una zona de discordancia. A este cambio se le conoce como “pata de perro”, consecuencia de que la sarta de perforación no tenga la rigidez requerida.

Para prevenir el ojo de llave (Key seat) se recomienda utilizar estabilizadores (BHA) y respetar los ángulos de desviación programados.



**Ilustración** Ojo de llave / Key seat. (Schlumberger, 2012)

### **B.5 Pesca.**

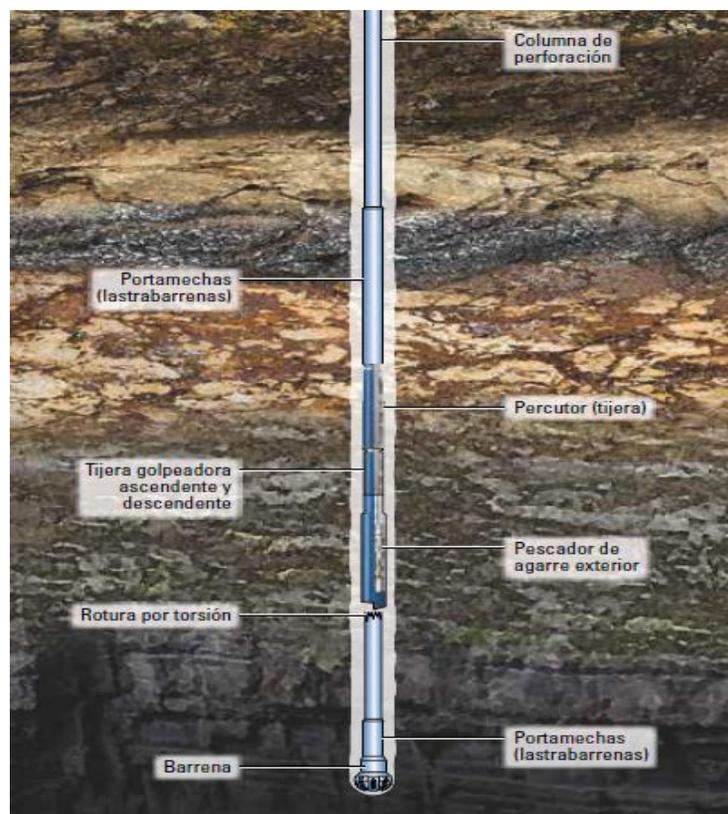
Es el conjunto de procedimientos necesarios para remover o recuperar algún pescado (herramienta, material o tubería) dentro del pozo, debido a que interfiere en la continuidad de ciertas operaciones. Las fallas de algún componente superficial, subsuperficial, accesorios de trabajo, malas operaciones y cualquier descuido del personal, puede provocar la existencia de un pescado en el pozo.

El equipo de pesca incluye:

- Pescante de cuñas.
- Suficientes cuñas (espiral y/o canasta) para cubrir todos los tamaños, tanto extra-grandes.
- como ultra-pequeñas.
- Guías de pescantes de cuñas y extensiones.
- Martillos y aceleradores de pesca.

- Compensadores de movimiento vertical.
- Machuelos.
- Canastas chatarreras de circulación inversa.
- Molinos.
- Juntas de seguridad.

Se recomienda siempre asegurarse que toda herramienta introducida al pozo sea medida y que todas sus características (longitud, diámetro interior y exterior), sean registradas en una bitácora de operación para facilitar su pesca.



**Ilustración** Sarta de pesca. (Schlumberger, 2012)

### **B.6 Sidetrack.**

Es la perforación de un segundo pozo desde un agujero ya existente. Esta desviación en la trayectoria del pozo puede ser intencional o accidentalmente.

Una desviación intencional es realizada para explorar un rasgo geológico cercano o para pasar por alto una sección inservible del pozo original.

La sección inservible puede ser debido a la existencia de pescas irrecuperables, detritos en el pozo, o en su defecto un pozo colapsado.



