

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Diseño de un pozo de 4 secciones para optimización de torques”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Petróleo

Presentado por:

Glenda Patricia Ramos León

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre: Nancy Barcenes, por ser una madre incondicional pese a las duras situaciones de la vida, además de apoyarme en todos mis procesos académicos, logros y metas.

A mi enamorado: Oscar Vite, por creer en que me convertiré en una gran profesional, por escuchar mis lamentos y sueños, por estar siempre conmigo.

A mi familia: por brindarme la calidez y el amor que un hogar puede brindar, espero llenarlos algún día de orgullo.

A mis amigas: Melina y Dennis, por inspirarme a seguir mis sueños y que a pesar de la distancia siempre conservamos nuestra amistad.

Por último y no menos importante, a mis profesores: por todo la paciencia y conocimiento brindado en esta etapa que ha marcado mi vida.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Glenda Patricia Ramos León y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, reading "Glenda Patricia Ramos León". The signature is written in a cursive, flowing style with large loops and flourishes.

Glenda Patricia Ramos León

EVALUADORES

.....
Msc. Fernando Sagnay

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Msc. Xavier Vargas

PROFESOR TUTOR

.....
Msc. Danilo Arcentales

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un pozo de petróleo en cuatro secciones que permita reducir el torque en la perforación direccional. La empresa a cargo de las actividades de perforación en el campo ESPOL01 cuenta con un taladro de workover de 1000hp, teniendo el problema de llegar al límite de torque para realizar de forma adecuada la perforación.

Se propone una planificación de un pozo de 4 secciones y se considera la recopilación de información pertinente, además, se realiza el mismo pozo, pero con 3 secciones. Primero, realizamos la recopilación de información para correlacionar los datos con otros pozos de interés. Segundo, diseñamos los pozos de 3 y 4 secciones con el mismo perfil. Después, comparamos el torque de la última sección el cual se requiere optimizar. Por último, identificamos los posibles problemas que se podrían presentar durante las operaciones de perforación.

Se obtuvieron las gráficas del torque para cada uno de los pozos en sus respectivas secciones donde se reduce en un 30% el torque. En los resultados económicos tenemos que la inversión del pozo de 3 secciones es de \$4'224.462 y el pozo de 4 secciones de \$4'347.445.

Se obtuvo los tiempos de perforación y disminución del diámetro de 8,5" a 6,125" de diámetro en más de 1000' de profundidad. Por lo tanto, El pozo de 4 secciones disminuye el torque por lo que es factible realizar la perforación con el taladro de workover propuesto.

Palabras Clave: diseño, torque, optimización, perforación, taladro.

ABSTRACT

A planning of a well with 4 sections is proposed and the collection of pertinent information is considered, in addition, the same well is carried out, but with 3 sections. First, we perform data collection to correlate the data with other wells of interest. Second, we designed the 3-section and 4-section wells with the same profile. Next, we compare the torque of the last section which needs to be optimized. Lastly, we identify potential problems that could arise during drilling operations.

Torque graphs were obtained for each of the wells in their respective sections where the torque is reduced by 30%. In the economic results we have that the investment of the 3-section well is \$4,224,462 and the 4-section well is \$4,347,445.

Drilling times and diameter reduction from 8.5" to 6.125" in diameter over 1000' depth were obtained. Therefore, the 4-section well decreases torque, making it feasible to drill with the proposed workover drill.

Keywords: *design, torque, optimization, drilling, rig.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1 Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Ubicación.....	3
1.4.2 Litología	4
1.4.3 Conceptos básicos	5
1.4.3.1 Fricción	5
1.4.3.1 Coeficiente de fricción	5
1.4.3.2 Torque.....	5
1.4.3.3 Arrastre	5
1.4.3.4 Litología	6

Es la ciencia que estudia las rocas, dentro de esta ciencia se realiza un análisis del origen, la edad, la composición, la estructura y su partición en el planeta. (Portillo, s.f.)	6
1.4.3.5 Presión de Fractura	6
1.4.3.6 Presión hidrostática	6
Es la presión que siente un cuerpo dentro de un fluido en virtud a la columna de líquido que se presenta por encima. (Valdivieso, 2022).....	7
1.4.4 Tipos de pozos direccionales.....	7
1.4.4.1 Tipo I	7
1.4.4.2 Tipo II	7
1.4.4.3 Tipo III	7
1.4.4.4 Tipo horizontal.....	7
1.4.5 Diseño de pozo.....	8
1.4.5.1 Objetivo de la perforación.....	8
1.4.5.2 Columna geológica esperada.....	8
1.4.5.3 Programa de toma de información	8
1.4.5.4 Recopilación y análisis de la información de pozos	9
1.4.5.5 Determinación de los gradientes de presión.....	9
1.4.5.6 Selección de las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento	9
1.4.5.7 Selección de la geometría del pozo.....	9
1.4.5.8 Selección y programa de los fluidos de perforación.....	10
1.4.5.9 Diseño de la tubería de revestimiento	10
1.4.5.10 Diseño de cementación	11
1.4.5.11 Diseño de sarta de perforación	11
1.4.5.12 Programa de barrenas.....	12
1.4.5.13 Programa de hidráulica.....	12
1.4.5.14 Caso de estudio.....	12

CAPÍTULO 2	14
2 Metodología.....	14
2.1 Recopilación de información	14
2.2 Diseño de pozo de 3 y 4 secciones	15
2.2.1 Objetivo geológico	15
2.2.2 Prognosis litológica a perforar	16
2.2.3 Gradientes de presión	16
2.2.3.1 Presión hidrostática	16
2.2.3.2 Presión de sobrecarga	17
2.2.3.3 Presión de formación	17
2.2.3.4 Presión de fractura	17
2.2.4 Perfil del pozo	18
2.2.4.1 Perfil de pozo de 4 secciones	18
2.2.4.2 Perfil de pozo de 3 secciones	19
2.2.5 Diseño de los revestidores y profundidades de asentamiento.....	20
2.2.6 Selección y programa de los fluidos de perforación	21
2.2.7 Diseño de cementación	22
2.2.8 Diseño de sarta de perforación	22
2.2.9 Programa de barrenas	23
2.3 Comparación de parámetros a optimizar	23
2.3.1 Torque y arrastre	23
2.3.1.1 Modelo simplificado de Johancsik (1983).....	23
2.3.2 Hidráulica.....	25
2.3.2.1 Modelo plástico de Bingham	25
2.3.2.2 Modelo de la Ley exponencial.....	25
2.3.2.3 Modelo de Herschel-Bulkley	26
2.3.2.4 Parámetros del comportamiento de la hidráulica de perforación	26

2.4	Posibles problemas al realizar la perforación	27
2.4.1	Perdida de circulación.....	27
2.4.2	Pega de tubería	28
2.4.2.1.1	Pega diferencial	28
2.4.2.1.2	Pega Mecánica.....	29
2.4.3	Empaquetamiento y puentes	29
CAPÍTULO 3		29
3	Resultados Y ANÁLISIS	29
3.1	Resultados del diseño de los pozos	29
3.1.1	Resultado del pozo de 4 secciones.....	31
3.1.2	Resultado del pozo de 3 secciones.....	37
3.1.3	Comparación de resultados de torque en última sección.....	35
3.2	. Resultado económico de la perforación de los pozos.....	45
CAPÍTULO 4		49
4	Conclusiones Y Recomendaciones	49
	Conclusiones	49
	Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA		51

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
TVD	Profundidad Vertical Verdadera
BBL	Barriles
TD	Profundidad total
ROP	Tasa de penetración
MD	Measured Depth
DP	Drill pipe
OD	Diameter External
BHA	Bottom Hole Assemble
BOP	Blow Out Preventor
HSE	Health Security Environment
TR	Tubería de revestimiento
FP	Fluidos de perforación
PD	Perforación direccional
CL	Control litológico
RC	Rol de compañía
NA	No disponible

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
m	Metro
in	Pulgadas
ft	Pies
°	Grados
K	Kilogramo
cm ²	Centímetros cuadrados
lbf	Libras fuerzas
revs	Revoluciones
klp	Kilopascal
Fn	Fuerza normal
N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Oeste
HP	horsepower
Kip	Kilogramo por libra

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Bloque 59 (Gli, 2013).....	3
Figura 1.2 Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador (Baby, P et al. 2004).....	4
Figura 1.3. Fuerza de Fricción f Además de la fuerza normal (Zemansky de Young & Freedman 2013).....	5
Figura 1.4. Fuerzas sobre la tubería en un pozo desviado (Mims, 2003)	6
Figura 1.5. Esquemático básico de los 4 tipos de perforación direccional (Madrid M. , 2016).....	8
Figura 1.6 Diseño Mecánico (Ayala, 2017).....	11
Figura 1.7. Barrena (Rodriguez, 2014).	12
Figura 1.8. Perfil del pozo bloque 14 (Yanez, 2013).....	13
Figura 2.1. Metodología a emplear	14
Figura 2.2. Pozos en campo ESPOL 01 y opciones a perforar (INTREPID).	15
Figura 2.3. Perfil del pozo de 4 secciones (INTREPID)	19
Figura 2.4 .Perfil del pozo de 3 secciones (INTREPID)	19
Figura 2.5. Consideraciones especiales para diseño de tuberías de revestimiento. (Oil production)	21
Figura 2.6. Fuerzas en una tubería de perforación. (Economides et al., 1998).....	24
Figura 2.7. Análisis hidráulico (Drilling, s.f.).....	27
Figura 3.1 4 Survey planificado del pozo de 4 secciones	31
Figura 3.2. Grafica de Torque	35
<i>Figura 3.3. Gancho de carga</i>	35
Figura 3.4. Torque Point.....	35
Figura 3.5. Grafica de Torque	35
Figura 3.6. Gancho de carga	35
Figura 3.7. Torque Point.....	35
Figura 3.8. Gráfica de torque.....	36
<i>Figura 3.9. Gancho de carga</i>	36
Figura 3.10. Torque Point.....	36
Figura 3.11. Gráfica de Torque	37
<i>Figura 3.12. Gancho de carga</i>	37

Figura 3.13. Torque Point.....	37
Figura 3.14. 3 Survey planificado del pozo de 3 secciones	37
Figura 3.15. Gráfica de Torque	35
<i>Figura 3.16. Gancho de carga</i>	35
Figura 3.17. Torque Point.....	35
Figura 3.18. Gráfica de Torque	35
Figura 3.19. Gancho de carga.....	35
Figura 3.20. Torque Point.....	35
Figura 3.21. Gráfica de Torque	35
<i>Figura 3.22. Gancho de carga</i>	35
Figura 3.23. Torque Point.....	35
Figura 3.24 Torque en la profundidad de 8071 ft a 9400ft.	45
Figura 3.25 Costos de los pozos	46
Figura 3.26. Porcentajes de costos estimados para la perforación del pozo ESPOL 01	47
Figura 3.27 Alquiler de taladro	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Diámetros de la tubería de revestimiento (producción).....	9
Tabla 1.2 Reporte diario de perforación.	13
Tabla 2.1. Datos objetivos del pozo a perforar.	16
Tabla 2.2. Datos de tubería en pozo de 4 secciones.	20
Tabla 2.3. Datos de tubería en pozo de 3 secciones.	20
Tabla 3.1.Litología a perforar	30
Tabla 3.2. Objetivos de diseño	30
Tabla 3.3. Anotaciones de planos	31
Tabla 3.4. Tipo de Fluido.....	33
Tabla 3.5. Sección del agujero	33
Tabla 3.6. Parámetros operativos de análisis normal	34
Tabla 3.7. Factor de fricción	34
Tabla 3.8. Resumen de carga 16”	34
Tabla 3.9. Resumen de carga 12,25”	35
Tabla 3.10. Resumen de carga 8,5”	35
Tabla 3.11. Resumen de carga 6,125”	36
Tabla 3.12. Tipo de fluido	40
Tabla 3.13. Sección del agujero	40
Tabla 3.14. Parámetros operativos de análisis normal	40
Tabla 3.15. Factor de fricción	41
Tabla 3.16. Resumen de carga 16”	41
Tabla 3.17. Resumen de carga 12,25”	35
Tabla 3.18. Resumen de carga 8,5”	35
Tabla 3.19 Costos del alquiler por el tiempo de perforación	48

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

El empleo de diferentes técnicas y herramientas permite comunicar al petróleo y/o gas con el suelo de la superficie para la posterior producción, transformación y comercialización del hidrocarburo. Cada fase en la perforación, desde la movilización de un taladro de perforación hasta el reacondicionamiento de pozo debe ser diseñado según los objetivos planteados en el tiempo estimado para cada operación. El ingeniero encargado del proyecto de diseño de perforación debe optimizar los costos y el tiempo empleado, garantizando la seguridad durante el proceso de construcción del pozo.

Uno de los objetivos planteados en un diseño de perforación es la reducción del tiempo de operación. Entre mayor sea el tiempo que dure la perforación del pozo mayor será el gasto por el alquiler del taladro.

El pozo vertical no presenta fuerzas de tensión y compresión por su diseño, pero un pozo direccional presenta diferentes fuerzas por lo cual es indispensable el cálculo del torque y arrastre (Geraf, Manuel J., Vicente L., & Chacón, 2012). Por lo que, disminuir el arrastre y torque nos permite optimizar el tiempo en que se realiza la actividad de perforación. Mantener una mayor área de contacto entre la tubería de revestimiento o formación y la sarta de perforación aumenta el torque por fricción y el arrastre, por eso, es fundamental implementar un diseño de perforación que permita la optimización del tiempo y disminuir los problemas en la perforación.

1.1 Descripción del problema

Una de las actividades más importantes en el sector del hidrocarburo es la perforación de un pozo, siendo esencial un plan donde se diseñe de forma rigurosa y segura la trayectoria de un pozo con una vida útil extendida. El diseño de la perforación es un proceso importante en la fase de extracción del hidrocarburo por lo que comprende de procesos sistematizados y organizados. Aplicar técnicas y metodologías óptimas es importante para alcanzar un desempeño factible y a su vez, la disminución de los riesgos (personal, económicos, ecológicos, instalaciones). Debido al alto costo que traen los

problemas durante la perforación se analiza los procesos que se llevan a cabo durante la perforación.

Se puede realizar la perforación con un taladro de workover pero estos tendrán una potencia menor a la de un taladro de perforación. No siempre contamos con taladros de alta potencia para la perforación de los pozos, por lo que es importante la optimización del torque según el taladro que se disponga y el desplazamiento que tenga el perfil del pozo. En nuestro caso se contaba con un taladro de workover de 1000 hp, teniendo el problema de no alcanzar la cantidad de torque necesario para realizar de forma adecuada la perforación.

1.2 Justificación del problema

Un mayor diámetro de perforación ocasiona que se genere mayor resistencia entre las paredes del pozo y la barrena. Debemos considerar que el número y diámetro de las etapas depende de cada pozo según sus características que presente. El aumento de las secciones que tiene un pozo nos permite obtener menor arrastre en la perforación y, por lo tanto, menor tiempo empleado en cada una de las etapas a perforar. Por todo esto, empleamos un diseño de un pozo de 4 secciones, disminuyendo el área de contacto y facilitando la perforación en todo el proceso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un pozo de petróleo en cuatro secciones que permita la reducción del torque en la perforación direccional y en consecuencia la mejora del diseño, manejo del equipo de fondo y los tiempos de operación.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Construir el diseño de un pozo de 3 y 4 secciones con el mismo perfil, pero diferente número de secciones.
2. Comparar los resultados del torque y tiempo de perforación entre la planificación de un pozo direccional en 3 secciones versus la planificación del mismo pozo en 4 secciones.

3. Investigar los diferentes fenómenos físicos que se presentan en el problema a evaluar.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Ubicación

El campo en estudio está ubicado en la región amazónica ecuatoriana en la parte de Cuyabeno. Se encuentra a 45 kilómetros (kms) al suroeste del campo Tipishca-Huaico en el cantón Putumayo de la provincia de Sucumbíos como lo observamos en la figura 1.1. Por motivos de privacidad de la empresa a cargo del proyecto, llamaremos al campo como campo ESPOL 01.

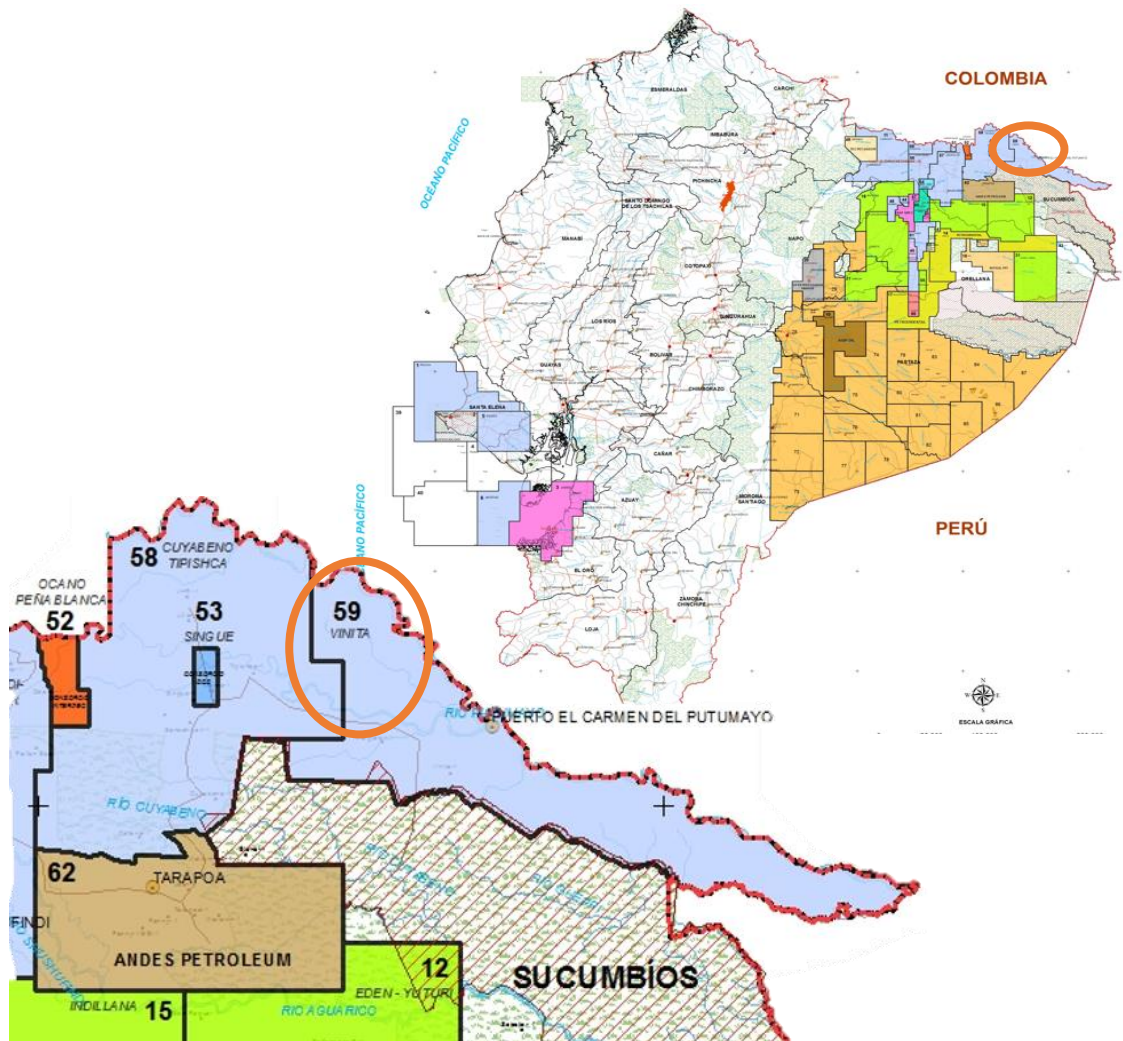


Figura 1.1 Bloque 59 (Gli, 2013).

