



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEOS

TEMA:

“Evaluación de la propuesta del programa de perforación del pozo direccional tipo “S” ubicado en el bloque 60 del oriente ecuatoriano”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

JESSICA STHEFANY GUALE PRUDENTE
CÉSAR AUGUSTO GARCÍA RAMÍREZ

TUTOR:

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEOS

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE
PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN
EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

JESSICA STHEFANY GUALE PRUDENTE

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA RAMÍREZ

TUTOR:

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc

LA LIBERTAD, ECUADOR

2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marllelis Gutiérrez H, PhD.
DIRECTORA DE LA CARRERA DE
PETRÓLEOS



Firmado electrónicamente por:
ISRAEL ISIDRO
YAGUAL PITA

Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Carlos Alfredo Malavé, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Carlos Alfredo Malavé, MSc.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC



Ing. David Vega González
SECRETARIO

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación, primero a Dios por brindarme salud y sabiduría, a mis padres Geovanny y Ángela por proporcionarme su apoyo incondicional, amor y consejos durante mi formación académica.

Jessica Guale.

Dedico este trabajo de titulación a mi madre María de Lourdes y a mi abuela María Yolanda, por ser mi apoyo fundamental durante mi formación académica y por ayudarme a crecer en lo personal y profesional.

César García

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO.**” elaborado por los estudiantes **Jessica Sthefany Guale Prudente y Cesar Augusto García Ramírez**, egresados de la carrera de Ingeniería en petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un **6%** de la valoración permitida.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis Guale Jessica - García César

6%
Textos sospechosos

5% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido
0% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis Guale Jessica - García César.docx
ID del documento: 307349e36bde5cf13077c7694570924f424758e6
Tamaño del documento original: 119 kB

Depositante: Israel Isidro Yagual Pita
Fecha de depósito: 19/12/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 19/12/2023

Número de palabras: 8739
Número de caracteres: 52.983



Firmado electrónicamente por:
**ISRAEL ISIDRO
YAGUAL PITA**

Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

Tutor

C.I: 0927362988

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Jessica Sthefany Guale Prudente** y **César Augusto García Ramírez**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado trabajo **“EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Petróleos, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración **cedemos** los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

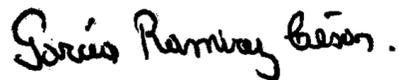
Atentamente,



Jessica Sthefany Guale Prudente

Autora de tesis

24500112608



César Augusto García Ramírez

Autor de tesis

2400240533

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de tutor del presente trabajo **EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO**, elaborado por los estudiantes Jessica Sthefany Guale Prudente y César Augusto García Ramírez previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos, egresados de la carrera de Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Firmado electrónicamente por:
**ISRAEL ISIDRO
YAGUAL PITA**

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.
DOCENTE TUTOR CI:
0927362988

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Ing. Flor Estefanía Rodríguez Balón, MSc.

Celular: 0963140641

Correo: flor.rodriguez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **FLOR ESTEFANÍA RODRÍGUEZ BALÓN**, en mi calidad de **INGENIERA EN SISTEMAS Y MÁSTER EN GESTIÓN EDUCATIVA**, por medio de la presente tengo bien indicar que he leído y corregido el trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de ingeniero en petróleo, denominado **“EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO.”** De los estudiantes: **GALE PRUDENTE JESSICA STHEFANY** y **CESAR AUGUSTO GARCÍA RAMÍREZ**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo con las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

Es cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 17 de diciembre del 2023



Ing. Flor Estefanía Rodríguez Balón, MSc.

CI. 2400001976

INGENIERA EN SISTEMAS
MÁSTER EN GESTIÓN EDUCATIVA

N° DE REGISTRO DE SENESCYT 5582208965

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres que desde el principio nos inspiró a luchar y esforzarnos para lograr nuestras metas, sus apoyos inquebrantables y cada palabra de aliento han sido el motor que nos han impulsado en los días más desafiantes.

A nuestros maestros por sus enseñanzas para desarrollarnos profesionalmente, brindándonos todos sus conocimientos, en especial a los Ing. Israel Yagual Pita y Ing. Carlos Malavé Carrera.

Al Ing. Jean Carlos Rodríguez Balón que siempre ha estado en los momentos más difíciles motivando a seguir adelante.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por brindarnos la oportunidad de estudiar en ella y ayudarnos a no solo cumplir con el juramento sino a ir más allá de las metas propuestas.

CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	I
DEDICATORIA	II
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	IV
CERTIFICADO DE GRAMATÓLOGIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
CONTENIDO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABLAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 HIPÓTESIS	3
1.4 OBJETIVOS	3

1.4.1	OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5	ALCANCE	4
1.6	JUSTIFICACIÓN	4
1.7	VARIABLES.....	5
1.7.1	VARIABLES DEPENDIENTES.....	5
1.7.2	VARIABLES INDEPENDIENTES	5
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	GENERALIDADES DEL CAMPO SACHA.....	6
2.2	TIPOS DE POZO	7
2.2.1	POZO VERTICAL.....	7
2.2.2	POZO HORIZONTAL	7
2.2.3	POZO TIPO “J”	8
2.2.4	POZO TIPO “S”	8
2.2.5	POZO MULTILATERAL	9
2.3	EQUIPO DE PERFORACIÓN.....	9
2.3.1	TANQUE DE LODO.....	10
2.3.2	BOMBA DE LODO.....	11
2.3.3	TORRE DE PERFORACIÓN O MÁSTIL.....	11
2.3.4	MALACATE.....	11

