



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**El análisis de los tiempos no productivos
como herramienta para la descripción de
los problemas durante la perforación.**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Petrolero

P R E S E N T A

Gabriela Avila García

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Agustín Velasco Esquivel



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por todo lo que me ha dado y por permitirme vivir de una manera feliz.

A mis padres, Silvia García Rodríguez y Gabriel Avila García, por su amor, cuidados y consejos. Son mi ejemplo a seguir y es por este motivo que quiero ser mejor cada día, es un orgullo tenerlos conmigo. Gracias por darnos tanto a mis hermanos y a mí. Los amo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser mi alma máter, por brindarme los elementos necesarios para poder desarrollarme como un profesional, es un honor y un privilegio ser parte de ti.

A mi director de tesis: Ing. José Agustín Velasco Esquivel, por su apoyo, disponibilidad y paciencia para la realización de esta tesis. Muchas gracias por dedicar parte de su vida para formar ingenieros.

A mis sinodales: M.I Rafael Viñas Rodríguez, Ing. Juan Manuel González Espinosa, Ing. María Guadalupe Manzo Martínez e Ing. Mario Rosas Rivero, por su tiempo y aportaciones para lograr un mejor trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo por permitir a nosotros los estudiantes desarrollarnos y aprender a ser profesionales. Un especial agradecimiento al M.C. Gustavo Espinosa Castañeda por apoyarme.

A Zully Anuet Paredes Hernández y Miguel Ángel Olmedo Pérez, por ser como mis hermanos. Sus palabras, su amistad y el permitirme ser parte de su vida, es algo infinitamente valioso para mí. Los quiero.

A mis amigos del CCH Azcapotzalco (Alicia, Yesenia, Omar, Vale, Itza, Miri Yiret, Lupita's e Ismael) y de la Facultad de ingeniería (Pamela, Oliver, Hugo, Nestor y Humberto) por ser parte de esta gran aventura. Sean muy felices, les deseo lo mejor hoy, mañana y siempre.

A Luis Eduardo Mendieta Hernández: gracias por ser el mayor cómplice, nunca terminaré de agradecer todo el amor, apoyo y comprensión que me has dado. Cambiaste mi vida y hoy sé que puedo lograr todo contigo, encontrarte fue un milagro para mí. Hagamos que esto sea para siempre. No importa quienes seamos, en qué tiempo estemos o dónde estemos, todo estará bien mientras nuestros corazones sean los mismos. Te amo.

CONTENIDO.

OBJETIVO.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	1
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I CONCEPTOS.....	3
1.1 ¿Qué es la perforación?.....	3
1.2 Tipos de perforación.....	3
1.2.1 <i>Perforación convencional</i>	3
1.2.2 <i>Perforación bajo balance</i>	3
1.2.3 <i>Perforación direccional</i>	3
1.2.3.1 <i>Tipos de perforación direccional</i>	4
1.3 Descripción de los componentes del equipo de perforación.....	5
1.3.1 <i>Equipo de perforación terrestre</i>	5
1.3.1.1 <i>Equipos autotransportables</i>	5
1.3.1.2 <i>Equipos convencionales</i>	5
1.3.2 <i>Componentes del equipo de perforación rotatoria</i>	6
1.3.2.1 <i>Componentes del subsistema de izaje</i>	6
1.3.2.2 <i>Componentes del subsistema rotatorio</i>	10
1.3.2.3 <i>Componentes del subsistema de circulación del lodo</i>	14
1.3.2.4 <i>Componentes del subsistema de energía</i>	15
1.3.2.5 <i>Componentes del subsistema para control del pozo</i>	16
CAPÍTULO II PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN.....	18
2.1 Inestabilidad del agujero.....	18
2.2 Pérdida de circulación.....	19
2.3 Brote.....	20
2.4 Pegadura de tubería.....	21
2.5 Pesca.....	27
2.6 Reentrada.....	28
2.7 Problemas en la cementación.....	28

2.8 Fallas en el equipo superficial	28
2.9 Fallas en el equipo de fondo.....	29
CAPÍTULO III TIEMPOS DE PERFORACIÓN.....	30
3.1 Fase post-mortem	30
3.2 Tiempos reales de perforación.....	30
3.2.1 <i>Tiempos normales</i>	30
3.2.1.1 <i>Tiempos programados</i>	30
3.2.1.2 <i>Tiempos no programados</i>	31
3.2.2 <i>Tiempos no productivos</i>	31
3.2.2.1 <i>Tiempos por problemas</i>	31
3.2.2.2 <i>Tiempos por esperas</i>	31
3.3 Metodología ATP-IMP	31
3.3.1 <i>Códigos de actividad</i>	32
3.3.2 <i>Clasificación de los tiempos no productivos (NPTs)</i>	39
CAPÍTULO IV ANÁLISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO.	40
4.1 Caso de estudio: POZO A.	40
4.1.1 <i>Datos generales</i>	40
4.1.2 <i>Estado mecánico</i>	40
4.1.3 <i>Análisis de tiempos de perforación totales</i>	42
4.1.3.1 <i>Comparación de tiempos totales</i>	42
4.1.4 <i>Comparación de tiempos por etapa</i>	44
4.1.5 <i>Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad</i>	45
4.1.6 <i>Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad</i>	46
4.1.7 <i>Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos</i>	46
4.1.8 <i>Aspectos relevantes</i>	50
4.1.9 <i>Conclusiones</i>	50
4.2 Caso de estudio: POZO B.	51
4.2.1 <i>Datos generales</i>	51
4.2.2 <i>Estado mecánico</i>	51
4.2.3 <i>Análisis de tiempos de perforación totales</i>	53
4.2.3.1 <i>Comparación de tiempos totales</i>	53
4.2.4 <i>Comparación de tiempos por etapa</i>	54

4.2.5	<i>Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad</i>	55
4.2.6	<i>Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad</i>	56
4.2.7	<i>Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos</i>	58
4.2.8	<i>Aspectos relevantes</i>	63
4.2.9	<i>Conclusiones</i>	64
4.3	<i>Caso de estudio: POZO C</i>	64
4.3.1	<i>Datos generales</i>	64
4.3.2	<i>Estado mecánico</i>	65
4.3.3	<i>Análisis de tiempos de perforación totales</i>	66
4.3.3.1	<i>Comparación de tiempos totales</i>	66
4.3.4	<i>Comparación de tiempos por etapa</i>	68
4.3.5	<i>Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad</i>	69
4.3.6	<i>Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad</i>	70
4.3.7	<i>Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos</i>	70
4.3.8	<i>Aspectos relevantes</i>	74
4.3.9	<i>Conclusiones</i>	74
4.4	<i>Caso de estudio: POZO D</i>	74
4.4.1	<i>Datos generales</i>	74
4.4.2	<i>Estado mecánico</i>	75
4.4.3	<i>Análisis de tiempos de perforación totales</i>	76
4.4.3.1	<i>Comparación de tiempos totales</i>	76
4.4.4	<i>Comparación de tiempos por etapa</i>	78
4.4.5	<i>Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad</i>	79
4.4.6	<i>Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad</i>	80
4.4.7	<i>Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos</i>	80
4.4.8	<i>Conclusiones</i>	88
	CONCLUSIONES	90
	REFERENCIAS	91
	LISTA DE IMÁGENES	92
	LISTA DE TABLAS	95

OBJETIVO.

- Identificar y proponer soluciones a problemas comunes durante la perforación, mediante el análisis de los tiempos no productivos utilizando la metodología ATP-IMP.

JUSTIFICACIÓN.

- Este análisis beneficia en la perforación de pozos futuros, ya que identifica problemáticas frecuentes en la perforación con el propósito de tomar mejores medidas y/o decisiones, logrando así una mejor optimización de las actividades.

RESUMEN.

Este trabajo escrito tiene como finalidad realizar un análisis de los tiempos no productivos, como herramienta clave para la descripción de los problemas que se presentan durante la perforación.

La comparación de los tiempos programados con los reales nos ayudará a identificar las causas de retrasos y proponer soluciones, para evitar en próximas perforaciones conflictos que afecten a las operaciones.

Se ejemplificarán casos de perforación con problemáticas, para esto será necesario conocer los tiempos no productivos de los mismos, realizando un análisis postmortem con base a la metodología desarrollada por el Instituto Mexicano del Petróleo.

Beneficiando así en la toma de decisiones, mejora de actividades deficientes y en el posible diseño de perforaciones vecinas a futuro.

ABSTRACT.

This written work has as purpose realize an analysis of the not productive times as key tool for the description of the problems that they present during the perforation.

The comparison of the times programmed with the royal ones will help us to identify the reasons of delays and to propose solutions, to avoid future conflicts affecting drilling operations.

Of theoretical form one tries to approach key concepts for his understanding, to define the difference between times and to classify the same ones for his case of later application.

They will be made as an example, perforation cases where from the study of its stages identify the most frequent problems that arose, for this will need to know the non-productive time, thus performing a postmortem analysis based on the methodology developed by the *Instituto Mexicano del Petróleo*.

Benefiting in decision making, improving deficient activities and the possible design of future neighboring perforations.

INTRODUCCIÓN.

Al iniciar la perforación de un pozo, se espera que su realización sea idéntica al programa inicial, en el menor tiempo posible, eficiente, económica y óptima para la explotación adecuada de los hidrocarburos; sin embargo, en la mayoría de los casos no es posible, debido a situaciones que afectan los tiempos de ejecución y por consecuencia los demás objetivos.

Los tiempos que afectan la optimización del proceso son los tiempos no productivos (NPT's), ocasionados por problemas que no podemos predecir, pero si prevenir durante la perforación de un pozo.

Un análisis post-mortem nos sirve para conocer las situaciones problemáticas, pero principalmente, para reflexionar lo que se está haciendo mal y qué se necesita mejorar para alcanzar el éxito en la planeación de un pozo, evitando cometer los mismos errores.

Este análisis se realizó basándose en la metodología ATP-IMP, la cual permite ordenar y estructurar la información que se recaba día con día en las bitácoras de trabajo, de manera que sea fácil identificar las actividades con mayor deficiencia con una asignación de códigos. De esta forma, se puede actuar de manera eficaz en futuros incidentes de pozos vecinos.

Para un mejor entendimiento del análisis post-mortem, se desarrollaron los capítulos I, II y III, que brindan definiciones requeridas para los casos de estudio (capítulo IV), basados en actividades y tiempos de perforación reales.

Los problemas siempre estarán presentes en esta industria, lo importante es aprender de ellos, conocer las causas que los originan y sus consecuencias, de modo que seamos capaces de tomar decisiones que cambien el panorama.

Por tal motivo, este trabajo pretende ser una guía que permita al lector analizar los problemas que afectan a un pozo (con ayuda del análisis de los tiempos), esperando que la información presentada sea aprovechada y, se aprenda de ella para proponer mejoras en este ambiente profesional.

CAPÍTULO I CONCEPTOS.

A continuación, se presentan los conceptos generales relacionados al proceso de perforación, lo cual nos ayudará al entendimiento de este trabajo.

1.1 ¿Qué es la perforación?

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.

1.2 Tipos de perforación.

1.2.1 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.

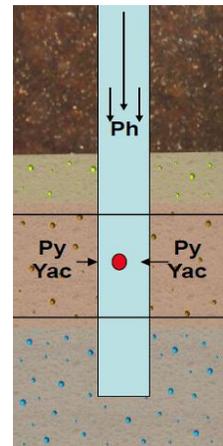


Figura 1.1 Perforación convencional.

$Py < Ph$

1.2.2 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.

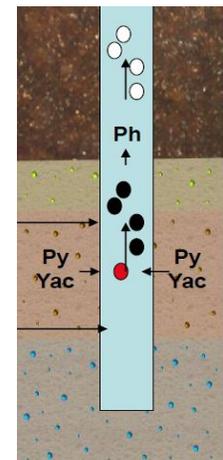


Figura 1.2 Perforación bajo balance.

$Py > Ph$

1.2.3 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.

1.2.3.1 Tipos de perforación direccional.

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 (reentrada).

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, es por eso que su productividad es mayor que la 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 *Figura 1.3*, se observan los distintos perfiles de perforación direccional y horizontal mencionados anteriormente.

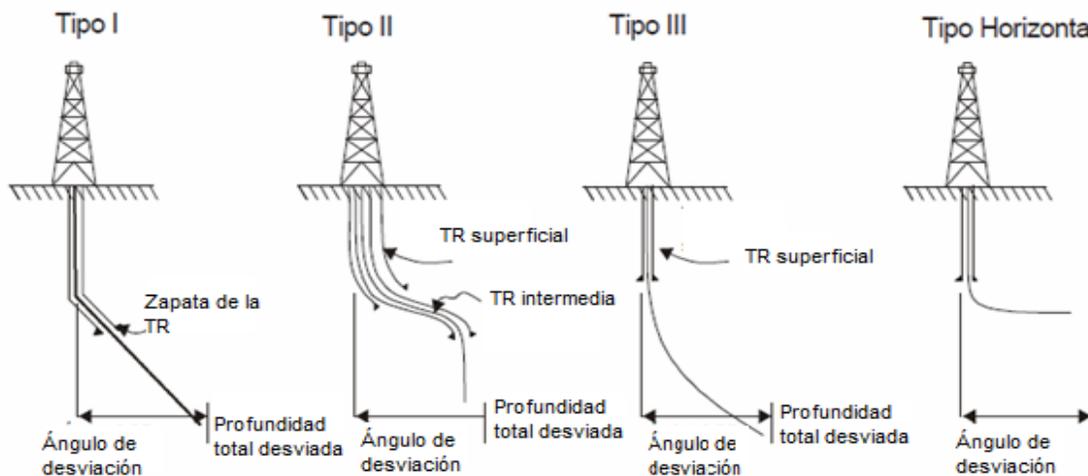


Figura 1.3 Perfiles de desviación típicos de la perforación direccional y tipo horizontal.¹

¹ Cárdenas Vences, 2008.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3 Descripción de los componentes del equipo de perforación.

1.3.1 *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.

1.3.1.1 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.



Figura 1.4 Equipo de perforación autotransportable.²

1.3.1.2 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.



Figura 1.5 Equipo de perforación convencional.

² Sovonex.

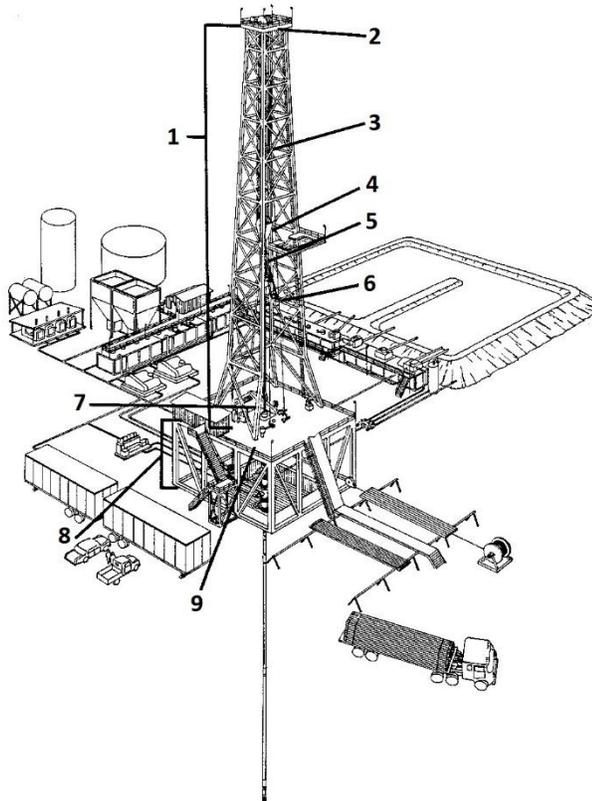
El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3.2 Componentes del equipo de perforación rotatoria.

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

1. El subsistema de izaje.
2. El subsistema rotatorio.
3. El subsistema de circulación del lodo.
4. El subsistema de energía.
5. El subsistema para control del pozo.

1.3.2.1 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.

Figura 1.6 Componentes de subsistema de izaje.

1.3.2.1.1 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 de:

1. La subestructura.
2. Un lugar revestido sobre la subestructura (piso del equipo de perforación).
3. 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:

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

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS

2. 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 lastrarbarrenas durante las operaciones de perforación.

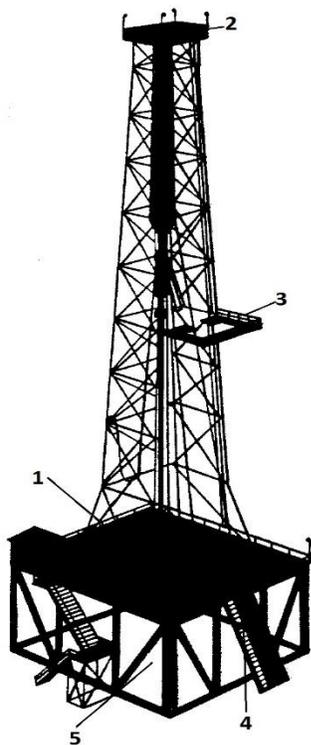
3. Rampa de tuberías: se encuentra en la parte frontal de la torre o el mástil, donde la tubería es elevada y puesta en el piso de perforación, cuando se adhieren secciones de tuberías.

4. 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.

5. 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.

Figura 1.7 Equipo que debe ser soportado por la torre o el mástil.

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

Sus propósitos principales:

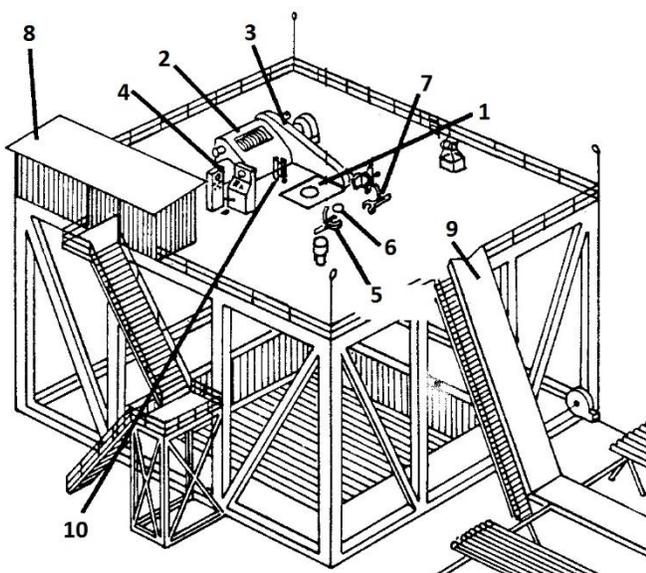
- Soportar el piso de la instalación.
- Proveer el espacio para el equipo y empleados.
- Proveer el espacio debajo del piso para enormes válvulas, mejor conocidas como preventores.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS

El equipo y las herramientas que tiene que soportar la *subestructura* son:

1. **La mesa rotatoria:** provee la rotación y puede mantener suspendidas las tuberías (tubería de perforación, lastrabarrenas, etc.), las cuales hacen girar a la barrena en el fondo del pozo.
2. **Malacate:** es el mecanismo de izaje del ensamble de perforación.
3. **Sistema de transmisión de la rotaria:** transmite el poder del malacate a la mesa rotaria.
4. **Consola del perforador:** centro de instrumentación de la perforación rotaria.
5. **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.
6. **“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.

Figura 1.8 Equipo que debe ser soportado por la subestructura.

1.3.2.1.3 El malacate: es la pieza principal (máquina) del equipo, consiste de 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.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

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.

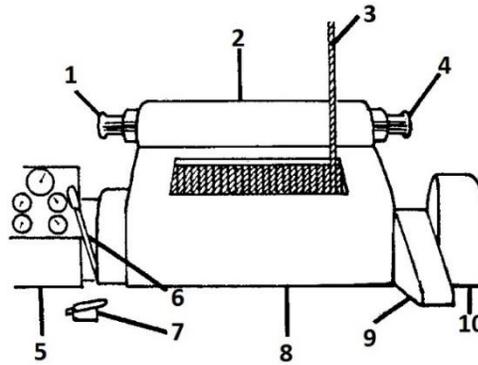
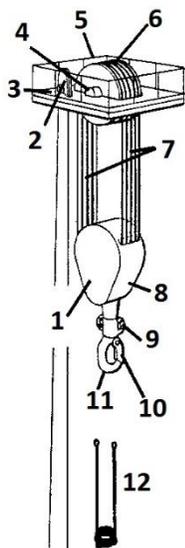


Figura 1.9 Malacate.

1.3.2.1.4 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.

Figura 1.10 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.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO I: CONCEPTOS

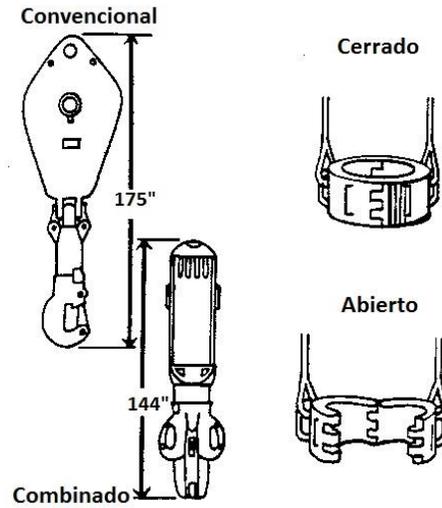
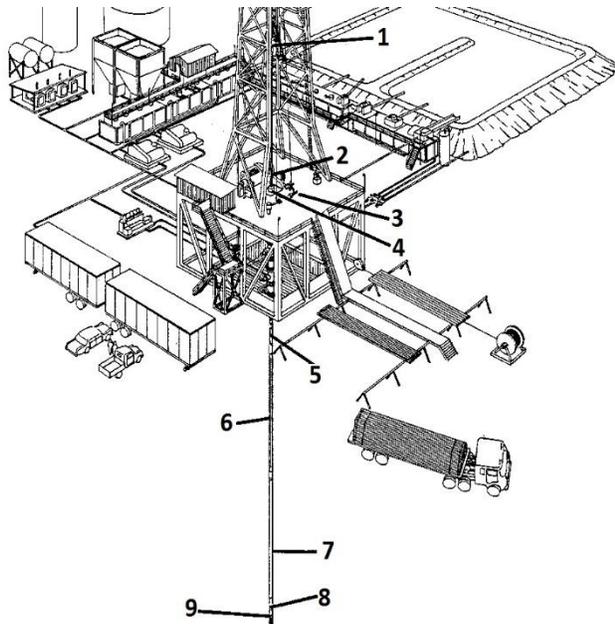


Figura 1.11 Polea viajera, gancho y elevadores.

1.3.2.2 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. Lastrarbarrenas.
- 8. Estabilizadores.
- 9. Barrena.

Figura 1.12 Componentes del subsistema rotatorio.

1.3.2.2.1 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.

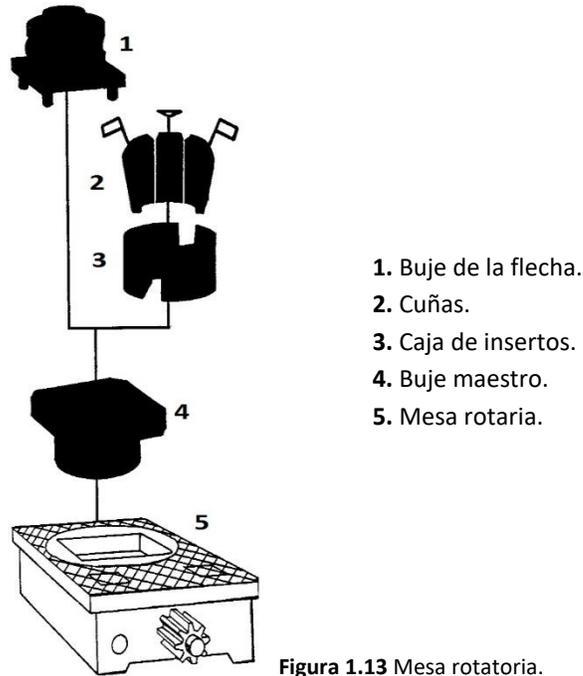


Figura 1.13 Mesa rotatoria.

1.3.2.2 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.

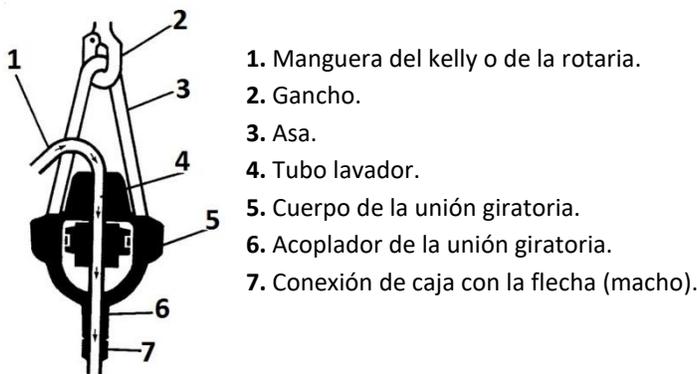


Figura 1.14 Unión giratoria o swivel.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3.2.2.3 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.

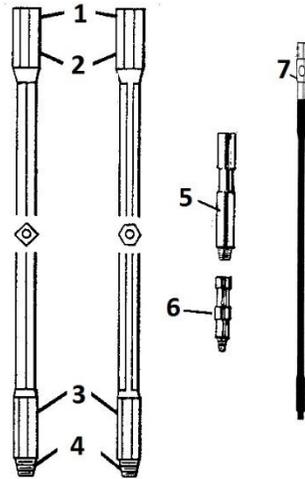


Figura 1.15 Flecha o kelly.

1.3.2.2.4 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.