1.4.2 Litología

El campo Vinita muestra que su formación productora es la arenisca M1. En la figura 1.2 observamos la estratigrafía de la parte este de la cuenca oriente.

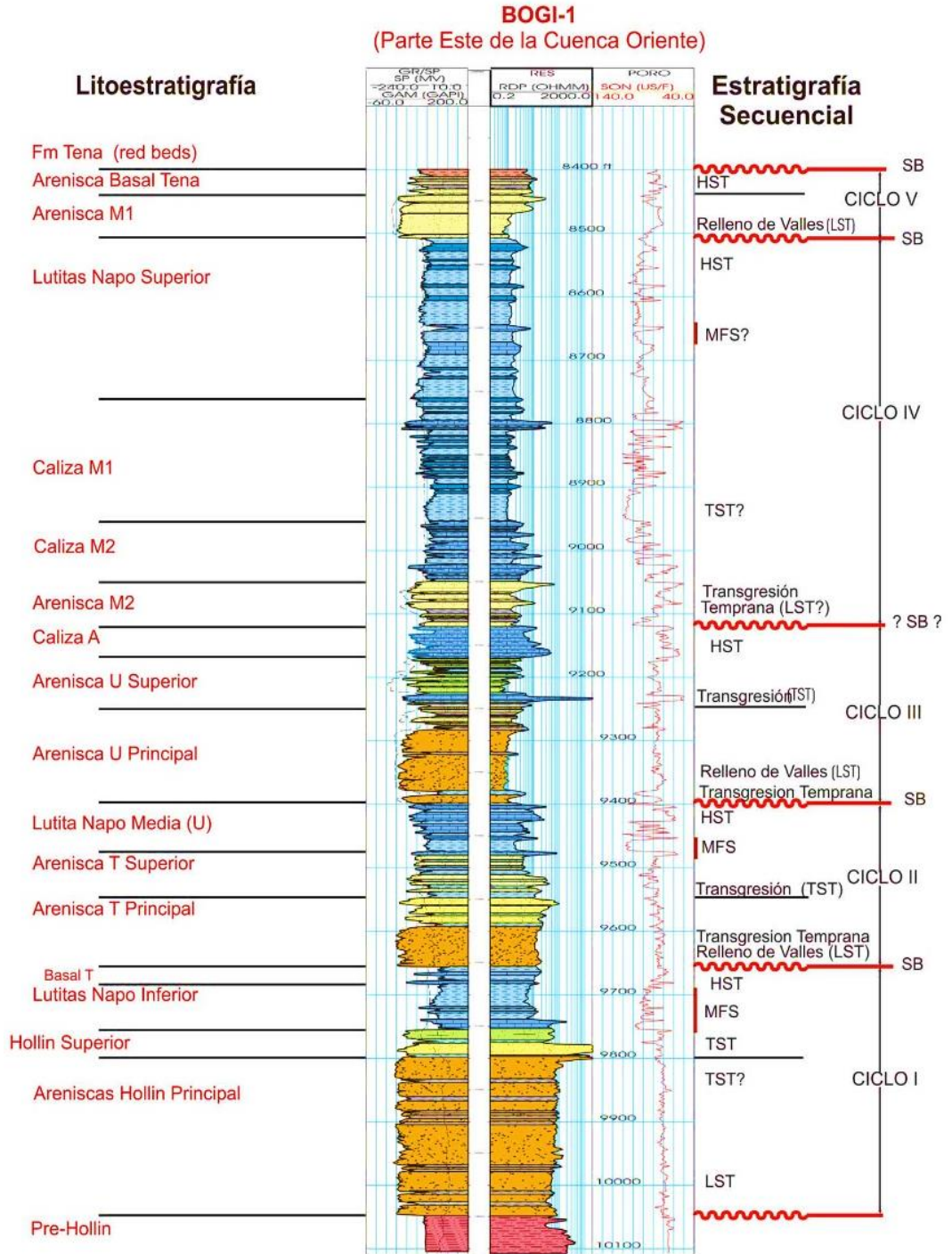


Figura 1.2 Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador (Baby, P et al. 2004).

1.4.3 Conceptos básicos

1.4.3.1 Fricción

La fuerza de fricción actúa de forma paralela a la superficie sobre el objeto al que es aplicada, esta dirección es opuesta al deslizamiento. (Young & Freedman, 2013, pág. 105)

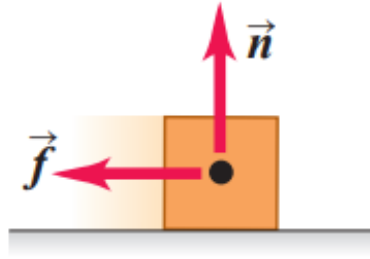


Figura 1.3. Fuerza de Fricción f Además de la fuerza normal (Zemansky de Young & Freedman 2013)

1.4.3.1 Coeficiente de fricción

Es la relación que se presenta entre la fuerza de detención y la fuerza de deslizamiento, ambas actúan en las superficies. La relación depende de los dos materiales que se emplearan.

1.4.3.2 Torque

Es la fuerza que se utiliza para poder rotar un objeto. Dentro del hoyo se presentan distintos tipos de torque: torque mecánico, torque en la mecha y torque friccional. (Geraf, Manuel J., Vicente L., & Chacón, 2012)

1.4.3.3 Arrastre

Es una fuerza axial producida de manera semejante al torque, con la diferencia de que ocupa el sitio del torque en el momento en que la sarta se interrumpe y la tubería comienza su movimiento solo en dirección axial. Existe una componente friccional y una componente mecánica. El arrastre va a trabajar en dirección contraria a la dirección en la que la tubería se traslade. (Geraf, Manuel J., Vicente L., & Chacón, 2012)

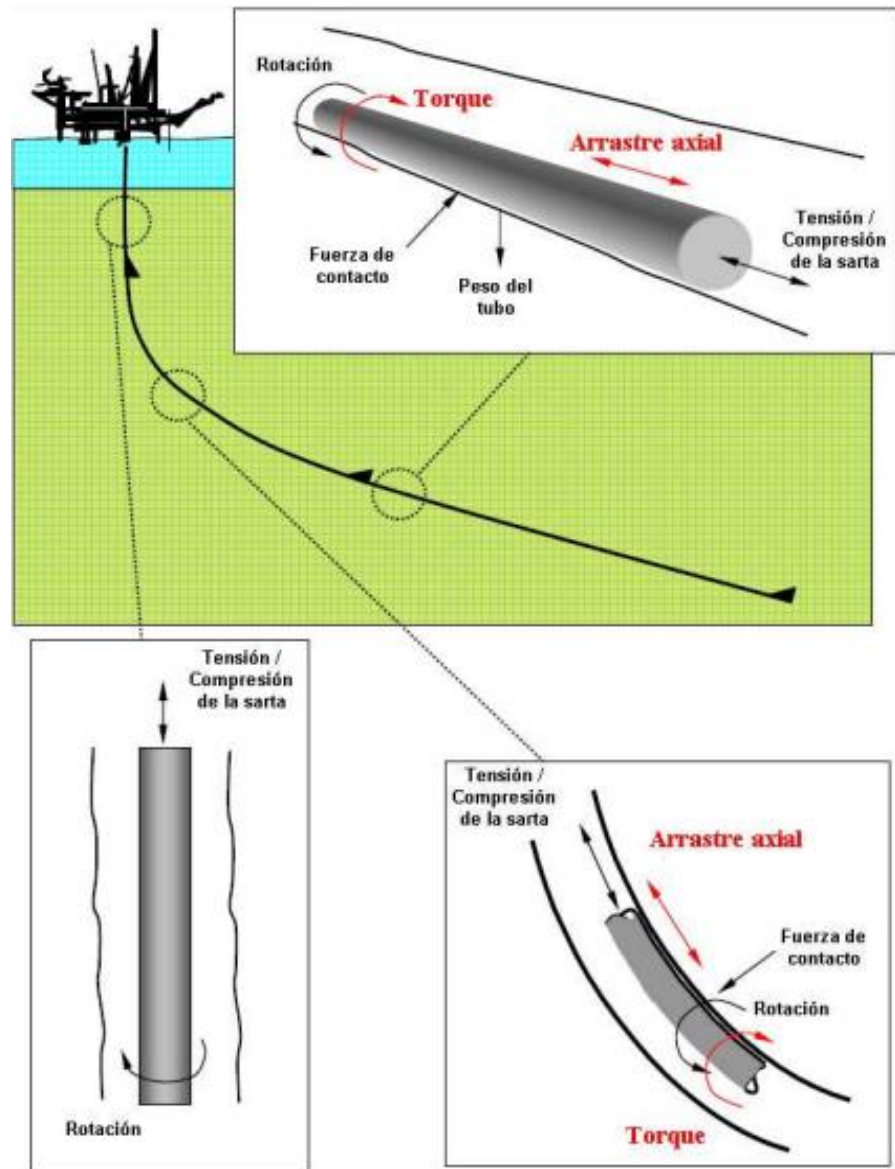


Figura 1.4. Fuerzas sobre la tubería en un pozo desviado (Mims, 2003)

1.4.3.4 Litología

Es la ciencia que estudia las rocas, dentro de esta ciencia se realiza un análisis del origen, la edad, la composición, la estructura y su partición en el planeta. (Portillo, s.f.)

1.4.3.5 Presión de Fractura

Es la presión que se instaura antes obtener los valores de tratamiento del yacimiento. (Schlumberger, 2022)

1.4.3.6 Presión hidrostática

Es la presión que siente un cuerpo dentro de un fluido en virtud a la columna de líquido que se presenta por encima. (Valdivieso, 2022)

1.4.4 Tipos de pozos direccionales

Se define como perforación direccional a la desviación del recorrido a horadar para realizar con objetivos otorgados por las empresas.

1.4.4.1 Tipo I

El pozo se plantea de manera que la desviación inicial se produzca a poca profundidad. Para alcanzar el propósito, es fundamental mantener el ángulo constante. (Madrid M. , 2016)

1.4.4.2 Tipo II

El pozo que se emplea tiene una configuración en forma de una "S". La desviación se ejecuta a un paso de la superficie, después se conserva la inclinación hasta el alcance deseado, finalmente, se retorna el hoyo al agujero vertical.

1.4.4.3 Tipo III

La desviación empieza bajo la superficie, manteniendo el ángulo promedio de inclinación constante hasta alcanzar el propósito.

1.4.4.4 Tipo horizontal

Es utilizado con el propósito de desplegar el área de contacto de producción con respecto a la tubería, con el objetivo de conseguir mayor cantidad de hidrocarburo. Se puede apreciar una representación de los 4 tipos de perforaciones direccionales que se mencionaron con anterioridad.

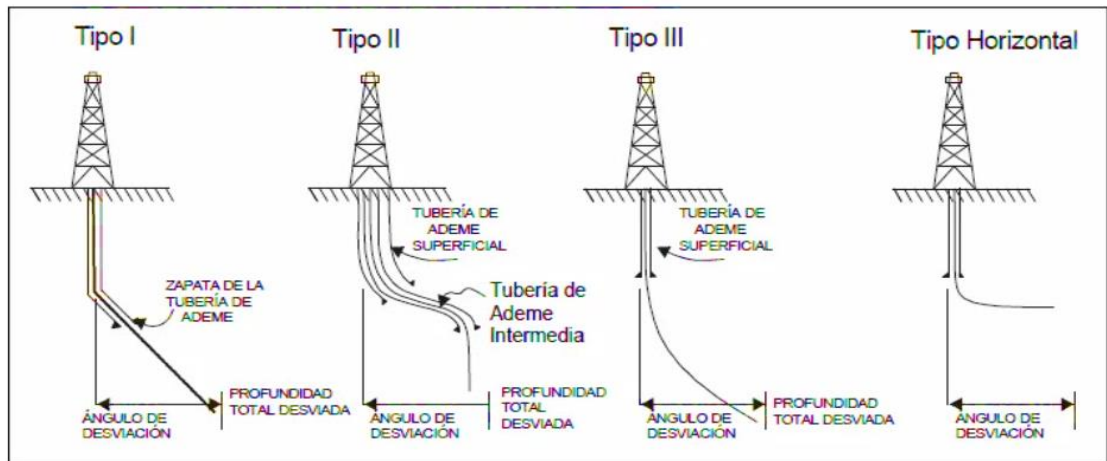


Figura 1.5. Esquemático básico de los 4 tipos de perforación direccional
(Madrid M. , 2016)

1.4.5 Diseño de pozo

El diseño nos permite tener una guía para los procesos que se llevan a cabo durante la perforación cumpliendo una serie de objetivos que permitan tener rentabilidad y seguridad durante el proyecto.

1.4.5.1 Objetivo de la perforación

Es lo más importante a considerar en un proyecto, el objetivo representa el punto donde se encuentra el yacimiento de petróleo. Para planear la trayectoria se requieren de las coordenadas en la cual inicia la perforación y el punto objetivo. Uno de los primeros pasos es la recolección de información, se recolecta información de pozos vecinos para obtener columnas estratigráficas, anomalías mapas geológicos, etc.

1.4.5.2 Columna geológica esperada

Comprende de una secuencia de rocas sedimentarias. Se realiza una correlación con los datos de las columnas de los pozos vecinos para la estimación de la intervención del pozo a perforar. Las sobrepresiones pueden traer problemas en la operación de perforación.

1.4.5.3 Programa de toma de información

Se incluye un programa donde se definen los intervalos para la toma de información como los registros, toma de núcleos, prueba de producción. Los registros pueden ser tomados por intervalos o por

toda la longitud del pozo, nos permite tener un detalle paso a paso de información del pozo.

1.4.5.4 Recopilación y análisis de la información de pozos

La información de pozos vecinos es analizada para determinar características técnicas y problemas que se puedan presentar. La veracidad y variabilidad de la información obtenida dependerá el éxito del proyecto. Para los pozos exploratorios se requiere realizar estudios geofísicos y geológicos.

1.4.5.5 Determinación de los gradientes de presión

Las presiones del pozo deben ser diseñadas para mantener la seguridad del agujero. El conocimiento del gradiente de formación y fractura serán fundamentales para el diseño del lodo de perforación y profundidad de asentamiento del casing. El perfil de presiones nos permite visualizar la presión de formación, el gradiente de fractura y el peso del lodo a lo largo del pozo.

1.4.5.6 Selección de las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento

El diseño de la presión hidrostática del pozo nos brindará seguridad durante la perforación del pozo. Se comienza el diseño desde el fondo del pozo, estableciendo una presión hidrostática menor al gradiente de fractura, se traza una línea vertical hasta acercarse al gradiente de fractura y luego se establece esta como la profundidad mínima para asentar la tubería de revestimiento.

1.4.5.7 Selección de la geometría del pozo

Se diseña el tamaño de la tubería de revestimiento de explotación dependiendo de las características del fluido a extraer y de las presiones o solicitud del cliente. En la siguiente tabla, se muestra un ejemplo de diámetros.

Tabla 1.1 Diámetros de la tubería de revestimiento (producción)

Diámetro de tubería de revestimiento (in)	Diámetro del cople (in)	Diámetro de barrena a emplear (in)
4 ½	5	6, 6 1/8, 6 ¼
5	5.563	6 ½, 6 ¾
5 ½	6.050	7 7/8, 8 3/8
6	6.625	7 7/8, 8 3/8, 8 ½
6 5/8	7.390	8 ½, 8 5/8, 8 ¾
7	7.656	8 5/8, 8 ¾, 9 ½
7 5/8	8.500	9 7/8, 10 5/8, 11
8 5/8	9.625	11, 12 ¼
9 5/8	10.625	12 ¼, 14 ¾
10 ¾	11.750	15
13 3/8	14.375	17 ½
16	17.0	20
20	20.0	24,26

1.4.5.8 Selección y programa de los fluidos de perforación

El fluido de perforación es clave para la disminución de problemas al momento de perforar. La elaboración de este fluido debe ser diseñado según las características del campo a perforar.

La inestabilidad del agujero es un problema que debe corregirse con el diseño del lodo. Los problemas que nos trae la inestabilidad son; aumento de torque y arrastre, derrumbes, descalibre y dificultad para hacer conexión.

Un programa de fluido de perforación debe contener:

- Rangos de densidad por cada sección del agujero.
- Aditivos dependiendo la sección a perforar
- Control de problemas

1.4.5.9 Diseño de la tubería de revestimiento

Nos permiten evitar una serie de problemas que se generan al momento de perforar. Las más generales son las TR conductora, superficial, intermedia y de explotación. En la sección de grados y

peso que debe tener la tubería se considera una serie de parámetros que dependen de la formación, densidad del lodo y profundidad. Además, existe una serie de factores a considerar como los esfuerzos, temperaturas, fractura, etc.