2.3.5	MESA ROTATIVA	11
2.3.6	SARTA DE PERFORACIÓN	12
2.3.7	GENERADORES DE POTENCIA.....	12
2.4	FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	12
2.4.1	FLUIDO DE PERFORACIÓN BASE AGUA	12
2.4.2	FLUIDO DE PERFORACIÓN BASE ACEITE.....	13
2.5	BHA (BOTTOM HOLE ASSEMBLY)	13
2.5.1	BROCAS DE PERFORACIÓN	13
A)	BROCA TRICÓNICA.	13
B)	BROCAS COMPACTO DE DIAMANTES POLICRISTALINOS PDC	14
2.5.2	HERRAMIENTAS DE DESVIACIÓN	14
A)	CUÑAS DE DESVIACIÓN (WHIPSTOCKS).	14
B)	MOTORES DE FONDO.....	15
2.5.3	HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN	15
A)	HERRAMIENTA MWD (MEASURE WHILE DRILLING).....	15
B)	HERRAMIENTA LWD (LOGGING WHILE DRILLING)	15
2.5.4	ESTABILIZADORES DE PERFORACIÓN.....	15
2.5.5	DRILL COLLAR.....	16
2.5.6	TUBERÍA DE PERFORACIÓN.....	16
2.6	DESVIACIÓN DEL SURVEY.....	16

2.6.1	INCLINACIÓN.....	16
2.6.2	PROFUNDIDAD VERTICAL VERDADERA.....	16
2.6.3	PROFUNDIDAD MEDIDA.....	17
2.6.4	AZIMUT.....	17
2.6.5	PATA DE PERRO (DOG LEG).....	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		18
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.2	IDENTIFICACIÓN DE ARENAS.....	18
3.3	ESTRUCTURA DEL POZO TIPO “S”	18
3.4	PARÁMETROS CONOCIDOS.....	20
3.4.1	PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL (TVD)	20
3.4.2	PUNTO DE ARRANQUE DEL ÁNGULO (KOP).....	20
3.4.3	ÁNGULO DE DESVIACIÓN.....	20
3.5	PARÁMETROS A CALCULAR.....	20
3.5.1	AZIMUT.....	20
3.5.2	RADIO DE LA CURVATURA	21
3.5.3	ÁNGULO MÁXIMO DE INCLINACIÓN	23
3.5.4	PROFUNDIDAD VERTICAL DEL FINAL DEL INCREMENTO DE ÁNGULO	26
3.5.5	PROFUNDIDAD MEDIDA DEL EOB	28

3.5.6	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL HASTA EL EOB	29
3.5.7	PROFUNDIDAD MEDIDA HASTA EL FINAL DE SECCIÓN TANGENCIAL	30
3.5.8	PROFUNDIDAD VERTICAL DEL SOD	31
3.5.9	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL HASTA EL SOD	32
3.5.10	PROFUNDIDAD MEDIDA TOTAL HASTA EL OBJETIVO	33
3.6	SELECCIÓN DE BROCAS DE PERFORACIÓN	35
3.7	CURVA DEL LODO VS PROFUNDIDAD.....	36
3.8	COLUMNA LITOLÓGICA DEL CAMPO SACHA	37
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		38
4.1	ZONAS DE INTERÉS	38
4.1.1	ZONA DE INTERÉS DE OBJETIVO PRINCIPAL	38
A)	ARENISCA NAPO U INFERIOR.....	38
4.1.2	ZONA DE INTERÉS DE OBJETIVOS SECUNDARIOS	38
A)	TENA BASAL.....	38
B)	NAPO T INFERIOR.....	39
4.2	CURVA DE LODO VS PROFUNDIDAD	39
4.3	AZIMUT Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL	40
4.4	DISEÑO PARA EL POZO TIPO “S”.....	42
4.4.1	CONSTRUCCIÓN DEL RADIO DE LA CURVATURA	43

4.4.2	CONSTRUCCIÓN DEL ÁNGULO MÁXIMO DE INCLINACIÓN	43
4.4.3	CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD VERTICAL Y MEDIDA DEL EOB .	45
4.4.4	CÁLCULO DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL EOB	46
4.4.5	CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD VERTICAL Y MEDIDA DEL SOD .	47
4.4.6	CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL SOD.....	49
4.4.7	CÁLCULO DE PROFUNDIDAD MEDIDA AL FINAL DE CAÍDA DE ÁNGULO	50
4.4.8	CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD MEDIDA TOTAL.....	51
4.5	SECCIÓN CONDUCTORA.....	52
4.5.1	SARTA DE PERFORACIÓN PARA CONDUCTOR DE 26”.....	52
4.5.2	CEMENTACIÓN DE LA SECCIÓN CONDUCTORA 20”	52
4.6	SECCIÓN SUPERFICIAL.....	53
4.6.1	SARTA DE PERFORACIÓN PARA SECCIÓN SUPERFICIAL DE 16” ...	53
4.6.2	CEMENTACIÓN DE LA SECCIÓN DE 16”.....	54
4.7	SECCIÓN INTERMEDIA	54
4.7.1	SARTA DE PERFORACIÓN PARA SECCIÓN INTERMEDIA DE 12 ¼”	54
4.7.2	CEMENTACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼”	55
4.8	SECCIÓN DE PRODUCCIÓN.....	55
4.8.1	SARTA DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE 8 3/8”	55
4.8.2	CEMENTACIÓN DE LA SECCIÓN 8 3/8”	56