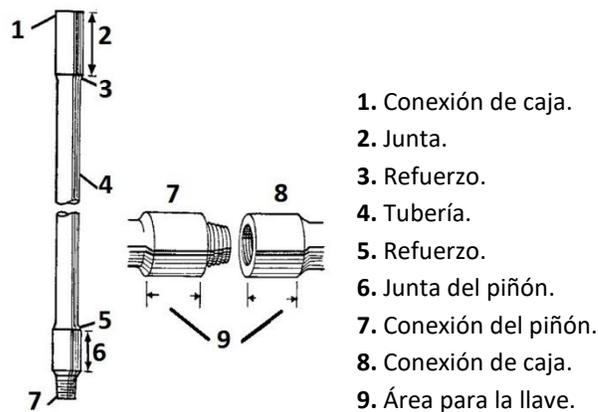


Figura 1.16 Sarta de perforación.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3.2.2.5 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.

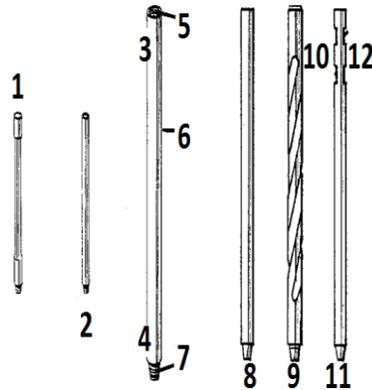


Figura 1.17 Lastrabarrenas.

1.3.2.2.6 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.

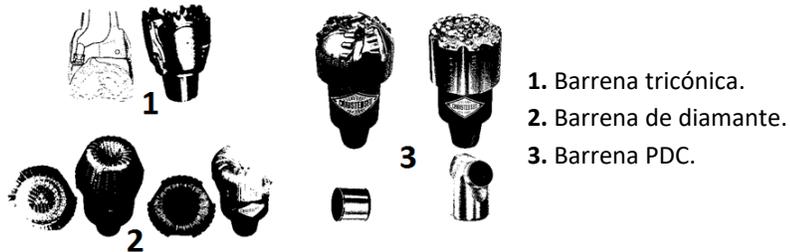


Figura 1.18 Barrenas.

1.3.2.2.7 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.



Figura 1.19 Top drive.

1.3.2.3 Componentes del subsistema de circulación del lodo:

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

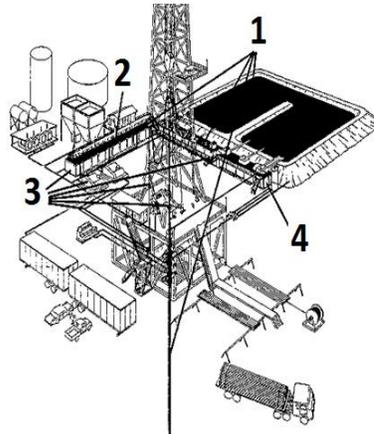


Figura 1.20 Componentes del subsistema de circulación del lodo.

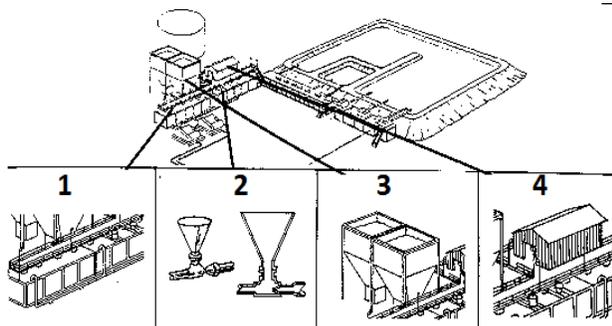
1.3.2.3.1 Fluidos de perforación: son sustancias capaces de fluir y se deforman continuamente bajo un esfuerzo de corte (un esfuerzo de corte es la componente tangencial a la superficie sobre la que actúa la fuerza). Los tres tipos básicos de fluidos son: con base agua, con base aceite y con aire o gas.

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.

1.3.2.3.2 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. Éstas presas contienen agitadores que mezclan al lodo con aceite o agua, dependiendo de las propiedades del mismo.

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.

Figura 1.21 Elementos que participan con los tanques y bombas de lodo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3.2.3.3 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.

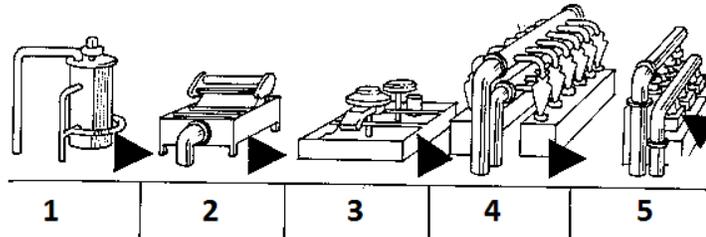
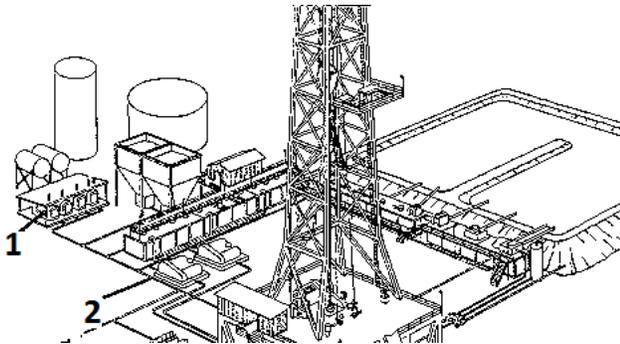


Figura 1.22 Elementos del equipo de circulación.

1.3.2.4 Componentes del subsistema de energía:



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

Figura 1.23 Componentes del subsistema de energía.

Está conformado por dos partes:

- Generación de potencia.
- Transmisión de potencia.
 - Transmisión eléctrica.
 - Transmisión mecánica.

1.3.2.4.1 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.



Figura 1.24 Generadores de energía.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO I: CONCEPTOS

1.3.2.4.2 Transmisión de potencia.

1.3.2.4.2.1 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).

1.3.2.4.2.2 Transmisión mecánica: consiste de 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.

1.3.2.5 Componentes del subsistema para control del pozo:

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

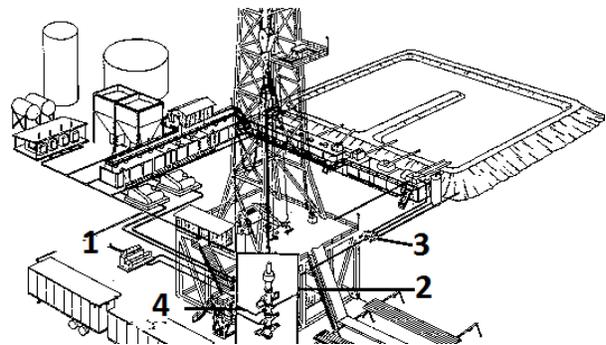
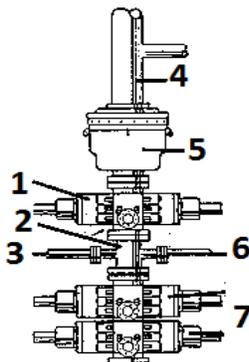


Figura 1.25 Componentes del subsistema para control del pozo.

1.3.2.5.1 Preventores: 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.

Figura 1.26 Componentes del preventor.

1.3.2.5.2 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.³

1.3.2.5.3 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.

1.3.2.5.4 Línea de matar: es una línea que permiten la entrada o salida controlada del fluido a presión. Se enlaza de manera opuesta del estrangulador.

³ Grosario Schlumberger: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>

CAPÍTULO II PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN.

Durante la ejecución de las actividades de perforación, suelen surgir problemas con los que hay que lidiar y resolver de manera oportuna. Por lo cual, se describirán en este capítulo los problemas más comunes en el proceso.

2.1 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

2.1.1 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).

2.1.2 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.

2.1.3 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.

2.1.4 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).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

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.

2.2 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.

2.2.1 Tipos.

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.

2.2.2 Consecuencias:⁴

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.

⁴ Problemas operacionales durante la perforación, Ing. Roberto Salas.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN**

Altos costos: resultado del tiempo que lleve resolver los problemas y el costo del lodo perdido, mientras se recupera la circulación.

2.2.3 Prácticas recomendadas para las pérdidas de circulación.

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.

2.2.4 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.

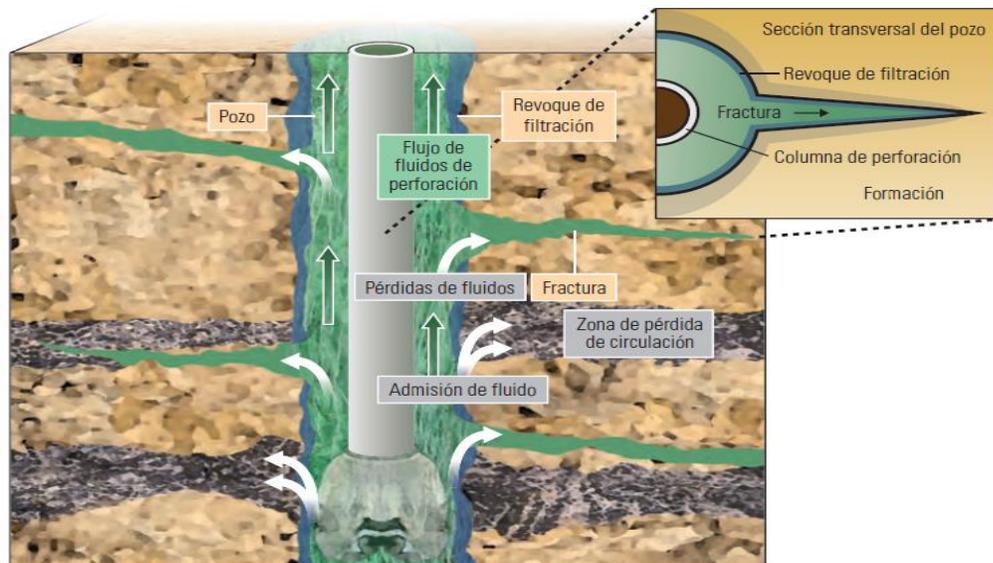


Figura 2.1 Pérdida de circulación. (Schlumberger, 2012)

2.3 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).

2.3.1 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 lastrarrenas 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.

2.3.2 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.

2.4 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.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN**

2.4.1 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.

2.4.1.1 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.

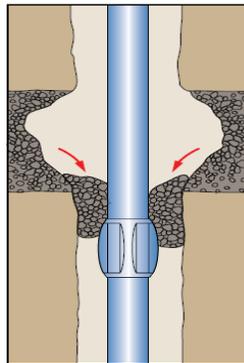


Figura 2.2 Pegadura a causa de formaciones no consolidadas. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.2 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.

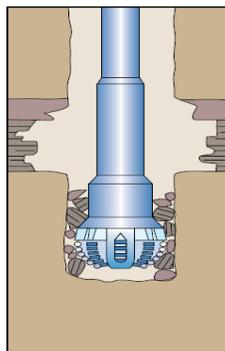


Figura 2.3 Pegadura a causa de formaciones fracturadas. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.3 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

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

del tiempo de exposición, para evitarla se recomienda utilizar lodos inhibidos, lodos en base aceite o lodos de perforación a base de polímeros.

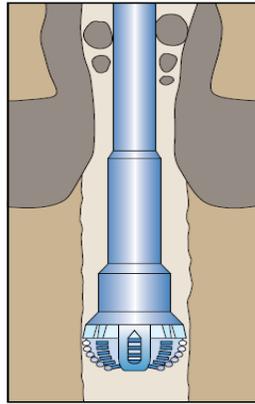


Figura 2.4 Pegadura a causa de formaciones reactivas. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.4 Cemento blando: el cemento no fraguado, 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.

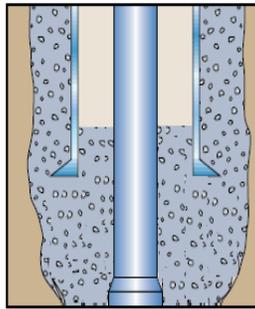


Figura 2.5 Pegadura a causa de cemento blando. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.5 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, acunando el BHA en el nuevo intervalo de agujero descubierto.

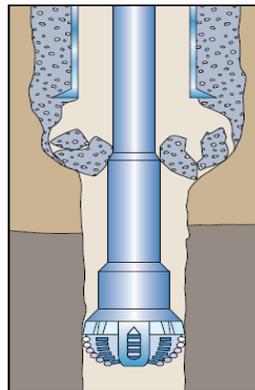


Figura 2.6 Pegadura a causa de bloques de cemento. (Schlumberger, 2012)

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

2.4.1.6 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.

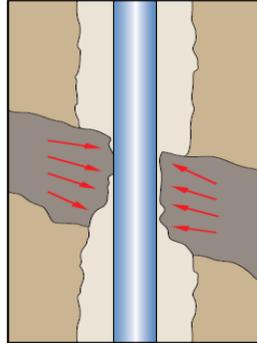


Figura 2.7 Pegadura a causa de formaciones móviles. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.7 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.

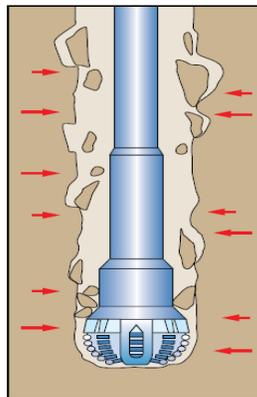


Figura 2.8 Pegadura a causa de zonas represionadas. (Schlumberger, 2012)

2.4.1.8 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.

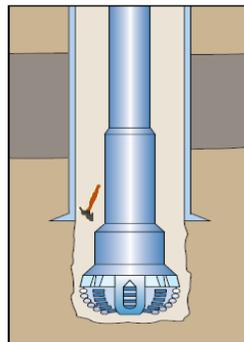


Figura 2.9 Pegadura a causa de chatarra. (Schlumberger, 2012)

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

2.4.2 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.

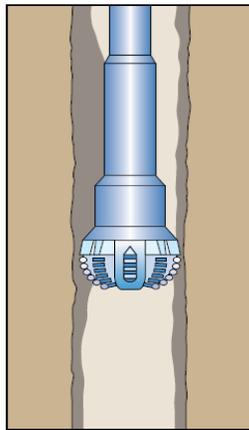


Figura 2.10 Pegadura por presión diferencial. (Schlumberger, 2012)

2.4.3 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.

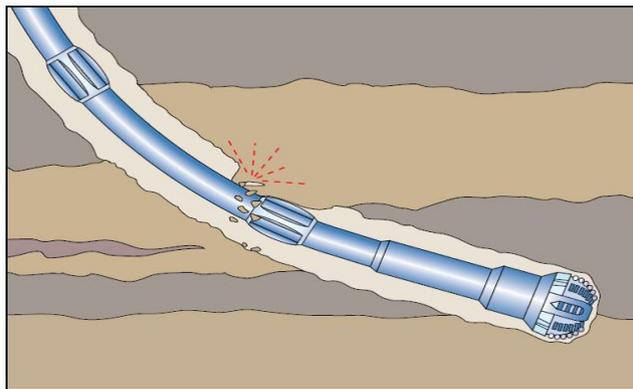


Figura 2.11 Pegadura por geometría del pozo. (Schlumberger, 2012)

2.4.3.1 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.

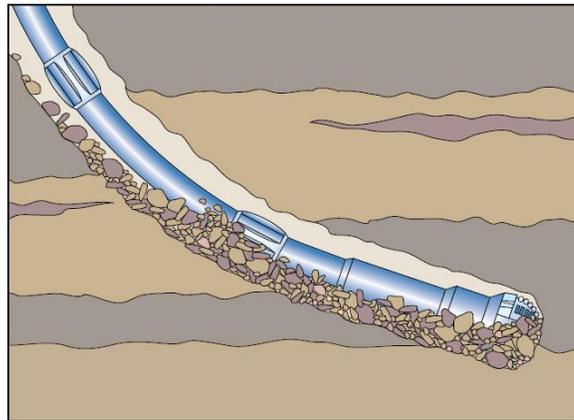


Figura 2.12 Limpieza del pozo. (Schlumberger, 2012)

2.4.3.2 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.

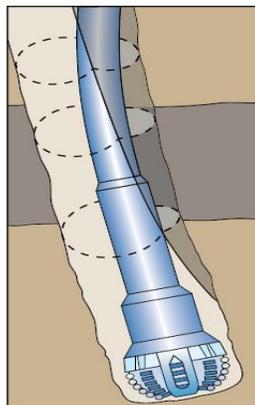


Figura 2.13 Ojo de llave / Key seat. (Schlumberger, 2012)

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

2.5 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.

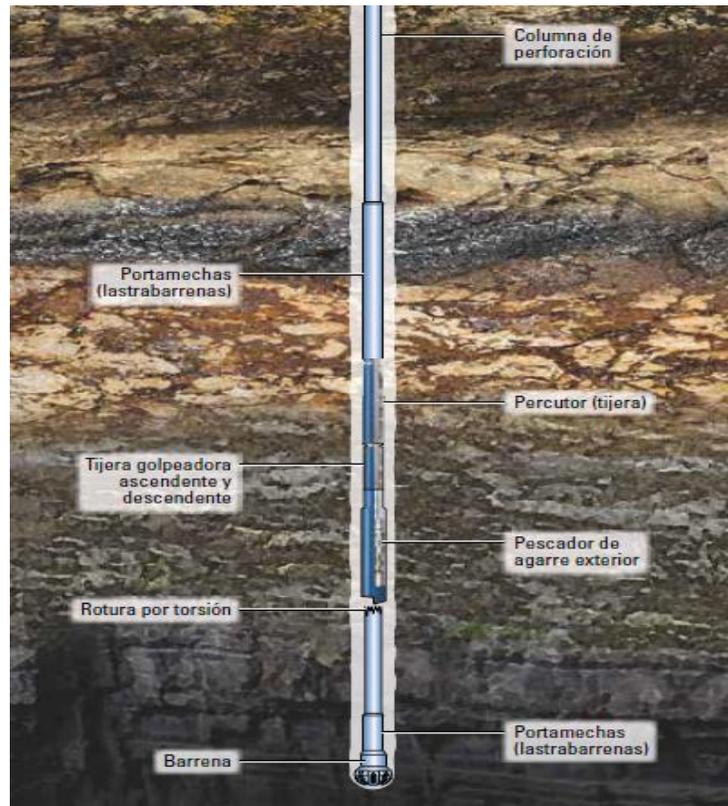


Figura 2.14 Sarta de pesca. (Schlumberger, 2012)

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN**

2.6 Reentrada: 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.



Figura 2.15 Reentrada.

2.7 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 a 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.

2.8 Fallas en el equipo superficial.

Herramienta	Falla
Bombas de lodo	<ul style="list-style-type: none">• Desgaste por arenillas y arcillas.• Corrosión por efectos ambientales y químicos.• Eficiencia.
BHA	<ul style="list-style-type: none">• Agrietamiento por sulfuro.• Falla en la soldadura.• Tensión y torque.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO II: PROBLEMAS COMUNES DURANTE LA PERFORACIÓN

Tubería de perforación	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión. • Fatiga.
Top drive	<ul style="list-style-type: none"> • Daños en los brazos del elevador. • Daños en el motor eléctrico y en el motor hidráulico.

Tabla 2.1 Fallas en el equipo superficial.

2.9 Fallas en el equipo de fondo.

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

Tabla 2.2 Fallas en el equipo de fondo.

CAPÍTULO III TIEMPOS DE PERFORACIÓN.

Los problemas que suelen surgir en el proceso de perforación tienen un gran impacto en los tiempos reales de ejecución. A continuación, se clasificarán estos tiempos y, se mostrará la forma en la que el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) agrupa las actividades de perforación.

3.1 Fase post-mortem: es el proceso 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.

Este análisis es necesario tomar medidas ante los problemas que se pudieran presentar, identificando sus orígenes y causas, para poder proponer mejoras en proyectos futuros.

3.2 Tiempos reales de perforación.

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

Los tiempos reales de perforación se clasifican en:

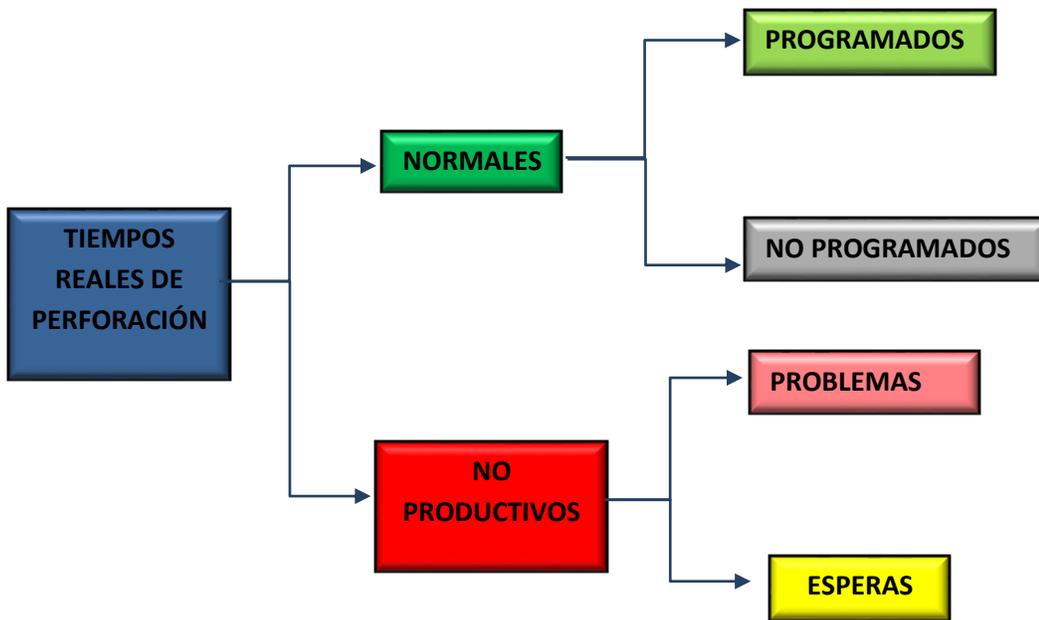


Figura 3.1 Tiempos reales de perforación.

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

3.2.1.1 *Tiempos programados:* es el periodo de tiempo que forma parte del programa de desarrollo inicial, asociado con las actividades de perforación.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN**

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

3.2.2 Tiempos no productivos: 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.

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

3.2.2.2 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.

3.3 Metodología ATP-IMP.

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

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

En el análisis post-mortem, los tiempos programados son comparados con los reales utilizando el número consecutivo de las actividades planeadas en el programa de perforación.

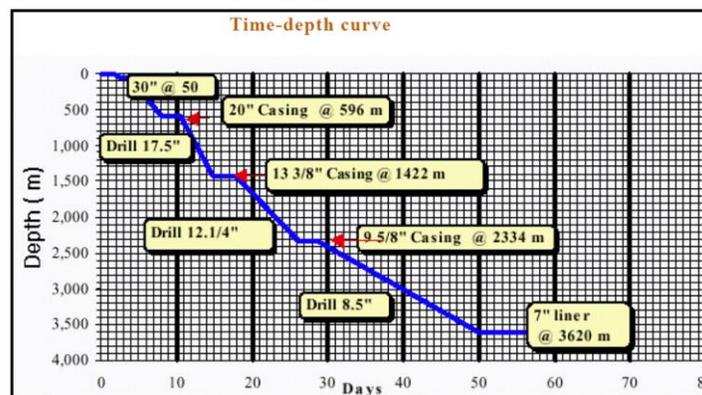


Figura 3.2 Ejemplificación gráfica del comportamiento de una perforación, días vs profundidad.

La metodología ATP-IMP considera códigos de actividad para agrupar las actividades de perforación. Los 22 códigos definidos, están desarrollados en función de la similitud entre ciertas actividades. Las operaciones normales se pueden describir utilizando 17 de los códigos, mientras que los 5 restantes están reservados para identificar *tiempos no productivos*, cuatro para problemas y uno para esperas.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

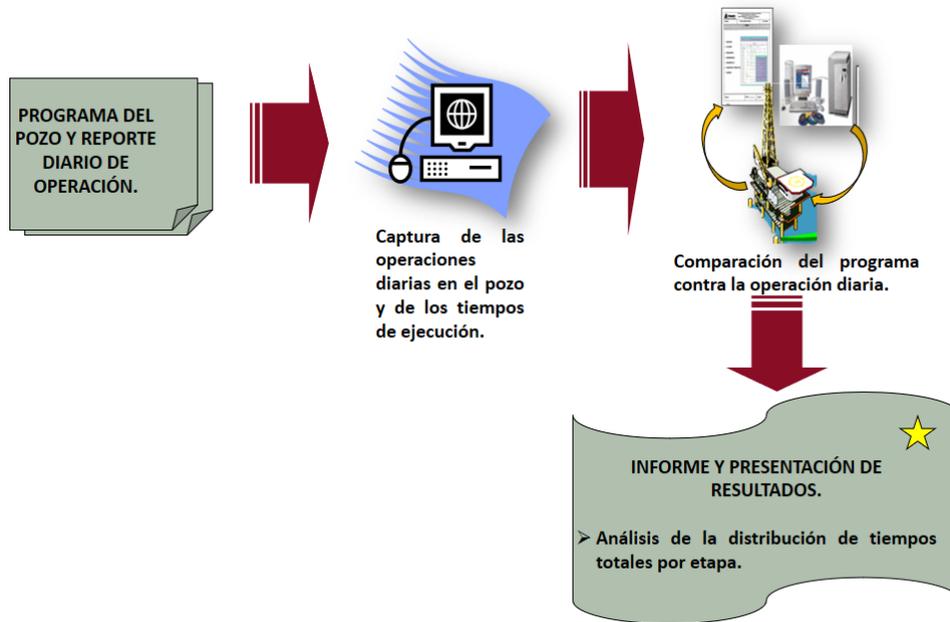


Figura 3.3 Proceso para el análisis post-mortem.

3.3.1 Códigos de actividad.

1	Instala / desmantela equipo.
1.01	Mueve equipo.
1.02	Instala / desmantela equipo.
1.03	Instala / desmantela top drive.
1.04	Descarga equipo.
1.05	Nivela equipo.

Tabla 3.1 Código 1 (Tiempos normales).