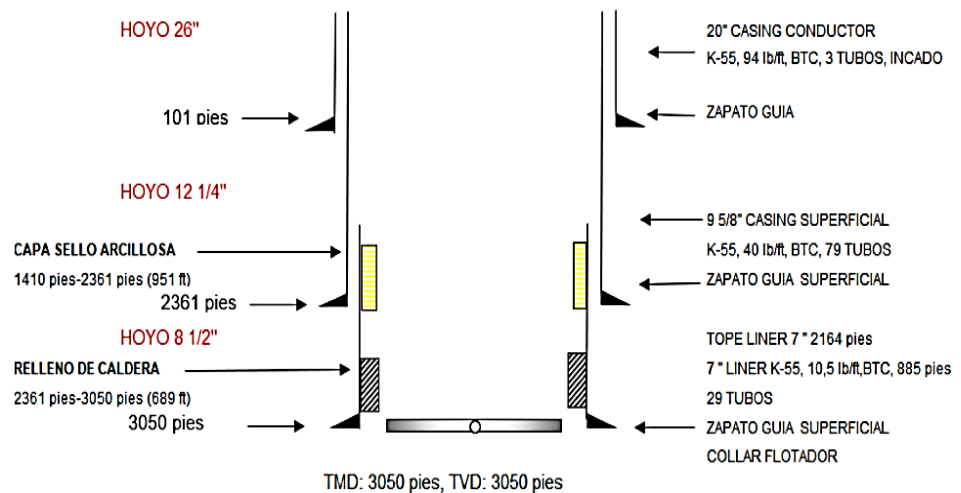


Figura 1.6 Diseño Mecánico (Ayala, 2017)

1.4.5.10 Diseño de cementación

Para la perforación de un pozo se realiza la operación de cementación primaria. La lechada obtenida del cemento, aditivos y agua se coloca entre el espacio anular de la formación y casing. El objetivo es diseñar la cantidad de material a usar y la característica que requiera cumplir según las especificaciones que presente el pozo.

1.4.5.11 Diseño de sarta de perforación

La importancia de esta etapa es dar a conocer las diferentes sartas de perforación que se usarán para perforar el pozo. Las herramientas fundamentales son las lastrabarrenas, estabilizadores, martillo, junta de seguridad, tubería de pasada, tubería de perforación, doble caja liso, doble caja estabilizador, válvula de contrapresión, válvula de seguridad. El ingeniero de perforación deberá recabar información como: profundidad, densidad, diámetro de barrena, calcular el peso flotado de cada sección, etc.

1.4.5.12 Programa de barrenas

Se elige la barrena a usar según la formación a perforar y la reducción de costos de perforación. Para la planeación primero se evalúa y elige de la barrena según la geometría, objetivos y riesgos. Segundo, realizar un promedio con las barrenas usadas en los pozos vecinos y, por último, el pozo a perforar debe rebasar la operación promedio del área al afinar los programas de barrenas con programas operacionales.



Figura 1.7. Barrena (Rodriguez, 2014).

1.4.5.13 Programa de hidráulica

Se requiere el incremento de la velocidad de penetración manteniendo el fondo del agujero limpio. Además, disminuir la inestabilidad del agujero provocada por la barrena. La velocidad de penetración y diámetros de la barrena deben ser diseñados manteniendo a la formación estable y conservando la vida útil de la barrena. Seleccionar la presión de trabajo o de bombeo de acuerdo a las limitaciones en la superficie y criterio hidráulico que se desee aplicar.

1.4.5.14 Caso de estudio

Caso1

En el bloque 16 ubicado en el oriente ecuatoriano se realizó un caso similar al proyecto realizado, donde se planifica la perforación de un pozo de 4 secciones. La compañía a cargo de las actividades buscaba la reducción del tiempo de perforación y costos en el proyecto. Para esto, se planteó el uso de un sistema de rotación

continua el cual tenía un costo elevado, pero con menor riesgo operativo durante la perforación. A continuación, se muestra el perfil del pozo en cuestión. (Yanez, 2013)

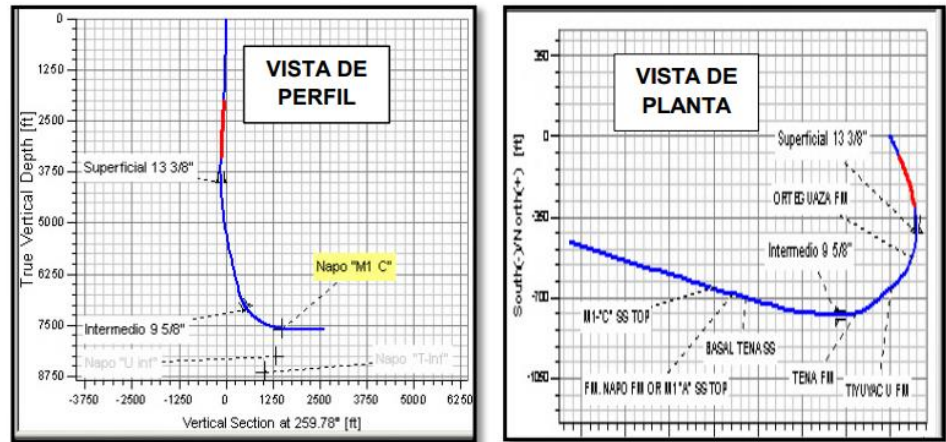


Figura 1.8. Perfil del pozo bloque 14 (Yanez, 2013)

Caso 2

En el campo drago norte se perfora un pozo el cual llaman con el nombre de “pozo C” en el texto guía del párrafo de referencia. El pozo inició su perforación en el 2013 con una profundidad de 10800ft en MD. El pozo fue perforado en 4 secciones, las cuales son: 26”, 16”, 12 ¼” y 8 ½ “ en hoyo abierto. En el “campo C” se realiza una evaluación de los costos del pozo y sus posibles problemas. A continuación, se presenta la tabla con los datos generales del pozo. (Santos, 2015)

Tabla 1.2 Reporte diario de perforación.

Tiempo estimado	26 días
Tiempo real	33,29 días
Inicio de perforación	16 de febrero 2013
Fin de perforación	21 de febrero 2013
Profundidad estimada	10959ft MD
Profundidad real	10800ft MD
Tipo de perfil	TIPO J
Reservorio real	Tipo U, Tilluyaco, Hollín

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

Para la solución de la problemática antes mencionada diseñamos la perforación de un pozo en el campo ESPOL 01 con el fin de obtener un torque óptimo para la operación, por esto, se propone una planificación de un pozo de 4 secciones y se considera la recopilación de información pertinente, además, se realiza el mismo pozo, pero con 3 secciones para comparar los torques y otras variables. A continuación, se presenta un esquema de la metodología a emplear:

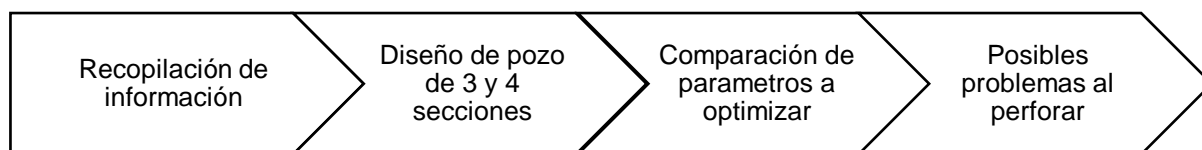


Figura 2.1. Metodología a emplear

2.1 Recopilación de información

Este estudio se enfoca en la perforación de un pozo en el campo ESPOL 01, por lo cual, se solicitó la información pertinente a la empresa a cargo de actividades de operación de perforación. Para la selección de la ubicación del pozo se ha planteado cinco opciones como se presenta en la figura 2.1 con puntos de color rojo. El pozo a diseñar fue el pozo se realizaron 5 opciones para elección de la mejor.

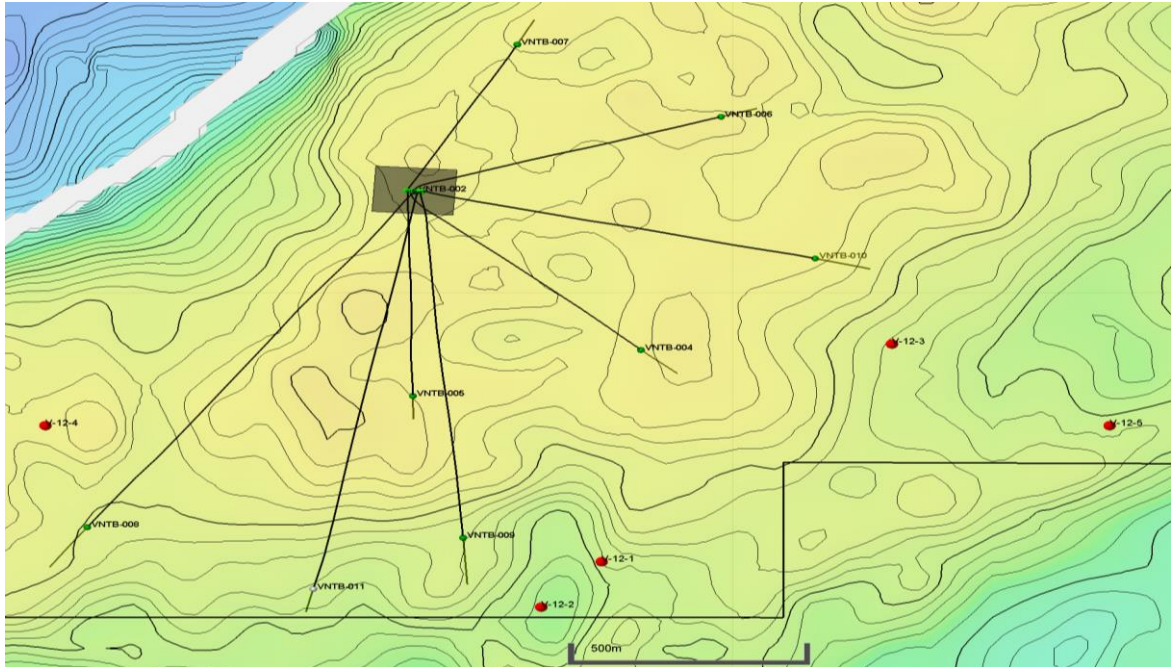


Figura 2.2. Pozos en campo ESPOL 01 y opciones a perforar (INTREPID).

La toma de información de un pozo se puede realizar de diferentes formas, cada una de ellas dan un resultado a una propiedad específica que se desee analizar, tenemos tres clases de pruebas:

- Registros
- Toma de Núcleos
- Pruebas de producción

Al tener un grupo de pozos en el campo ESPOL 01, se correlacionó la información obtenida de los pozos vecinos para identificar el tipo de geología del pozo a perforar y las posibles anomalías geológicas que se puedan presentar.

2.2 Diseño de pozo de 3 y 4 secciones

Establecemos los pasos a realizar en el diseño de pozo con el fin de garantizar los costos y seguridad del proyecto. Cada una de las secciones a evaluar fueron diseñadas con criterios técnicos que permiten mantener una operación estable en todo momento.

2.2.1 Objetivo geológico

Después de analizar la litología del campo se definió las coordenadas iniciales y objetivos. El cuál es el punto más importante de nuestra operación ya que si las coordenadas no fueran correctas no tendríamos

hidrocarburo. Las coordenadas de nuestro proyecto se presentan en la tabla 2.1. (Diseño de perforación)

Tabla 2.1. Datos objetivos del pozo a perforar.

Nombre	M1 INF SS
TVD	5593.940
Norte	10002954.00
Este	396285.00
Latitud	0° 1' 46.967 N
Longitud	75° 56' 49.690 W
+N/-S	-2288.484
+E/-W	4784.810

2.2.2 Prognosis litológica a perforar

Se estableció según las correlaciones con los pozos vecinos la litológica a perforar versus la profundidad. Determinar la litología del trayecto del pozo nos permite encontrar nuestra sección productora, además, analizar formaciones que podrían traer un peligro en la operación de perforación.

2.2.3 Gradientes de presión

Determinar los gradientes de presión de formación y fractura es importante para la etapa del diseño, debemos establecer la densidad del lodo, determinar la profundidad del asentamiento de las tuberías de revestimiento y la geometría del hoyo. Para todo lo mencionado se hace uso de ecuaciones fundamentales como:

2.2.3.1 Presión hidrostática

La presión hidrostática es representada por la columna de fluido en un área determinada. Se la expresa en la ecuación 2.1. (Diseño de perforación)

$$Ph = \frac{P_D}{10} [Kg/cm^2] \quad (2.1)$$

2.2.3.2 Presión de sobrecarga

Esta es la presión del peso de la matriz rocosa más el peso del fluido intersticial, el cual es el peso de la matriz de roca y fluido contenido en los poros de la roca. La ecuación 2.2 se expresa a continuación.

S=peso matriz rocosa + peso fluido intersticial

$$S = (1 - \phi)\rho_R gD + \phi\rho_f gD \quad (2.2)$$

$$GSC = (1 - \phi)\rho_R + \phi\rho_f \quad (2.3)$$

GSC= Gradiente de sobrecarga (gr/cm3).

ϕ = Porosidad promedio de las formaciones encima de la profundidad del punto de interés (%).

ρ_R = Densidad promedio de las rocas encima del punto de interés (gr/cm3).

2.2.3.3 Presión de formación

También es conocida como presión de poro, es aquella donde los fluidos de la formación se encuentran confinados. Cuando tenemos presiones anormales en la formación usamos la ecuación 2.4. Además de esta presión podemos tener presiones subnormales y presiones normales en la formación. (Diseño de perforación)

$$P_a = 0.1 g_n Prof + \Delta P \quad (2.4)$$

$$P_a = g_a Prof \quad (2.5)$$

g_a = Gradiente de presión anormal (kg/cm2/cm).

P_a = Presión anormal de formación (Kg/cm2).

ΔP = Incremento de presión (Kg/cm2).

2.2.3.4 Presión de fractura

Es la fuerza que se necesita para vencer la presión de la roca y la formación.

2.2.4 Perfil del pozo

2.2.4.1 Perfil de pozo de 4 secciones

El pozo comienza con una sección vertical de kick off point (KOP) a 400 de profundidad medida (MD), luego continúa con una caída de ángulo mínima de Inc. 5 & Az195 @ 700' MD, Llegamos a KOP2 @ 800' MD, seguimos hasta un EOB @ 4419' MD con una inclinación de Inc. 62.15 & Az113.46. Por último, perforamos hasta TD @ 9492' MD con una inclinación de Inc. 47.94 & Az113.46 llegando al objetivo.

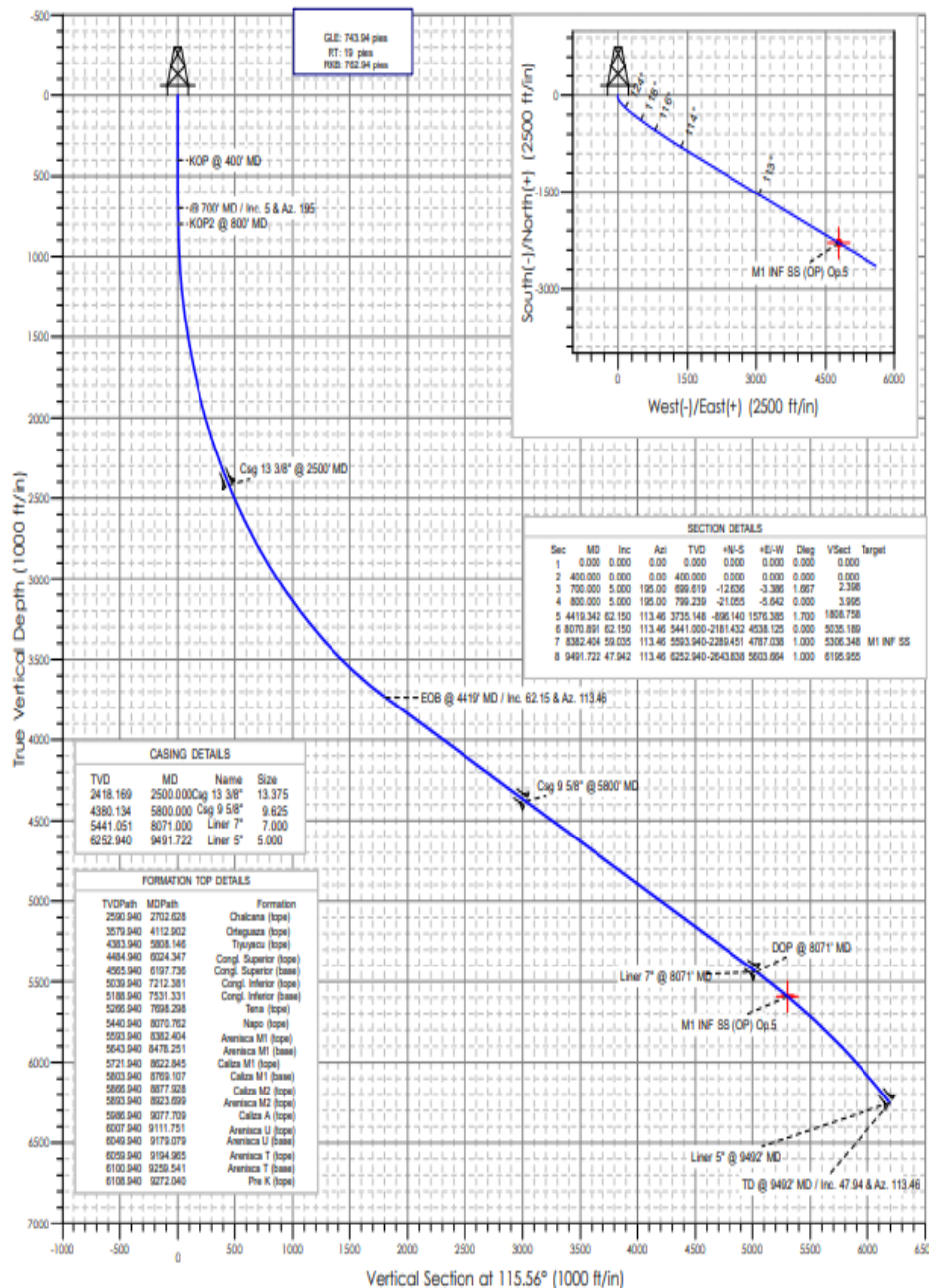


Figura 2.3. Perfil del pozo de 4 secciones (INTREPID)

2.2.4.2 Perfil de pozo de 3 secciones

A continuación, observamos el mismo perfil, pero con solo 3 secciones de tubería.