4.9	CURVA DE PROFUNDIDAD VS TIEMPO	57
4.10	ESTIMACIÓN ECÓNOMICA DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN	58
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1	RECOMENDACIONES.....	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del campo Sacha (Romero y Gómez, 2010)	6
Figura 2. Estructura de pozo vertical (Guayes I, 2023).	7
Figura 3. Ilustración de un pozo horizontal (Guayes I, 2023).	8
Figura 4. Pozo Tipo “J” (Loor A, 2014).....	8
Figura 5. Pozo tipo “S” (Loor A, 2014)	9
Figura 6. Tanque de almacenamiento de lodo de perforación (Tenorio, 2015).....	10
Figura 7. Diseño del pozo tipo “S”	19
Figura 8. Explicación gráfica del azimut para un pozo tipo “S”	21
Figura 9. Construcción de los radios de curvatura en pozos tipo “S”	22
Figura 10. Secciones para el cálculo del ángulo máximo a mantener.....	23
Figura 11. Sección “FOE” del pozo tipo “S”	24
Figura 12. Sección “FOG” del pozo tipo “S”	25
Figura 13. Profundidad vertical del EOB en el pozo tipo “S”	27
Figura 14. Profundidad medida del EOB en el pozo tipo “S”	28
Figura 15. Desplazamiento horizontal del EOB en el pozo tipo “S”	29
Figura 16. Profundidad medida del SOD del pozo tipo “S”	30
Figura 17. Profundidad vertical del SOD del pozo tipo “S”	32

Figura 18. Desplazamiento horizontal del SOD del pozo tipo “S”.	33
Figura 19. Profundidad medida total del pozo tipo “S”.	34
Figura 20. Código IADC para brocas tricónicas (González et al., 2010)	35
Figura 21. Código IADC para brocas PDC (González et al., 2010)	36
Figura 22. Columna litológica del campo sachá (Espín E, 2017).	37
Figura 23. Representación gráfica de la curva de peso de lodo vs. Profundidad.	40
Figura 24. Desplazamiento Horizontal y azimut para el pozo tipo “S”.	42
Figura 25. Construcción del radio de la curvatura.	43
Figura 26. Ángulo Ω de la sección FOE.	44
Figura 27. Ángulo α de la sección FOG.	45
Figura 28. Profundidad vertical y medida del EOB.	46
Figura 29. Desplazamiento horizontal del EOB.	47
Figura 30. Profundidad medida y vertical del SOD.	48
Figura 31. Desplazamiento horizontal del SOD.	49
Figura 32. Profundidad Total medida hasta el final del incremento del ángulo.	50
Figura 33. Profundidad medida total del pozo.	51
Figura 34. Curva de estimación del tiempo de perforación vs profundidad.	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes del BHA para la perforación de la sección conductora de 20 in. ..	52
Tabla 2. Componentes del BHA para la perforación de la sección superficial de 16 in. ...	53
Tabla 3. Componentes del BHA para la perforación de la sección intermedia de 12 1/4 in.	54
Tabla 4. Componentes del BHA para la perforación de la sección de producción de 8 3/8 in.	56
Tabla 5. Estimación de costos del taladro de perforación y cementación, para 1 pozo en 20 días	58
Tabla 6. Estimación de costos del personal de operación, para 1 pozo en 20 días	59
Tabla 7. Costos de perforación para el pozo tipo “S”	59

“EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE PERFORACIÓN DEL POZO DIRECCIONAL TIPO “S” UBICADO EN EL BLOQUE 60 DEL ORIENTE ECUATORIANO”

RESUMEN

Al realizar una perforación direccional con poca distancia entre pozos, uno de los riesgos inherentes es la aparición de problemas en el pozo. Por lo tanto, es necesario evaluar cuidadosamente cada perforación, especialmente si se trata del bloque 60 del oriente ecuatoriano, que tiene la mayor producción de hidrocarburos. Este trabajo de investigación propone evaluar el plan de perforación mediante la propuesta del programa de perforación direccional tipo “S” para la correspondiente toma de decisiones efectiva de cada sección a perforar. La metodología utilizada se basa en la determinación cualitativa del análisis de la columna litológica y del diseño del pozo tipo “S” y también la determinación cuantitativa del proceso de cementación. Se determinó la profundidad de asentamiento de cada sección, curva de tiempo vs profundidad, el ensamblaje de fondo, cantidad de tubería de perforación y tipo de broca a utilizar en cada sección; adicional, se realizó una estimación económica basado en los costos operativos de la torre de perforación y el costo del personal de perforación y completación para un total de 20 días de operaciones, obteniendo un total de \$762847.

PALABRAS CLAVES: BLOQUE 60, PERFORACIÓN DIRECCIONAL, POZO TIPO “S”, CEMENTACIÓN, PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO, BHA, TALADRO DE PERFORACIÓN, COSTO.