2	Perforación.
2.01	Perfora agujeros auxiliares.
2.02	Perfora agujero piloto.
2.03	Rebaja y circula cemento / accesorios y zapata.
2.04	Perfora formación.
2.05	Amplia agujero.

Tabla 3.2 Código 2 (Tiempos normales).

3	Reparación.
3.01	Introducir / recupera TF.
3.02	Introduce / recupera empacador.
3.03	Colocar / barrer TDS.
3.04	Regresa fluidos a formación.
3.05	Instalar / recuperar val. tipo H.
3.06	Recuperar estrangulador de fondo.
3.07	Efectuar apertura de orificio en TR.
3.08	Anclar / desanclar empacador.
3.09	Introduce / recupera cuchara.
3.10	Introduce / recupera retenedor.
3.11	Introduce / recupera block de impresión.
3.12	Escariar TR.

Tabla 3.3 Código 3 (Tiempos normales).

4	Terminación.
4.01	Introduce / recupera TF.
4.02	Efectúa estimulación.
4.03	Efectúa fracturamiento.
4.04	Efectúa inducción.
4.05	Opera válvula de tormenta.
4.06	Alinear pozo a batería / quemador.
4.07	Probar sellos superiores de bola colgadora.
4.08	Instalar bajante o líneas al tanque de almacenaje.
4.09	Instalar sistema BEC.
4.10	Instalar líneas de inyección de BN.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

4.11	Instalar sistema BM.
4.12	Efectuar disparos.

Tabla 3.4 Código 4 (Tiempos normales).

5	Toma de núcleos / muestras de roca.
5.01	Corta núcleo.
5.02	Manejo de núcleos / muestras.
5.03	Arma / desarma barril muestrero.
5.04	Introduce y recupera núcleo.
5.05	Circula para toma de muestras.

Tabla 3.5 Código 5 (Tiempos normales).

6	Acondiciona y circula fluido.
6.01	Prepara lodo.
6.02	Desplaza por fluido base aceite.
6.03	Desplaza por fluido base agua.
6.04	Circula y acondiciona fluido.
6.05	Desplaza por fluido de terminación.
6.06	Bombea baches de lodo.

Tabla 3.6 Código 6 (Tiempos normales).

7	Viajes.
7.01	Introduce y recupera sarta.
7.02	Arma y desarma BHA.
7.03	Arma y desarma tubería.
7.04	Arma y desarma herramienta de terceros.
7.05	Viaje corto / limpieza.
7.06	Evalúa desgaste de barrena.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

7.07	Manejo de tubulares, equipo y herramientas.
------	---

Tabla 3.7 Código 7 (Tiempos normales).

8	Mantenimiento del equipo.
8.01	Limpieza.
8.02	Servicio al equipo

Tabla 3.8 Código 8 (Tiempos normales).

9	Falla / reparación de equipo y herramientas superficiales.
9.01	Instrumentación.
9.02	Top drive.
9.03	Bombas de lodo.
9.04	Motores.
9.05	SCR / eléctrico.
9.06	Malacate.
9.07	Sistema circulatorio.
9.08	Preventores / múltiple.
9.09	Sistema de izaje / levantamiento.
9.10	Herramienta de terceros.
9.11	Sistema de apriete.
9.12	Campana / línea de flote.
9.13	Herramienta de registros.
9.14	Otros equipos y herramientas auxiliares.
9.15	Manejo de tubulares, equipo y herramientas.
9.16	Fugas en equipos y herramientas superficiales.

Tabla 3.9 Código 9 (Tiempos no productivos).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

10	Corta / desliza cable de perforación.
10.01	Corta / desliza cable.
10.02	Cambie cable.

Tabla 3.10 Código 10 (Tiempos normales).

11	Toma de registro de desviación.
11.01	Instala / desmantela registros.
11.02	Toma registros geofísicos.

Tabla 3.11 Código 11 (Tiempos normales).

12	Toma de registros geofísicos.
12.01	Instala / desmantela registros.
12.02	Toma registros geofísicos.

Tabla 3.12 Código 12 (Tiempos normales).

13	Introduce tubería de revestimiento.
13.01	Preparativos para introducir tubería (instala / desmantela).
13.02	Introduce tubería de revestimiento.
13.03	Recupera tubería de revestimiento.
13.04	Prueba de presión / hermeticidad.
13.05	Prueba equipo de flotación.
13.06	Asienta tubería en cabezal.
13.07	Recupera / instala buje de desgaste.
13.08	Anclo liner / conecta Tie-Back.
13.09	Escariar tubería de revestimiento.

Tabla 3.13 Código 13 (Tiempos normales).

14	Cementación.
14.01	Preparativos para cementar (instala / desmantela).
14.02	Cementación.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

14.03	Cementación por el anular.
14.04	Cementación forzada.
14.05	Tapones de cemento.
14.06	Espera fraguado.
14.07	Efectúa prueba de integridad de cemento / LOT / FIT / Hermeticidad.

Tabla 3.14 Código 14 (Tiempos normales).

15	Problemas con la perforación.
15.01	Pérdida de circulación.
15.02	Brote / control de pozo.
15.03	Pegadura / Atrapamiento.
15.04	Molienda / recuperación de pescado.
15.05	Libre.
15.06	Colapso del agujero.
15.07	Resistencia en el agujero.
15.08	Libre.
15.09	Control de la trayectoria.

Tabla 3.15 Código 15 (Tiempos no productivos).

16	Instala preventores (BOP) y conexiones superficiales (CSC).
16.01	Instala / desmantela preventores.
16.02	Cambia rams.
16.03	Instala cabezal / árbol.
16.04	Prueba de preventores.
16.05	Prueba de cabezal / árbol.
16.06	Instala / desmantela CSC.
16.07	Prueba CSC.
16.08	Instala / desmantela campana.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

16.09	Instala / desmantela línea de flote.
-------	--------------------------------------

Tabla 3.16 Código 16 (Tiempos normales).

17	Prueba de formación.
17.01	Arma / desarma herramienta.
17.02	Introduce / recupera herramienta de prueba.
17.03	Prueba de formación.

Tabla 3.17 Código 17 (Tiempos normales).

18	Pesca y molienda.
18.01	Introduce / recupera herramienta de pesca y molienda.
18.02	Arma / desarma herramienta de pesca y molienda.
18.03	Trabaja herramienta de pesca o molienda.

Tabla 3.18 Código 18 (Tiempos no productivos).

19	Trabajo direccional.
19.01	Toma registro direccional (MWD).
19.02	Deslizando / perforación controlada.
19.03	Prueba / orienta herramienta.
19.04	Arma / desarma herramienta direccional.

Tabla 3.19 Código 19 (Tiempos normales).

20	Juntas de seguridad.
20.01	Junta de seguridad.
20.02	Inspección de seguridad / arranque.
20.03	Junta pre-operativa.
20.04	Simulacros.

Tabla 3.20 Código 20 (Tiempos normales).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO III: TIEMPOS DE PERFORACIÓN

21	Esperas.
21.01	Luz diurna.
21.02	Localización.
21.03	Clima / cierre de accesos.
21.04	Lodo / fluidos / cemento.
21.05	Herramienta de terceros.
21.06	Personal de terceros.
21.07	Servicio de terceros.
21.08	Cuadrilla.
21.09	Revisa / difunde procedimiento.
21.10	Programa operativo.

Tabla 3.21 Código 21 (Tiempos no productivos).

22	Falla de equipo y herramientas subsuperficiales.
22.01	Falla de tubulares.
22.02	Taponamientos de equipo / herramientas de fondo.
22.03	Herramienta de pruebas / registros.
22.04	Herramienta direccional.
22.05	Herramienta de terceros de fondo.

Tabla 3.22 Código 22 (Tiempos no productivos).

3.3.2 Clasificación de los tiempos no productivos (NPTs).

Retomando los códigos anteriores, los 5 que describen los tiempos no productivos son:

- Código 9: aquellos problemas ocasionados por fallas con herramientas de superficie.
- Código 15: fallas del agujero.
- Código 18: operaciones de pesca.
- Código 21: todo tipo de esperas que pueden ocurrir durante la perforación del pozo.
- Código 22: problemas ocasionados por fallas de las herramientas subsuperficiales.

Estos serán los códigos con los que se analizarán los casos de estudio (Capítulo 4).

CAPÍTULO IV ANÁLISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO.

En este capítulo se describen los problemas que afectaron el proceso de perforación en los POZOS A y B, utilizando como herramienta el análisis post-mortem para establecer los tiempos no productivos. Se utilizará la metodología ATP-IMP descrita anteriormente.

4.1 Caso de estudio: POZO A.

4.1.1 Datos generales.

El POZO A clasificado como pozo exploratorio, con el objetivo de probar el potencial de la formación Pimienta como play no convencional y comprobar la presencia de hidrocarburos líquidos en la misma, además de contribuir a la incorporación de reservas del proyecto Burgos; el pozo se ubica geográficamente en el Municipio de China en el estado de Nuevo León.

4.1.2 Estado mecánico.

La perforación del pozo se planeó y desarrolló en cinco etapas. La *tabla 4.1* muestra las geometrías de cada una de las etapas desarrolladas y programadas.

Etapas.	Geometría planeada.	Geometría real.
1	17 1/2 " x 13 3/8 "	17 1/2 " x 13 3/8 "
2 (Agujero Piloto)	12 1/4 " x 9 5/8 "	12 1/4 " x 9 5/8 "
3	8 1/2 " x 8 1/2 "	8 1/2 " x 8 1/2 "
4	8 1/2 " x 7 "	8 1/2 " x 7 "
5	6 1/8 " x 4 1/2 "	6 1/8 " x 4 1/2 "

Tabla 4.1 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

4.1.3 Análisis de tiempos de perforación totales.

4.1.3.1 Comparación de tiempos totales.

La perforación del POZO A, inició el 9 de abril del 2013 y concluyó el 25 de julio de 2013, después de 107.02 días de operación. Los tiempos de perforación programados para el pozo fueron de 65.96 días, por lo que se tuvo una desviación de 62.25 %. La *figura 4.2* muestra la gráfica de avance de la perforación del pozo.

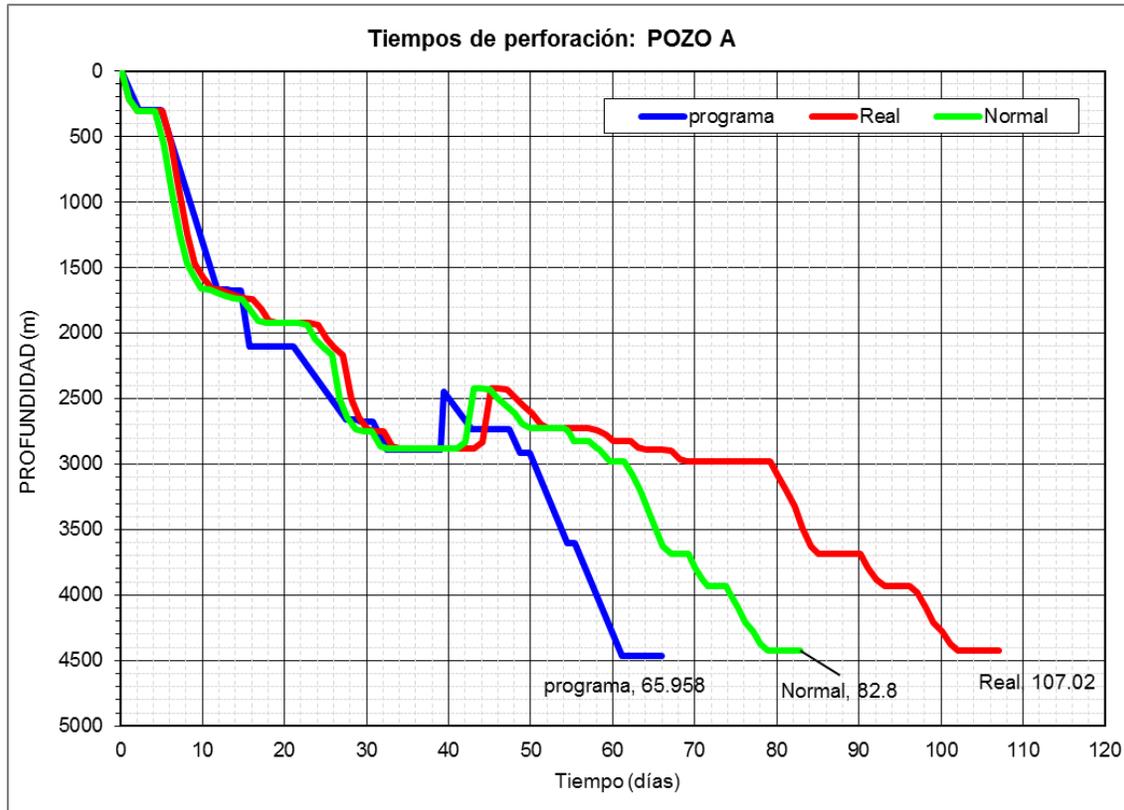


Figura 4.2 Gráfica de avance de la perforación del pozo.

La *tabla 4.2* presenta un comparativo de los tiempos programados contra los reales para el pozo, así como su porcentaje de desviación respecto del tiempo programado.

Concepto	Programado (días)	Real (días)	Desviación (%)
Perforación	41.38	77.17	-86.49
Cambio de Etapa	17.12	22.67	-32.42
Toma de Información	7.48	7.19	3.88
TOTAL	65.98	107.03	-62.25

Tabla 4.2 Comparativo de tiempos totales por concepto.

La *figura 4.3* muestra el comparativo de tiempos totales por tipo de actividad, resumiendo la *tabla 4.2*.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

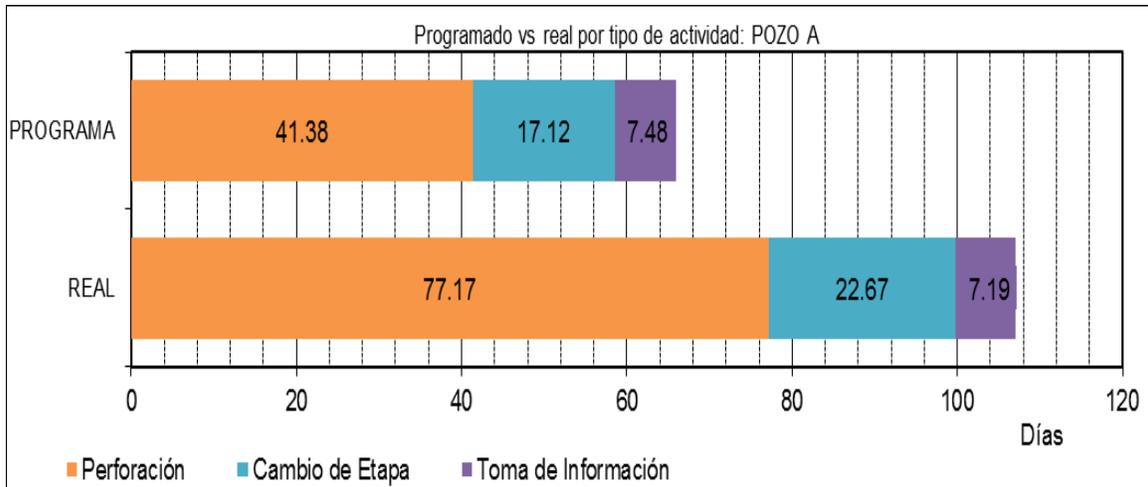


Figura 4.3 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.

Durante la perforación de pozos, se pueden tener operaciones normales (clasificadas como programadas y no programadas) y operaciones no productivas (clasificadas como: esperas y problemas).

La *figura 4.4* describe la distribución de tiempos reales por tipo de operación realizada en el pozo. Los días totales de operación del pozo (107.02) se calificaron de la siguiente manera: 82.78 días (77.35%) en operaciones normales, 20.74 días (19.38%) en operaciones con problemas y 3.50 días (3.27%) en esperas (*figura 4.4a*). De los 82.78 días de operaciones normales se calificaron como 80.78 días (75.48 %) de operaciones descritas en el programa (programadas) y 2.00 días (1.87 %) de operaciones no descritas en el programa (como no programadas) (*figura 4.4b*).

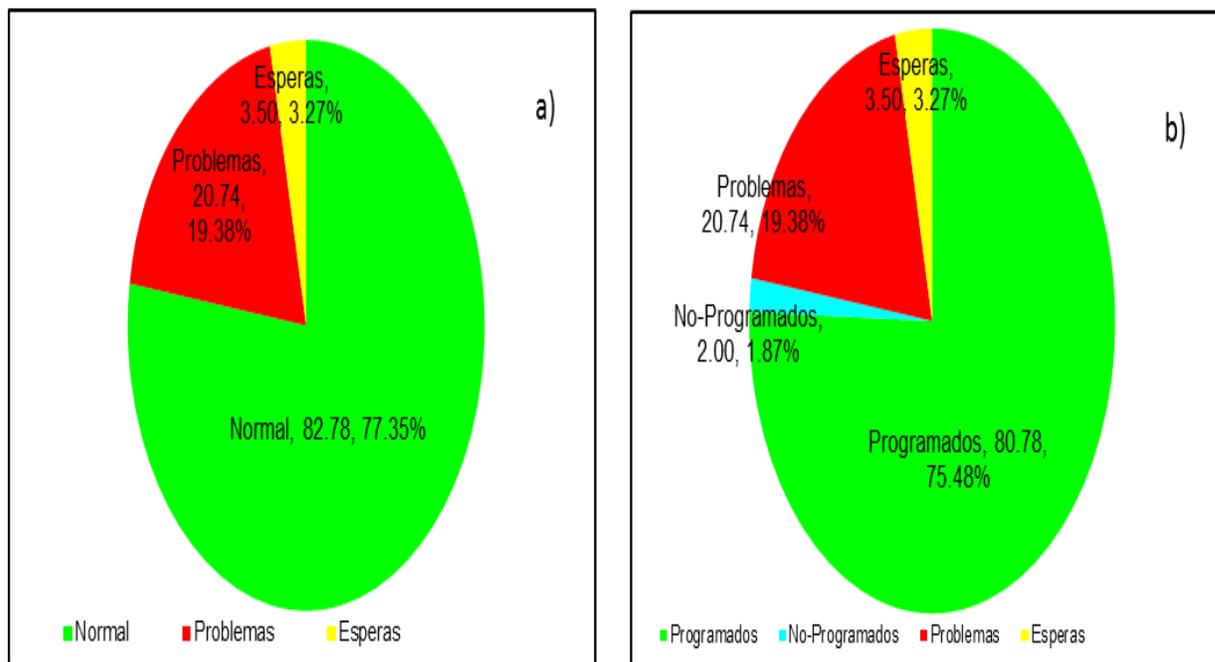


Figura 4.4 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

4.1.4 Comparación de tiempos por etapa.

La perforación del POZO A, se planeó y desarrolló en cinco etapas, cuyos objetivos y geometrías se mencionaron en la *tabla 4.1*. En la *tabla 4.3* se realiza un comparativo de los tiempos programados contra los tiempos reales por etapa. El porcentaje de desviación es positivo cuando se han reducido los tiempos programados, por el contrario, cuando son negativos, el tiempo de perforación para completar las etapas ha sido mayor que los tiempos programados.

Etapa	Geometría	Tiempo programado (días)	Tiempo real (días)	Desviación (%)
1	17 1/2" x 13 3/8"	5.00	5.33	-6.60
2	12 1/4" x 9 5/8"	16.06	18.60	-15.81
3	8 1/2" x 8 1/2"	17.90	19.08	-6.59
4	8 1/2" x 7"	8.47	14.25	-68.24
5	6 1/8" x 4 1/2"	18.54	49.75	-168.34
TOTAL		65.98	107.03	-62.25

Tabla 4.3 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.

La *figura 4.5* muestra un gráfico de barras, donde se compara los tiempos programados contra los reales por etapa y por tipo de actividad, es decir, se hace énfasis en la distribución de tiempos en las actividades de perforación, cambio de etapa (tiempos planos) y toma de Información (registros, muestras, pruebas, etc.).

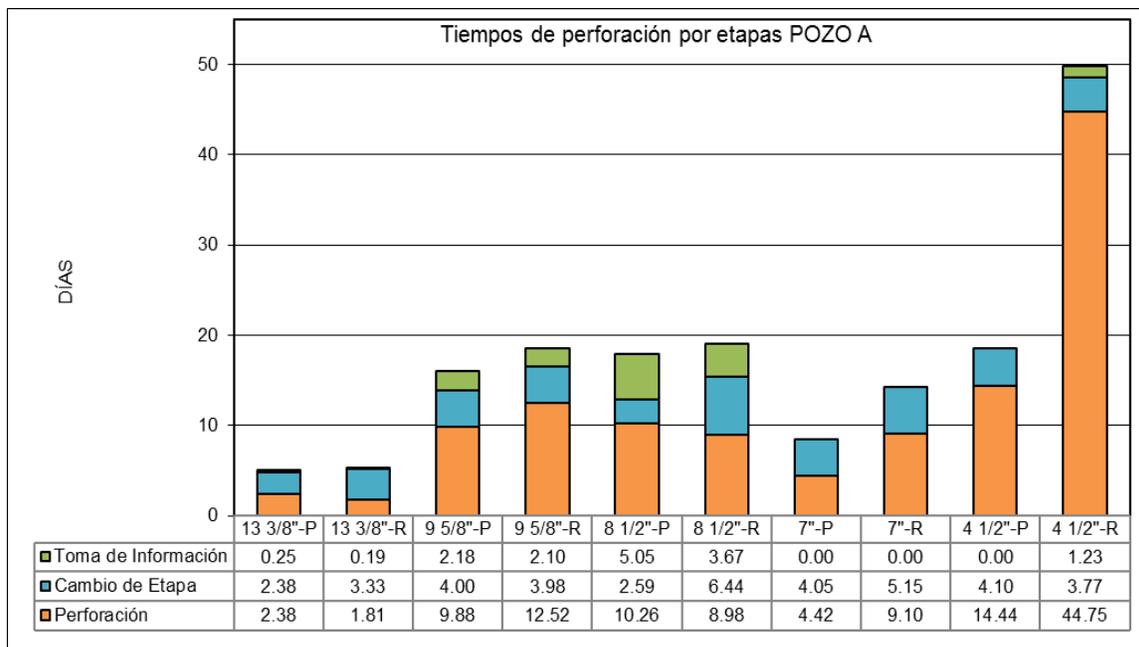


Figura 4.5 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.

4.1.5 Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad.

Haciendo uso de la metodología ATP-IMP, en la figura 4.6 se observa la distribución de tiempos totales en la perforación del POZO A, utilizando los códigos descritos en el capítulo 3.

Las barras de color verde indican tiempos normales, mientras que las barras en rojo (problemas) y amarillo (esperas) describen los tiempos no productivos.

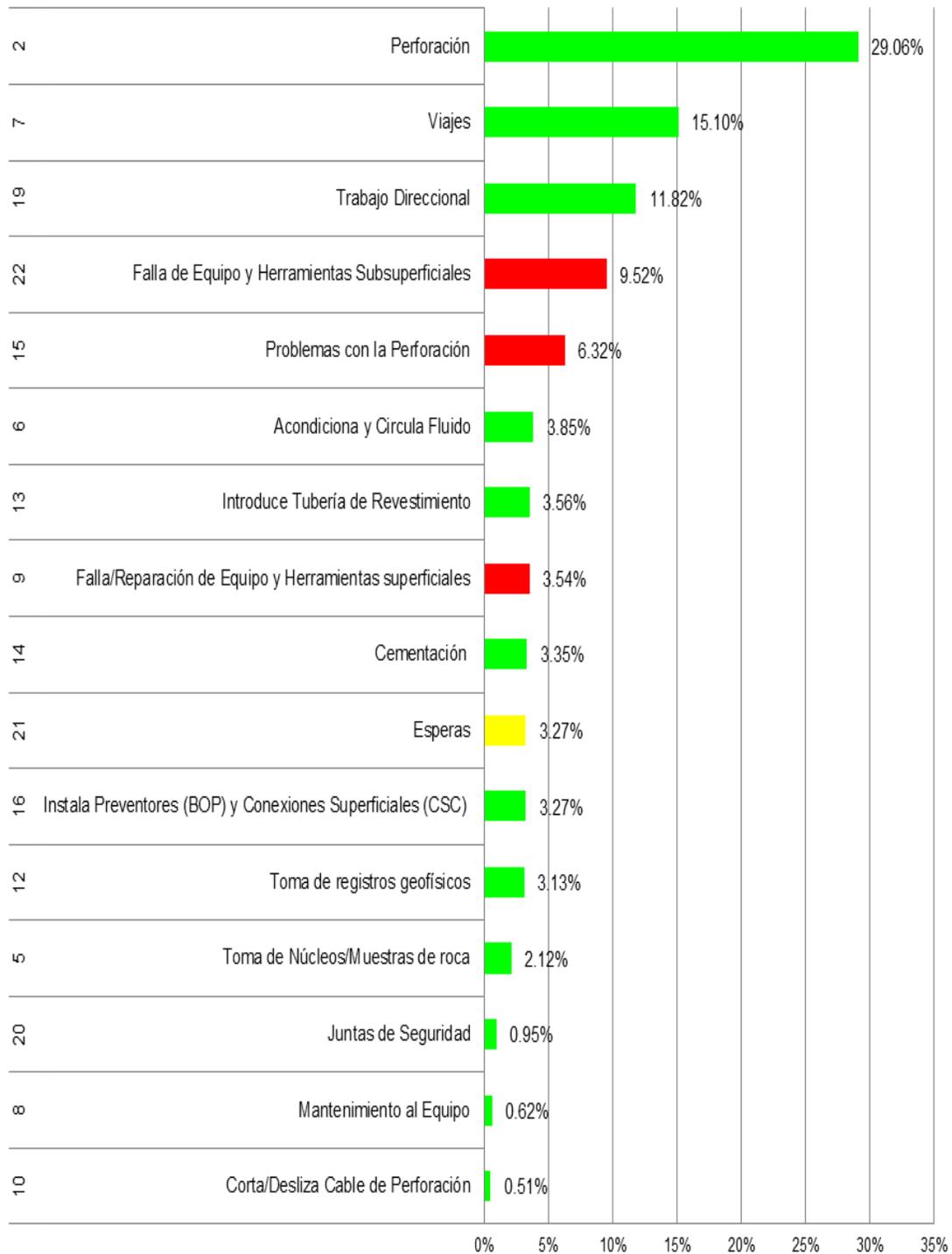


Figura 4.6 Distribución de tiempos totales por código de actividad.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

4.1.6 Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad.