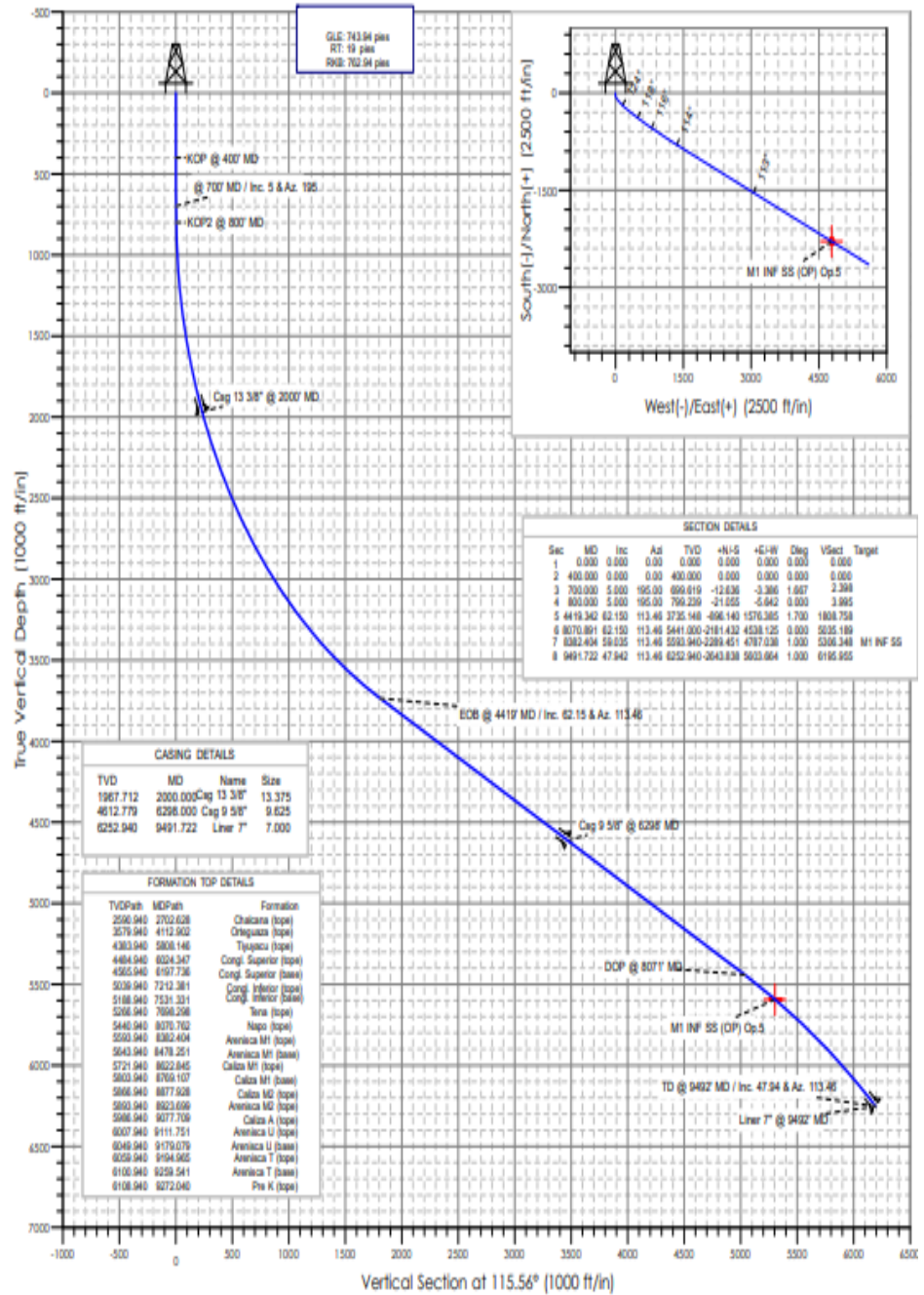


Figura 2.4 .Perfil del pozo de 3 secciones (INTREPID)

2.2.5 Diseño de los revestidores y profundidades de asentamiento

Para el diseño del lodo de perforación fijamos el margen de densidad en 0.04 gr/cm³ de peso de lodo según el texto de diseño de perforación, ya que el lodo se escapa a la formación. Con ayuda de la gráfica de presión vs profundidad iniciamos desde la mayor profundidad, con una línea vertical desde la densidad hasta el gradiente de fractura tomando los márgenes, teniendo como resultado la profundidad mínima de asentamiento. Luego, definimos los diámetros de las tuberías comenzando desde la tubería de producción la cual depende de las propiedades del fluido a producir y su mecanismo de producción. En las tablas 2.2 y 2.3 se muestran las profundidades de asentamientos de las tuberías de ambos casos a comparar. (Diseño de perforación)

Tabla 2.2. Datos de tubería en pozo de 4 secciones.

Profundidad medida (pies)	Profundidad vertical (pies)	Nombre	Diámetro de la tubería(pulgadas)	Diámetro del agujero (pulgadas)
2500	2418,169	Csg 13 3/8	13,375	16
5800	4380,134	Csg 9 5/8	9,625	12,25
8071	5441,051	Liner 7"	7	8,5
9491,72	6252,94	Liner 5"	5	6,125

Tabla 2.3. Datos de tubería en pozo de 3 secciones.

Profundidad medida (pies)	Profundidad vertical (ft)	Nombre	Diámetro de la tubería(in)	Diámetro del agujero (in)
2000	1967,712	Csg 13 3/8	13,375	16
6298	4,612.779	Csg 9 5/8	9,625	12,25
9491	6,252.940	Liner 7"	7	8,5

Para el diseño de la tubería debemos tener algunas consideraciones especiales como se presenta en la figura siguiente:

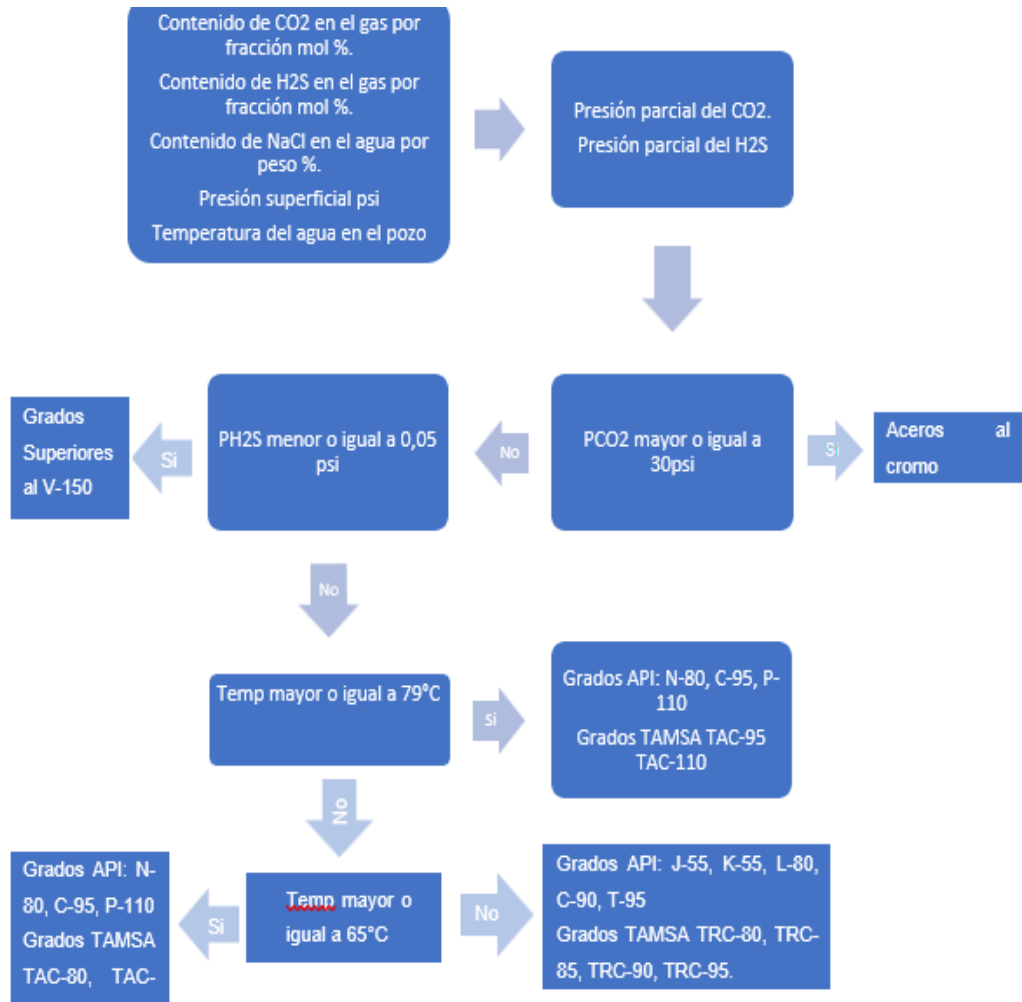


Figura 2.5. Consideraciones especiales para diseño de tuberías de revestimiento. (Oil production)

2.2.6 Selección y programa de los fluidos de perforación

La selección de los componentes del lodo nos permitirá cumplir con una serie de funciones durante la perforación evitando los problemas que se podrían presentar tales como derrumbes, atascamientos, presión diferencial, entre otros. El lodo de perforación mantiene al agujero de forma estable en todo el proceso gracias a su densidad. Los principales objetivos a tomar en cuenta fueron:

1. Mantener estabilidad en el hoyo perforado.
2. Reducir la fricción al perforar que se produce en el cabezal de perforación o en la cabeza de corte de la hidrofresa, tuneladora, hinca, etc., además de dar refrigeración a las herramientas y en consecuencia alargar su vida útil.

3. Dar circulación en la perforación permitiendo la limpieza del hoyo.

2.2.7 Diseño de cementación

Para esta etapa se consideran tres aspectos muy importantes, la profundidad, la temperatura y la presencia de sulfatos en el yacimiento.

Para el diseño consideramos una serie de aditivos y su función:

1.- Aceleradores. Reducen el tiempo de espesamiento y aceleran el proceso de endurecimiento.

2.- Retardadores. Incrementan el tiempo de espesamiento.

3.- Extendedores. Reducen el peso de la lechada y aumentan el rendimiento de la misma.

4.- Densificantes. Incrementan el peso de la lechada y disminuyen el rendimiento de la misma.

5.- Dispersantes. Reducen la viscosidad de la lechada.

6.- Controladores de filtrado. Controlan la pérdida de la fase líquida de la lechada, manteniéndola fluida.

7.- Controladores de pérdida de circulación: controlan la pérdida de cemento hacia una formación débil.

8.- Especiales: Aditivos como los anti espumantes, trazadores radioactivos.

2.2.8 Diseño de sarta de perforación

En esta parte se especifican los equipos a usar como parte de la sarta de perforación entre los importantes que se consideran para la perforación son:

- Lastrabarrenas (Drill collar)
- Estabilizadores
- Herramientas permisoras (martillo)
- Junta de seguridad
- Tubería de pesada
- Tubería de perforación
- Combinaciones de enlace
- Doble caja liso
- Doble caja estabilizador
- Válvula de contrapresión

- Válvula de seguridad

2.2.9 Programa de barrenas

El programa de barrenas se realizó según la formación y sección a perforar.

Para el programa de barrena se tiene que:

1. El ingeniero debe analizar la barrena a usar según tres factores; objetivos, riesgos y geometría.
2. Buscar el registro de barrenas de los pozos vecinos y buscar un promedio entre ambas.
3. Afinar los programas, tanto el de barrena como los operacionales logrando rebasar el promedio del área.

2.3 Comparación de parámetros a optimizar

Los parámetros que se compararon entre el pozo de 3 secciones y el pozo de 4 secciones el tiempo y torque, por ello definiremos algunos conceptos importantes que debemos tener en cuenta.

2.3.1 Torque y arrastre

La evaluación del torque y arrastre es importante por varias razones como:

- Disminuir el torque y arrastre en la trayectoria a ideal.
- Ajuste de la trayectoria para la disminución de fuerzas normales.
- Para el cálculo del desgaste de los revestidores se estiman las fuerzas normales.
- Identificar los problemas al perforar o bajar tuberías.
- Comparar la sarta con el modelo de cargas estimadas.
- Establecer la capacidad del taladro según los requerimientos del torque.

2.3.1.1 Modelo simplificado de Johancsik (1983)

La fricción es el producto de las fuerzas normales y los coeficientes de fricción. La fuerza normal en cada nodo de cálculo tiene dos componentes:

1. Peso de la tubería sumergida en el lodo.
2. La fuerza de la formación y la sarta de perforación.

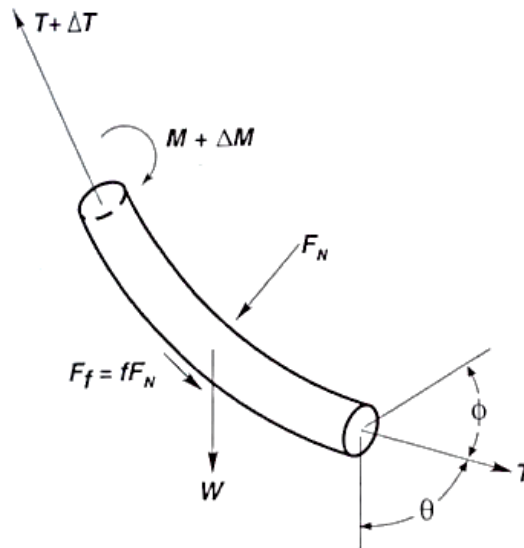


Figura 2.6. Fuerzas en una tubería de perforación. (Economides et al., 1998)

Podemos observar las ecuaciones de la figura.

$$F_N = \frac{\Delta MD}{2} \left[(T\Delta\phi \text{sen}\theta_{avg})^2 + (T\Delta\phi + W\text{sen}\theta_{avg})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

$$\Delta T = W\text{cos}\theta_{avg} \pm fF_N \quad (2.7)$$

$$\Delta M = fF_N R \quad (2.8)$$

$$F_F = fF_N \quad (2.9)$$

F_N = fuerza normal neta.

T = tensión axial más cercano a la mecha.

W = es el peso de la sarta sumergida en el lodo de perforación.

F_F = fuerza de fricción

R = radio característico del elemento

M = torsión más cercana a la mecha

θ = ángulo de inclinación en la parte baja del elemento y

θ_{avg} = promedio de la inclinación sobre el elemento

ϕ = es el ángulo de azimut en la parte baja del elemento

f = es el coeficiente de fricción

$\Delta(T, M, \phi, \theta)$ = cambio de esos valores a través de la longitud del elemento.

2.3.2 Hidráulica

La hidráulica del lodo cumple un rol fundamental durante la operación de perforación, nos permite mantener estable al agujero durante la circulación del fluido, además de la viscosidad y el caudal. Para que el proyecto cumpla correctamente con la perforación se conoció los parámetros del comportamiento de la hidráulica:

2.3.2.1 Modelo plástico de Bingham

Después de aplicar un esfuerzo mínimo ocurre un movimiento de fluido. La relación entre esfuerzo de corte y velocidad de corte es lineal. La ecuación 2.10 muestra el modelo de Bingham.

$$\tau = YP + \gamma VP \quad (2.10)$$

$$\tau = YP + \gamma VP \quad (2.11)$$

$$YP = \theta_{300} - VP = \tau_0 \quad (2.12)$$

Dónde:

τ = esfuerzo de corte (dinas/cm²)

YP = punto cedente (lb/100ft²)

VP = viscosidad plástica (cP)

Θ_{300} = lectura del viscosímetro de Fann a 300 RPM

Θ_{600} = lectura del viscosímetro de Fann a 600 RPM

2.3.2.2 Modelo de la Ley exponencial

El modelo de la Ley exponencial describe el aumento del esfuerzo de corte en un fluido de acuerdo a la tasa de corte. Este modelo tiende al comportamiento de un lodo de perforación a bajas velocidades de corte.

$$\tau = K(\gamma)^n \quad (2.13)$$

$$n = 3,32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \quad (2.14)$$

$$K = 1,067 \frac{\theta_{300}}{511^n} (lb/100ft^2) \quad (2.15)$$

Dónde:

τ = esfuerzo de corte (dinas/cm²)

K = índice de consistencia (lb/100ft²)

γ = tasa de corte (seg-1)

n = índice de comportamiento del flujo (adimensional)

2.3.2.3 Modelo de Herschel-Bulkley

El modelo de Herschel-Bulkley o Modelo de Ley Exponencial Modificada es considerado como el modelo de tres parámetros.

$$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n \quad (2.16)$$

Dónde:

K = índice de consistencia (lb/100ft²)

n = índice de comportamiento de flujo (adimensional)

τ_0 = límite de esfuerzo (dinas/cm²)

γ = velocidad de corte (seg-1)

τ = esfuerzo de corte (dinas/cm²)

2.3.2.4 Parámetros del comportamiento de la hidráulica de perforación

Es importante analizar cada parámetro para una buena hidráulica en la perforación. Mantener una buena limpieza es esencial para evitar problemas que se pueden presentar durante la perforación. De esta manera se evalúan los parámetros críticos que intervienen en el análisis hidráulico.