“EVALUATION OF THE PROPOSAL FOR THE DRILLING PROGRAM OF THE TYPE “S” DIRECTIONAL WELL LOCATED IN BLOCK 60 OF EASTERN ECUADOR”

ABSTRACT

When directional drilling with short borehole spacing, one of the inherent risks is the occurrence of problems in the borehole. Therefore, it is necessary to carefully evaluate each drilling, especially in the case of Block 60 in eastern Ecuador, which has the largest hydrocarbon production. This research work proposes to evaluate the drilling plan by proposing the "S" type directional drilling programme for effective decision making for each section to be drilled. The methodology used is based on the qualitative determination of the analysis of the lithological column and the design of the "S" type well and also the quantitative determination of the cementing process. The depth of settlement of each section, time vs. depth curve, bottom hole assembly, amount of drill pipe and type of drill bit to be used in each section was determined; additionally, an economic estimate was made based on the operating costs of the rig and the cost of drilling and completion personnel for a total of 20 days of operations, obtaining a total of \$762847.

KEYWORDS: BLOCK 60, DIRECTIONAL DRILLING, “S” TYPE WELL, CEMENTATION, SETTLEMENT DEPTH, BHA, DRILLING DRILL, COST

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde que se inició la perforación de pozos direccionales, las desviaciones de trayectoria han supuesto un nuevo desafío. Sin embargo, cuando se planea perforar un pozo en una zona donde se encuentran varios pozos cercanos, es importante considerar la cercanía entre ellos debido a los problemas que pueden presentarse en el mismo, especialmente cuando los pozos están produciendo hidrocarburos.

Al realizar una perforación direccional con poca distancia entre pozos, uno de los riesgos inherentes es la aparición de problemas en el pozo. Por lo tanto, es necesario evaluar cuidadosamente cada perforación, especialmente si se trata del bloque 60 del oriente ecuatoriano, que tiene la mayor producción de hidrocarburos.

La mayoría de las empresas operadoras y proveedores de servicios a nivel mundial buscan determinar la forma más eficiente y rentable de perforar, evitando así los problemas que se pueden presentar en el pozo. Esta investigación proporcionará una descripción de las operaciones realizadas en el campo Sacha en relación con la perforación direccional tipo "S", analizando los problemas asociados con desviaciones no deseadas, desgaste de herramientas, inestabilidad del pozo y atascamiento de la broca. Además, se identificarán oportunidades de optimización de los procesos operativos y se brindarán medidas que ayuden a prevenir problemas en futuros proyectos de perforación.

1.2 ANTECEDENTES

Sánchez Velázquez, en el 2011 analizó la perforación direccional en México, concluyendo que es usada en yacimientos naturalmente fracturados. Cada vez se hace más cotidiano la

perforación direccional en arenas productoras. Sin embargo, este tipo de técnicas tiene sus riesgos, ya que sus parámetros de medición tienen que ser muy precisos para evitar una mala planeación de algún tipo de pozo.

En el trabajo de García en el 2015 sostuvo que el primer pozo direccional se perforó en 1930 en Huntington Beach, California, pero no recibió reconocimiento favorable hasta 1934, donde se perforó un pozo direccional para interceptar un pozo descontrolado. Mientras que en México el primer pozo direccional fue perforado en 1960.

Guzmán Cabrera en el 2021, relacionó las operaciones de perforación de un pozo direccional tipo “S” con alto desplazamiento, se realizó el análisis puntual de cada evento que se presentan para cada sección perforada, siendo una perforación con alto desplazamiento, incrementará la probabilidad de tener problemas durante la perforación.

Coloma Chango en el 2008, realizó una investigación sobre la evaluación de ensamblajes de fondo BHA (Botton Hole Assembly – Ensamblaje de perforación) con la finalidad de optimizar el tiempo de perforación en pozos direccionales en el campo Sacha, donde analiza que un BHA que se desempeña bien en un pozo puede actuar muy diferente en otros campos.

Moreno Piña en el 2008, analizó el desempeño del ensamblaje de fondo que varía con respecto a las características de las formaciones que se encuentran atravesando, así como de la geometría del pozo y provee importante información para la selección del futuro pozo a perforar. Existiendo dos tipos de ensamblajes que son mayormente utilizados en la perforación de pozos direccionales de petróleo, estos son: ensamblaje con motor de fondo y ensamblaje direccionable rotatorio. Si bien el primero tiene un bajo costo relativo al segundo, tiene limitantes en la tasa de perforación y en parámetros de calibración del hoyo que pueden añadir un costo adicional al proceso de perforación.

Pilla Cunalata en el 2015, llevó a cabo un manual de planificación, diseño y consideraciones para la construcción de pozos direccionales en el campo Sacha donde concluye que para la perforación de pozos direccionales es recomendable cumplir estrictamente con los parámetros de perforación de acuerdo con la formación que se esté atravesando.

Finalmente, se han identificado los problemas asociados a la perforación de pozos tales como: desviaciones no deseadas, desgaste de herramientas, inestabilidad del pozo, atascamiento de la broca; lo que ha llevado a la adopción de perforaciones direccionales. Esta estrategia ha permitido optimizar los recursos económicos para futuros trabajos en el campo.

1.3 HIPÓTESIS

¿Es posible evaluar los resultados económicos, impactos ambientales y rentabilidad de la propuesta del programa de perforación de un pozo tipo “S” en el bloque 60 del Oriente Ecuatoriano?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el plan de perforación mediante la propuesta del programa de perforación direccional tipo “S” para la correspondiente toma de decisiones efectiva de cada sección a perforar.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer el perfil direccional tipo “S” mediante el análisis de la columna litológica del bloque 60 del Oriente Ecuatoriano.
- Determinar las secciones a perforar y el programa de brocas principales utilizadas en la perforación del pozo.
- Elaborar un análisis económico del sistema propuesto asociado a los costos del pozo perforado en la actualidad.