A continuación, en la *figura 4.7* se muestra un resumen de los tiempos no productivos por código de actividad, recordando que los códigos 9, 15, 18, 21 y 22 nos presentarán las actividades que causaron los tiempos no productivos. En este caso de estudio, el POZO A no presentó actividad referente al código 18.

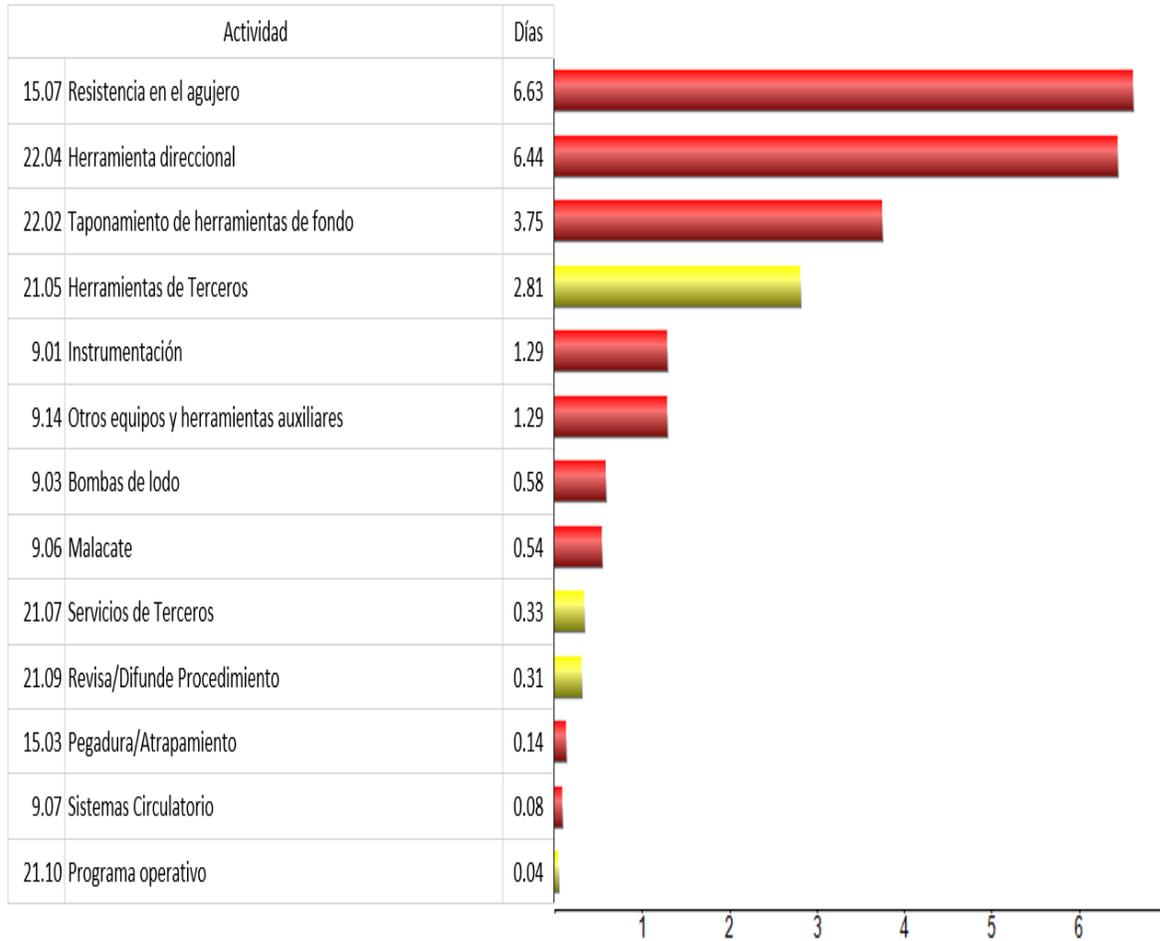


Figura 4.7 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.

4.1.7 Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos.

A continuación, se presenta el análisis de la problemática presentada en cada etapa de perforación describiendo de manera general los factores probables que generaron el problema, y cómo se puede minimizar o eliminar, así mismo que acciones realizar para que en pozos futuros se minimice el riesgo de que este problema se presente o sea repetitivo.

Por otra parte, se muestran algunos aspectos relevantes derivados del presente análisis.

Etapa 13 3/8":

17 1/2" x 13 3/8" Pozo: POZO A



Figura 4.8 Problemática presentada en la primera etapa.

Problemas con herramientas de terceros (0.9 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Espera de herramienta direccional de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar previamente con la compañía la disponibilidad del equipo.
- Solicitar herramienta de acuerdo al programa.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Mantener comunicación continua con la compañía para agilizar proceso de entrega.

Etapa 9 5/8”:

12 1/4" x 9 5/8" Pozo: POZO A



Figura 4.9 Problemática presentada en la segunda etapa.

Problemas con bombas de lodo (0.33 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fuga de lodo por empaques de bomba.
- Daño en pistones.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar cambio de: pistones, empaques, y supervisar periódicamente algunos componentes como, camisas, vástagos de válvulas.
- Mantenimiento preventivo al equipo de bombeo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Agilizar reparación de componentes dañados de la bomba.

Etapa 8 1/2”:

8 1/2" x 8 1/2" Pozo: POZO A



Figura 4.10 Problemática presentada en la tercera etapa.

Problemas con herramienta direccional (0.25 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla de herramienta LWD de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar funcionalidad de herramienta previa a introducir al pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reparar falla de herramienta o sustituir por una funcional.

Problemas con herramienta de terceros (0.25 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Espera de herramienta direccional de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar previamente con la compañía la disponibilidad del equipo.
- Solicitar herramienta de acuerdo al programa.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Mantener contacto continuo con la compañía para agilizar proceso de entrega.

Problemas con malacate (0.13 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en sistema de enfriamiento de malacate principal.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento preventivo al sistema de enfriamiento y frenado

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reparar falla del sistema de enfriamiento oportunamente.

Etapa 7”:

8 1/2" x 7" Pozo: POZO A



Figura 4.11 Problemática presentada en la cuarta etapa.

Espera por herramientas de terceros (0.77 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Espera de esfera colgadora y accesorios de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar previamente con la compañía la disponibilidad del equipo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

- Solicitar herramienta de acuerdo al programa.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Mantener contacto continuo con la compañía para agilizar proceso de entrega.

Espera por revisa / difunde procedimiento (0.19 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación de la espera?

- Junta operativa no programada.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado la espera?

- Considerando los procedimientos dentro del tiempo del programa operativo.

¿Qué acciones se tomarán si la espera se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Difundir procedimientos en juntas operativas de cambios de guardia.

Etapa 4 ½”:

6 1/8" x 4 1/2" Pozo: POZO A



Figura 4.12 Problemática presentada en la quinta etapa.

Problemas con resistencia en el agujero (6.58 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se presentó resistencia en el agujero al momento de introducir la sarta al fondo.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Si se requiere sacar la sarta, circular el pozo hasta que los recortes del espacio anular se hayan desalojado del pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Trabajar resistencia con peso y bombeo de bache viscoso para un barrido de recortes asentados en el fondo.

Problemas con herramienta direccional (6.19 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla herramienta rotaria (RSS) de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar funcionalidad previa a introducir al pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reparar falla de herramienta o intercambiar por una funcional.

Problemas con taponamiento de equipo / herramientas de fondo (3.75 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla de motor de fondo de compañía por taponamiento debido a represionamiento.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Optimizando la hidráulica de perforación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Tener un mejor control en el porcentaje de sólidos del fluido de perforación.

4.1.8 Aspectos relevantes.

Durante la perforación del pozo, la etapa que mayor tiempo consumió fue la etapa de 4 ½" (18.5 días), así como la que mayor desviación tuvo con respecto a lo programado (49.75 días).

Estas desviaciones se presentaron principalmente durante la perforación, y se debieron a problemas (19.84 días por problemas).

Los tres principales problemas que se suscitaron en esta etapa son:

- Resistencia en el agujero.
- Problema con herramienta direccional.
- Taponamiento en los equipos / herramienta de fondo.

4.1.9 Conclusiones.

La metodología permite identificar las áreas de oportunidad de mejora, que para el caso del POZO A serían:

- Tiempos de viaje.
- Limpieza y estabilidad del agujero.
- Trabajo direccional.
- Herramientas de terceros.

Para el POZO A, los tiempos no productivos totales fueron: 24.24 días.

Los principales tiempos no productivos identificados, para el POZO A fueron:

- Fallas en herramientas superficiales (3.79 días).
- Problemas en la perforación del pozo (6.76 días).
- Esperas por herramientas (3.50 días).
- Problemas en herramientas subsuperficiales (10.19).

Por tanto, para la perforación de pozos futuros, se deben de considerar principalmente estos problemas para poder minimizar los tiempos no productivos (NPT).

Recomendaciones:

El principal problema que se tuvo cuando se perforó el pozo, estuvo relacionado con resistencia en el agujero, por lo que se recomienda:

- Ajustar continuamente la ventana operativa.
- Verificar el control de sólidos.
- Bombear un tiempo de atraso antes de sacar la herramienta a superficie.
- Si se requiere sacar la sarta, colocar un bache pesado en el fondo para evitar que la formación se cierre.

Otro problema que se vio reflejado en los NPTs, tuvo que ver con herramienta direccional, por eso se recomienda lo siguiente:

- Mejorar el mantenimiento y calibración de las herramientas direccionales.
- Trabajar la herramienta bajo condiciones normales.

4.2 Caso de estudio: POZO B.

4.2.1 Datos generales.

El POZO B es exploratorio, cuyo objetivo fue 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 en el área Furbero. El POZO B se localizó específicamente dentro de la macropera Furbero, la cual se ubica a 17 km al Sur de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz.

4.2.2 Estado mecánico.

La perforación del pozo se planeó y desarrolló en cinco etapas. La *tabla 4.4* muestra las geometrías de cada una de las etapas desarrolladas y programadas.

Etapa	Geometría planeada	Geometría real
1	17 1/2" x 16"	17 1/2" x 16"
2	14 3/4" x 10 3/4"	14 3/4" x 10 3/4"
3 <i>(agujero piloto)</i>	9 1/2" x 9 1/2"	9 1/2" x 9 1/2"
4	9 1/2" x 7 5/8"	9 1/2" x 7 5/8"
5	6 3/4" x 4 1/2"	6 3/4" x 4 1/2"

Tabla 4.4 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

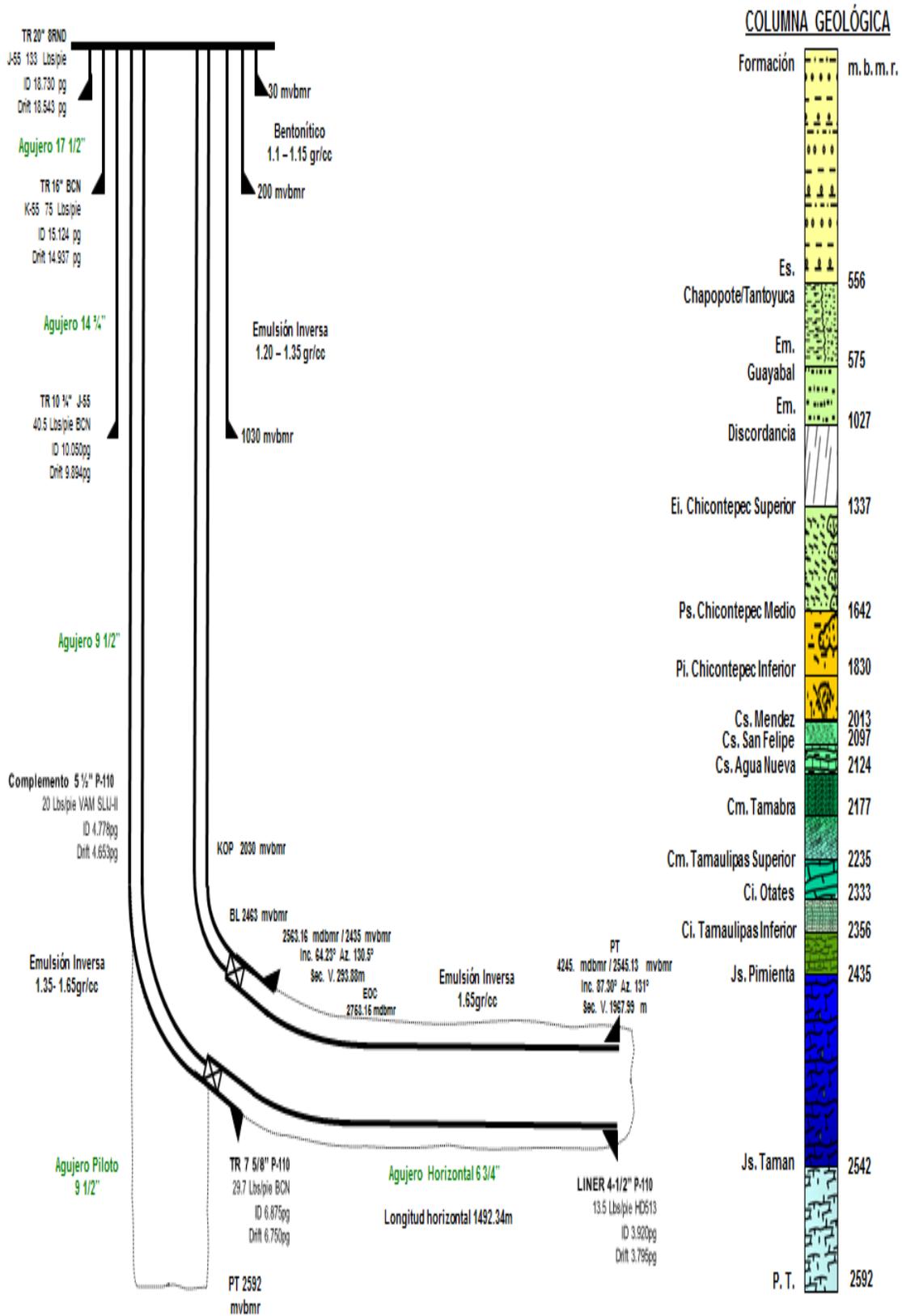


Figura 4.13 Estado mecánico POZO B.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

4.2.3 Análisis de tiempos de perforación totales.

4.2.3.1 Comparación de tiempos totales.

La perforación del POZO B inició el 23 de noviembre del 2012 y terminó el 24 de agosto del 2013 después de 273.92 días de operación. Los tiempos de perforación programados del pozo fueron de 86.80 días, por lo que los tiempos reales se desviaron un -216% sin concluir el objetivo del pozo (se taponó por accidente mecánico después de haber concluido la última etapa de perforación). La *figura 4.14* muestra el avance de la perforación del pozo.

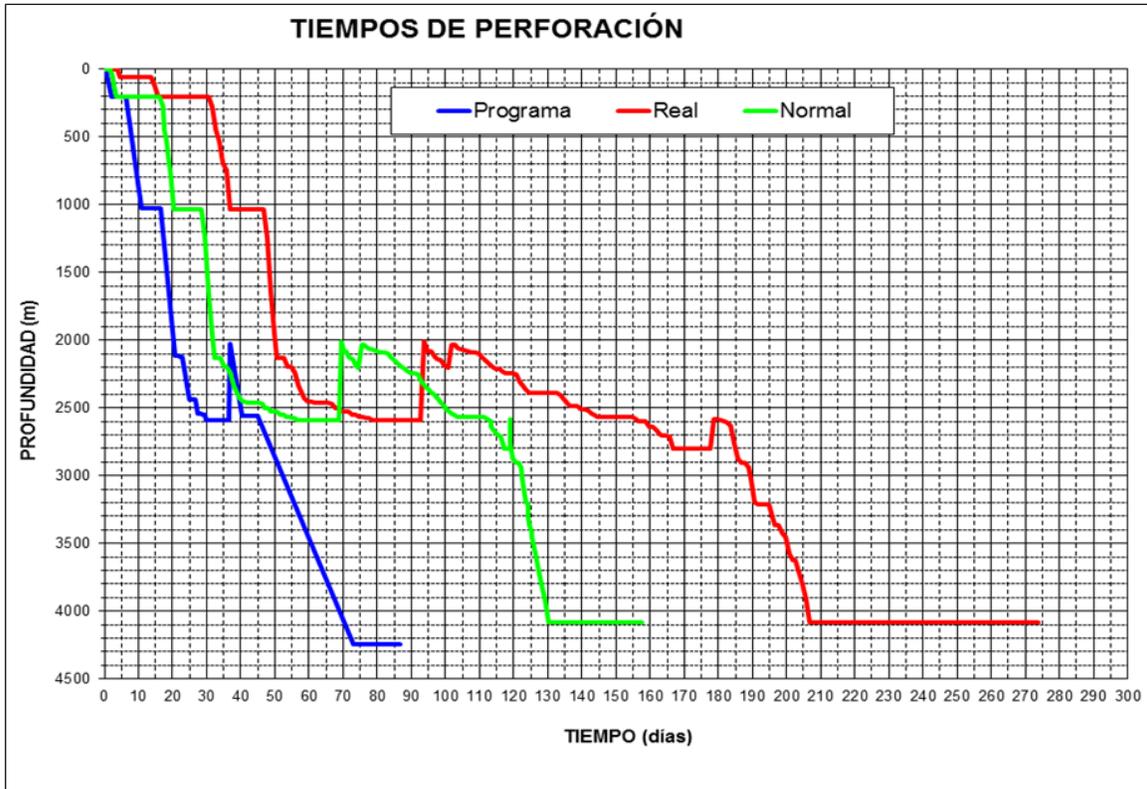


Figura 4.14 Gráfica de avance de la perforación del pozo.

La *tabla 4.5* presenta un comparativo de los tiempos programados contra los reales para el pozo, así como su porcentaje de desviación respecto del tiempo programado.

Concepto	Programado (días)	Real (días)	Desviación (%)
Perforación	52.46	151.73	-189%
Cambio de etapa	22.47	96.65	-330%
Toma de información	11.87	25.54	-115%
TOTAL	86.80	273.92	-216%

Tabla 4.5 Comparativo de tiempos totales por concepto.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

La *figura 4.15* muestra el comparativo de tiempos totales por tipo de actividad, resumido en la *tabla 4.5*.

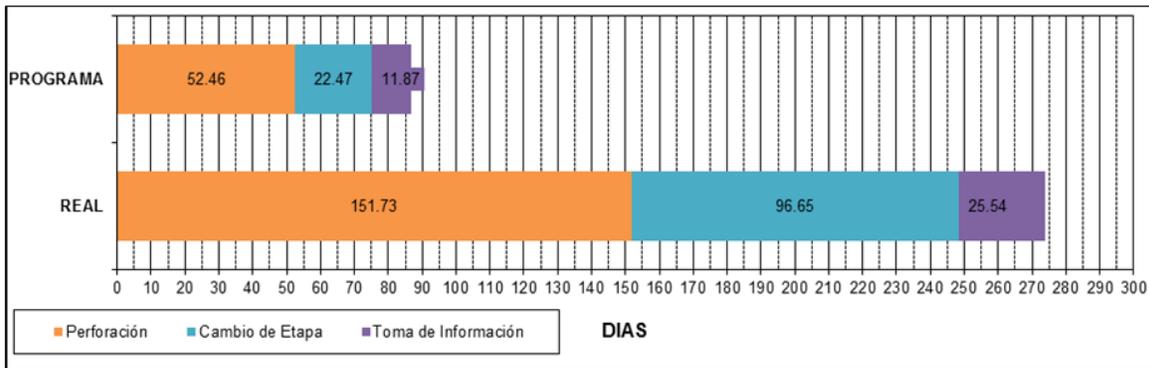


Figura 4.15 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.

Durante la perforación de pozos, se pueden tener operaciones normales (clasificadas como programadas y no programadas) y operaciones no productivas (clasificadas como esperas y problemas). La *figura 4.16* describe la distribución de tiempos reales por tipo de operación realizada en el pozo. Los días totales de operación del pozo (273.92) se calificaron de la manera siguiente: 157.56 días (57%) en operaciones normales, 108.38 días (40%) en operaciones con problemas y 7.98 días (3%) en esperas (*figura 4.16a*). Los 157.77 días de operaciones normales se calificaron como 115.54 días (42%) de operaciones descritas en el programa (programadas) y 42.02 días (15%) de operaciones no descritas en el programa (no programadas) (*figura 4.16b*).

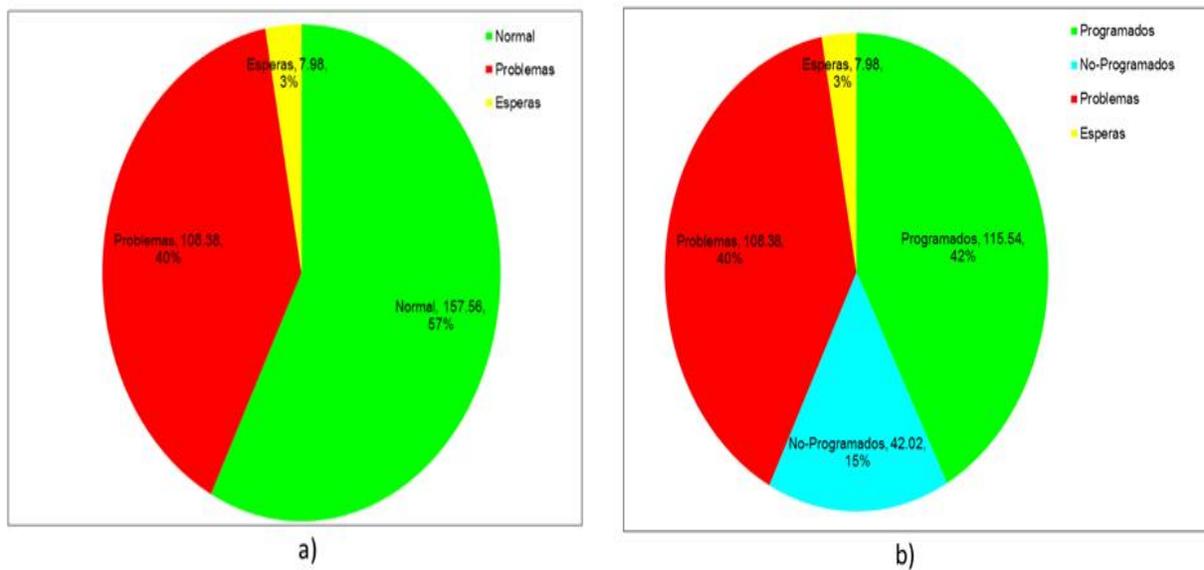


Figura 4.16 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.

4.2.4 Comparación de tiempos por etapa.

La perforación del POZO B se planeó y desarrolló en cinco etapas cuyas geometrías se mencionan en la *tabla 4.4*. En la *tabla 4.6* se realiza un comparativo de los tiempos programados contra los tiempos reales. El porcentaje de desviación es positivo cuando se han reducido los tiempos programados, por el contrario, cuando son negativos, el tiempo de perforación para completar las etapas ha sido mayor que los tiempos programados.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

Etapa	Geometría	Tiempo programado (días)	Tiempo real (días)	Desviación (%)
1	17 ½" x 16"	6.21	30.96	-399%
2	14 ¾" x 10 ¾"	10.38	15.92	-53%
3	9 ½" x 9 ½"	20.38	48.98	-140%
4	9 ½" x 7 5/8"	8.13	60.56	-645%
5	6 ¾" x 4 ½"	41.71	117.50	-182%
Total		86.79	273.92	-216%

Tabla 4.6 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.

La figura 4.17 muestra un gráfico de barras comparativo de los tiempos programados contra los reales por etapa y por tipo de actividad, es decir, se hace énfasis en la distribución de tiempos en las actividades de perforación, cambio de etapa (tiempos planos) y toma de información (registros, muestras, pruebas).

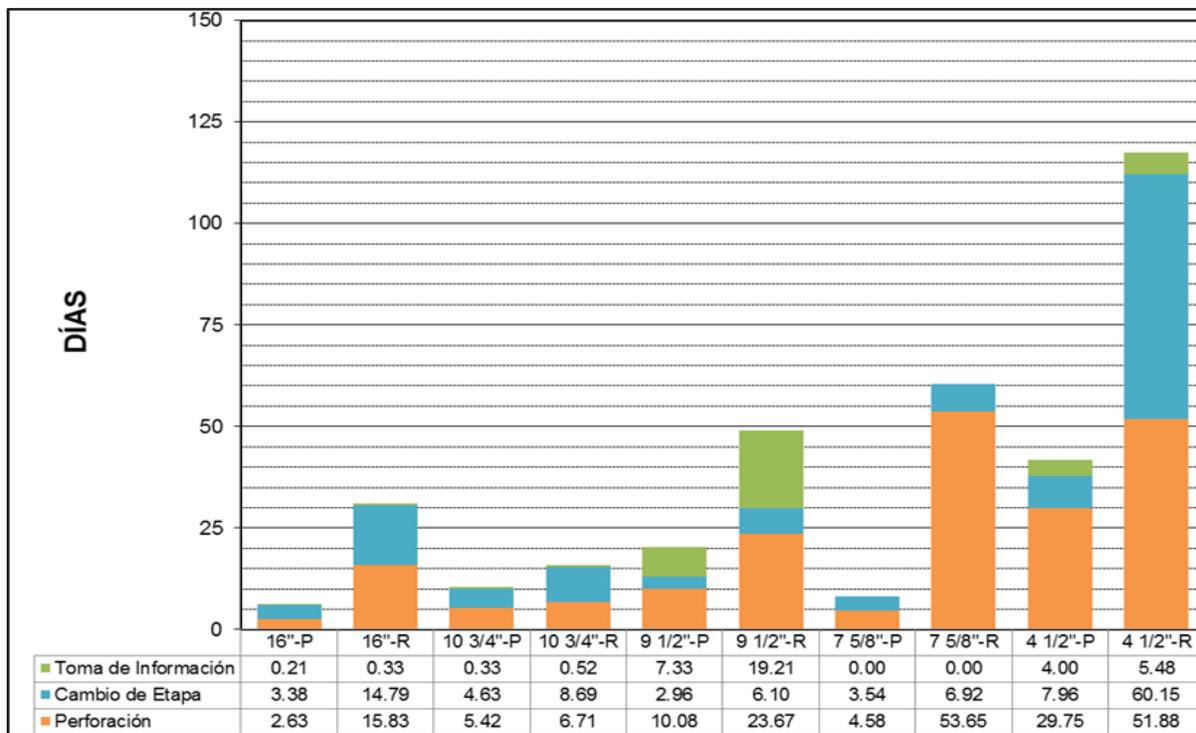


Figura 4.17 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.