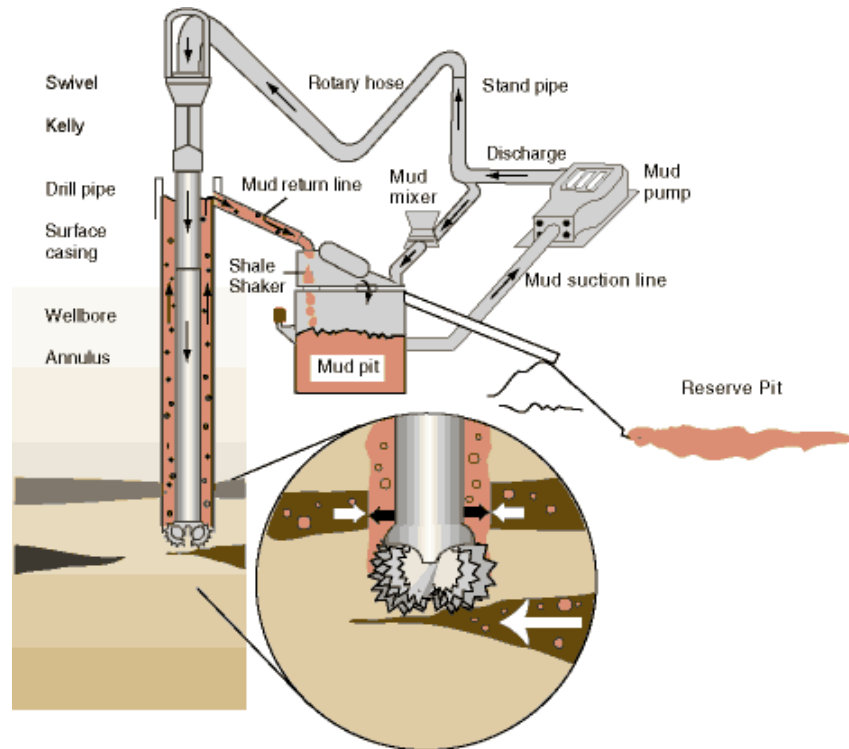


Figura 2.7. Análisis hidráulico (*Drilling, s.f.*)

Los parámetros que se consideraron para el diseño son:

- Tasa de penetración
- Presión hidrostática
- Velocidad anular
- Velocidad en los jets de la broca
- Caída de presión en la broca
- Área de flujo total

2.4 Posibles problemas al realizar la perforación

Con el fin de cumplir con los objetivos específicos se plantea los posibles problemas que se pueden presentar durante la perforación del pozo.

2.4.1 Pérdida de circulación

La pérdida de fluido en el lodo de perforación provoca la pérdida excesiva de presión hidrostática y anular. Si la cantidad de fluido que sale del pozo es menor a la cantidad de fluido que ingresó en el pozo podemos asegurar que existe una pérdida la cual puede ser provocada por diferentes circunstancias, por lo que habría que plantear una solución inmediata para

garantizar la seguridad del proyecto. Las pérdidas de presiones son producidas por:

1. Pérdida de lodo hacia la formación.
2. Pérdida por fracturación por la perforación del pozo.

Algunos de los inconvenientes para la caída de presión son:

- Disminución de volumen en los tanques, caudal de flujo y presión de bomba.
- Aumento en el peso de la sarta de perforación.
- Desestabilización al para las bombas.
- Disminución de presión hidrostática.
- Atascamiento de la tubería.

Podemos ubicar la zona de pérdida de fluido con:

- En la parte donde existe la fuga tendremos una pérdida de presión.
- En las formaciones porosas el lodo puede escapar hacia la formación.
- La pérdida proviene del fondo, si es mientras se perfora.
- La pérdida proviene de un punto desconocido o de la zapata, si es mientras se saca tubería.

2.4.2 Pega de tubería

La tubería se considera pegada cuando no podemos mover la tubería de perforación, ya sea subir, bajar o girar.

2.4.2.1.1 Pega diferencial

La diferencia de presión en gran cantidad provoca que la tubería quede pegada contra las paredes del pozo.

La pega diferencial la podemos identificar por:

- La tubería queda pegada después de estar inmóvil por un período de tiempo.
- No se puede hacer girar ni mover la tubería mientras se tiene circulación parcial o total.

Las causas son las siguientes:

- Perforación de una formación permeable porosa
- Costra gruesa

- Sarta en contacto con la costra
- Sobre balance
- Movimiento insuficiente de la sarta
- Falta de circulación entre la tubería y el revoque

2.4.2.1.2 Pega Mecánica

Esta se presenta cuando tenemos una obstrucción de algo. Se produce cuando la sarta está en movimiento. Obteniendo la incapacidad de mover la sarta y continuar con las operaciones

2.4.3 Empaquetamiento y puentes

El empaquetamiento se presenta cuando las partículas de las paredes del pozo caen en el hoyo sobre la sarta de perforación, obstruyendo el espacio anular y dificultando la perforación. Ocurre con herramientas de diámetros grandes o cercanos al pozo, como los drill-collars o estabilizadores.

El puente se presenta por la obstrucción de un material de gran tamaño, quedando atrapada la sarta entre las paredes del pozo.

Las causas son las siguiente:

- Formaciones afectadas por Esfuerzos Tectónicos
- Formaciones Reactivas
- Formaciones no consolidadas

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados del diseño de los pozos

El diseño de pozo de 3 secciones produce un mayor torque durante la perforación del pozo lo cual se traduce en costos. Para la planeación de un pozo direccional es importante la reducción de los costos de operación por lo que se planteó un pozo de 4 secciones. El pozo mantiene el mismo perfil, por lo que las coordenadas superficiales y objetivos son las mismas. En la última sección del pozo se realiza un diseño con una disminución del liner de producción de 7" a

5", además las profundidades de asentamiento de los caising varían en el diseño.

Prognosis litológica a perforar

Dada las correlaciones de los pozos antes perforados del campo ESPOL 01 se obtuvo la siguiente prognosis litológica que se requiere perforar. Además, se adjuntan las tablas con los datos generales del pozo a perforar.

Tabla 3.1.Litología a perforar

Profundidad medida (pies)	Profundidad vertical (pies)	Nombre
2,702.628	2,590.940	Chalcana (tope)
4,112.902	3,579.940	Orteguaza (tope)
5,808.146	4,383.940	Tiyuyacu (tope)
6,024.347	4,484.940	Congl. Superior (tope)
6,197.736	4,565.940	Congl. Superior (base)
7,212.381	5,039.940	Congl. Inferior (tope)
7,531.330	5,188.940	Congl. Inferior (base)
7,698.297	5,266.940	Tena (tope)
8,070.762	5,440.940	Napo (tope)
8,382.403	5,593.940	Arenisca M1 (tope)
8,478.250	5,643.940	Arenisca M1 (base)
8,622.845	5,721.940	Caliza M1 (tope)
8,769.107	5,803.940	Caliza M1 (base)
8,877.928	5,866.940	Caliza M2 (tope)
8,923.699	5,893.940	Arenisca M2 (tope)
9,077.708	5,986.940	Caliza A (tope)
9,111.751	6,007.940	Arenisca U (tope)
9,179.079	6,049.940	Arenisca U (base)
9,194.965	6,059.940	Arenisca T (tope)
9,259.541	6,100.940	Arenisca T (base)
9,272.039	6,108.940	Pre K (tope)

Tabla 3.2. Objetivos de diseño

Objetivo									
acertar/fallar el	Ángulo de buzamiento (*)	Ángulo de dirección (*)	TVD (ft)	+N/-S (ft)	+E/-W (ft)	Norte (m)	Este (m)	Latitud	Longitud

objetivo- Forma											
M1 INF		0	0,01	5,593.9	-	4,784,80	10,002,95	396,28	0° 1'	75° 56'	
SS(OP)				4	2,288.48	9	4	5	24.251	2.513 W	
Op.5					4				N		

Tabla 3.3. Anotaciones de planos

Profundidad medida (ft)	Profundidad vertical (ft)	Coordenadas locales		Comentario
		+N/-S (ft)	+E/-W (ft)	
400.000	400.000	0.000	0.000	KOP @ 400' MD
700.000	699.619	-12.636	-3.386	@ 700' MD / Inc. 5 & Az. 195
800.000	799.239	-21.055	-5.642	KOP2 @ 800' MD
4,419.342	3,735.148	-896.140	1,576.385	EOB @ 4419' MD / Inc. 62.15 & Az. 113.46
8,070.891	5,441.000	-2,181.432	4,538.126	DOP @ 8071' MD
9,491.722	6,252.940	-2,643.838	5,603.664	TD @ 9492' MD / Inc. 47.94 & Az. 113.46

3.1.1 Resultado del pozo de 4 secciones

Los cálculos direccionales generados o plan direccional de la trayectoria del pozo según el diseño inicial, se realizaron por medio de una simulación a través de un software especializado de las compañías de servicio petrolero. A continuación, se muestra a detalle el perfil del pozo de 4 secciones.

Figura 3.1 4 Survey planificado del pozo de 4 secciones

Measured Depth (ft)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Vertical Depth (ft)	+N/-S (ft)	+E/-W (ft)	Map Northing (m)	Map Easting (m)	Latitude	Longitude
0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
100.000	0.000	0.00	100.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
200.000	0.000	0.00	200.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
300.000	0.000	0.00	300.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
400.000	0.000	0.00	400.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
KOP @ 400' MD									
500.000	1.667	195.00	499.986	-1.405	-0.376	10,003,651.11	394,826.47	0° 1' 46.953 N	75° 56' 49.694 W
600.000	3.333	195.00	599.887	-5.618	-1.505	10,003,649.82	394,826.13	0° 1' 46.911 N	75° 56' 49.705 W
700.000	5.000	195.00	699.619	-12.636	-3.386	10,003,647.68	394,825.56	0° 1' 46.841 N	75° 56' 49.723 W
@ 700' MD / Inc. 5 & Az. 195									
800.000	5.000	195.00	799.239	-21.055	-5.642	10,003,645.12	394,824.87	0° 1' 46.758 N	75° 56' 49.746 W
KOP2 @ 800' MD									
900.000	5.441	176.86	898.831	-29.998	-6.510	10,003,642.39	394,824.60	0° 1' 46.669 N	75° 56' 49.754 W
1,000.000	6.322	162.60	998.309	-39.986	-4.604	10,003,639.35	394,825.19	0° 1' 46.570 N	75° 56' 49.735 W
1,100.000	7.490	152.28	1,097.585	-51.010	0.075	10,003,635.99	394,826.61	0° 1' 46.460 N	75° 56' 49.689 W
1,200.000	8.832	144.89	1,196.573	-63.061	7.522	10,003,632.31	394,828.88	0° 1' 46.341 N	75° 56' 49.616 W
1,300.000	10.279	139.50	1,295.185	-76.127	17.732	10,003,628.33	394,831.99	0° 1' 46.211 N	75° 56' 49.515 W
1,400.000	11.794	135.46	1,393.334	-90.196	30.695	10,003,624.04	394,835.94	0° 1' 46.071 N	75° 56' 49.387 W
1,500.000	13.352	132.34	1,490.934	-105.258	46.399	10,003,619.45	394,840.73	0° 1' 45.922 N	75° 56' 49.233 W
1,600.000	14.941	129.86	1,587.899	-121.298	64.832	10,003,614.56	394,846.35	0° 1' 45.763 N	75° 56' 49.051 W
1,700.000	16.552	127.85	1,684.144	-138.302	85.976	10,003,609.38	394,852.79	0° 1' 45.594 N	75° 56' 48.842 W
1,800.000	18.178	126.19	1,779.584	-156.255	109.814	10,003,603.91	394,860.06	0° 1' 45.416 N	75° 56' 48.607 W
1,900.000	19.817	124.80	1,874.134	-175.142	136.323	10,003,598.15	394,868.14	0° 1' 45.228 N	75° 56' 48.346 W
2,000.000	21.464	123.61	1,967.712	-194.946	165.481	10,003,592.11	394,877.03	0° 1' 45.031 N	75° 56' 48.058 W
2,100.000	23.119	122.59	2,060.236	-215.649	197.263	10,003,585.80	394,886.71	0° 1' 44.826 N	75° 56' 47.745 W
2,200.000	24.780	121.69	2,151.623	-237.233	231.639	10,003,579.22	394,897.19	0° 1' 44.612 N	75° 56' 47.406 W
2,300.000	26.446	120.90	2,241.794	-259.680	268.581	10,003,572.38	394,908.45	0° 1' 44.389 N	75° 56' 47.042 W
2,400.000	28.115	120.20	2,330.668	-282.969	308.054	10,003,565.28	394,920.48	0° 1' 44.158 N	75° 56' 46.653 W
2,500.000	29.787	119.57	2,418.169	-307.080	350.026	10,003,557.94	394,933.28	0° 1' 43.918 N	75° 56' 46.239 W

8,600.000	56.859	113.46	5,709.412	-2,362.866	4,956.209	10,002,931.33	396,337.24	0° 1' 23.513 N	75° 56' 0.823 W
8,622.845	56.630	113.46	5,721.940	-2,370.471	4,973.734	10,002,929.01	396,342.58	0° 1' 23.437 N	75° 56' 0.651 W
Caliza M1 (tope)									
8,700.000	55.859	113.46	5,764.810	-2,396.008	5,032.579	10,002,921.23	396,360.52	0° 1' 23.184 N	75° 56' 0.071 W
8,769.107	55.168	113.46	5,803.940	-2,418.684	5,084.833	10,002,914.32	396,376.45	0° 1' 22.959 N	75° 55' 59.555 W
Caliza M1 (base)									
8,800.000	54.859	113.46	5,821.653	-2,428.760	5,108.051	10,002,911.25	396,383.52	0° 1' 22.859 N	75° 55' 59.326 W
8,877.928	54.080	113.46	5,866.940	-2,454.006	5,166.227	10,002,903.55	396,401.25	0° 1' 22.608 N	75° 55' 58.753 W
Caliza M2 (tope)									
8,900.000	53.859	113.46	5,879.923	-2,461.112	5,182.601	10,002,901.39	396,406.25	0° 1' 22.538 N	75° 55' 58.591 W
8,923.699	53.622	113.46	5,893.940	-2,468.719	5,200.131	10,002,899.07	396,411.59	0° 1' 22.462 N	75° 55' 58.418 W
Arenisca M2 (tope)									
9,000.000	52.859	113.46	5,939.602	-2,493.054	5,256.207	10,002,891.65	396,428.68	0° 1' 22.221 N	75° 55' 57.866 W
9,077.708	52.082	113.46	5,986.940	-2,517.587	5,312.739	10,002,884.17	396,445.91	0° 1' 21.977 N	75° 55' 57.308 W
Caliza A (tope)									
9,100.000	51.859	113.46	6,000.673	-2,524.577	5,328.846	10,002,882.04	396,450.82	0° 1' 21.908 N	75° 55' 57.149 W
9,111.751	51.741	113.46	6,007.940	-2,528.253	5,337.317	10,002,880.92	396,453.40	0° 1' 21.871 N	75° 55' 57.066 W
Arenisca U (tope)									
9,179.079	51.068	113.46	6,049.940	-2,549.202	5,385.589	10,002,874.54	396,468.12	0° 1' 21.663 N	75° 55' 56.590 W
Arenisca U (base)									
9,194.965	50.909	113.46	6,059.940	-2,554.116	5,396.913	10,002,873.04	396,471.57	0° 1' 21.615 N	75° 55' 56.478 W
Arenisca T (tope)									
9,200.000	50.859	113.46	6,063.116	-2,555.671	5,400.496	10,002,872.57	396,472.66	0° 1' 21.599 N	75° 55' 56.443 W
9,259.541	50.263	113.46	6,100.940	-2,573.977	5,442.679	10,002,866.99	396,485.52	0° 1' 21.417 N	75° 55' 56.027 W
Arenisca T (base)									
9,272.039	50.139	113.46	6,108.940	-2,577.799	5,451.488	10,002,865.82	396,488.20	0° 1' 21.380 N	75° 55' 55.940 W
Pre K (tope)									
9,300.000	49.859	113.46	6,126.913	-2,586.326	5,471.136	10,002,863.22	396,494.19	0° 1' 21.295 N	75° 55' 55.746 W
9,400.000	48.859	113.46	6,192.044	-2,616.533	5,540.744	10,002,854.01	396,515.41	0° 1' 20.995 N	75° 55' 55.060 W
9,491.722	47.942	113.46	6,252.939	-2,643.838	5,603.663	10,002,845.69	396,534.59	0° 1' 20.724 N	75° 55' 54.440 W

TD @ 9492° MD / Inc. 47.94 & Az. 113.46

Diseño de los revestidores y profundidades de asentamiento del pozo de 4 secciones

El uso de determinado software permite obtener el cálculo de las profundidades de asentamiento y características físicas de las secciones para el programa de perforación. Las características generales para las diferentes secciones las tenemos a continuación:

Tabla 3.4. Tipo de Fluido

Fluido	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25	Lodo#2 sec8,5	Lodo#2 sec6,175
Lodo base	Agua	Agua	Agua	Agua
Modelo de reología	Power Law	Bingham Plactic	Bingham Plactic	Bingham Plactic

Tabla 3.5. Sección del agujero

Tipo de sección	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25		Lodo#2 sec8,5		Lodo#2 sec6,175		
	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing	Casing	Hoyo abierto
Profundidad de la sección ft	2500	2500	5800	5800	8071	6800	8071	9491,7
Longitud de la sección	2500	2500	3300	5800	2271	6800	1271	1420,7
Profundidad del zapato		2500		8,681		6800	8071	
ID in	16	12,415	12,25	8,625	8,5	8,681	6,276	6,125
Drifft in		12,259		12,25		8,625	6,151	

Eff. Diámetro del agujero	16,607	16	12,67	0,35	8,736	12,25	8,5	6,125
Coeficiente de fricción	0,42	0,35	0,37	0,0732	0,37	0,35	0,35	0,37
Capacidad del revestimiento	0,2679	0,1497	0,1559		0,0741	0,0732	0,0383	0,0364
% de exceso de volumen	8,77		8,77		8,77			

Tabla 3.6. Parámetros operativos de análisis normal

Perforación	WOP/Overpull (kip)	Torque at bit (ft-lbf)
Rotating on bottom 16"	12	6000
Rotating on bottom 12,25"	30	7000
Rotating on bottom 8,5"	24	6000
Rotating on bottom 6,125"	15	7000
Slide drilling	NA	NA
Backreaming	NA	NA
Rotating off bottom	Y	
Tripping	Speed (ft/min)	RPM (rpm)
Tripping in	60	40
Tripping out	60	40

Tabla 3.7. Factor de fricción

Tipo de sección	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25		Lodo#2 sec8,5		Lodo#2 sec6,175		
	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing
Coeficiente de fricción	0,42	0,35	0,37	0,35	0,37	0,35	0,35	0,37

Sección de 16"

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 16" y el diámetro del casing es de 13 3/8" hasta una profundidad medida de 2500" dentro de la formación chalcana.