**Ilustración Sidetrack.**

### **B.7 Problemas en la cementación.**

El objetivo principal en una cementación es aislar una zona de interés, debido a que al endurecer el cemento se forma un sello hidráulico en el agujero. El principal problema por evitar es la migración de fluidos de la formación hacia zonas de baja presión o a superficie, causada por la disminución de la presión hidrostática, es común en formaciones con presiones anormales.

La perforación inadecuada del agujero, la mala condición del lodo, la pérdida de circulación, las altas temperaturas, la presión anormal o sub-normal, son otras condiciones que pueden afectar a la cementación.

Se recomienda observar los datos de la tasa de bombeo, la tasa de retorno, las presiones y densidades de superficie, ya que nos brindan información importante para prevenir problemas en la cementación.

## B.8 Fallas en el equipo superficial.

Herramienta	Falla
<b>Bombas de lodo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste por arenillas y arcillas.</li> <li>• Corrosión por efectos ambientales y químicos.</li> <li>• Eficiencia.</li> </ul>
<b>BHA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrietamiento por sulfuro.</li> <li>• Falla en la soldadura.</li> <li>• Tensión y torque.</li> </ul>
<b>Tubería de perforación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión.</li> <li>• Fatiga.</li> </ul>
<b>Top drive</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños en los brazos del elevador.</li> <li>• Daños en el motor eléctrico y en el motor hidráulico.</li> </ul>

**Tabla** Fallas en el equipo superficial.

## B.9 Fallas en el equipo de fondo.

Herramienta	Falla
<b>MWD/LWD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvulas.</li> <li>• Programa interno.</li> </ul>
<b>Equipo de registros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baterías.</li> <li>• Falla en el cable.</li> <li>• Falla eléctrica.</li> </ul>
<b>Barrena tricónica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conos perdidos.</li> </ul>

**Tabla** Fallas en el equipo de fondo.

## ANEXO C.

Auditoría / No		Fecha de elaboración:	
Página:		Área / unidad:	
<b>Objetivo de la auditoría:</b>	Alcance de la auditoría: (procesos a auditar)	Criterios de auditoría:	Dirección:
Verificar el grado de cumplimiento del programa de perforación determinado por la empresa contra la operación diaria (previamente documentada).	Subprocesos: acondicionamiento del área, perforación, toma de información, colocación de tubería de revestimiento y cementación.	Programa de perforación y; Procedimientos, Programas y Normativa que aplicable.	

Datos del equipo auditor		
Auditor (Tipo)	Nombre	Firma
Auditor Líder		
Auditor A		
Auditor B		
Auditor C		

Documentos de referencia
Manual de Procedimientos y Políticas, Marco Normativo, Programa de Perforación, Sistema de Información de Operaciones de Perforación (SIOP), Equipo, Maquinaria y Herramientas, Métodos de Medición, Control Estadístico de Proceso, Análisis de Riesgos, Registros, Bitácoras, Instructivos, Hojas técnicas, Reportes de Actividades, Anexos, Otros documentos.
Métodos de auditoría
Comprobación, Entrevistas, Pruebas, Recálculo, etc.

Fecha	Hora	Actividad	Proceso / Requisito	Procedimiento establecido	Responsable	Observaciones	
Día 1	9:00 a 10:00 hrs.	Reunión de Auditores	-	-	-	-	
Día 2	9:00 a 9:30 hrs.	Reunión de Apertura	-	<i>Plan de trabajo</i>	-	-	
	9:30 – 10:30 hrs	Aspectos generales del proyecto	Programa de perforación, anexos, autorizaciones.	- Documentación relacionada con el marco normativo, procedimientos operativos y políticas.	Equipo auditor		
	10:30 – 11:00 hrs	Revisión de los últimos resultados obtenidos.	Planes establecidos.	- Revisión de reportes de pozos contenidos en el campo.	Equipo auditor		
	11:00 - 12:00 hrs	Análisis de situación estructural del pozo.	Programa de perforación y complementarios.	- Verificación de aspectos estructurales y objetivos establecidos.	Equipo auditor.		
	12:00 – 14:00 hrs	Revisión del estado mecánico del pozo.	Programa de perforación y complementarios.	- Estudio general del proyecto.	Equipo auditor.		
	14:00 – 16:00 hrs	<i>Comida</i>					
	16:00 – 17:30 hrs	Estudio de fluidos de perforación y control de sólidos.		-Verificación del programa vs estudios previos. -Confirmación con el SIOP.	Auditor B y líder.		