4.2.5 Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad.

Haciendo uso de la metodología ATP-IMP, en la figura 4.18 se observa la distribución de tiempos totales en la perforación del POZO B, utilizando los códigos descritos en el capítulo 3.

Las barras de color verde indican tiempos normales, mientras que las barras en rojo (problemas) y amarillo (esperas) describen los tiempos no productivos.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

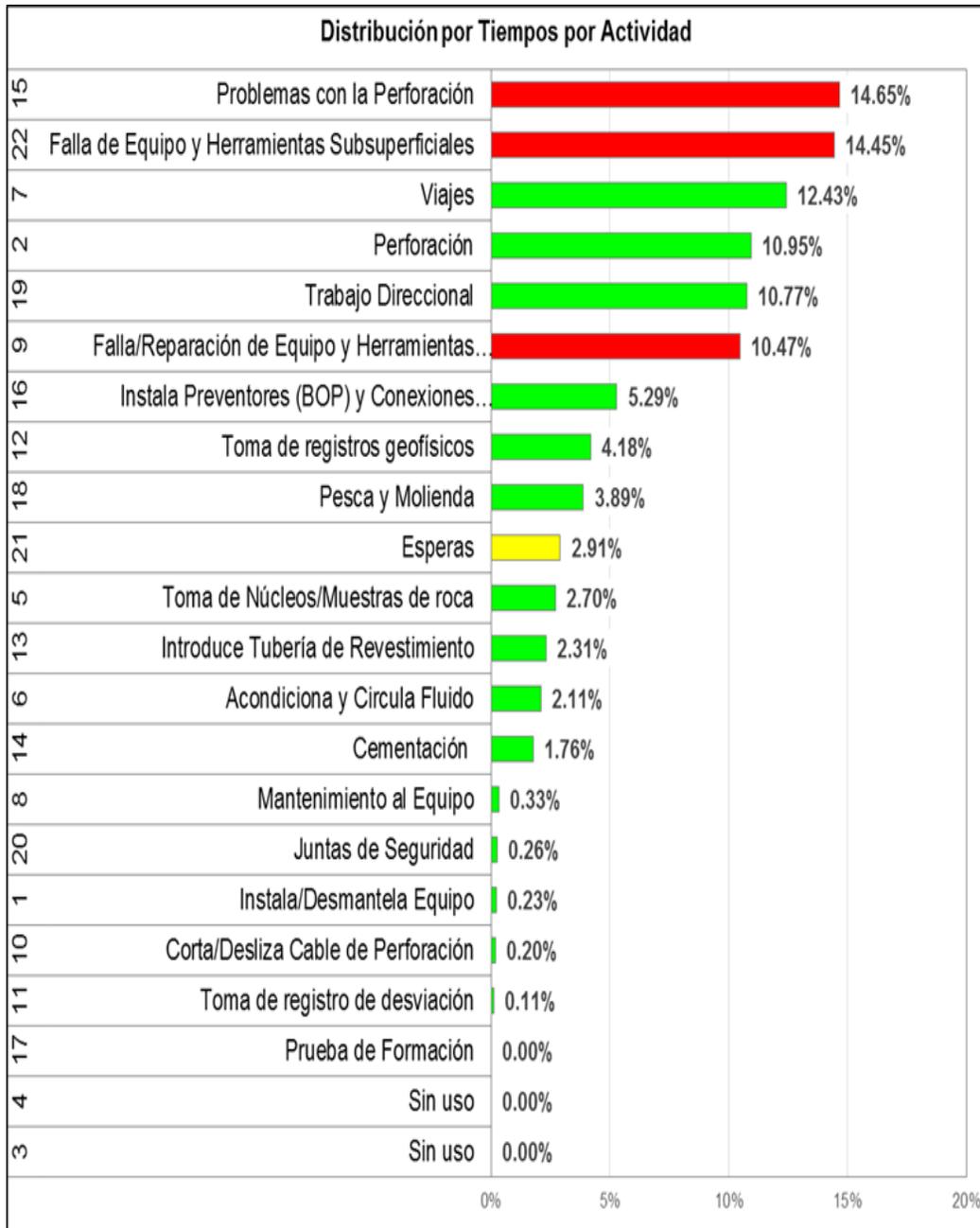


Figura 4.18 Distribución de tiempos totales por código de actividad.

4.2.6 Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad.

A continuación, en la figura 4.19 se muestra un resumen de los tiempos no productivos por código de actividad, recordando que los códigos 9, 15, 18, 21 y 22 nos presentarán las actividades que causaron los tiempos no productivos.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

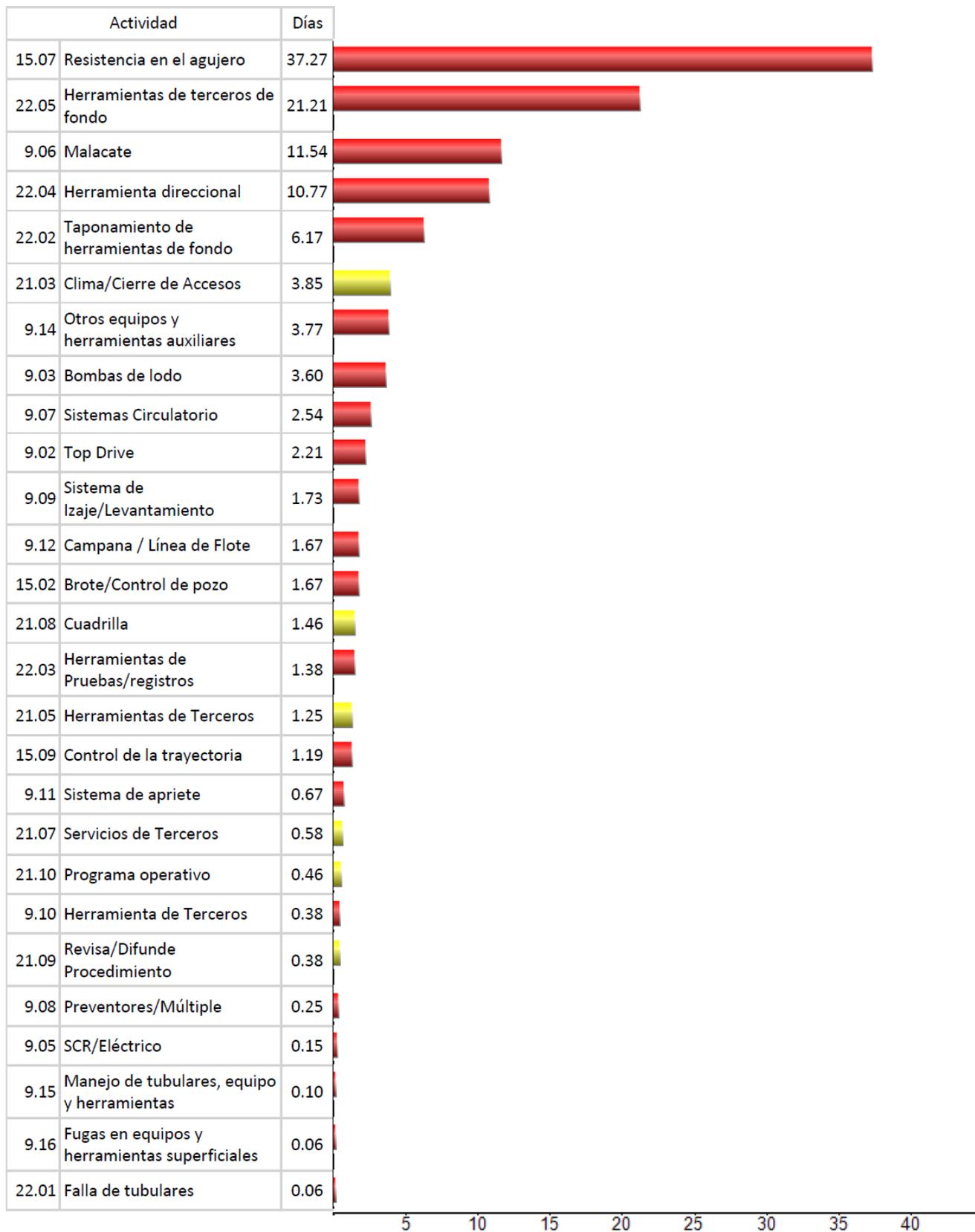


Figura 4.19 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.

4.2.7 Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos.

A continuación, se presenta el análisis de la problemática presentada en cada etapa de perforación describiendo de manera general los factores probables que generaron el problema, y de cómo se puede minimizar o eliminar, así mismo que acciones realizar para que en pozos futuros se minimice el riesgo de que este problema se presente o sea repetitivo.

Por otra parte, se muestran algunos aspectos relevantes derivados del presente análisis.

Etapa 17 ½ x 16”:

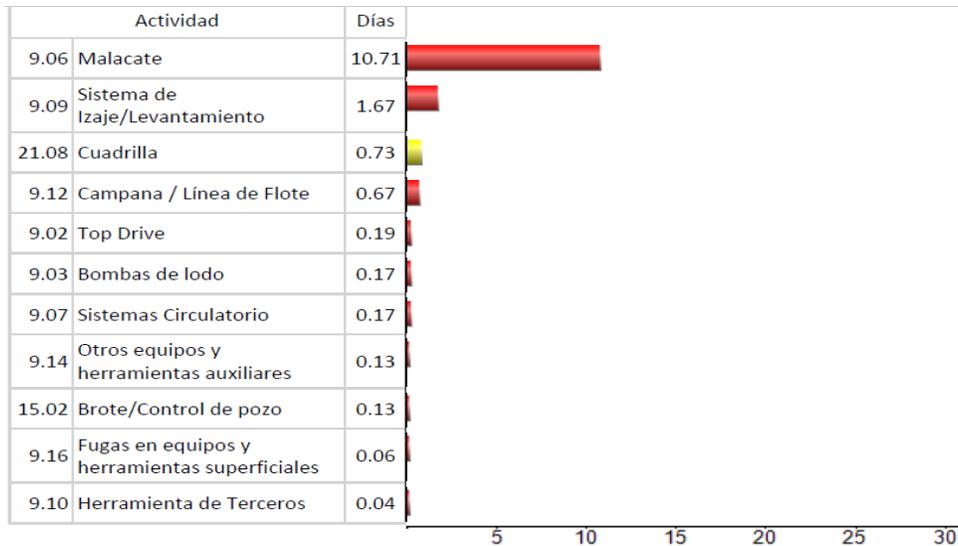


Figura 4.20 Problemática presentada en la primera etapa.

Problemas con el malacate (10.71 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se dañaron las tolvas del malacate, se observó cable mal guarnido y falla del sensor de presión del sistema por lo que no realiza los cambios

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Cambiar periódicamente los sensores y mangueras conectadas al malacate, así realizar inspección visual de los componentes de manera periódica.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Antes de usar el malacate, verificar que los componentes estén en buenas condiciones, y si se presenta la falla, hacer cambio de sensores (que fallen), así como reparación de los demás componentes que estén fallando.

Problemas con sistema de izaje/levantamiento (1.67 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla de sensores de altura y frenado del top drive, fuga en manguera del sistema hidráulico y paro de la rotaria descalibrado.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Cambiar periódicamente los sensores y mangueras del sistema de izaje, así realizar inspección visual de los componentes de manera periódica.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Antes de usar el sistema de izaje verificar que los componentes estén en buenas condiciones, y si se presenta la falla hacer cambio de sensores (que fallen), así como reparación de los demás componentes que estén fallando.

Problemas con cuadrilla (0.73 días)

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se suspendió operación por falta de personal de mantenimiento y de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Tener suficiente personal para realizar las operaciones en el pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Solicitar al despacho de guardias enviar una cuadrilla que cubra la ausencia.

Etapa 14 ¾" x 10 ¾":

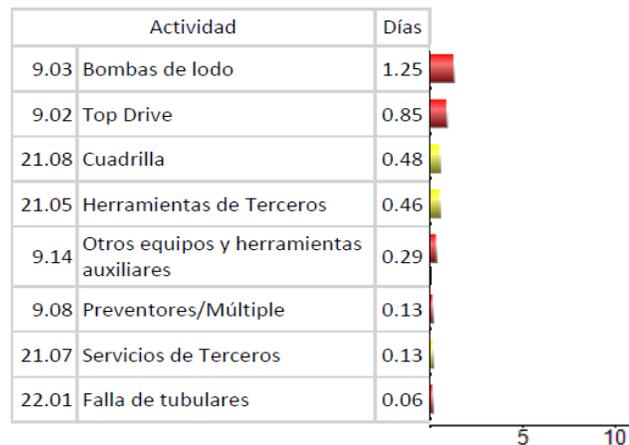


Figura 4.21 Problemática presentada en la segunda etapa.

Problema con bomba de lodo (1.25 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla por pistón dañado, fuga en línea por empaque en mal estado.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Darle mantenimiento preventivo a la bomba de lodos, así como a las líneas de circulación.
- Cambiar periódicamente empaques de las líneas.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambiar periódicamente pistones y empaques de las líneas de circulación.

Problema con el top drive (0.85 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se barrieron los dados del grabber (llave de contrafuerza) del top drive.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Cambiar dados cuando se observe un desgaste considerable, para prevenir que se barran cuando se esté operando.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reemplazar dados del grabber cuando se observe que se barren.

Problema con cuadrilla (0.48 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se suspendió operación por falta de personal.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Tener suficiente personal para realizar las operaciones en el pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Solicitar al despacho de guardias enviar una cuadrilla que cubra la ausencia.

Etapa 9 1/2" x 9 1/2":

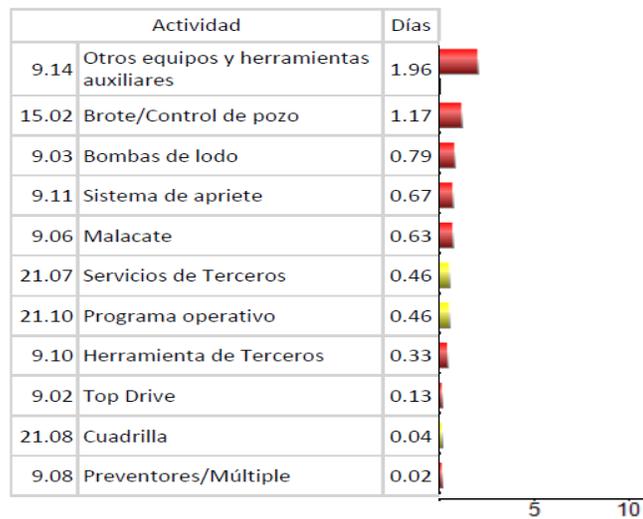


Figura 4.22 Problemática presentada en la tercera etapa.

Problemas con otros equipos y herramientas auxiliares (1.96 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en el cuadro para apretar barrena.
- Falla con el sistema de comandos del sistema Iron Derrickman (sistema para estibar tubulares).
- Falla con la llave Power Tong.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Tener un repuesto del cuadro para apretar la barrena
- Dar mantenimiento y calibración al sistema Iron Derrickman y a la llave de apriete.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambiar o reparar cuadro para apretar la barrena.
- Reparar falla del sistema Iron Derrickman y de la llave de apriete.

Problema con brote / control de pozo (1.17 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se observó cabeceo por entrada de gas y disminución de la densidad de salida.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Mantener la DEC (densidad equivalente de circulación) adecuadas para evitar la entrada de gas del yacimiento hacia el pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Circular el pozo hasta desalojar gas y emparejar la densidad de entrada y de salida.

Problemas con bombas de lodo (0.79 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla con la camisa, pistones y empaque de camisa de las dos bombas.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Darle mantenimiento preventivo a la bomba de lodos y cambiar periódicamente las refacciones de la bomba.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambiar periódicamente pistones y empaques de las bombas de lodos.

Etapa 9 1/2" x 7 5/8":

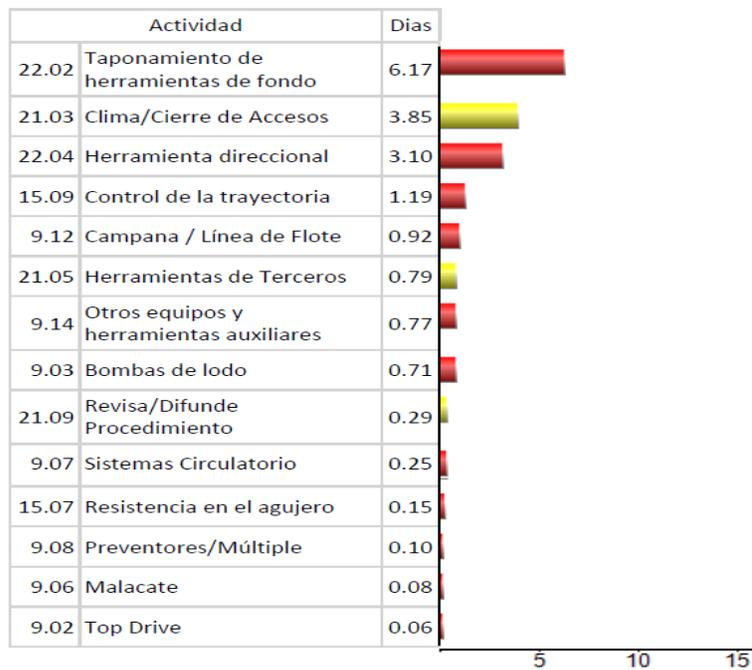


Figura 4.23 Problemática presentada en la cuarta etapa.

Problema con taponamiento de herramienta de fondo (6.17 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se observa represionamiento y variación en la presión de superficie, por lo que se asume taponamiento en el motor de fondo.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Mejorar el control de sólidos en el sistema circulatorio, cambiando el arreglo de mallas de las temblorinas o verificando que el separador gas-lodo no tenga sedimentos en la parte inferior del mismo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Recuperar el motor de fondo a la superficie y reemplazarlo por uno limpio de sólidos.

Problema con clima/cierre de acceso (3.85 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Acceso a la localización cerrado.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Gestionar los pagos a la comunidad con anticipación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Gestionar con los pobladores de la comunidad la apertura de las vías de acceso.

Problema con herramienta direccional (3.10 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Herramienta MWD no envía señal a la superficie.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Trabajar la herramienta MWD el tiempo adecuado y reemplazar con anticipación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Recuperar herramienta MWD a superficie y reemplazar por una en condiciones.

Etapa 6 3/4" x 4 1/2":

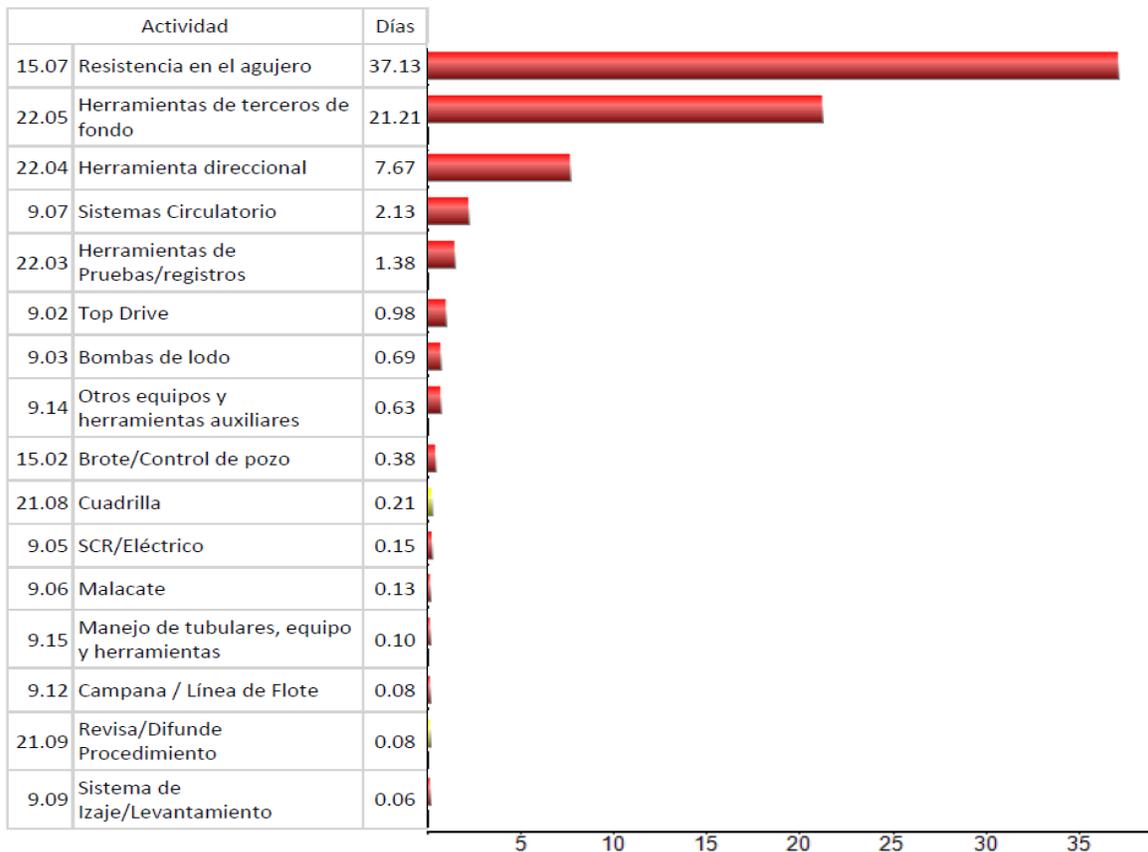


Figura 4.24 Problemática presentada en la quinta etapa.

Problema con resistencia en el agujero (37.13 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se encontró resistencia en el agujero cuando se volvió a introducir la sarta al fondo.
- Se encontró resistencia dentro de la TR por colapso de la misma.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Si se requiere sacar la sarta, circular el pozo hasta que los recortes del espacio anular se hayan desalojado del pozo.
- Calibrar la TR antes de introducirla al pozo, así como revisar el diseño de las TR para verificar que la resistencia al colapso sea la adecuada para el pozo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Trabajar resistencia con peso y bombeo de bache viscoso para un barrido de recortes asentados en el fondo.
- Bajar molino cónico y conformar TR, hasta vencer dicha resistencia.

Problema con herramienta de terceros de fondo (21.21 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla con la herramienta rotatoria de compañía.
- Espera herramienta y cabina por cambio de compañía desviadora.
- Falla con la herramienta power drive de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Trabajar la herramienta de fondo el tiempo adecuado y reemplazar con anticipación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Recuperar herramienta de fondo a superficie y reemplazar por una en condiciones.

Problema con herramienta direccional (7.67 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- El sistema rotatorio no incrementó el ángulo.
- Herramienta MWD no envía señal a superficie.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Mejorar la calibración de los sensores y el mantenimiento de las herramientas.
- Trabajar la herramienta MWD el tiempo adecuado y reemplazar con anticipación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Recuperar herramienta direccional a superficie y reemplazar por una en condiciones.

4.2.8 Aspectos relevantes.

Durante la perforación, en todas las etapas se registraron mayores tiempos normales respecto a lo programado, teniendo una diferencia significativa principalmente en las etapas de 9 ½" y 7 5/8".

En la última etapa se presentaron los mayores problemas, teniendo un gran impacto en los tiempos de perforación.

Se inició la reentrada a cargo de la compañía con barrena de cortadores fijos de 9 1/2" y sarta direccional, perfora rotando y deslizando sarta para construir la trayectoria programada de 2013 m. Llegando a 2144 m, se presentó un problema por no poder levantar ángulo, para lo cual se circula pozo para limpieza de agujero, se

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

colocó 5 m³ de bache ecológico con una densidad de 1.69 gr/cc, se levanta la barrena con sarta navegable a superficie y con personal de compañía se regradúa el motor de fondo de 1.7 a 2.4 grados.

Al no poder lograr conformar la reentrada se decidió cambiar de compañía, por lo que posteriormente se armó sarta navegable, midió y calibró herramienta por parte de esta nueva.

En resumen, para la perforación de las etapas se registró un tiempo normal de 157.56 días y se programó un total de 86.79 días, lo cual representa un aumento de acuerdo a lo programado de 70.77 días, teniéndose una diferencia considerable de tiempos normales con respecto a lo programado. Por lo que se debe revisar a detalle el diseño del programa y su aplicación en la perforación de pozos subsecuentes.

Los viajes totales incluyendo el armar y desarmar herramienta, son equivalentes a 34.04 días y representan el 12.43 % del tiempo total.

4.2.9 Conclusiones.

La metodología permite identificar las áreas de oportunidad de mejora, que para el caso del POZO B serían:

- Tiempos de viaje.
- Instalar preventores (BOP) y conexiones superficiales (CSC).
- Toma de núcleos.
- Toma de registros geofísicos.
- Introduce tubería de revestimiento.
- Pesca y molienda.

Para el POZO B, los tiempos no productivos totales fueron: 116.35 días.