Tabla 3.8. Resumen de carga 16"

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Tripping in	2793,3	0,3	0,3	80,8	NaN	2363,6	136,4	2500	0
Tripping out	3022,4	0,3	0,3	97,2	NaN	2363,6	136,4	2500	0

Rotating on bottom	9600,4	1,2	0,4	76,6	NaN	2226,37	273,63	2373,629	126,371
Rotating off bottom	3743,7	0,4	0,4	88,6	NaN	2363,6	136,4	2500	0

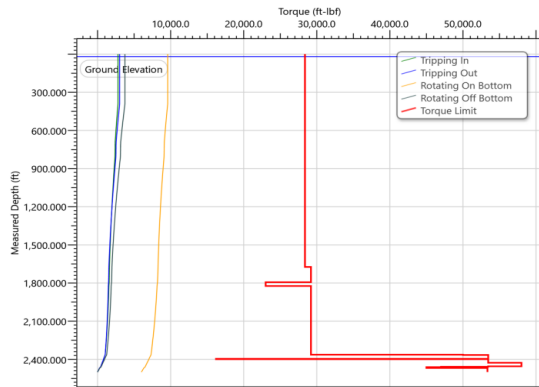


Figura 3.2. Grafica de Torque

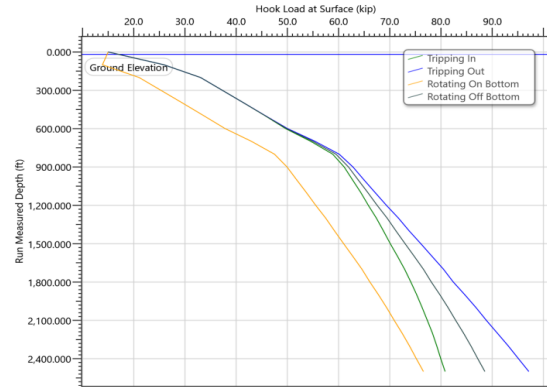


Figura 3.3. Gancho de carga

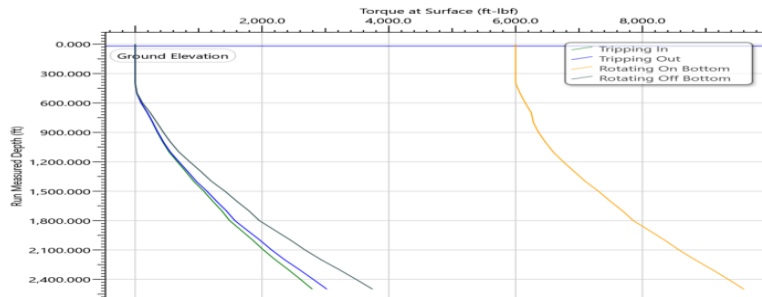


Figura 3.4. Torque Point

Sección de 12,25''

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 12,25'' y el diámetro del casing es de 9 5/8'' hasta una profundidad medida de 5800'' dentro de la formación Tiyuyacu.

Tabla 3.9. Resumen de carga 12,25''

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Tripping in	7935,3	2,1	2,1	80,8	1,543	4549,073	1250,927	5800	0
Tripping out	9319	2,1	2,1	143,7	2,702	5252,957	547,043	5800	0
Rotating on bottom	17658,5	5,2	2,8	83,6	1,227	4307,7	1492,3	4184,622	1615,378

Rotating off bottom	10964,1	2,7	2,7	113,6	2,115	5005,891	794,109	5800	0
---------------------	---------	-----	-----	-------	-------	----------	---------	------	---

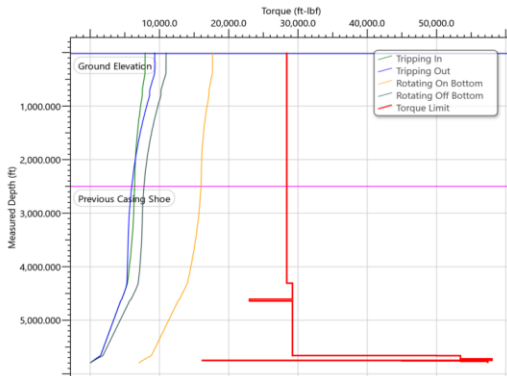


Figura 3.5. Grafica de Torque

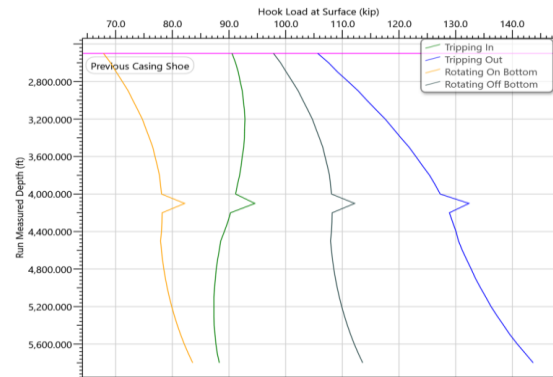


Figura 3.6. Gancho de carga

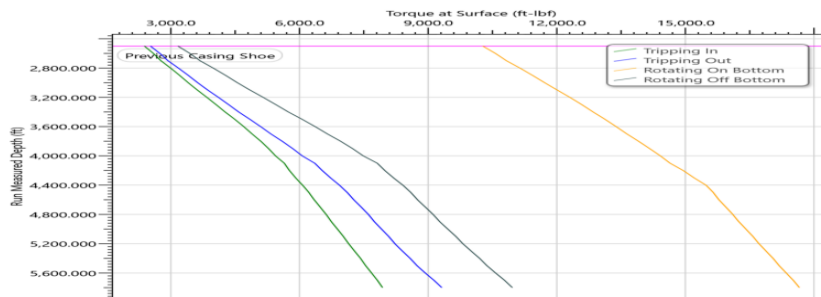


Figura 3.7. Torque Point

Sección de 8,5(UNIDADES)

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 8,5'' y el diámetro del liner es de 7'' hasta una profundidad medida de 8071'' dentro de la formación Napo.

Tabla 3.10. Resumen de carga 8,5''

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Tripping in	7296,9	2,9	2,9	97,9	4,255	8007,979	1483,722	9491,7	0
Tripping out	10386,2	3,3	3,3	172,5	6,599	8.621.264	870,436	9491,7	0
Rotating on bottom	17505,8	10,9	4,1	114,8	4,45	7565,074	1926,626	8263,718	1227,982

Rotating off bottom	11578,3	4,4	4,4	129,8	5,361	8274,9	1216,79 9	9491,7	0
---------------------	---------	-----	-----	-------	-------	--------	--------------	--------	---

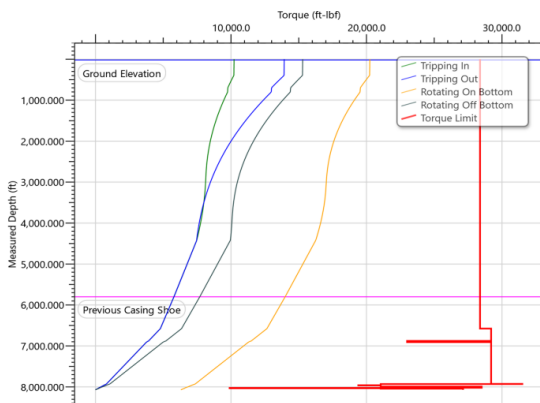


Figura 3.8. Gráfica de torque

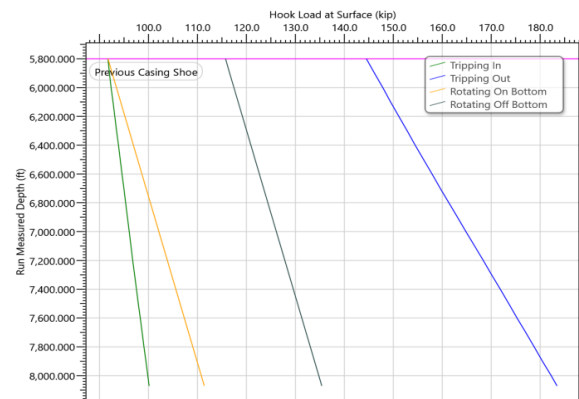


Figura 3.9. Gancho de carga

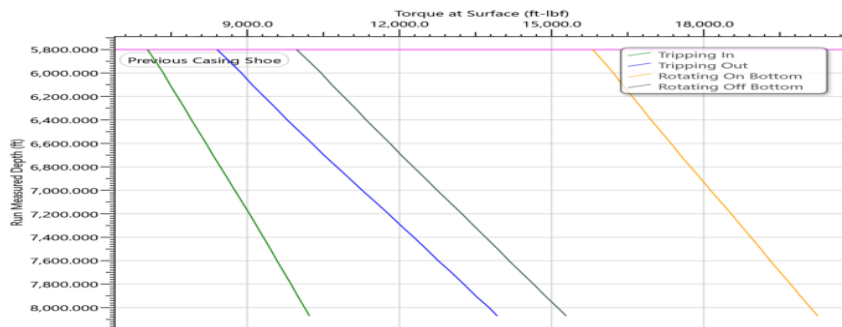


Figura 3.10. Torque Point

Sección de 6,125

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 6,125” y el diámetro del liner es de 5” hasta una profundidad medida de 9491” dentro de la formación Pre K.

Tabla 3.11. Resumen de carga 6,125”

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Tripping in	7296,6	2,9	2,9	97,9	4,255	8007,979	1483,722	9491,7	0
Tripping out	10386,2	3,3	3,3	172,5	6,599	8.621.264	870,436	9491,7	0
Rotating on bottom	17505,8	10,9	4,1	114,8	4,45	7565,074	1926,626	8263,718	1227,982
Rotating off bottom	11578,3	4,4	4,4	129,8	5,361	8274,9	1216,799	9491,7	0

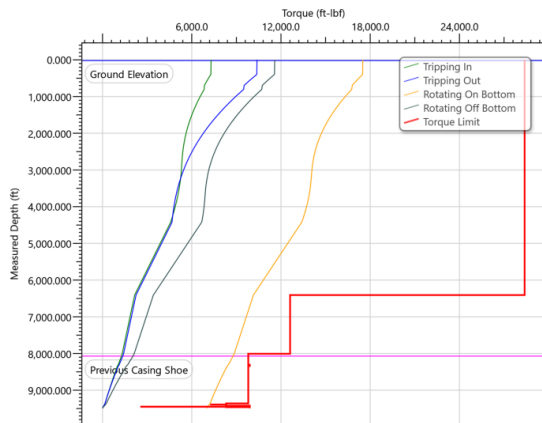


Figura 3.11. Gráfica de Torque

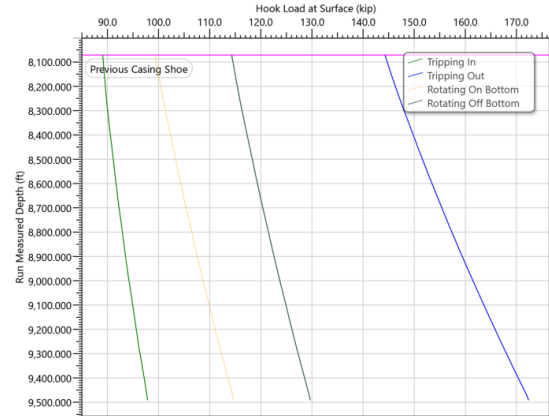


Figura 3.12. Gancho de carga

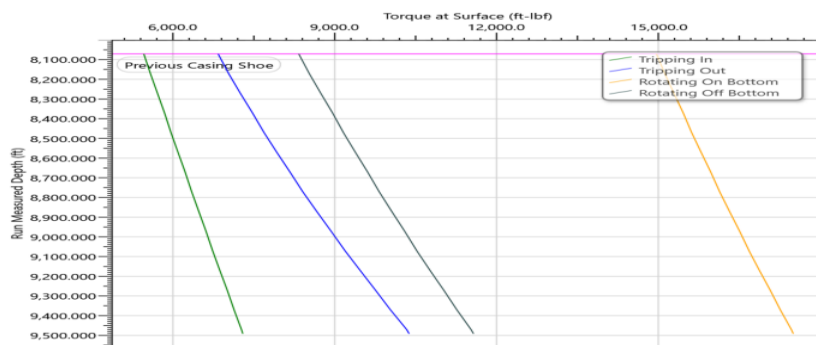


Figura 3.13. Torque Point

Tiempo de perforación para el pozo de 4 secciones

Considerando máximo ángulo de 62° y sección vertical de 6200 ft, TD: 9492 ft: 26 días de perforación (considera 2 liner de 7" y 5") y 10 días de completación.

3.1.2 Resultado del pozo de 3 secciones

De la misma forma se realizó el diseño de un pozo de 3 secciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Figura 3.14. 3 Survey planificado del pozo de 3 secciones

Measured Depth (ft)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Vertical Depth (ft)	+N-S (ft)	+E-W (ft)	Map Northing (m)	Map Easting (m)	Latitude	Longitude
0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
100.000	0.000	0.00	100.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
200.000	0.000	0.00	200.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
300.000	0.000	0.00	300.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
400.000	0.000	0.00	400.000	0.000	0.000	10,003,651.53	394,826.59	0° 1' 46.967 N	75° 56' 49.690 W
KOP @ 400' MD									
500.000	1.667	195.00	499.986	-1.405	-0.376	10,003,651.11	394,826.47	0° 1' 46.953 N	75° 56' 49.694 W
600.000	3.333	195.00	599.887	-5.618	-1.505	10,003,649.82	394,826.13	0° 1' 46.911 N	75° 56' 49.705 W
700.000	5.000	195.00	699.619	-12.636	-3.386	10,003,647.68	394,825.56	0° 1' 46.841 N	75° 56' 49.723 W
@ 700' MD / Inc. 5 & Az. 195									
800.000	5.000	195.00	799.239	-21.055	-5.642	10,003,645.12	394,824.87	0° 1' 46.758 N	75° 56' 49.746 W
KOP2 @ 800' MD									
900.000	5.441	176.86	898.831	-29.998	-6.510	10,003,642.39	394,824.60	0° 1' 46.669 N	75° 56' 49.754 W
1,000.000	6.322	162.60	998.309	-39.986	-4.604	10,003,639.35	394,825.19	0° 1' 46.570 N	75° 56' 49.735 W
1,100.000	7.490	152.28	1,097.585	-51.010	0.075	10,003,635.99	394,826.61	0° 1' 46.460 N	75° 56' 49.689 W
1,200.000	8.832	144.89	1,196.573	-63.061	7.522	10,003,632.31	394,828.88	0° 1' 46.341 N	75° 56' 49.616 W
1,300.000	10.279	139.50	1,295.185	-76.127	17.732	10,003,628.33	394,831.99	0° 1' 46.211 N	75° 56' 49.515 W
1,400.000	11.794	135.46	1,393.334	-90.196	30.695	10,003,624.04	394,835.94	0° 1' 46.071 N	75° 56' 49.387 W
1,500.000	13.352	132.34	1,490.934	-105.258	46.399	10,003,619.45	394,840.73	0° 1' 45.922 N	75° 56' 49.233 W
1,600.000	14.941	129.86	1,587.899	-121.298	64.832	10,003,614.56	394,846.35	0° 1' 45.763 N	75° 56' 49.051 W
1,700.000	16.552	127.85	1,684.144	-138.302	85.976	10,003,609.38	394,852.79	0° 1' 45.594 N	75° 56' 48.842 W
1,800.000	18.178	126.19	1,779.584	-156.255	109.814	10,003,603.91	394,860.06	0° 1' 45.416 N	75° 56' 48.607 W
1,900.000	19.817	124.80	1,874.134	-175.142	136.323	10,003,598.15	394,868.14	0° 1' 45.228 N	75° 56' 48.346 W
2,000.000	21.464	123.61	1,967.712	-194.946	165.481	10,003,592.11	394,877.03	0° 1' 45.031 N	75° 56' 48.058 W
Csg 13 3/8" @ 2000' MD									
2,100.000	23.119	122.59	2,060.236	-215.649	197.263	10,003,585.80	394,886.71	0° 1' 44.826 N	75° 56' 47.745 W
2,200.000	24.780	121.69	2,151.623	-237.233	231.639	10,003,579.22	394,897.19	0° 1' 44.612 N	75° 56' 47.406 W
2,300.000	26.446	120.90	2,241.794	-259.680	268.581	10,003,572.38	394,908.45	0° 1' 44.389 N	75° 56' 47.042 W
2,400.000	28.115	120.20	2,330.668	-282.969	308.054	10,003,565.28	394,920.48	0° 1' 44.158 N	75° 56' 46.653 W
2,500.000	29.787	119.57	2,418.169	-307.080	350.026	10,003,557.94	394,933.28	0° 1' 43.918 N	75° 56' 46.239 W
2,600.000	31.462	119.00	2,504.218	-331.992	394.458	10,003,550.34	394,946.82	0° 1' 43.671 N	75° 56' 45.801 W
2,700.000	33.140	118.48	2,588.740	-357.683	441.311	10,003,542.51	394,961.10	0° 1' 43.416 N	75° 56' 45.339 W
2,702.628	33.184	118.47	2,590.940	-358.368	442.575	10,003,542.30	394,961.49	0° 1' 43.409 N	75° 56' 45.326 W
Chalcana (tope)									
2,800.000	34.819	118.01	2,671.661	-384.129	490.545	10,003,534.45	394,976.11	0° 1' 43.154 N	75° 56' 44.853 W
2,900.000	36.500	117.58	2,752.907	-411.309	542.116	10,003,526.17	394,991.83	0° 1' 42.884 N	75° 56' 44.345 W
3,000.000	38.183	117.18	2,832.408	-439.198	595.979	10,003,517.67	395,008.24	0° 1' 42.607 N	75° 56' 43.814 W
3,100.000	39.867	116.81	2,910.092	-467.771	652.085	10,003,508.96	395,025.34	0° 1' 42.323 N	75° 56' 43.261 W
3,200.000	41.552	116.46	2,985.893	-497.003	710.386	10,003,500.05	395,043.11	0° 1' 42.033 N	75° 56' 42.686 W
3,300.000	43.238	116.13	3,059.742	-526.889	770.831	10,003,490.94	395,061.54	0° 1' 41.737 N	75° 56' 42.090 W
3,400.000	44.924	115.83	3,131.575	-557.342	833.366	10,003,481.66	395,080.60	0° 1' 41.434 N	75° 56' 41.473 W
3,500.000	46.612	115.54	3,201.329	-588.396	897.937	10,003,472.19	395,100.28	0° 1' 41.126 N	75° 56' 40.837 W
3,600.000	48.300	115.27	3,268.943	-620.002	964.485	10,003,462.56	395,120.56	0° 1' 40.812 N	75° 56' 40.181 W
3,700.000	49.989	115.01	3,334.356	-652.134	1,032.953	10,003,452.76	395,141.43	0° 1' 40.493 N	75° 56' 39.505 W
3,800.000	51.678	114.77	3,397.512	-684.763	1,103.281	10,003,442.82	395,162.87	0° 1' 40.170 N	75° 56' 38.812 W
3,900.000	53.368	114.53	3,458.354	-717.860	1,175.407	10,003,432.73	395,184.85	0° 1' 39.841 N	75° 56' 38.101 W
4,000.000	55.058	114.31	3,516.829	-751.397	1,249.266	10,003,422.51	395,207.37	0° 1' 39.508 N	75° 56' 37.373 W
4,100.000	56.749	114.09	3,572.886	-785.343	1,324.795	10,003,412.16	395,230.39	0° 1' 39.171 N	75° 56' 36.628 W
4,112.902	56.967	114.07	3,579.940	-789.751	1,334.658	10,003,410.82	395,233.39	0° 1' 39.128 N	75° 56' 36.531 W
Orteguaza (tope)									
4,200.000	58.440	113.89	3,626.475	-819.668	1,401.926	10,003,401.70	395,253.90	0° 1' 38.831 N	75° 56' 35.868 W
4,300.000	60.131	113.69	3,677.549	-854.343	1,480.592	10,003,391.13	395,277.87	0° 1' 38.486 N	75° 56' 35.092 W
4,400.000	61.823	113.50	3,726.064	-889.337	1,560.723	10,003,380.46	395,302.30	0° 1' 38.139 N	75° 56' 34.302 W
4,419.342	62.150	113.46	3,735.148	-896.140	1,576.385	10,003,378.39	395,307.07	0° 1' 38.072 N	75° 56' 34.147 W
EOB @ 4419' MD / Inc. 62.15 & Az. 113.46									
4,500.000	62.150	113.46	3,772.828	-924.531	1,641.806	10,003,369.74	395,327.01	0° 1' 37.790 N	75° 56' 33.502 W
4,600.000	62.150	113.46	3,819.544	-959.729	1,722.916	10,003,359.01	395,351.73	0° 1' 37.440 N	75° 56' 32.703 W
4,700.000	62.150	113.46	3,866.260	-994.928	1,804.025	10,003,348.28	395,376.46	0° 1' 37.091 N	75° 56' 31.903 W
4,800.000	62.150	113.46	3,912.976	-1,030.126	1,885.134	10,003,337.55	395,401.18	0° 1' 36.742 N	75° 56' 31.103 W
4,900.000	62.150	113.46	3,959.692	-1,065.325	1,966.243	10,003,326.82	395,425.90	0° 1' 36.392 N	75° 56' 30.304 W
5,000.000	62.150	113.46	4,006.407	-1,100.523	2,047.352	10,003,316.09	395,450.62	0° 1' 36.043 N	75° 56' 29.504 W
5,100.000	62.150	113.46	4,053.123	-1,135.722	2,128.461	10,003,305.37	395,475.34	0° 1' 35.693 N	75° 56' 28.704 W
5,200.000	62.150	113.46	4,099.839	-1,170.920	2,209.570	10,003,294.64	395,500.07	0° 1' 35.344 N	75° 56' 27.904 W
5,300.000	62.150	113.46	4,146.555	-1,206.119	2,290.680	10,003,283.91	395,524.79	0° 1' 34.995 N	75° 56' 27.105 W
5,400.000	62.150	113.46	4,193.271	-1,241.317	2,371.789	10,003,273.18	395,549.51	0° 1' 34.645 N	75° 56' 26.305 W
5,500.000	62.150	113.46	4,239.987	-1,276.516	2,452.898	10,003,262.45	395,574.23	0° 1' 34.296 N	75° 56' 25.505 W