- Analizar las arenas productoras y características del bloque 60 del oriente ecuatoriano para comprender el contexto geológico y las particularidades que pueden influir en la perforación direccional tipo “S”.

1.5 ALCANCE

La finalidad de este estudio se basa en la evaluación de un nuevo proceso de perforación para un pozo tipo "S" en el bloque 60 del oriente ecuatoriano, realizando las valoraciones necesarias desde las curvas de profundidad, así como también la propuesta de una ventana de lodo, el programa de broca y análisis económico.

El estudio enfocará la propuesta para futuras perforaciones que se realicen en el país y que sirva como ejemplo las consideraciones que se desarrollarán en este proyecto de investigación para que así, se tenga una efectiva toma de decisiones al momento de planificar la perforación direccional tipo “S”, reduciendo los tiempos estimados en este tipo de perforaciones direccional, así como también, reducir los contratiempos por fallos en el plan de perforación.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Los resultados obtenidos en el bloque 60 del oriente ecuatoriano donde está localizado el campo Sacha se encuentran realizando programas para la perforación direccional tipo “S” los cuales, permitirán evaluar su factibilidad técnica y económica, así como establecer las mejores prácticas y regulaciones para su implementación en futuros proyectos de la región, ya que ha surgido como una técnica altamente efectiva y prometedora en la industria petrolera, con el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y los resultados en la exploración y producción de hidrocarburos. Además, la evaluación de la propuesta del programa de perforación del pozo direccional tipo “S” tiene presente minimizar los impactos ambientales, evitando la deforestación innecesaria del terreno.

La evaluación de la propuesta del programa de perforación direccional tipo “S” en el campo Sacha es fundamental para maximizar y comprender el potencial de las arenas productoras y

yacimientos petroleros presentes en el área que se quiere perforar. Con el uso de esta técnica se espera obtener información sobre la viabilidad y los posibles beneficios económicos, ambientales y operativos que puede brindar en comparación de otros métodos convencionales de perforación.

Esta propuesta es especialmente relevante en el contexto del oriente ecuatoriano, una región que alberga una gran cantidad de recursos petroleros, dado que el bloque 60 tiene un potencial significativo en términos de reservas de hidrocarburos. Además, la evaluación de la propuesta del programa de perforación del pozo direccional tipo “S” tiene presente minimizar los impactos ambientales, evitando la deforestación innecesaria del terreno

Finalmente, esta evaluación proporcionará información valiosa para la toma de decisiones efectivas en la industria petrolera y las autoridades reguladoras en el Ecuador.

1.7 VARIABLES

1.7.1 Variables dependientes

- Operación de los equipos
- Trayectoria del pozo
- Tecnología y herramientas utilizadas
- Tiempo de perforación

1.7.2 Variables independientes

- Programa de perforación direccional tipo “S”
- Técnicas de perforación
- Caracterización geológica

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL CAMPO SACHA

El campo sacha se localiza en el Oriente ecuatoriano como se muestra en la figura 1, específicamente en la provincia de Orellana, en la zona del cantón "La Joya de los Sachas", entre las coordenadas: $00^{\circ}11'00''$ y $00^{\circ}24'30''$ Latitud Sur y $76^{\circ}49'40''$ a $76^{\circ}54'16''$ Longitud Oeste a unos 50 km al sur de Lago Agrio, cubriendo un área desarrollada de 100 Km^2 , aproximadamente. El área total no está definida, cubre aproximadamente 300 Km^2 , el área desarrollada corresponde a la extensión del yacimiento Hollín, actualmente mantiene una producción de 76005 barriles de petróleo por día, con un crudo de 24.9° API (Romero y Gómez, 2010).