Los principales tiempos no productivos fueron:

- Problemas con la perforación por presentarse resistencia en el agujero (37.27 días).
- Fallas continuas:
 - En el sistema circulatorio (2.54 días).
 - En el top drive (2.21 días).
 - Malacate (10.54 días).
 - Sistema de izaje / levantamiento (2.73 días).
 - En otros equipos y herramientas auxiliares (3.77 días).
 - Herramienta direccional (10.77 días).
 - Herramienta de terceros (21.21 días).
 - Taponamiento de equipo / herramienta de fondo (6.17 días).
- Esperas por el clima o cierre de accesos (3.85 días).

Por tanto, para la perforación de pozos futuros, se deben de considerar principalmente estos problemas para poder minimizar (lo mejor posible) los tiempos no productivos (NPT).

4.3 Caso de estudio: POZO C.

4.3.1 Datos generales.

El POZO C se ubica en el municipio de Hidalgo en el estado de Coahuila. El pozo tuvo como objetivo la búsqueda de nuevas acumulaciones y probar el potencial del play no convencional en la formación Eagle Ford, constituido por lutitas calcáreo carbonosas.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

4.3.2 Estado mecánico.

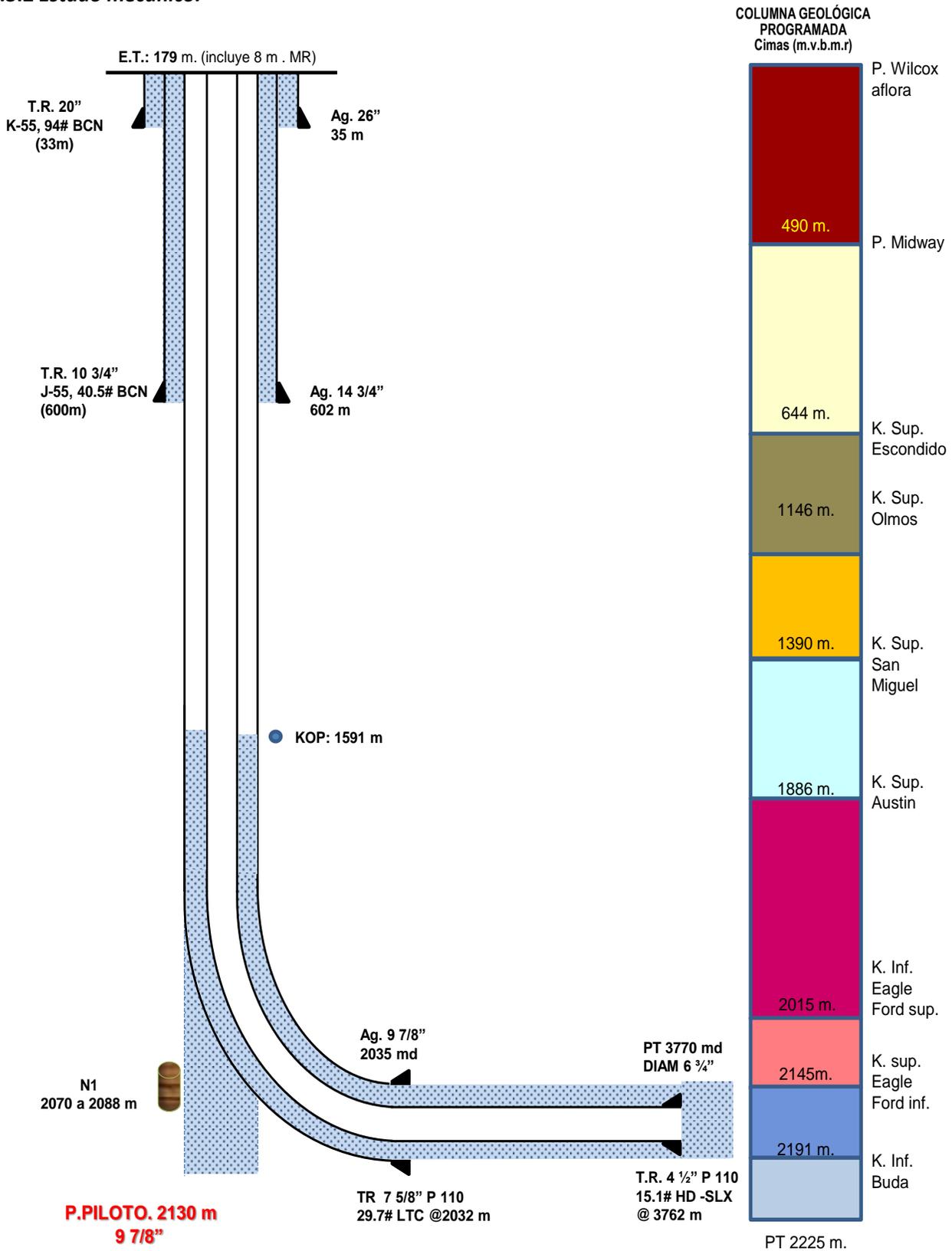


Figura 4.25 Estado mecánico POZO C.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

La perforación del pozo se planeó y se desarrolló en cinco etapas. Considerando la tercera como etapa de la perforación del agujero piloto con diámetro de 9 7/8". Las *tablas 4.7 y 4.8* muestran las geometrías de cada una de las etapas programadas y reales respectivamente, se observa que la profundidad real en el agujero piloto se quedó a 95 m antes de lo programado, y en el caso de la quinta etapa también quedo a 107 m antes de lo programado.

Etapa	Diámetro barrena (pg)	Diámetro TR (pg)	Profundidad (md)
1	26"	20"	30
2	14 3/4"	10 3/4"	600
3	9 7/8"	Agujero piloto	2225
4	9 7/8"	7 5/8"	2042
5	6 3/4"	4 1/2"	3877

Tabla 4.7 Geometrías programadas por etapa de perforación del pozo.

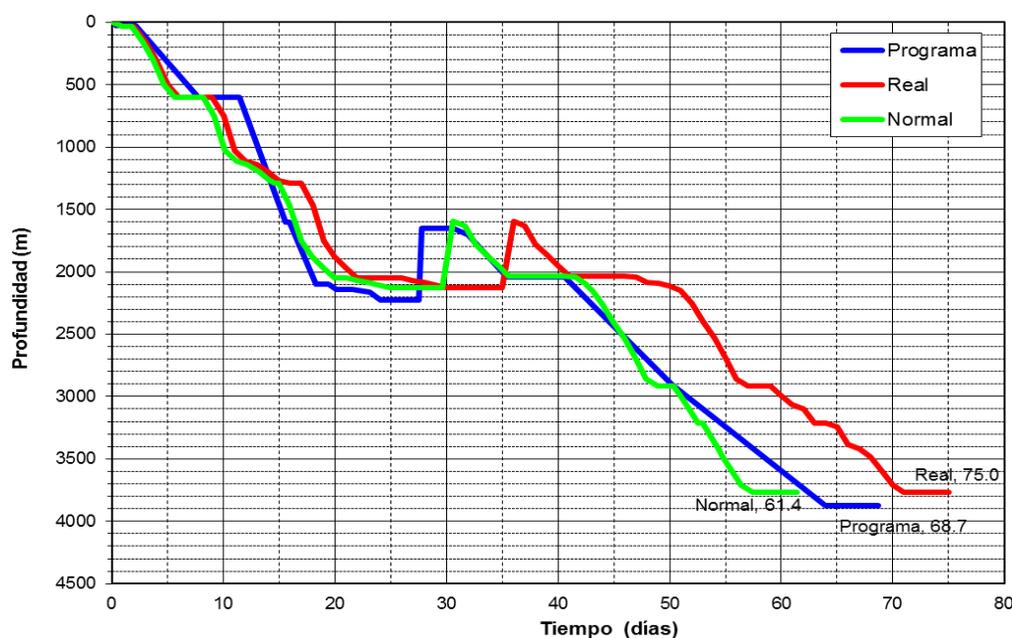
Etapa	Diámetro Barrena (pg)	Diámetro TR (pg)	Profundidad (md)
1	26"	20"	35
2	14 3/4"	10 3/4"	602
3	9 7/8"	Agujero piloto	2130
4	9 7/8"	7 5/8"	2035
5	6 3/4"	4 1/2"	3770

Tabla 4.8 Geometrías reales por etapa de perforación del pozo.

4.3.3 Análisis de tiempos de perforación totales.

4.3.3.1 Comparación de tiempos totales.

La perforación del POZO C inició el 05 de diciembre del 2011 y terminó el 18 de febrero de 2012, después de 75 días de operación. Los tiempos de perforación programados del pozo fueron de 68.67 días, por lo que los tiempos reales se desviaron un 9.22 %.



Los tiempos de perforación programados del pozo fueron de 68.67 días, por lo que los tiempos reales se desviaron un 9.22 %. La *figura 4.26* muestra la gráfica de avance de la perforación del pozo.

Figura 4.26 Gráfica de avance de la perforación del pozo.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

La *tabla 4.9* presenta un comparativo de los tiempos programados contra los reales para el pozo, así como su porcentaje de desviación respecto del tiempo programado.

Concepto	Programado (días)	Real (días)	Desviación (%)
Perforación	38.26	52.17	-36.35
Cambio de etapa	23.42	19.52	16.65
Toma de información	7.00	3.31	52.68
TOTAL	68.68	75.00	-9.22

Tabla 4.9 Comparativo de tiempos totales por concepto.

La *figura 4.27* muestra el comparativo de tiempos totales por tipo de actividad resumido en la *tabla 4.9*.

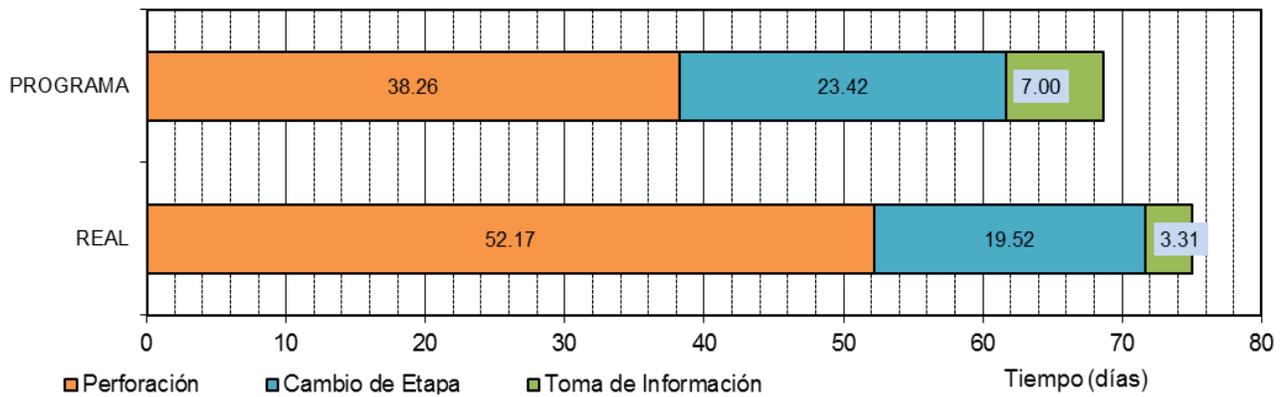


Figura 4.27 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.

Durante la perforación de pozos, se pueden tener operaciones normales (clasificadas como programadas y no programadas) y operaciones no productivas (clasificadas como esperas y problemas).

La *figura 4.28* describe la distribución de tiempos reales por tipo de operación realizada en el pozo. Los días totales de operación del pozo (75) se calificaron de la manera siguiente: 61.44 días (82%) en operaciones normales, 12.71 días (17%) en operaciones con problemas y 0.85 días (1%) en esperas (*figura 4.28a*).

Los 61.44 días de operaciones normales se calificaron como 58.44 días (78%) de operaciones descritas en el programa (programadas) y 3.00 días (4%) de operaciones no descritas en el programa (no programadas) (*figura 4.28b*).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

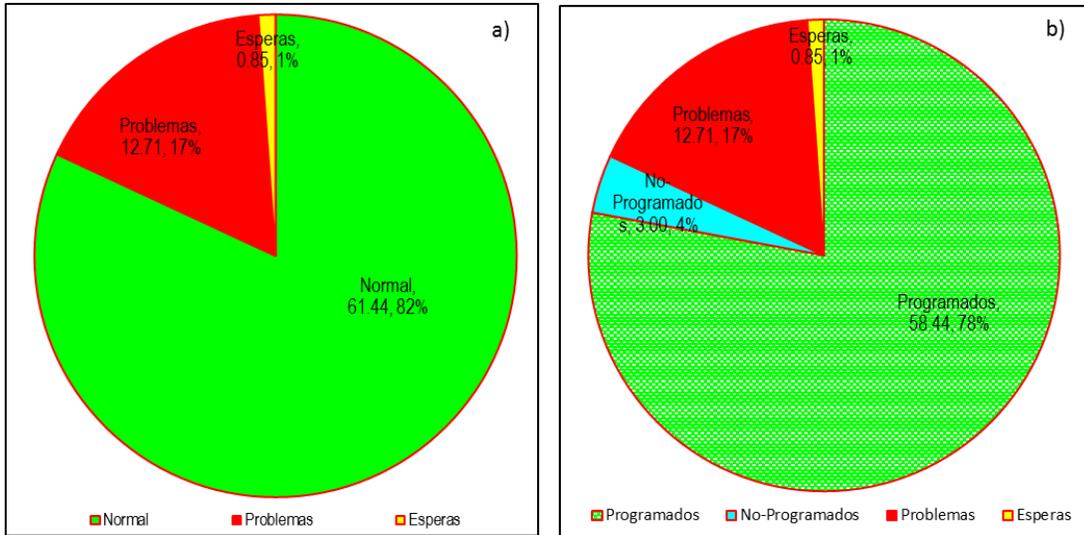


Figura 4.28 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.

4.3.4 Comparación de tiempos por etapa.

La perforación del POZO C se planeó y desarrolló en cinco etapas cuyos objetivos y geometrías se mencionan en las tablas 4.7 y 4.8.

En la tabla 4.10 se realiza un comparativo de los tiempos programados contra los tiempos reales por etapa. El porcentaje de desviación es positivo cuando se han reducido los tiempos programados, por el contrario, cuando son negativos, el tiempo de perforación para completar las etapas ha sido mayor que los tiempos programados.

Etapa	Geometría	Tiempo programado (días)	Tiempo real (días)	Desviación (%)
1	26" – 20"	2.17	2.25	-3.85
2	14 3/4"-10 3/4"	9.25	6.90	25.45
3	9 7/8"-9 7/8"	20.46	26.71	-30.55
4	9 7/8"-7 5/8"	8.75	10.96	-25.24
5	6 3/4"-4 1/2"	28.04	28.19	-0.52
TOTAL		68.67	75.00	-9.22

Tabla 4.10 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.

La figura 4.29 muestra un gráfico de barras donde se compara los tiempos programados contra los reales por etapa y por tipo de actividad, es decir, se hace énfasis en la distribución de tiempos en las actividades de perforación, cambio de etapa (tiempos planos) y toma de información (registros, muestras, pruebas).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.

CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

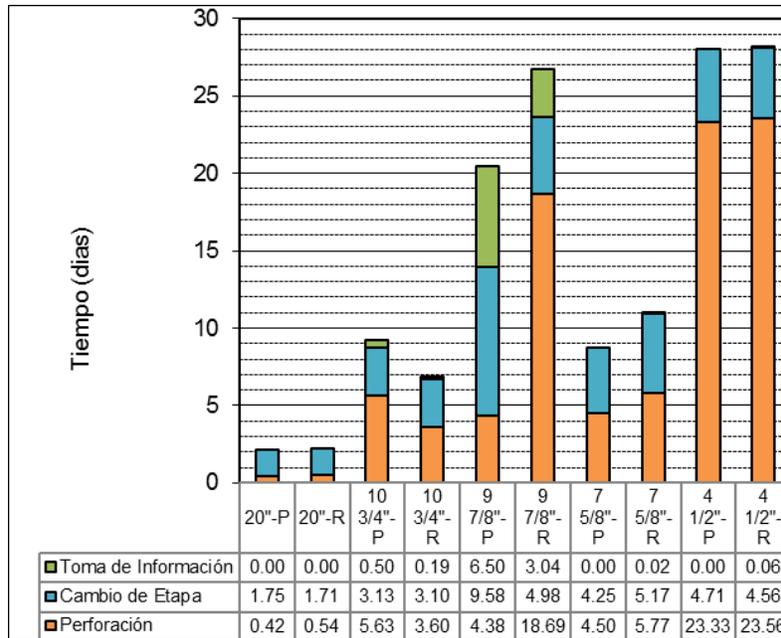


Figura 4.29 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.

4.3.5 Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad.

Haciendo uso de la metodología ATP-IMP, en la figura 4.30 se observa la distribución de tiempos totales en la perforación del POZO C, utilizando los códigos descritos en el capítulo 3.



Las barras de color verde indican tiempos normales, mientras que las barras en rojo (problemas) y amarillo (esperas) describen los tiempos no productivos.

Figura 4.30 Distribución de tiempos totales por código de actividad.

4.3.6 Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad.

A continuación, en la *figura 4.31* se muestra un resumen de los tiempos no productivos por código de actividad, recordando que los códigos 9, 15, 18, 21 y 22 nos presentarán las actividades que causaron los tiempos no productivos. En este caso de estudio, el POZO C no presentó actividad referente al código 18.

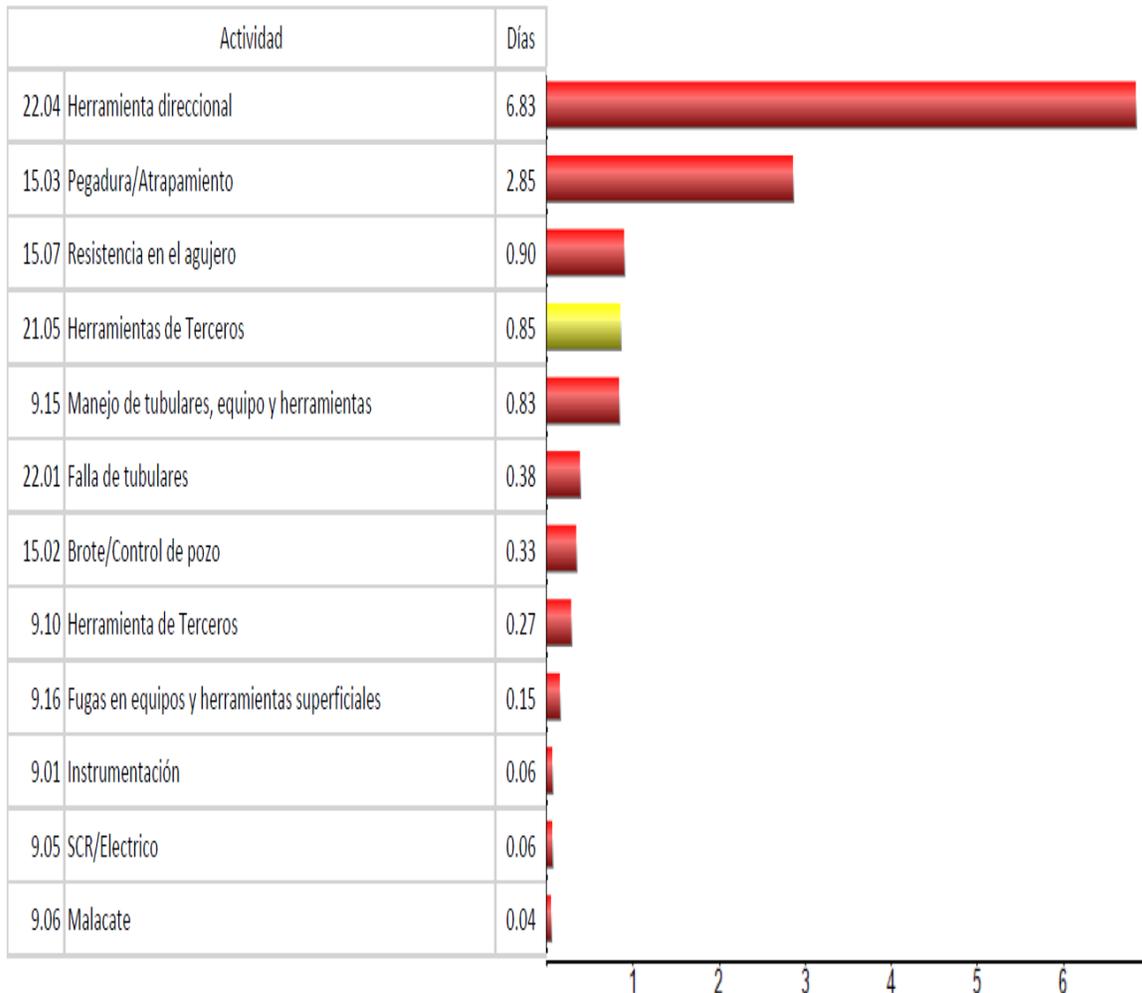


Figura 4.31 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.

4.3.7 Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos.

A continuación, se presenta el análisis de la problemática presentada en cada etapa de perforación describiendo de manera general los factores probables que generaron el problema, y de cómo se puede minimizar o eliminar, así mismo que acciones realizar para que en pozos futuros se minimice el riesgo de que este problema se presente o sea repetitivo.

Por otra parte, de muestran algunos aspectos relevantes derivados del presente análisis.

Etapas 26" x 20":



Figura 4.32 Problemática presentada en la primera etapa.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

Problemas con herramienta de terceros (0.19 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Cable dañado de la grúa de compañía.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar periódicamente estado de los componentes de la grúa.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Antes de ser usada la grúa, revisar los componentes de la misma por si existe alguna falla, repararla anticipadamente a la operación donde se requiera usar la grúa.

Etapa 14 3/4" x 10 3/4":

	Actividad	Días
21.05	Herramientas de Terceros	0.44
15.07	Resistencia en el agujero	0.08
9.05	SCR/Electrico	0.06

Figura 4.33 Problemática presentada en la segunda etapa.

Problema con herramienta de terceros (0.44 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se esperó personal y herramientas de compañía para introducir TR.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar disponibilidad de personal y herramienta con la compañía, si no se tiene disponibilidad solicitar servicio con otra compañía que tenga contrato.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Dar aviso al departamento de operación de la ausencia de la compañía para ver disponibilidad de otra compañía.

Problema con resistencia en el agujero (0.08 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Después de sacar barrena a superficie, al volver a introducirla se observó resistencia en el agujero.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Antes de sacar la barrena a la superficie, circular el pozo hasta asegurarse de acarrear el recorte del fondo del pozo a la superficie.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cargar peso hasta vencer resistencia.

Problema con SCR/Eléctrico (0.06 hrs).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla de la llave TW-60.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento preventivo e inspección visual de forma periódica.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reparar la falla que presente la herramienta con el personal disponible en el pozo.

Etapa 9 7/8"x 9 7/8":



Figura 4.34 Problemática presentada en la tercera etapa.

Problemas con pegadura/atrapamiento (2.85 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Al recuperar la barrena a superficie se atrapo la sarta.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Antes de sacar la barrena a la superficie, circular el pozo hasta asegurarse de acarrear el recorte del espacio anular.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Trabajar la sarta con peso, tensión y circulación, hasta que se libere la misma.

Problema con manejo de tubulares, equipo y herramienta (0.83 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fallo cuadro de barrena para poder desconectar la misma.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Llevar al pozo un cuadro de repuesto.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Realizar acondicionamiento al cuadro que se tenga en el pozo.

Problemas con herramienta de tercero (0.42 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fallaron cuñas para TP de 4".

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento preventivo e inspección visual de forma periódica.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Intentar reparar las cuñas, en caso contrario solicitar otras cuñas.

Etapa 6 3/4" x 4 1/2":

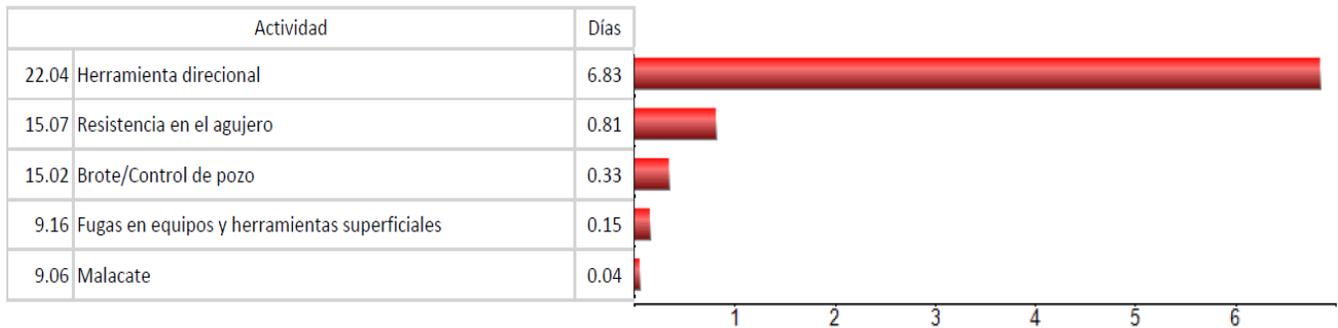


Figura 4.35 Problemática presentada en la quinta etapa.

Problema con herramienta direccional (6.83 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falta de apoyo de los patines de herramienta geopilot.
- Falla el pulser de la herramienta direccional.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Dar mantenimiento preventivo a la herramienta y trabajar las horas adecuadas al geopilot y al pulser.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Recuperar la herramienta direccional a superficie para reparar la falla o reemplazar la herramienta por otra en óptimas condiciones.

Problema con resistencia en el agujero (0.81 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se sacó sarta a superficie, posteriormente al bajar de nuevo la sarta se encontró resistencia.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- En caso de que se requiera recuperar a superficie la sarta, colocar un bache pesado en el fondo del pozo para evitar derrumbes mientras se encuentra estático el fluido.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Trabajar resistencia con peso y bombear un bache viscoso para un barrido de recortes asentado en el fondo.