Diseño de los revestidores y profundidades de asentamiento del pozo de 3 secciones

Las características generales para las diferentes secciones las tenemos a continuación:

Tabla 3.12. Tipo de fluido

Fluid	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25	Lodo#2 sec8,5
Lodo base	Agua	Agua	Agua
Modelo de reología	Power Law	Bingham Plactic	Bingham Plactic

Tabla 3.13. Sección del agujero

Tipo de sección	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25		Lodo#2 sec8,5	
	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Hoyo abierto	Casing
Profundidad de la sección ft	2000	2000	6298	6298	9491,7
Longitud de la sección	2000	2000	4298	6298	3193,7
Profundidad del zapato		2000		6298	
ID in	16	12,415	12,25	8,681	8,5
Drift in		12,259		8,625	
Eff. Diámetro del agujero	16,607	16	12,67	12,25	8,736
Coefficiente de fricción	0,42	0,35	0,37	0,35	0,37
Capacidad del revestimiento	0,2679	0,1497	0,1559	0,0732	0,0741
% de exceso de volumen	8,77		8,77		8,77

Tabla 3.14. Parámetros operativos de análisis normal

Perforación	Deslizante (kip)	Torque at bit (ft-lbf)
Girando en la parte inferior 16"	12	6000
Girando en la parte inferior 12,25"	30	7000
Girando en la parte inferior 8,5"	23	6000
Perforación deslizante	NA	NA
Retroensanchado	NA	NA

Girando en la parte de afuera	Y	
Disparo	Speed (ft/min)	RPM (rpm)
Disparo dentro	60	40
Disparo fuera	60	40

Tabla 3.15. Factor de fricción

	Lodo#1 sec16	Lodo#1 sec12,25		Lodo#2 sec8,5	
Tipo de sección	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto	Casing	Hoyo abierto
Coeficiente de fricción	0,42	0,35	0,37	0,35	0,37

Sección de 16''

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 16'' y el diámetro del casing es de 13 3/8'' hasta una profundidad medida de 2000'' dentro de la formación chalcana.

Tabla 3.16. Resumen de carga 16''

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Disparo dentro	1854,2	0,1	0,1	76,3	0,468	1863,60	136,4	2000	0
Disparo fuera	1967,2	0,2	0,2	86,8	0,536	1863,60	136,4	2000	0
Girando en la parte inferior	8351,2	0,8	0,2	69,4	0,394	1817,435	182,565	1880,76	119,24
Girando fuera de la parte inferior	2451,2	0,2	0,2	81,4	0,501	1863,60	136,4	2000	0

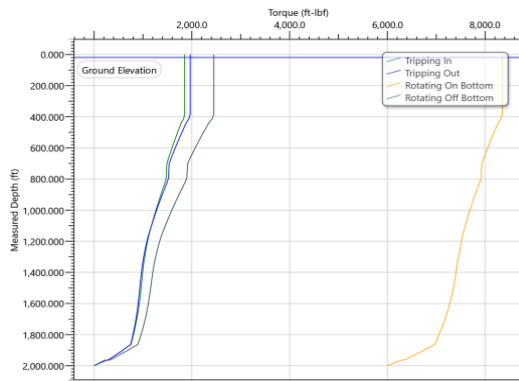


Figura 3.15. Gráfica de Torque

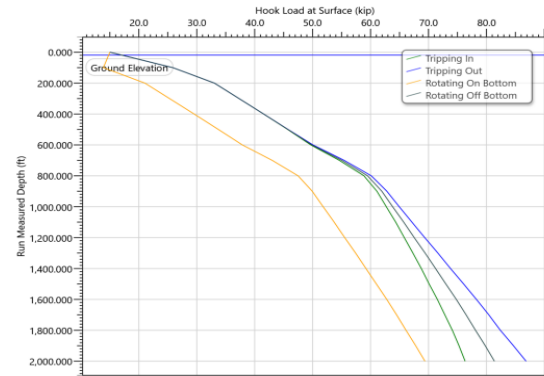


Figura 3.16. Gancho de carga

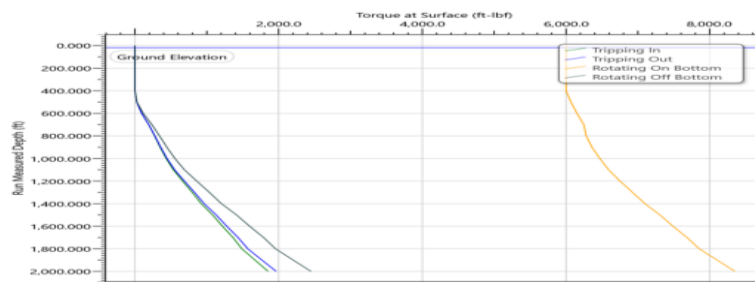


Figura 3.17. Torque Point

Sección de 12,25''

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 12,25'' y el diámetro del casing es de 9 5/8'' hasta una profundidad medida de 6298'' dentro de la formación conglomerado superior.

Tabla 3.17. Resumen de carga 12,25''

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Disparo dentro	8589,4	2,4	2,4	90,3	1,741	4949,72	1348,281	6298	0
Disparo fuera	10438,2	2,6	2,6	151,9	3,136	5708,7	589,3	6298	0
Girando en la parte inferior	18471,3	5,9	3,3	87,9	1,441	4805,7	1492,3	4665,932	1632,068
Girando fuera de la parte inferior	12038,3	3,2	3,2	117,9	2,421	5440,257	857,743	6298	0

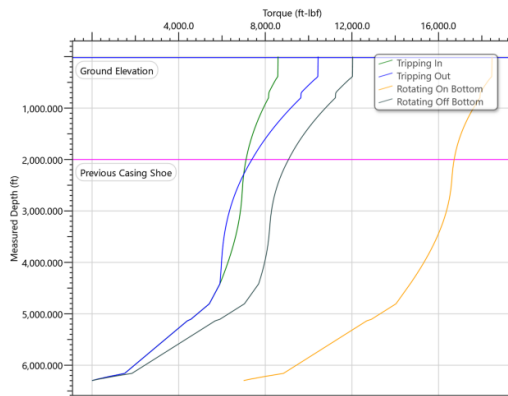


Figura 3.18. Gráfica de Torque

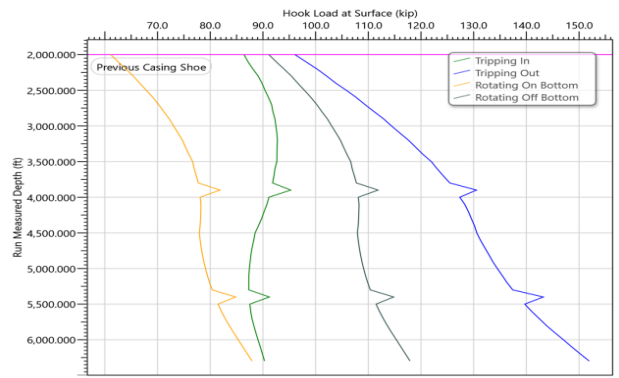


Figura 3.19. Gancho de carga

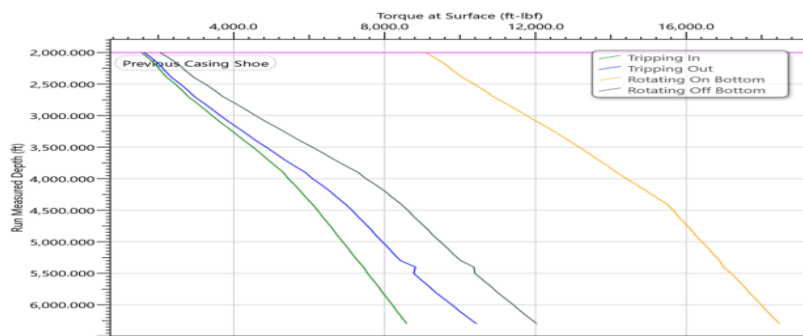


Figura 3.20. Torque Point

Sección de 8,5

En esta sección el hoyo tendrá un diámetro de 8,5” y el diámetro del liner es de 7” hasta una profundidad medida de 8071” dentro de la formación Napo.

Tabla 3.18. Resumen de carga 8,5”

Condición de carga	Torque en la mesa rotatoria (ft-lbf)	Arrollamiento total con par de bits (revs)	Arrollamiento total sin torsión de broca (revs)	Peso medido (kip)	Estiramiento total (ft)	Estrés axial=0		Distancia del punto neutral desde la superficie (ft)	Distancia del punto neutral desde la barrena (ft)
						Distancia desde la superficie (ft)	Distancia desde la barrena (ft)		
Disparo dentro	12279,5	4,8	4,8	112,6	4,951	7998,07	1493,63	9491,70	0
Disparo fuera	18295,3	5,8	5,8	218,4	8,239	8694,115	797,585	9491,70	0
Girando en la parte inferior	22885,3	9,8	6,3	132,1	5,245	7998,07	1493,63	8675,504	816,196
Girando fuera de la parte inferior	19639	7,0	7,0	155,1	6,444	8390,617	1101,083	9491,70	0

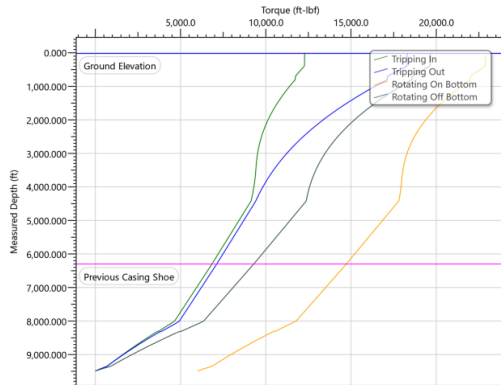


Figura 3.21. Gráfica de Torque

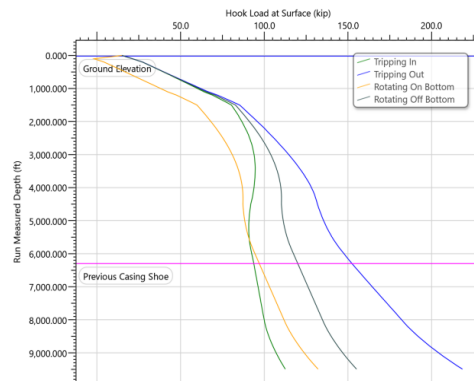


Figura 3.22. Gancho de carga

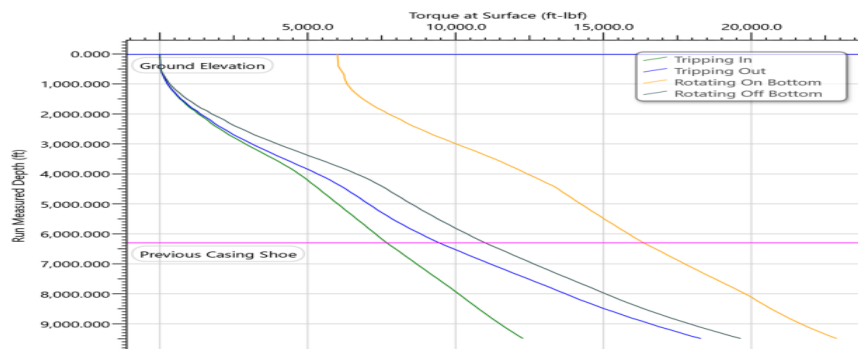


Figura 3.23. Torque Point

Tiempo de perforación para el pozo de 3 secciones

Considerando máximo ángulo de 62° y sección vertical de 6200 ft, TD: 9492 ft: 24 días de perforación y 10 días de completación.

3.1.3 Comparación de resultados de torque en última sección

En los resultados de torque obtenidos para el pozo de 3 y 4 secciones, tomamos los valores desde la profundidad de 8071ft a 9400 ft. El pozo de 4 secciones muestra un torque menor debido a que en esta sección se redujo el diámetro debido a la capacidad del taladro que la compañía tenía para la operación.

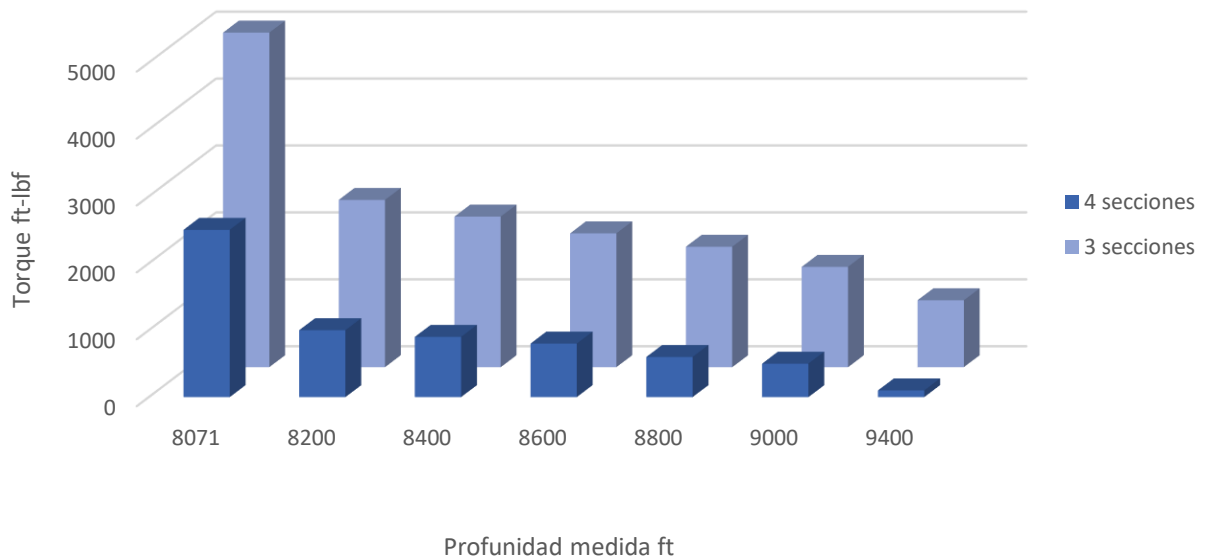


Figura 3.24 Torque en la profundidad de 8071 ft a 9400ft.