		Revisión de equipo, herramientas, servicios y personal involucrado.	Programa de perforación, complementarios y SIOP.	-Confirmación de elementos relevantes en el proceso.  -Análisis de bitácoras y pruebas físicas.  -Entrevista a personal involucrado.	Auditor C y D.	
	17:30 – 18:00 hrs	Reunión de auditores	<i>Retroalimentación</i>			
<b>Día 3</b>	9:00 – 10:30 hrs	Revisión del programa de registros.	Programa de perforación, complementarios y SIOP.	-Análisis del posicionamiento de la barrena durante la perforación.  -Confirmación con el SIOP.	Auditor C.	
		Revisión del programa de Tubería de Revestimiento.		-Análisis de la geometría del pozo y pozos correlación.  -Confirmación con el SIOP.	Auditor líder.	
		Revisión de costos totales del proyecto.		-Confirmación de costos directos e indirectos.  -Análisis de bitácoras y	Auditor D.	

				pruebas físicas. -Entrevista a personal involucrado.		
		Programa de cementaciones.		- Análisis de la densidad del lodo. -Confirmación con el SIOP.	Auditor B.	
10:30 – 13:00 hrs	Análisis de tiempos de perforación del pozo.	Programa de perforación, complementarios, SIOP.	-Entrevista a personal involucrado. -Análisis de bitácoras y pruebas físicas. -Recálculo del análisis de tiempos de perforación programados vs los reales (indicadores).	Equipo auditor.		
13:00 – 15:00 hrs	<i>Comida</i>					
15:00 – 16:30 hrs	Ejecución del análisis metodológico para auditar el proceso de perforación de un pozo.	Programa de perforación, reportes de proyectos previos y del presente auditado (Análisis de tiempos de perforación y costos) y complementarios.	-Análisis de los sistemas de información operativa de perforación (a disposición). -Cálculo de simulación Monte Carlo. -Análisis del proceso analítico jerárquico (AHP).			
<b>16:30</b>	<b>Reunión para la</b>		- Verificación de	Equipo		

17:00 - 17:30 hrs.	revisión de hallazgos identificados.	-	recomendaciones con la matriz de evaluación.	Auditor	
17:00 - 17:30 hrs.	Reunión con el auditado	-	-	Auditor Líder	
17:30 - 18:00 hrs.	Reunión de Cierre	-	-	Equipo Auditor	
18:00 - 18:30 hrs.	Entrega de Informe y reporte ampliado	-	-	Auditor Líder	

<b>Canales de comunicación</b>	
<b>Por la organización auditada:</b>	Responsable del proyecto
<b>Por el grupo auditor:</b>	Auditor líder
<b>Duración de la auditoría:</b>	3 días
<b>Fecha promesa del informe de auditoría:</b>	3er día
<i>Toda información a la cual los auditores tengan acceso en forma escrita u oral, en medios físicos y electrónicos, es considerada como estrictamente confidencial y sólo podrá utilizarse con la finalidad de cumplir el objetivo y alcance de la presente auditoría. Así mismo, toda información que se recopile durante la auditoría será devuelta al auditado, una vez finalizada ésta.</i>	

Revisó  
Responsable del proyecto

Elaboró  
Auditor líder

Autorizó  
Representante