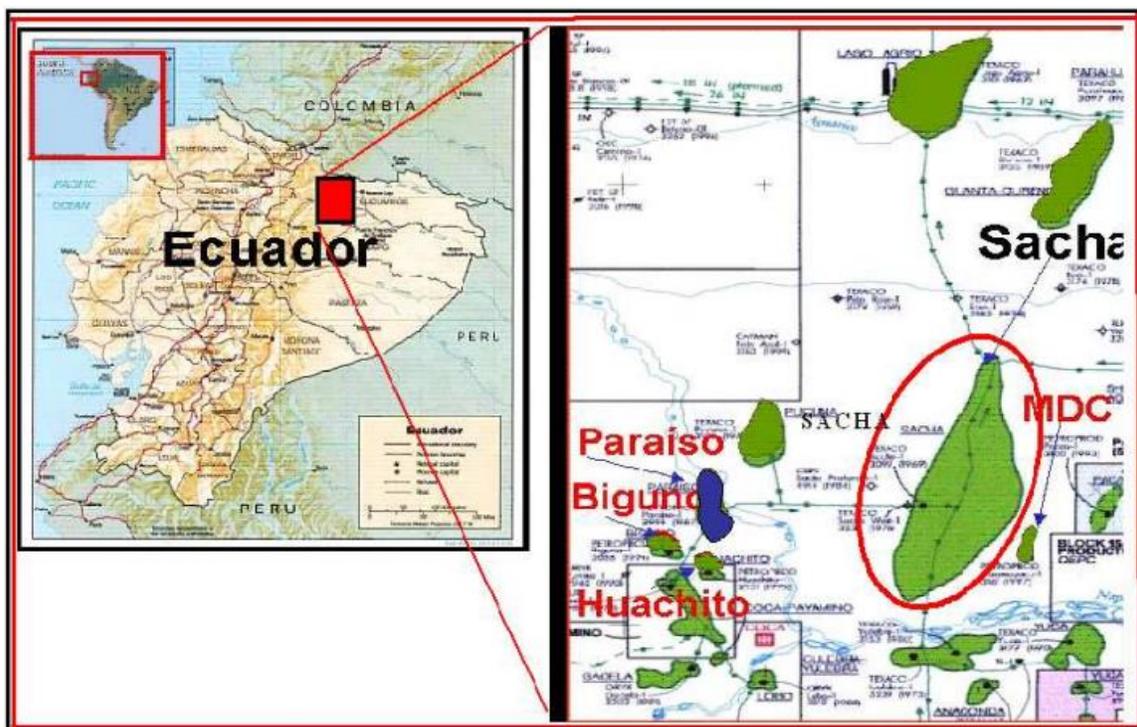


Figura 1. Ubicación del campo Sacha (Romero y Gómez, 2010)

2.2 TIPOS DE POZO

2.2.1 Pozo Vertical

Los pozos verticales son los más utilizados en la industria petrolera. El pozo vertical uniforme facilita la inserción de carcasas más grandes con requisitos mínimos de espacio y también permite el uso de carcasas adicionales. Con pozos que mantienen la verticalidad, el tamaño del pozo se puede minimizar desde el principio y, como resultado, los pozos más pequeños generalmente son más rápidos de perforar y están libres de recortes de perforación como tuberías y cemento. También es más rentable en términos de eliminación (Herrera A, 2019).

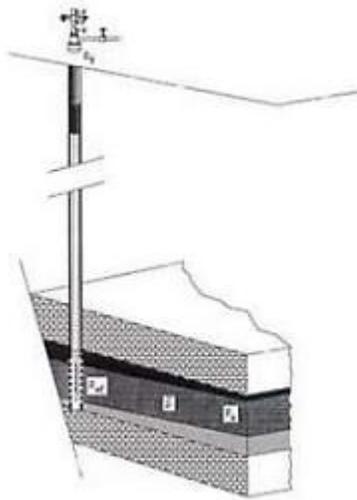


Figura 2. Estructura de pozo vertical (Guayes I, 2023).

2.2.2 Pozo Horizontal

Un pozo horizontal es un pozo que se perfora desde la superficie, se desvía de la vertical en un ángulo de 90° y entra al yacimiento con una sección transversal completamente horizontal (Rosero y Toscano, 2012).



Figura 3. Ilustración de un pozo horizontal (Guayes I, 2023).

2.2.3 Pozo tipo “J”

Este pozo direccional específico se divide en tres secciones principales: la vertical, la de construcción y la tangencial. En la sección tangencial, se destaca por mantener una inclinación y dirección constantes a lo largo de toda la fase. Es esencial destacar que el ángulo y la dirección de perforación en esta etapa pueden variar hasta 2° en comparación con el plan de perforación inicial, esto se debe a las características naturales de las formaciones y al comportamiento del BHA (Cózar A, 2017).

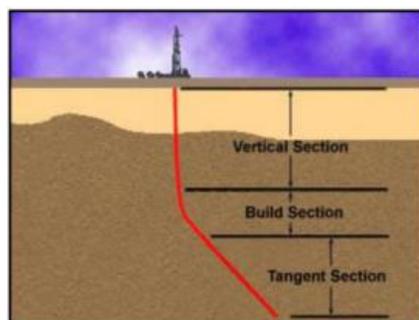


Figura 4. Pozo Tipo “J” (Loor A, 2014)

2.2.4 Pozo tipo “S”

Este perfil es semejante al perfil tipo "J", pero se distingue en que la sección comienza a descender en la parte inferior de la tangente, y la inclinación disminuye gradualmente hasta llegar al objetivo, siguiendo la secuencia de construir, sostener y descender. Este tipo de

perfil se utiliza cuando se pretende alcanzar objetivos en profundidad con un desplazamiento horizontal limitado. Además, es beneficioso en la etapa final del pozo, especialmente cuando atraviesa varias zonas productoras o en pozos de alivio que requieren este enfoque (Sevilla K, 2023).

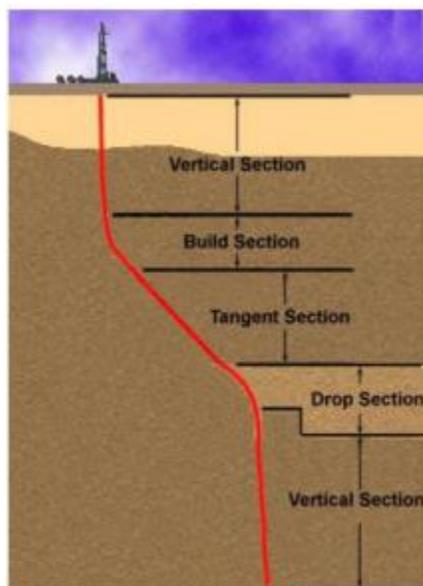


Figura 5. Pozo tipo "S" (Loor A, 2014)

2.2.5 Pozo Multilateral

La perforación multilateral implica la perforación de múltiples pozos con el propósito de ampliar la zona de drenaje del yacimiento. Esta extensión se logra al perforar uno o varios ramales (laterales) en diversas direcciones dentro de las secciones horizontal, vertical o direccional. El objetivo principal es aumentar eficientemente la producción de hidrocarburos, al mismo tiempo que se reducen los costos y los impactos ambientales asociados con la contaminación en la superficie (Parrilla Y, 2023).