Problema con brote/control de pozo (0.33 días).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Se observó aumento de la DEC.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Estar al pendiente de la presión de bombeo y en caso de un aumento considerable reducir el gasto de la bomba.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Disminuir el gasto de la bomba y la densidad del fluido.

4.3.8 Aspectos relevantes.

En la etapa 10 3/4" se logró tener una diferencia en los tiempos programados contra los reales, ya que se programaron más días para las operaciones de esta etapa, pero se ejecutaron en menor tiempo, utilizando una barrena PDC. En la misma etapa se programó toma de información y en tiempo real fue realizada en menor tiempo también.

4.3.9 Conclusiones.

La metodología permite identificar las áreas de oportunidad de mejora, que para el caso del POZO C serían:

- Tiempos de perforación y viajes.
- Trabajo direccional.

Para el POZO C los principales tiempos no productivos (NPT's) fueron:

- Problemas con las herramientas de control direccional (7.21 días).
- Fallas equipo superficial (1.42 días).
- Problemas con la perforación (4.08 días).
- Esperas por herramientas (0.85 días).

Recomendaciones:

Se presentaron fallas en la herramienta direccional, siendo esta la actividad de mayor impacto en los tiempos de perforación, las fallas que se registraron fueron por la señal, batería y calibración; esto nos indica una posible falta de mantenimiento, así como problemas en las condiciones de operación de la herramienta.

Cuando se presente la falla se recomienda recuperar la herramienta a superficie para reparar la falla o reemplazar la herramienta por otra en óptimas condiciones. Se debe obtener estadísticas de fallas frecuentes y acciones realizadas y verificar las condiciones de operación de los equipos.

El problema de pegadura/atrapamiento generó un fuerte impacto en los tiempos de la perforación, se recomienda trabajar la sarta con peso, tensión y una óptima circulación, hasta que se libere la misma. Es necesario ir ajustando la densidad del lodo, optimizar la hidráulica, y armar la sarta con martillo como una buena práctica, así mismo monitorear los recortes para observar los cambios en la litología.

Otro problema representativo fue la resistencia en el agujero, por lo cual se recomienda trabajar dicha resistencia cargando peso a la sarta y bombeando un bache viscoso para el barrido de recortes asentados en el fondo.

4.4 Caso de estudio: POZO D.

4.4.1 Datos generales.

El POZO D fue exploratorio, tuvo como objetivo 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 Brecha 9. El proyecto no convencional se ubica a 17 km de la ciudad de Poza Rica de Hgo, Veracruz.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

4.4.2 Estado mecánico.

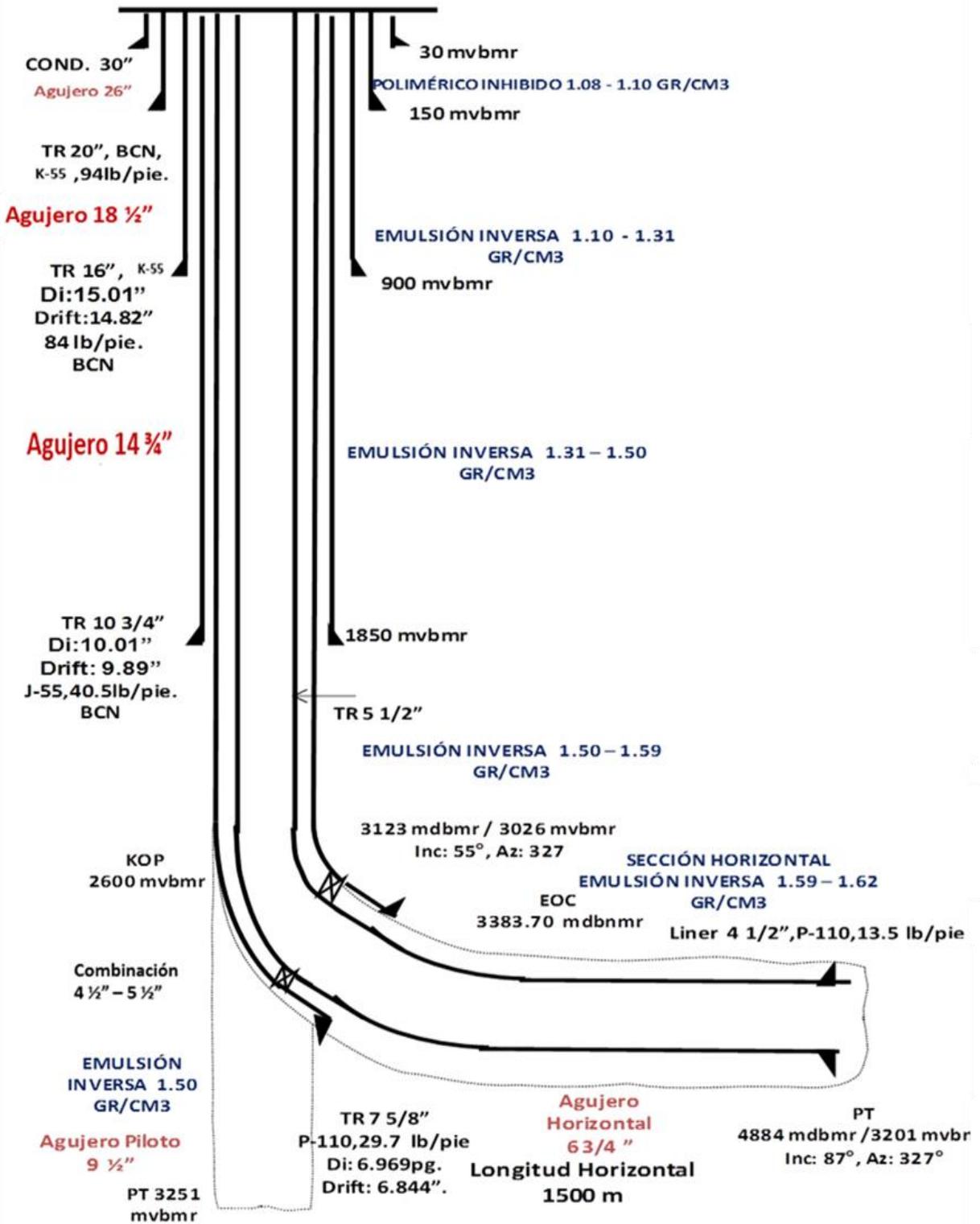


Figura 4.36 Estado mecánico POZO D.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación.
CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

La perforación del pozo se planeó y desarrolló en seis etapas. La *tabla 4.11* muestra las geometrías de cada una de las etapas desarrolladas y programadas.

Etapa	Geometría planeada	Geometría real
1	26" x 20"	26" x 20"
2	18 1/2" x 16"	18 1/2" x 16"
3	14 3/4" x 10 3/4"	14 3/4" x 10 3/4"
4 <i>(Agujero piloto)</i>	9 1/2" x 9 1/2"	9 1/2" x 9 1/2"
5	9 1/2" x 7 5/8"	9 1/2" x 7 5/8"
6	6 3/4" x 4 1/2"	6 3/4" x 4 1/2"

Tabla 4.11 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.

4.4.3 Análisis de tiempos de perforación totales.

4.4.3.1 Comparación de tiempos totales.

La perforación del POZO D inició el 27 de julio del 2013 y termino el 28 de febrero del 2014 después de 216.29 días de operación. Los tiempos de perforación programados del pozo fueron de 94.21 días, por lo que los tiempos reales se desviaron un -130%. La *figura 4.37* muestra el avance de la perforación del pozo.

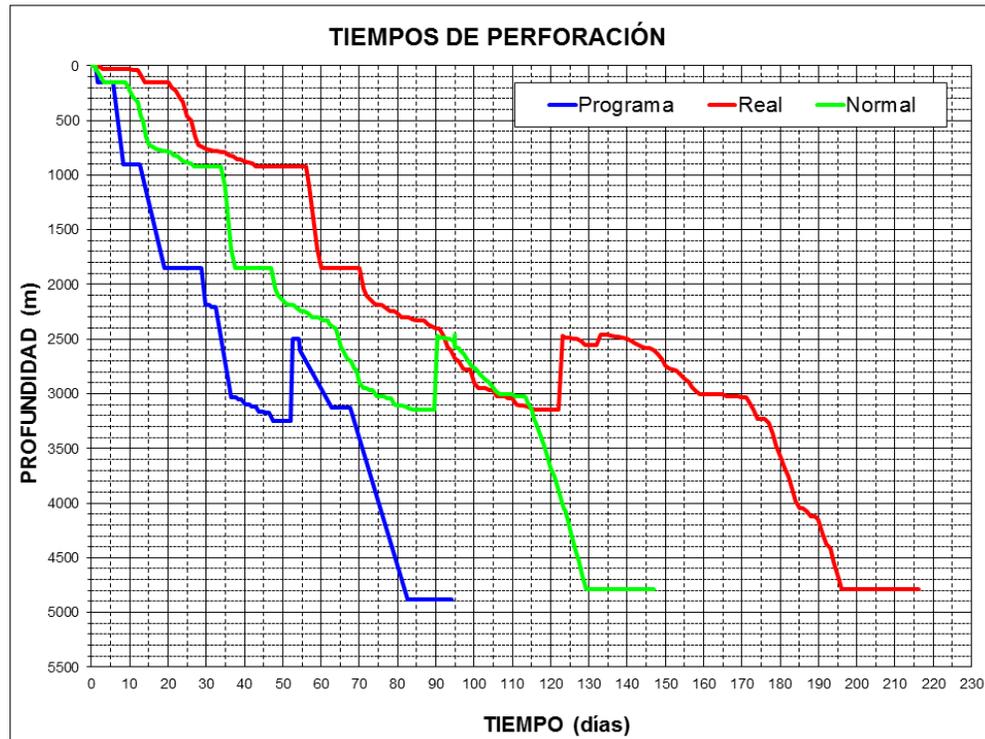


Figura 4.37 Gráfica de avance de la perforación del pozo.

La *tabla 4.12* presenta un comparativo de los tiempos programados contra los reales para el pozo, así como su porcentaje de desviación respecto del tiempo programado.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

Concepto	Programado (días)	Real (días)	Desviación (%)
Perforación	47.11	143.04	-204%
Cambio de etapa	31.76	45.65	-44%
Toma de información	15.35	27.60	-80%
TOTAL	94.22	216.29	-130%

Tabla 4.12 Comparativo de tiempos totales por concepto.

La figura 4.38 muestra el comparativo de tiempos totales por tipo de actividad resumido en la tabla 4.13.

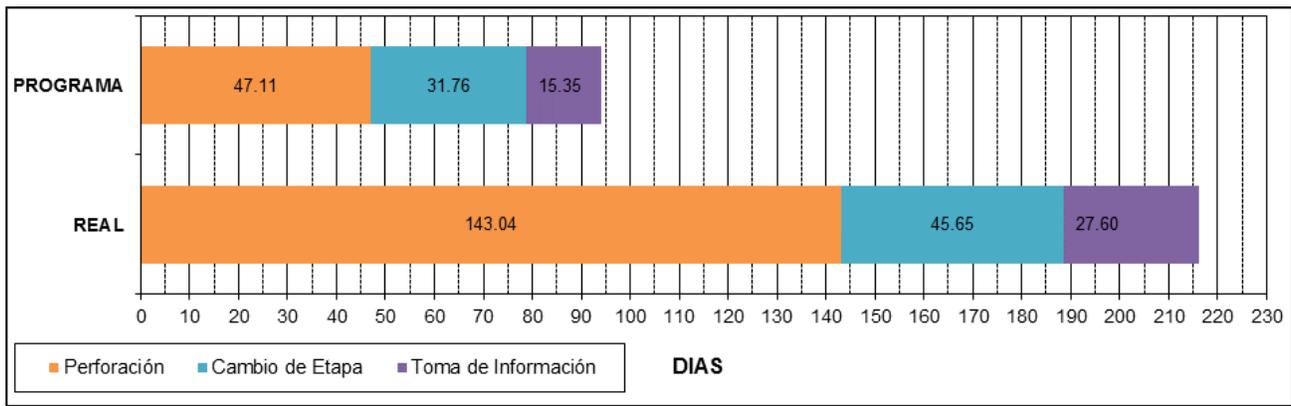


Figura 4.38 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.

Durante la perforación de pozos, se pueden tener operaciones normales (clasificadas como actividades programadas y no programadas) y operaciones no productivas (clasificadas como esperas y problemas). La figura 4.39 describe la distribución de tiempos reales por tipo de operación realizada en el pozo. Los días totales de operación del pozo (216.29) se calificaron de la manera siguiente: 146.88 días (68%) en operaciones normales, 62.73 días (29%) en operaciones con problemas y 6.69 días (3%) corresponden a esperas (figura 4.39a). Los 146.88 días de operaciones normales se clasifican como 125.48 días (58%) de operaciones programadas y 21.40 días (10%) de operaciones no programadas (figura 4.39b).

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. **CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO**

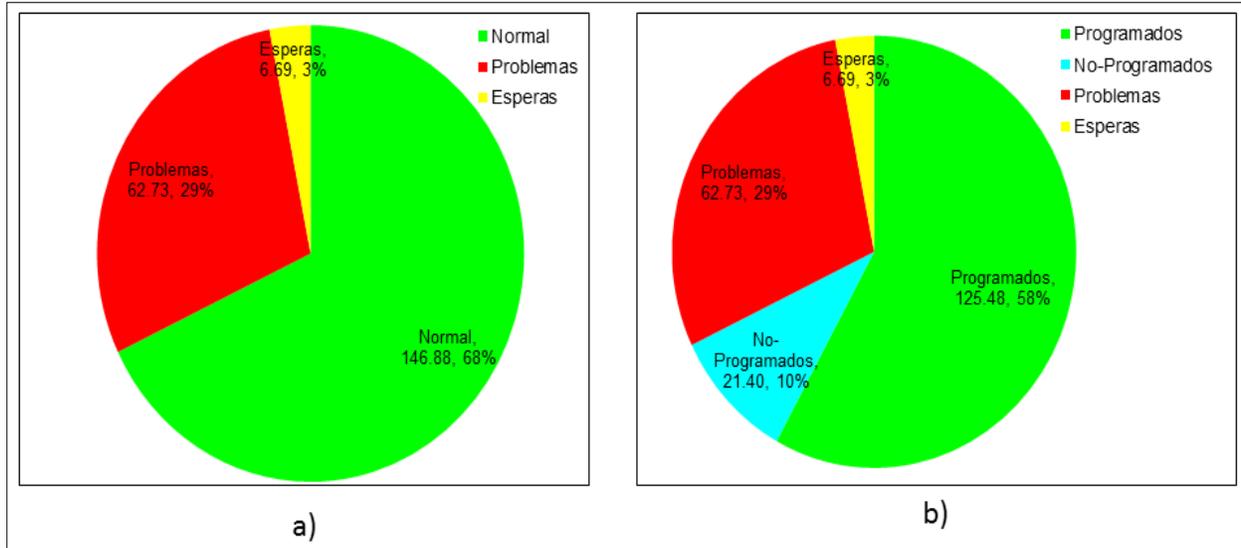


Figura 4.39 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.

4.4.4 Comparación de tiempos por etapa.

La perforación del POZO D se planeó y desarrolló en 6 etapas cuyos objetivos y geometrías se mencionaron en la tabla 4.11. En la tabla 4.13 se realiza un comparativo de los tiempos programados contra los tiempos reales. El porcentaje de desviación es positivo cuando se han reducido los tiempos programados, por el contrario, cuando son negativos, el tiempo de perforación para completar las etapas ha sido mayor que los tiempos programados.

Etapa	Geometría	Tiempo programado (días)	Tiempo real (días)	Desviación (%)
1	26" x 20"	5.52	20.04	-263%
2	18 1/2" x 16"	7.10	36.02	-407%
3	14 3/4" x 10 3/4"	16.10	13.96	13%
4	9 1/2" x 9 1/2"	25.79	52.90	-105%
5	9 1/2" x 7 5/8"	12.96	42.71	-230%
6	6 3/4" x 4 1/2"	26.73	50.67	-90%
TOTAL		94.21	216.29	-130%

Tabla 4.13 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.

La figura 4.40 muestra un gráfico de barras donde se compara los tiempos programados contra los reales por etapa y por tipo de actividad, es decir, se hace énfasis en la distribución de tiempos en las actividades de perforación, cambio de etapa (tiempos planos) y toma de información (registros, muestras, pruebas).

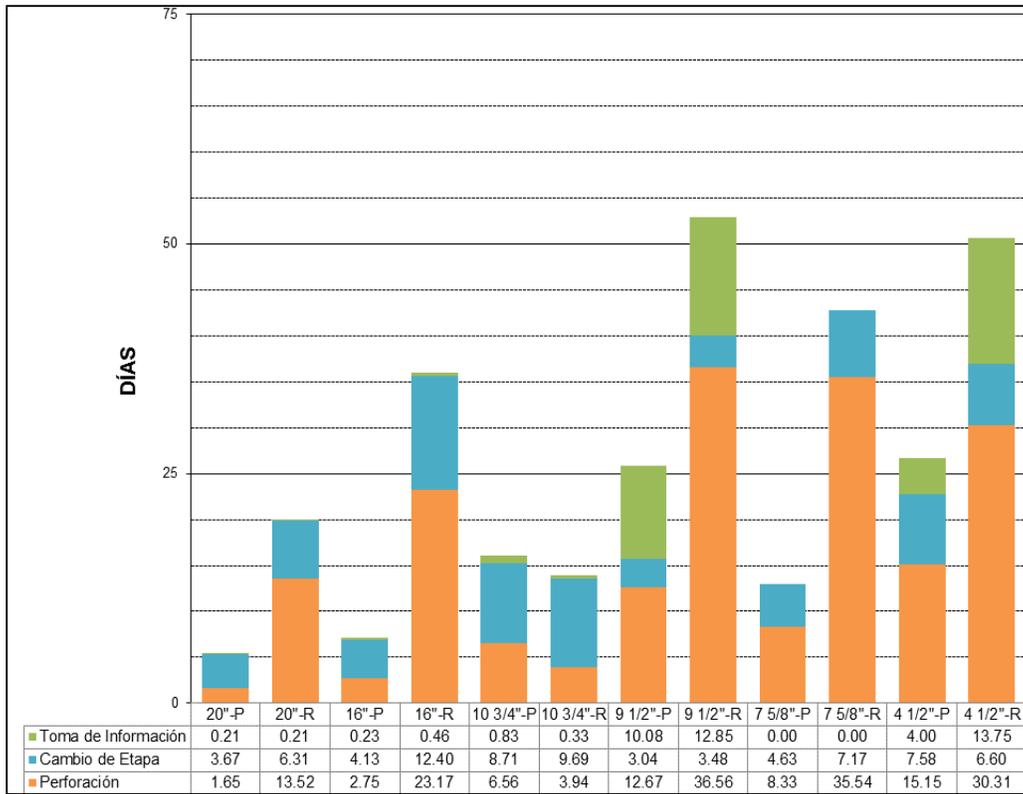


Figura 4.40 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.

4.4.5 Análisis de tiempos totales de los códigos de actividad.

Haciendo uso de la metodología ATP-IMP, en la figura 4.41 se observa la distribución de tiempos totales en la perforación del POZO D, utilizando los códigos descritos en el capítulo 3.

Las barras de color verde indican tiempos normales, mientras que las barras en rojo (problemas) y amarillo (esperas) describen los tiempos no productivos.

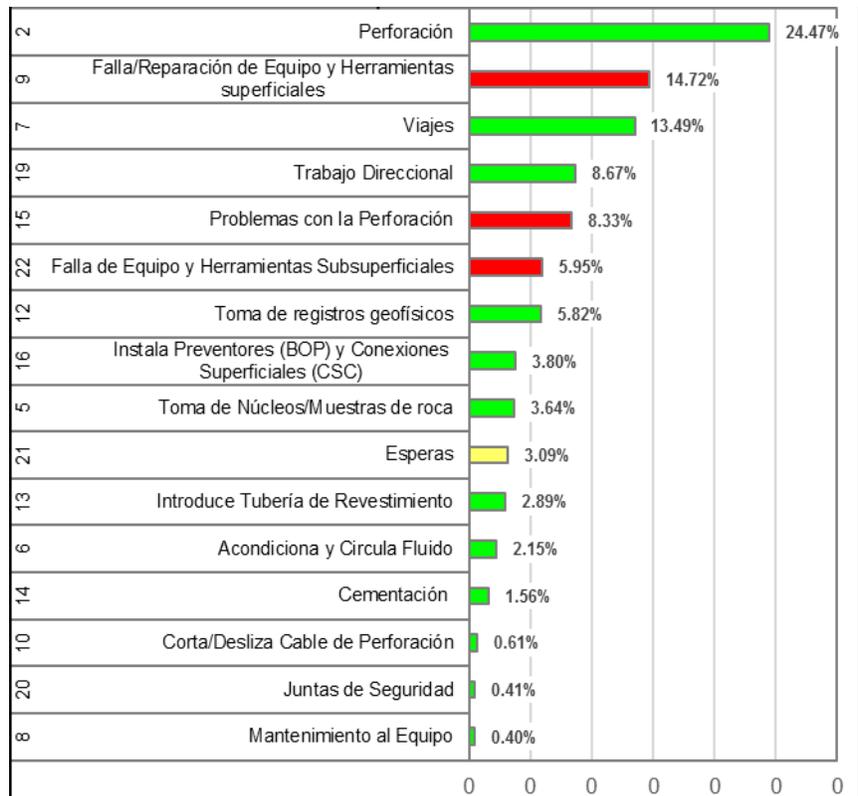


Figura 4.41 Distribución de tiempos totales por código de actividad.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

4.4.6 Análisis de tiempos no productivos (NPT's) por código de actividad.

A continuación, en la *figura 4.42* se muestra un resumen de los tiempos no productivos por código de actividad, recordando que los códigos 9, 15, 18, 21 y 22 nos presentarán las actividades que causaron los tiempos no productivos. En este caso de estudio, el POZO D no presentó actividad referente al código 18.

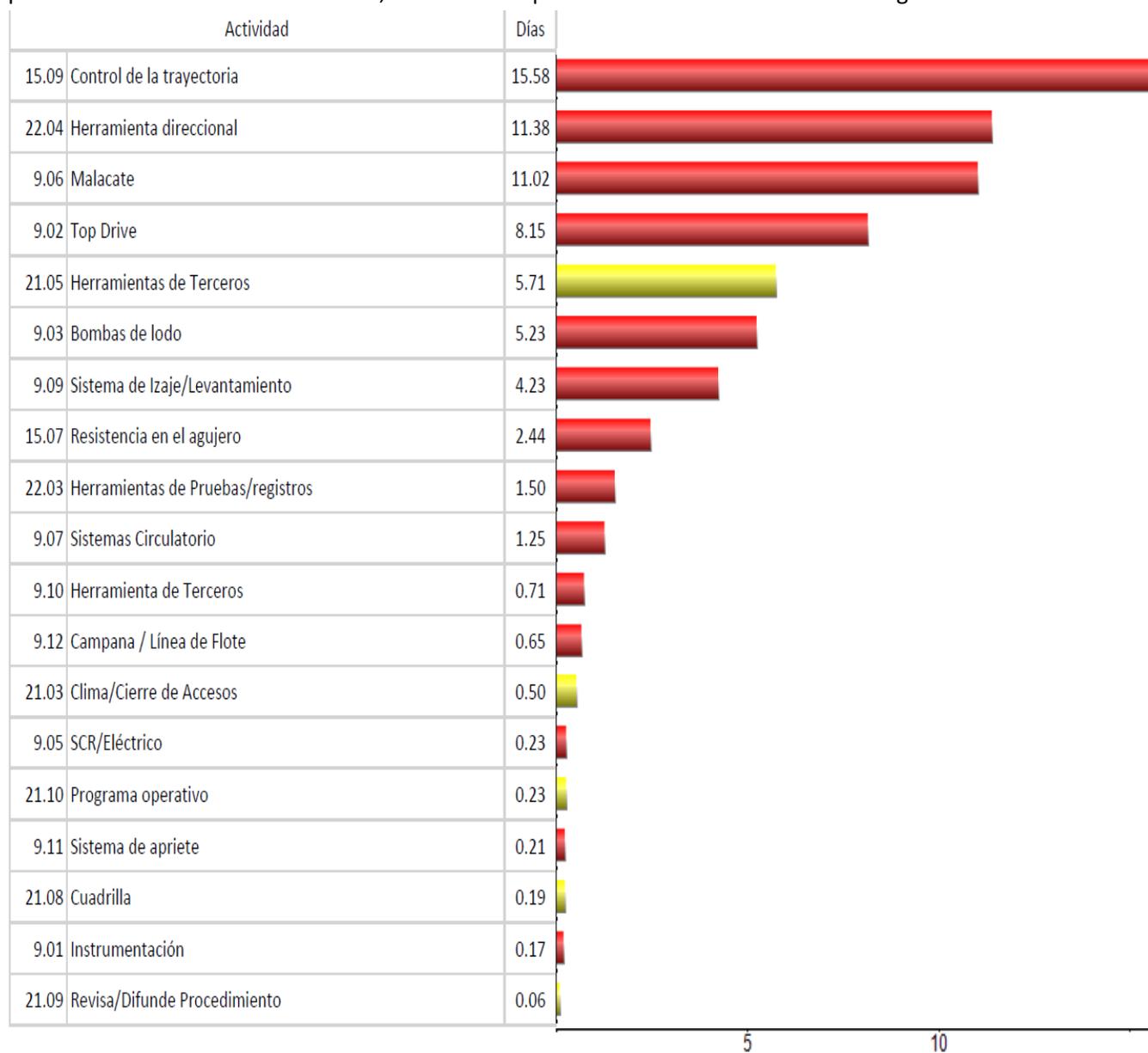


Figura 4.42 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.

4.4.7 Aprendizaje y aspectos relevantes a partir del análisis de tiempos no productivos.

A continuación, se presenta el análisis de la problemática presentada en cada etapa de perforación describiendo de manera general los factores probables que generaron el problema, y de cómo se puede minimizar o eliminar, así mismo que acciones realizar para que en pozos futuros se minimice el riesgo de que este problema se presente o sea repetitivo.