3.2. Resultado económico de la perforación de los pozos

Para la seguridad del proyecto de perforación, debemos analizar el factor económico, por lo cual es esencial que se evalúe y cotice los costos de cada etapa del proyecto. Cada proyecto de perforación es diferente, presentando diferentes objetivos y características que se requieran implementar. Por lo que, si el proyecto presente más dificultades esté tendrá un mayor costo para la realización, siendo fundamental detallar los costos en las operaciones. La estimación de los costos de perforación dependerá de los costos fijos y de los costos variables del proyecto.

Costos Fijos:

- Brocas
- Cementación
- Otros cargos
- Registros eléctricos
- Tubería de revestimiento
- Cabezal de producción, etc.

Costos variables:

- Fluidos de perforación (FP)

- Perforación direccional (PD)
- Control litológico (CL)
- Rol de compañía (RC)

La compañía que contrata el servicio cuenta con un taladro de 1000 hp por lo que a pesar de que los costos para el pozo de 4 secciones son más elevados, les favorece este plan. El precio que corresponde al alquiler del taladro es un ahorro que favorece al contratador, por esto, es el plan ideal a realizar para la perforación. En la figura 3.25 se muestra los valores totales para cada pozo.

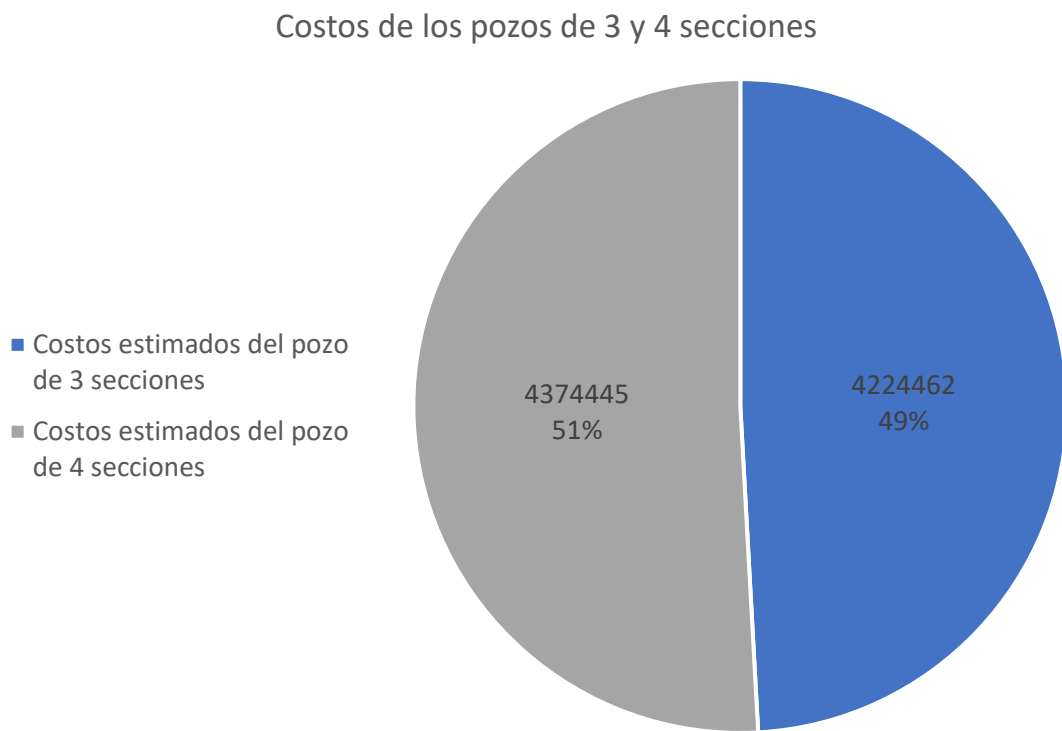


Figura 3.25 Costos de los pozos

El pozo de 4 secciones tiene un costo de \$4374445 y el pozo de 3 secciones tiene un costo de \$4224462, siendo el de 3 secciones un 2% menor en los gastos relacionados al pozo de 4.

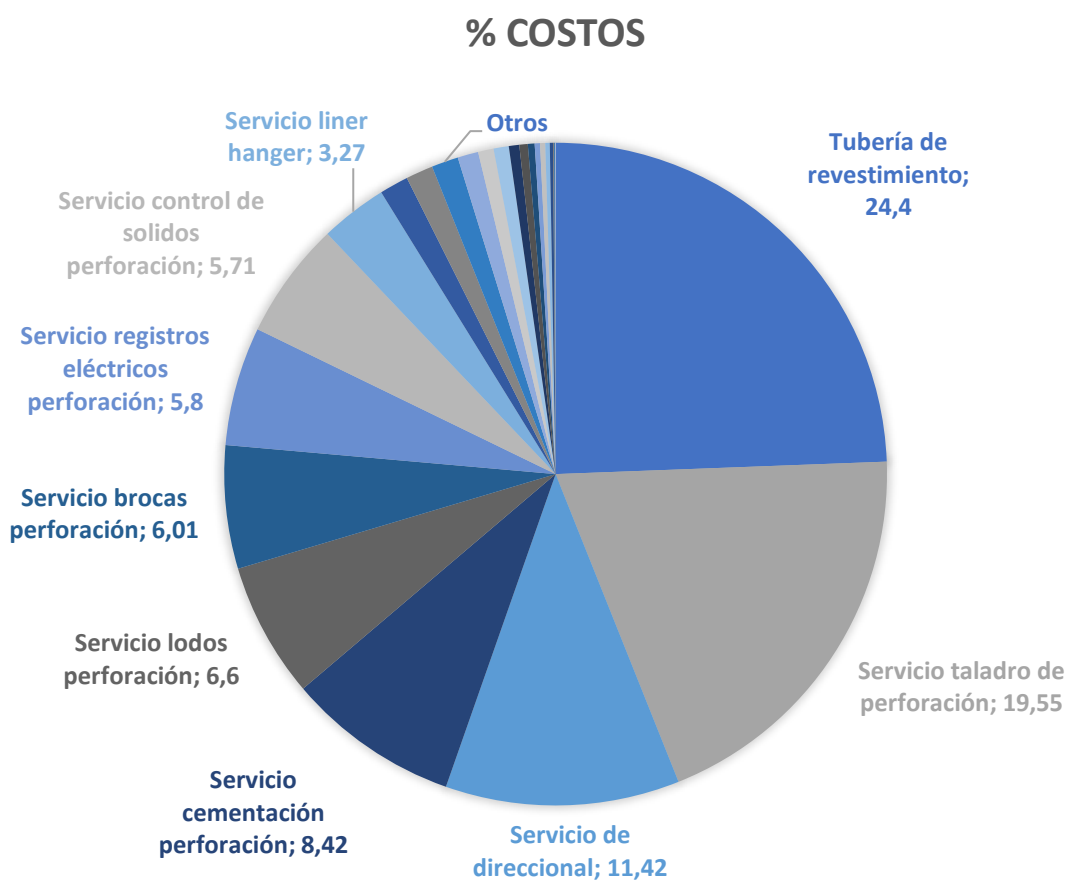


Figura 3.26. Porcentajes de costos estimados para la perforación del pozo ESPOL 01

Como podemos observar en la figura 3.26 la mayor parte de los costos van al servicio del taladro de perforación y a la tubería de revestimiento, por lo que es importante realizar un buen diseño de perforación, tratando de reducir al máximo los costos totales.

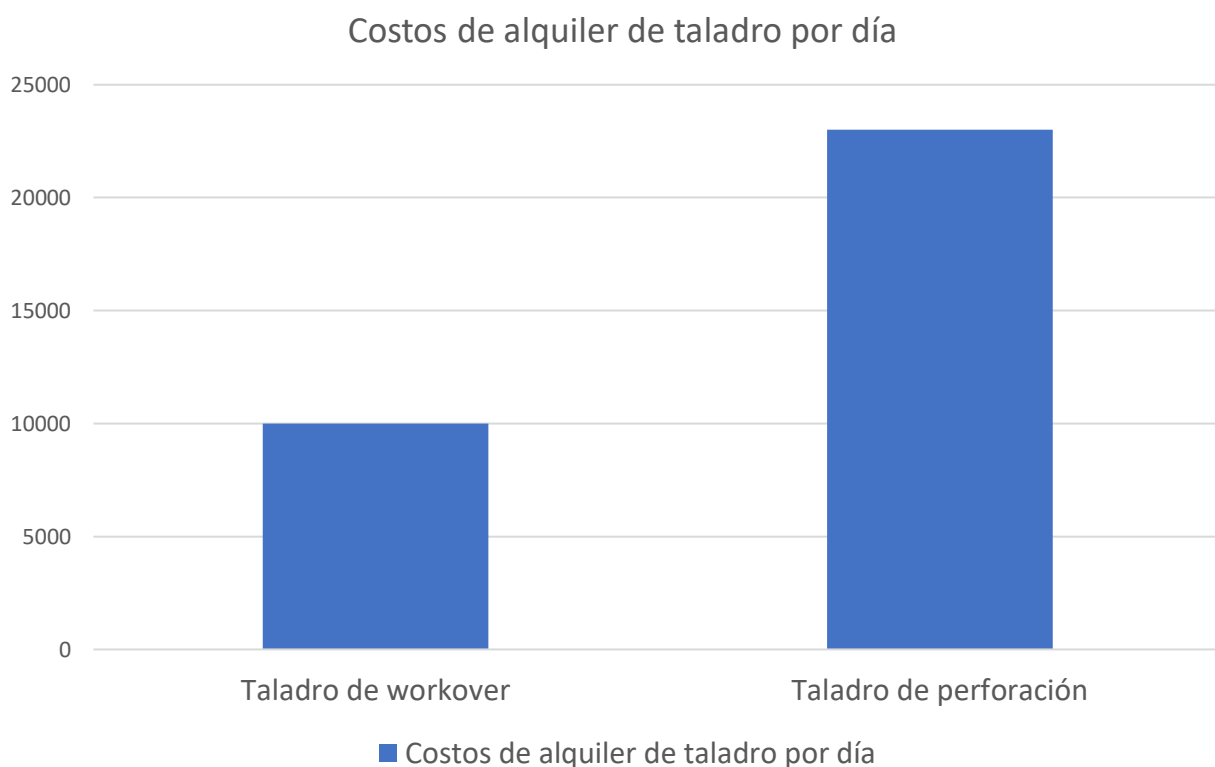


Figura 3.27 Alquiler de taladro

El costo de alquiler de un taladro de perforación está alrededor de los \$23000, si perforamos las tres secciones con este taladro, tenemos un total de alquiler de \$759.000 por los 23 días de perforación y 10 días de completación. Si realizamos la perforación con el taladro de workover donde el alquiler representa un valor alrededor de los \$10.000 para la perforación del pozo de 4 secciones tenemos un total de alquiler de \$360.000 por los 26 días de perforación y 10 días de completación que corresponde a la planificación.

Tabla 3.19 Costos del alquiler por el tiempo de perforación

Pozos	Días de perforación	Días de completación	Costo de Taladro para cada caso \$	Total, en alquiler\$
3 secciones	23	10	40.000	1'320.000
4 secciones	26	10	10.000	360.000

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se construyó el diseño para el pozo de 3 y 4 secciones utilizando el mismo perfil para ambos casos. Para optimizar el torque del pozo de 4 secciones se reduce la última sección de 8.5” a 6.125” de diámetro en la perforación, desde una profundidad medida de 8071’ hasta 9492’. De esta forma, reducir el área de contacto entre las paredes del pozo y la broca de perforación en más de 1000’ de profundidad.
- Se logró optimizar el torque entre la profundidad de 8071’ a 9492’ al disminuir el diámetro 2.425” obteniendo una diferencia de torque alrededor del 30% entre el diseño del pozo de 3 secciones y el pozo de 4 secciones. Lo cual representa un beneficio no solo para usar el taladro de workover sino también para el cuidado y vida útil de las herramientas que se usan para la perforación.
- Se mostró los resultados del diseño obtenido por cada uno de los pozos, donde se logró disminuir el torque para la última sección del pozo de 4 secciones teniendo un tiempo de perforación casi igual al de 3 secciones. Se comparó el tiempo que lleva a cabo la realización de las operaciones para el pozo de 3 y 4 secciones, donde el tiempo de perforación para el pozo de 3 secciones considerando un ángulo máximo de inclinación de 62° es de 24 días de perforación y 10 días de completación y para el pozo de 4 secciones toma de 26 días de perforación y 10 días de completación.
- Se obtuvo un costo total estimado para el pozo de 3 secciones de \$4,224.462, mientras que el costo total estimado para el pozo de 4 secciones es de \$4374455. El pozo de 4 secciones presenta gastos más elevados que el pozo de 3 secciones, pero al usar un taladro de 1000hp de la compañía que contrata el servicio para la realización del pozo de 4 secciones, logramos que los costos por el alquiler del taladro vayan destinados a la propia empresa que realiza el proyecto.

- La diferencia de los costos por el alquiler del taladro de perforación y el taladro de workover de 1000hp es de \$960 000, lo cual representa un gran valor que debe ser analizado en la parte financiera del proyecto beneficiando al proyecto que se lleve a cabo. De esta forma, optimizamos con la idea presentada los recursos económicos que se presentan en un proyecto de plan de perforación y convirtiendo el proyecto en una de las opciones más viables para la empresa que contrata el servicio para la realización del diseño del pozo.
- Uno de los puntos más importantes para el perforador son los puntos de cambio de diámetro en la perforación. Para el pozo optimizado tenemos 4 puntos, el primer casing ubicado en la profundidad de 2500' MD con un diámetro de 13 3/8" el segundo en la profundidad de 5800' MD con un casing de 9 5/8", además de dos liners en la profundidad de 8071' MD con un liner de 7" y 9492' MD con un liner de 5".

Recomendaciones

- Se detalló en el capítulo 3 una serie de problemas que podrían presentarse a la hora de realizar la perforación direccional, puesto que es importante en todo proyecto para poder prevenir costos excesivos en las fallas e imprevistos que se presenten.
- Uno de los gastos más representativos se presenta en el costo de la tubería de revestimiento. Por lo que, evaluar los costos de la tubería es un paso primordial para verificar la rentabilidad del proyecto, analizando las opciones del material a usar, transporte por movilización, entre otros, con el fin de optimizar costos y seguridad del proyecto.
- Cada pozo presenta problemas diferentes. El uso de los recursos con los que cuentan las empresas ayuda a disminuir los gastos generados al final de la planificación. Luego, se diseña un plan que brinde la seguridad del proyecto siendo esta aprobada por la gerencia.
- La optimización del torque nos brinda una serie de beneficios, entre los más importantes es el cuidado de las herramientas de perforación, tenemos que al tener una menor área de contacto entre las paredes del pozo y la herramienta el arrastre disminuye. Por lo tanto, pensar en la disminución del

torque en los proyectos de perforación permite cuidar a las herramientas de perforación y obtener una vida útil extendida de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez Ramírez, M., & Martínez Pérez, M. (3 de Febrero de 2005). *DISEÑO DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DE POZOS*. Obtenido de <http://132.248.9.195/pd2006/0606673/0606673.pdf>
- al, E. e. (1998). *Torque y arrastre*.
- Ayala, D. (2017). *Propuesta de Diseño para la Perforación de un Pozo*. Obtenido de http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/124608/1/TFM_MERSE_Diego_Roberto_Ayala_Trujillo.pdf
- Ayala, D. (2018). Obtenido de *Propuesta de Diseño para la Perforación de un Pozo Exploratorio de Geotermia en Jamanca-Ecuador.*: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/124608/1/TFM_MERSE_Diego_Roberto_Ayala_Trujillo.pdf
- Barragán, R, Christophoul, F, White, H, Baby, P, & Rivadeneira, M. (2004). *Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador*. Obtenido de <<http://books.openedition.org/ifea/2971>>
- Diseño de perforación*. (s.f.). Obtenido de Oil production: <http://oilproduction.net/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>
- Drilling*. (s.f.). Obtenido de Occupational Safety and Health Administration: <https://www.osha.gov/etools/oil-and-gas/drilling/kickback-final>
- Geralf, P., Manuel J., M., Vicente L., C., & Chacón, Z. (2012). MODELADO NUMÉRICO DEL FENÓMENO DE TORQUE Y ARRASTRE EN TUBERÍAS DE COMPLETACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO Y GAS. *Mecánica Computacional Vol XXXI*, 1088.
- Gli, T. (17 de Agosto de 2013). *Secretaría de Hidrocarburos*. Obtenido de Mapa de Bloques Petroleros de Ecuador (actualizada): <http://www.geoyasuni.org/?p=915>

- Madrid, M. (6 de Marzo de 2016). *Portal del petróleo*. Obtenido de <https://www.portaldelpetroleo.com/2016/03/perforacion-direccional.html>
- Madrid, M. (6 de Marzo de 2016). *Portal del Petróleo*. Obtenido de Perforación Direccional en Pozos de Petróleo: <https://www.portaldelpetroleo.com/2016/03/perforacion-direccional.html>
- Oil production*. (s.f.). Obtenido de Diseño de la perforación de pozos: <http://oilproduction.net/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>
- Portillo, G. (s.f.). *Litología*. Obtenido de MeteorologíaenRed: <https://www.meteorologiaenred.com/litologia.html>
- Rodriguez, D. (15 de octubre de 2014). *Maquina e industria* . Obtenido de Dientes en las perforaciones de pozos en barrena: <https://maquinariaeindustria.es/dientes-en-las-perforaciones-de-pozos-en-barrena/>
- Santos, O. (03 de 2015). *ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES DURANTE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS DIRECCIONALES EN LA PLATAFORMA DRAGO NORTE 2*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9143/1/CD-6097.pdf>
- Schlumberger. (2022). *presión de fracturamiento o de ruptura*. Obtenido de Energy Glossary en Español.
- Valdivieso, A. (2022). *iagua*. Obtenido de ¿Qué es la presión hidrostática?: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-presion-hidrostatica>
- Yanez, E. C. (10 de 2013). *OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIAS DIRECCIONALES DE ALTA TASA DE CONSTRUCCIÓN PARA POZOS HORIZONTALES, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMA DE ROTACIÓN CONTINUA, BLOQUE 16* . Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71901365.pdf>
- Young, H., & Freedman, R. (2013). *Física Universitaria Sears y Zemansky Vol1*. México: Pearson Education.