2.3 EQUIPO DE PERFORACIÓN

El dispositivo empleado para perforar un pozo, en operaciones terrestres, abarca prácticamente todo excepto las instalaciones de alojamiento. Los elementos esenciales del equipo de perforación comprenden los depósitos de lodo, las bombas de lodo, la torre de

perforación o mástil, el cabrestante, la mesa rotativa o la unidad de control superior, la columna de perforación, el equipo generador de energía y el equipo auxiliar (Schlumberger, 2023).

2.3.1 Tanque De Lodo

El tanque de lodo de perforación constituye un recipiente de gran tamaño diseñado para albergar el fluido de perforación, y se localiza en el equipo de perforación o en una instalación de mezcla de lodos. En entornos de perforación terrestre, la mayoría de estos recipientes adoptan la forma de estructuras de acero rectangular con compartimentos que contienen alrededor de 200 barriles cada uno, dispuestos en serie como parte integral del sistema activo de lodo. En las operaciones de perforación en aguas profundas, es común construir tanques de mayor capacidad directamente en la plataforma de perforación, alcanzando capacidades de hasta 1100 barriles. En ciertos casos, se emplean tanques circulares como instalaciones de mezcla, contribuyendo a mejorar la eficiencia de mezclado y reduciendo áreas propensas a la acumulación de sedimentos en algunos equipos de perforación (Schlumberger, 2022).



Figura 6. Tanque de almacenamiento de lodo de perforación (Tenorio, 2015)

2.3.2 Bomba De Lodo

Las bombas de lodo representan el componente fundamental en cualquier sistema de circulación de fluidos. Estas operan mediante motores de combustión interna o motores eléctricos que están directamente conectados a las bombas o reciben energía transmitida desde la central de distribución. Es esencial que estas bombas tengan la capacidad de desplazar volúmenes sustanciales de fluido a presiones elevadas. Además, desempeñan un papel crucial al proporcionar la presión y el caudal necesarios para controlar posibles brotes en el pozo. En la actualidad, las bombas tríplex reciprocantes son comúnmente utilizadas para cumplir con estas funciones (Miranda N, 2014).

2.3.3 Torre De Perforación o mástil

El propósito de este equipo es simplificar el izado de otros elementos y, simultáneamente, descender y brindar apoyo suspendido a los notables pesos que se desplazan en estas instalaciones, como la sarta de perforación o el revestimiento del pozo. El mástil se destaca por su mayor facilidad de maniobra y portabilidad. Las características de la torre de perforación o mástil varían en relación con su altura, capacidad de carga y resistencia a las fuerzas del viento (Herrera J, 2020).

2.3.4 Malacate

Es un mecanismo empleado para levantar cargas de gran peso, compuesto por un tambor giratorio donde se enrolla el cable de perforación. Además, integra engranajes, frenos, cadenas y poleas para controlar la velocidad, todo ello acompañado por una consola donde se instala el panel de control del perforador (Campos E, 2006).

2.3.5 Mesa Rotativa

La mesa rotativa se sitúa directamente sobre el suelo de perforación, colocada debajo del bloque de la corona y sobre el pozo que será perforado. Construida en acero y con un peso significativo, comúnmente presenta una forma rectangular. Recibe la energía del

cabrestante mediante una cadena de transmisión y genera un movimiento rotativo que se transfiere a la barra Kelly, la unión giratoria y la sarta de perforación a través del sistema mecánico (Sánchez I, 2016).

2.3.6 Sarta de perforación

La sarta de perforación es un componente crucial en todo procedimiento de perforación, siendo fundamental como la conexión que une los sistemas de elevación, circulación y rotación. Se compone del conjunto de fondo y la tubería de perforación, e incluye componentes como la tubería de perforación, la barra de perforación (llamada drill collar en inglés), el monel, estabilizadores y varias herramientas especializadas (Magallanes J, 2019).

2.3.7 Generadores De Potencia

Su propósito es generar y transmitir la energía requerida para alimentar todos los equipos o sistemas que forman parte de la plataforma de perforación. Este sistema implica la presencia de un conjunto de combustión interna que puede enlazarse directamente con los dispositivos pertinentes (Silva D, 2023).

2.4 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos de perforación se clasifican en base agua y base aceite.

2.4.1 Fluido de perforación base agua

Contienen agua dulce o salada como fase continua y, comúnmente, bentonita como fase dispersa, junto con aditivos que pueden disolverse o, en determinadas situaciones, permanecer suspendidos. Estos fluidos de perforación son extensamente utilizados en la industria debido a su simplicidad y costos más económicos (Cano y Santivañez, 2019).

2.4.2 Fluido de perforación base aceite

Son fluidos en los cuales la fase continua o externa está formada por un tipo de aceite, como diésel, aceite mineral o una combinación emulsionada con agua. Estos fluidos se emplean en situaciones que demandan una elevada estabilidad, como en pozos de altas temperaturas y profundidades considerables, donde surgen inconvenientes como la pegajosidad y la desestabilización del hueco. Debido a los componentes que los conforman, estos fluidos resultan más costosos que aquellos basados en agua y también contribuyen a una mayor contaminación ambiental (Medina C, 2020).