Por otra parte, de muestran algunos aspectos relevantes derivados del presente análisis.

Etapa 26" x 20":

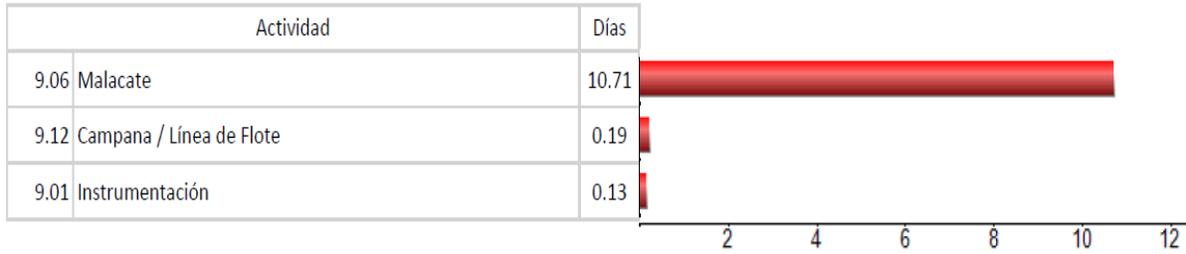


Figura 4.43 Problemática presentada en la primera etapa.

Malacate (10.71).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en izadora.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- Capacitación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento constante de sistema de izaje.
- Capacitar al personal en las operaciones del sistema de izaje.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Revisar instalación de sistema de izaje y realizar pruebas de funcionamiento.
- Realizar pláticas para difusión de procedimientos operativos.

Fuga en campana (4.56 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falta de mantenimiento.
- Condiciones de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento preventivo.
- Supervisión constante de la operación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Verificar instalación y realizar las pruebas correspondientes.
- Realizar mantenimiento, corregir fuga y probar campana.

Etapa 18 1/2" x 16":



Figura 4.44 Problemática presentada en la segunda etapa.

Herramientas de terceros (111.12 horas)

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación de la espera?

- Espera de preventor esférico.
- Transporte.
- Disponibilidad del equipo.
- Falta de comunicación con proveedor.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Mantener contacto continuo con la empresa para agilizar proceso de entrega.
- Realizar pedido con anticipación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Verificar disponibilidad de la herramienta, instalar equipo y probar conexiones.
- Agilizar transporte.

Resistencia en el agujero (58.56 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Incrementos en los tiempos de penetración de la barrena por desgaste e inestabilidad de la sarta.
- Falta de densidad del lodo.
- Limpieza del agujero.
- Desgaste de barrena.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Determinar características del pozo para una correcta selección del equipo.
- Monitorear los cambios en la litología para ajustar la densidad del lodo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Verificar propiedades del lodo.
- Verificar velocidad de rotación.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

- Realizar cambio de barrena por desgaste.

Etapa 14 3/4 x 10 3/4”:

	Actividad	Días
9.03	Bombas de lodo	0.46
9.09	Sistema de Izaje/Levantamiento	0.29
9.02	Top Drive	0.08
9.01	Instrumentación	0.04

Figura 4.45 Problemática presentada en la tercera etapa.

Bombas de Lodo (11.04 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fuga de lodo en tres pistones de bomba.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- Condiciones de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar continuamente el funcionamiento de las bombas.
- Revisión con la compañía el programa de mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambio de piezas.
- Anticipar los mantenimientos para el funcionamiento óptimo.
- Supervisión constante de bombas.

Sistema de Izaje/Levantamiento (6.96 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fuga en sistema hidráulico del elevador.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- Revisión de condiciones de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar condiciones de operación
- Realizar mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Detectar y reparar fuga en el sistema hidráulico
- Llevar una supervisión constante de la operación.

Top drive (1.92 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fuga de aceite en manguera de alta presión del elevador hidráulico del top drive.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

- Posible falta de mantenimiento preventivo.
- Condiciones de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Realizar mantenimiento preventivo.
- Anticipar los mantenimientos para el funcionamiento óptimo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Identificar falla (Utilizar elevador manual).
- Reparar elevador hidráulico y realizar pruebas de funcionamiento.
- Llevar una supervisión constante.

Etapa 9 1/2 x 9 1/2”:

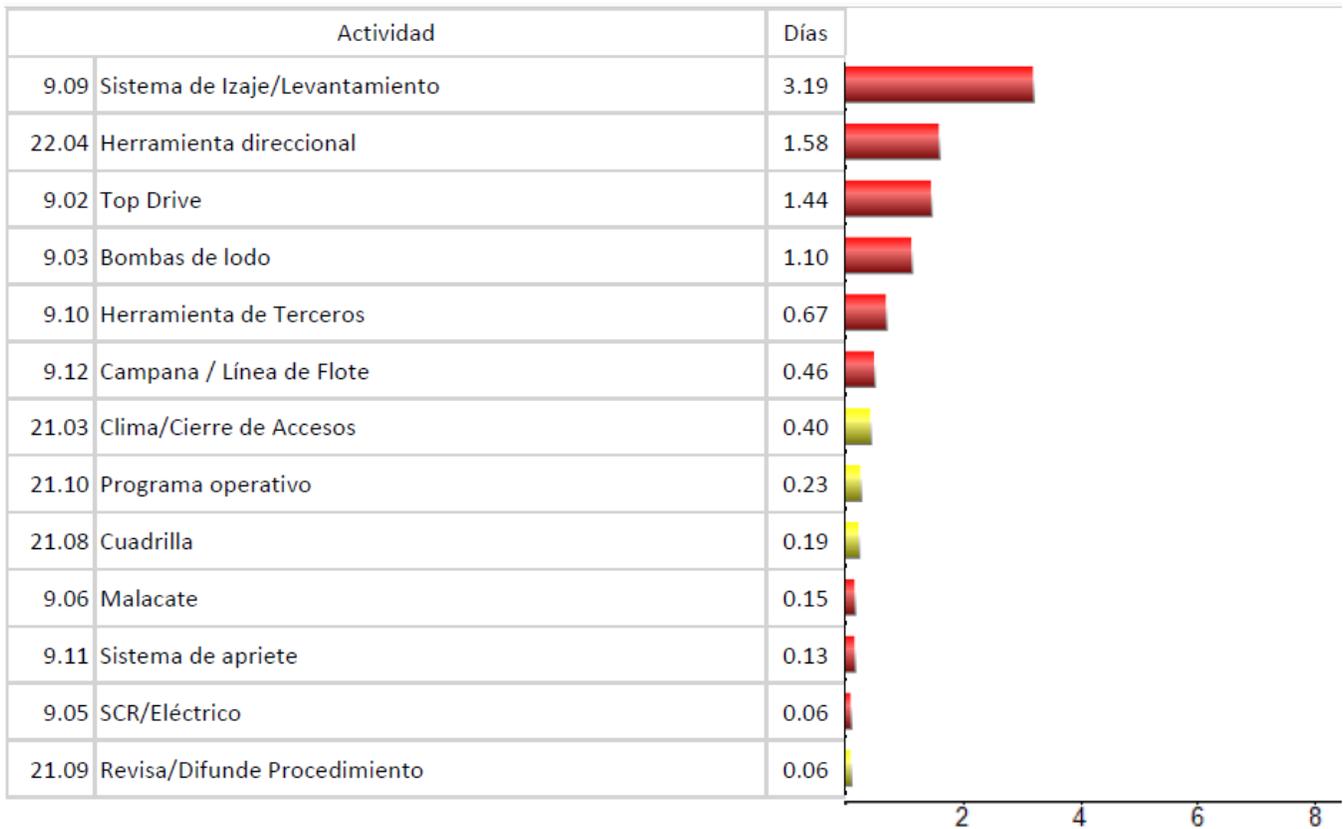


Figura 4.46 Problemática presentada en la cuarta etapa.

Sistema de Izaje/Levantamiento (76.56 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Elevador hidráulico dañado.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- Condiciones de operación.
- Falla en niveles de aceite.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar fugas

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

- Verificar niveles de aceite.
- Aplicar mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

Corregir conexiones.

- Mantenimiento previo a operación.
- Llevar una supervisión constante de la operación del indicador de peso

Herramienta direccional (37.92 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Taponamiento de motor de fondo (Represionamiento en el interior de la sarta) y falta de torque.
- Posible falta de mantenimiento preventivo.
- Hidráulica de la perforación.
- Mal manejo de control de sólidos en superficie.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar la operación de equipo y vida útil de la herramienta.
- Verificar hidráulica.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambiar motor de fondo.
- Adecuar hidráulica de la perforación.
- Verificar las condiciones de operación de los equipos.

Top drive (34.56 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en válvula hidráulica inferior del top drive (falta de mantenimiento preventivo).
- Revisión de condiciones de operación.
- Falla en conexiones.
- Falla en niveles de aceite

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar continuamente el funcionamiento del top drive.
- Revisión con la compañía el programa de mantenimiento preventivo.
- Realizar pruebas constantes en las conexiones.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reparación y sustitución por conexiones adecuadas.
- Anticipar los mantenimientos para el funcionamiento óptimo.

Etapa 9 1/2 x 7 5/8”:

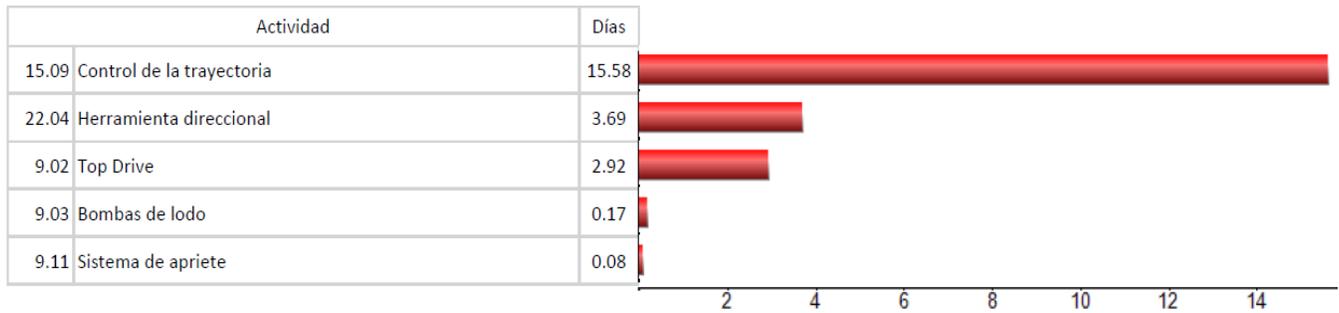


Figura 4.47 Problemática presentada en la quinta etapa.

Control de trayectoria. (373.92 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falta de construcción de ángulo.
- Cemento no consolidado
- Efectos de la formación.
- Hidráulica de perforación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar dureza de cemento.
- Correcta selección del equipo.
- Verificar hidráulica.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Verificar capacidad del equipo.
- Supervisión de propiedades del lodo.
- Utilizar herramientas desviadoras.

Herramienta direccional. (88.56 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en MWD (falta de mantenimiento preventivo).
- Condiciones de operación.
- Falta de revisión de herramientas.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar continuamente señal de la herramienta.
- Calibrar información constantemente.
- Revisión con la compañía el programa de mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Sacar herramienta y aplicar mantenimiento.
- Calibrar información.
- Cambiar herramienta de registros.

Top drive (70.08 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Fuga de aceite hidráulico en grabber (falta de mantenimiento preventivo).
- Condiciones de operación.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar conexiones y realizar mantenimiento preventivo.
- Verificar cargas a las que son sometidas.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Corregir fuga en grabber.
- Realizar pruebas y verificar conexiones.

Etapa 6 3/4 x 4 1/2":



Figura 4.48 Problemática presentada en la sexta etapa.

Herramienta direccional. (146.4 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla de conexión y en calibración de registros.
- Falla en fuente radioactiva.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar vida útil de baterías.
- Probar fuente radioactiva previo a la operación.
- Aplicar mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Cambio de baterías y mantenimiento previo a operación.
- Cambio de herramienta.

Top drive (63.12 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Posible falta de mantenimiento preventivo.
- Falla en conexiones eléctricas.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar la operación de equipo.
- Aplicar mantenimiento preventivo.
- Verificar conexiones eléctricas previo a la operación.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Corregir falla en equipo con personal capacitado.
- Realizar pruebas de funcionamiento y verificar conexiones.

Bombas de lodo (45.6 horas).

¿Cuáles fueron los factores que contribuyeron a la generación del problema?

- Falla en válvula y pistones de la bomba.
- Falta de mantenimiento preventivo.

¿Cómo puede ser eliminado o minimizado el problema?

- Verificar continuamente el funcionamiento de las bombas.
- Revisión con la compañía el programa de mantenimiento preventivo.

¿Qué acciones se tomarán si el problema se presenta en el pozo de tal manera que se elimine o minimice?

- Reemplazar piezas dañadas.
- Anticipar los mantenimientos para el funcionamiento óptimo.

4.4.8 Conclusiones.

La metodología permite identificar las áreas de oportunidad de mejora, que para el caso del POZO D serían:

- Tiempos de Viaje.

Para el POZO D los tiempos no productivos totales fueron de 69.42 días.

Los principales tiempos no productivos fueron:

- Problemas con el control de la trayectoria (15.58 días).
- Fallas continuas:
 - En el top drive (8.15 días).
 - En bombas de lodo (5.23 días).
 - En el malacate (11.02 días).
 - En el sistema se izaje (4.23 días).
 - Herramienta direccional (11.38 días).
- Esperas por herramientas de terceros (5.71 días).

Por tanto, para la perforación de pozos futuros, se deben de considerar principalmente estos problemas para poder minimizar lo más que se pueda los tiempos no productivos (NPT).

Recomendaciones:

El principal problema que se presentó fue por problemas con el agujero por no tener control de la trayectoria, donde los posibles factores son que el cemento no este consolidado, efectos de la formación o por fuerzas de fricción; la solución a este problema es verificar dureza de cemento, realizar una correcta selección del equipo y verificar la hidráulica.

El análisis de los tiempos no productivos como herramienta para la descripción de los problemas durante la perforación. CAPÍTULO IV: ANALISIS POST-MORTEM DE LOS TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE UN POZO

El segundo problema que causo retraso en la operación de perforación fueron las fallas continuas en la herramienta direccional; las fallas que se registraron fue del motor de fondo y el MWD, esto nos indica una posible falta de mantenimiento, así como de las condiciones de operación de la herramienta, se requerirá de sustituir equipo de manera inmediata. Se debe obtener estadísticas de fallas frecuentes y acciones realizadas y verificar las condiciones de operación de los equipos.

Con respecto al malacate se presentaron fallas, pudieron deberse a la falta de mantenimiento preventivo y a la falta de experiencia del personal. Para evitarse este tipo de problemas se debe realizar mantenimiento constante del malacate y capacitar al personal en las operaciones del malacate.

Para evitar las esperas de herramientas de terceros se deberá mantener el contacto continuo con la empresa para agilizar proceso de entrega y/o realizar pedido con anticipación.

Las bombas del lodo son los equipos que principalmente presentaron fallas en las válvulas, pistones, fisuras, en las cámaras de pulsaciones, por lo que para minimizar las fallas en necesario realizar el mantenimiento preventivo, supervisión continua durante la operación y llevar un registro de las horas de operación, tipo y características del lodo, presión y ritmo de bombeo.

CONCLUSIONES.

1. El análisis de los tiempos no productivos permite conocer cuáles actividades se ejecutan con deficiencia durante la perforación, con el propósito de proponer mejores prácticas de ingeniería, utilizar mejor los recursos disponibles y optimizar los tiempos. La información obtenida será un antecedente para la planeación de futuros pozos.
2. 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, la selección correcta de barrenas ayuda a reducir el tiempo no productivo, ya que, evitamos cambios constantes de barrenas por desgaste de las mismas.
3. Las malas prácticas operacionales 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.
4. Al equipo de perforación se le debe hacer una inspección y mantenimiento adecuado. Las causas principales de las fallas son por desgaste o uso inapropiado; por tal motivo la revisión contante de las condiciones del equipo previene problemas como malas lecturas, fugas, fatiga o riesgo al personal.
5. Las esperas por herramientas se pueden reducir si se registra en una base de datos a aquellas que suelen desgastarse con frecuencia en las actividades de perforación, contribuyendo así a la logística.
6. Es necesario atacar los problemas que llegaran a presentarse en el momento de su detección, utilizando herramientas y tomando decisiones que ayuden a resolver las anomalías. Recordando que el trabajo en equipo ayudará a desarrollar mejor la perforación.
7. Una buena planeación (óptima y rentable) reduce los tiempos no productivos, porque en esta etapa se puede prever los posibles problemas que se presentarán, evitando retrasos y pérdidas económicas. Por lo cual, es necesario mejorar la logística y verificar la información. Un excelente diseño del programa de perforación, una adecuada realización y supervisión de las actividades (durante el proceso), son las claves para alcanzar los objetivos y el éxito de un pozo.

REFERENCIAS.

colaboradores, B. J. (1991). *Applied drilling engineering*. SPE, Textbook series, Vol. 2.

Fernández, I. M., & Romero, I. J. (julio 2003). *Curso básico de perforación direccional*. Primera versión.

Hawker, D., Vogt, K., & Robinson, A. (marzo 2001). *Datalog wellsite operations manual*. Datalog.

PEMEX. (2000). *Un siglo de la perforación en México*. México: PEMEX.

Salas, I. R. (2010). *Problemas operacionales durante la perforación de pozos*. Cumaná.

Schlumberger. (2012). Cómo optimizar el arte de la pesca. *Oilfield Review*.

Schlumberger. (2012). Estabilización del pozo para prevenir pérdidas de circulación. *Oilfield Review*.

LISTA DE IMÁGENES.

Figura 1.1 Perforación convencional.	3
Figura 1.2 Perforación bajo balance.	3
Figura 1.3 Perfiles de desviación típicos de la perforación direccional y tipo horizontal.	4
Figura 1.4 Equipo de perforación autotransportable.	5
Figura 1.5 Equipo de perforación convencional.	5
Figura 1.6 Componentes de subsistema de izaje.	6
Figura 1.7 Equipo que debe ser soportado por la torre o el mástil.	7
Figura 1.8 Equipo que debe ser soportado por la subestructura.	8
Figura 1.9 Malacate.	9
Figura 1.10 Bloques y cable de perforación.	9
Figura 1.11 Polea viajera, gancho y elevadores.	10
Figura 1.12 Componentes del subsistema rotatorio.	10
Figura 1.13 Mesa rotatoria.	11
Figura 1.14 Unión giratoria o swivel.	11
Figura 1.15 Flecha o kelly.	12
Figura 1.16 Sarta de perforación.	12
Figura 1.17 Lastrabarrenas.	13
Figura 1.18 Barrenas.	13
Figura 1.19 Top drive.	13
Figura 1.20 Componentes del subsistema de circulación del lodo.	14
Figura 1.21 Elementos que participan con los tanques y bombas de lodo.	14
Figura 1.22 Elementos del equipo de circulación.	15
Figura 1.23 Componentes del subsistema de energía.	15
Figura 1.24 Generadores de energía.	15
Figura 1.25 Componentes del subsistema para control del pozo.	16
Figura 1.26 Componentes del preventor.	16
Figura 2.1 Pérdida de circulación. (Schlumberger, 2012)	20
Figura 2.2 Pegadura a causa de formaciones no consolidadas. (Schlumberger, 2012)	22
Figura 2.3 Pegadura a causa de formaciones fracturadas. (Schlumberger, 2012)	22
Figura 2.4 Pegadura a causa de formaciones reactivas. (Schlumberger, 2012)	23
Figura 2.5 Pegadura a causa de cemento blando. (Schlumberger, 2012)	23
Figura 2.6 Pegadura a causa de bloques de cemento. (Schlumberger, 2012)	23
Figura 2.7 Pegadura a causa de formaciones móviles. (Schlumberger, 2012)	24
Figura 2.8 Pegadura a causa de zonas represionadas. (Schlumberger, 2012)	24
Figura 2.9 Pegadura a causa de chatarra. (Schlumberger, 2012)	24
Figura 2.10 Pegadura por presión diferencial. (Schlumberger, 2012)	25
Figura 2.11 Pegadura por geometría del pozo. (Schlumberger, 2012)	25
Figura 2.12 Limpieza del pozo. (Schlumberger, 2012)	26
Figura 2.13 Ojo de llave / Key seat. (Schlumberger, 2012)	26
Figura 2.14 Sarta de pesca. (Schlumberger, 2012)	27

Figura 2.15 Reentrada.	28
Figura 3.1 Tiempos reales de perforación.	30
Figura 3.2 Ejemplificación gráfica del comportamiento de una perforación, días vs profundidad.	31
Figura 3.3 Proceso para el análisis post-mortem.	32
Figura 4.1 Estado mecánico POZO A.	41
Figura 4.2 Gráfica de avance de la perforación del pozo.	42
Figura 4.3 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.	43
Figura 4.4 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.	43
Figura 4.5 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.	44
Figura 4.6 Distribución de tiempos totales por código de actividad.	45
Figura 4.7 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.	46
Figura 4.8 Problemática presentada en la primera etapa.	46
Figura 4.9 Problemática presentada en la segunda etapa.	47
Figura 4.10 Problemática presentada en la tercera etapa.	47
Figura 4.11 Problemática presentada en la cuarta etapa.	48
Figura 4.12 Problemática presentada en la quinta etapa.	49
Figura 4.13 Estado mecánico POZO B.	52
Figura 4.14 Gráfica de avance de la perforación del pozo.	53
Figura 4.15 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.	54
Figura 4.16 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.	54
Figura 4.17 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.	55
Figura 4.18 Distribución de tiempos totales por código de actividad.	56
Figura 4.19 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.	57
Figura 4.20 Problemática presentada en la primera etapa.	58
Figura 4.21 Problemática presentada en la segunda etapa.	59
Figura 4.22 Problemática presentada en la tercera etapa.	60
Figura 4.23 Problemática presentada en la cuarta etapa.	61
Figura 4.24 Problemática presentada en la quinta etapa.	62
Figura 4.25 Estado mecánico POZO C.	65
Figura 4.26 Gráfica de avance de la perforación del pozo.	66
Figura 4.27 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.	67
Figura 4.28 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.	68
Figura 4.29 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.	69
Figura 4.30 Distribución de tiempos totales por código de actividad.	69
Figura 4.31 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.	70
Figura 4.32 Problemática presentada en la primera etapa.	70
Figura 4.33 Problemática presentada en la segunda etapa.	71
Figura 4.34 Problemática presentada en la tercera etapa.	72
Figura 4.35 Problemática presentada en la quinta etapa.	73
Figura 4.36 Estado mecánico POZO D.	75
Figura 4.37 Gráfica de avance de la perforación del pozo.	76
Figura 4.38 Distribución de tiempos totales por tipo de actividad.	77

Figura 4.39 Distribución de tiempos reales por tipo de operación.	78
Figura 4.40 Distribución de tiempos por etapa por tipo de actividad.	79
Figura 4.41 Distribución de tiempos totales por código de actividad.	79
Figura 4.42 Resumen de los tiempos no productivos durante la perforación.	80
Figura 4.43 Problemática presentada en la primera etapa.	81
Figura 4.44 Problemática presentada en la segunda etapa.	82
Figura 4.45 Problemática presentada en la tercera etapa.	83
Figura 4.46 Problemática presentada en la cuarta etapa.	84
Figura 4.47 Problemática presentada en la quinta etapa.	86
Figura 4.48 Problemática presentada en la sexta etapa.	87

LISTA DE TABLAS.

Tabla 2.1 Fallas en el equipo superficial.	29
Tabla 2.2 Fallas en el equipo de fondo.	29
Tabla 3.1 Código 1 (Tiempos normales).	32
Tabla 3.2 Código 2 (Tiempos normales).	32
Tabla 3.3 Código 3 (Tiempos normales).	33
Tabla 3.4 Código 4 (Tiempos normales).	34
Tabla 3.5 Código 5 (Tiempos normales).	34
Tabla 3.6 Código 6 (Tiempos normales).	34
Tabla 3.7 Código 7 (Tiempos normales).	35
Tabla 3.8 Código 8 (Tiempos normales).	35
Tabla 3.9 Código 9 (Tiempos no productivos).	35
Tabla 3.10 Código 10 (Tiempos normales).	36
Tabla 3.11 Código 11 (Tiempos normales).	36
Tabla 3.12 Código 12 (Tiempos normales).	36
Tabla 3.13 Código 13 (Tiempos normales).	36
Tabla 3.14 Código 14 (Tiempos normales).	37
Tabla 3.15 Código 15 (Tiempos no productivos).	37
Tabla 3.16 Código 16 (Tiempos normales).	38
Tabla 3.17 Código 17 (Tiempos normales).	38
Tabla 3.18 Código 18 (Tiempos no productivos).	38
Tabla 3.19 Código 19 (Tiempos normales).	38
Tabla 3.20 Código 20 (Tiempos normales).	38
Tabla 3.21 Código 21 (Tiempos no productivos).	39
Tabla 3.22 Código 22 (Tiempos no productivos).	39
Tabla 4.1 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.	40
Tabla 4.2 Comparativo de tiempos totales por concepto.	42
Tabla 4.3 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.	44
Tabla 4.4 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.	51
Tabla 4.5 Comparativo de tiempos totales por concepto.	53
Tabla 4.6 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.	55
Tabla 4.7 Geometrías programadas por etapa de perforación del pozo.	66
Tabla 4.8 Geometrías reales por etapa de perforación del pozo.	66
Tabla 4.9 Comparativo de tiempos totales por concepto.	67
Tabla 4.10 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.	68
Tabla 4.11 Geometrías programadas y reales por etapa de perforación del pozo.	76
Tabla 4.12 Comparativo de tiempos totales por concepto.	77
Tabla 4.13 Comparativo de tiempos por etapa del pozo.	78