2.5 BHA (BOTTOM HOLE ASSEMBLY)

El Bottom Hole Assembly (BHA), que se traduce como Ensamblaje de Fondo, es el conjunto empleado en la perforación de pozos de petróleo y gas. Este conjunto abarca componentes fundamentales para la perforación, tales como la broca de perforación, estabilizadores de perforación, herramientas direccionales, collares de perforación (botellas de perforación DC), tubería pesada de perforación, martillo de perforación, acelerador, sustitutos, entre otros elementos (Vidal E, 2022).

2.5.1 Brocas de perforación

En el ámbito de la perforación, una broca es un dispositivo que se une al extremo de la columna de perforación. Su tarea principal es fracturar, cortar o aplastar las formaciones rocosas durante la perforación de un pozo, ya sea para extraer agua, gas o petróleo. Este instrumento se utiliza para desmenuzar o cortar las estructuras subterráneas en el transcurso del proceso de perforación (Panchana G, 2021).

a) *Broca tricónica.*

Las brocas tricónicas distribuyen el peso de la broca de manera más equilibrada en tres planos verticales, logrando una notable reducción en la desviación del agujero. Aquellas con más de tres conos pueden proporcionar una distribución de peso aún

más eficaz. En resumen, se pueden distinguir principalmente dos tipos de brocas tricónicas: las que cuentan con dientes de fresado y las que incorporan inserciones de carburo de tungsteno (Cotos N, 2021).

b) *Brocas compacto de diamantes policristalinos PDC*

Estas brocas utilizan diamante policristalino sintético como material de corte, el cual está adherido a un sustrato de carburo de tungsteno mediante un proceso de alta presión y temperatura. Al igual que las brocas con diamante natural, la corona de la broca tiene una matriz sólida y resistente al desgaste. En formaciones blandas, las brocas de diamante policristalino perforan de manera más eficiente que las brocas de diamante natural, gracias a la mayor altura de sus cortadores. Las brocas PDC fueron diseñadas para alcanzar altas tasas de penetración en formaciones blandas, firmes y moderadamente duras, que no presentan abrasividad (Mansilla, 2019).

2.5.2 Herramientas de desviación

Las herramientas y equipos apropiados para la desviación. Estos son de gran ayuda durante las operaciones, especialmente cuando se necesita ajustar la trayectoria durante la construcción de un pozo. Las herramientas de desviación pueden categorizarse en tres tipos, que incluyen cuñas de desviación (whipstocks) y motores de fondo (Criollo R, 2019).

a) *Cuñas de desviación (whipstocks).*

En las etapas iniciales de la perforación direccional, se usaba con frecuencia la cuña de desviación, conocida como whipstocks, especialmente en operaciones de side-track. En la actualidad, el whipstock sigue siendo una elección común para la apertura de ventanas de desviación en el casing, ya que es un método rápido y eficiente (Herrera J, 2020).

b) *Motores de fondo.*

Los motores de fondo son herramientas que tienen la capacidad de suministrar potencia extra a la columna de perforación en situaciones desfavorables, permitiendo al mismo tiempo ajustar la trayectoria del pozo con mayor precisión para llegar al objetivo deseado (Cendales y Sánchez, 2021).

2.5.3 Herramientas de medición

a) *Herramienta MWD (measure while drilling)*

Es un instrumento electromagnético de alta tecnología que se instala en una herramienta de fondo y se introduce en una broca no magnética con el propósito de realizar mediciones en el fondo del pozo (Ángel Y, 2022).

b) *Herramienta LWD (Logging while drilling)*

Una herramienta de registro mientras perfora (LWD), compuesta por elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, está concebida para recolectar datos e investigar las características de las formaciones en los pozos petroleros. Este proceso se lleva a cabo con el propósito de determinar la ruta más efectiva para alcanzar el yacimiento (Narváez J, 2013).

2.5.4 Estabilizadores de perforación

Los estabilizadores crean un espacio entre las paredes del sondeo y aseguran que las barrenas se mantengan en línea con el pozo, lo que ayuda a reducir el pandeo (Chalén J, 2023).

2.5.5 Drill Collar

La función principal del collar de perforación es proporcionar peso a la broca para permitir la perforación a través de una formación. Sin embargo, este componente también actúa como amortiguador de impactos y vibraciones, ya que, con su peso y volumen, estabiliza la dinámica del proceso de perforación (Vidal E, 2022).

2.5.6 Tubería de perforación

Las tuberías de perforación son elementos tubulares utilizados en las tareas durante la operación de perforación. Se les conoce comúnmente como tuberías de trabajo porque están sometidas a diferentes esfuerzos durante las operaciones de perforación del pozo (Cargua & Ipiates, 2014).

2.6 DESVIACIÓN DEL SURVEY

2.6.1 Inclinación

La desviación con respecto a la vertical, sin tener en cuenta la orientación magnética, se expone en grados. La medida de la inclinación comienza con un dispositivo de péndulo y se verifica mediante acelerómetros MWD o giroscopios. En la mayoría de los pozos verticales, la inclinación es la única medida utilizada para describir la trayectoria del pozo. No obstante, en el caso de pozos intencionalmente desviados o aquellos cercanos a límites legales, también se recolecta información direccional (Schlumberger, 2022).

2.6.2 Profundidad vertical verdadera

La distancia vertical entre un punto en el pozo, generalmente la profundidad actual o final, y un punto en la superficie, por lo general, la elevación del buje del vástago de perforación rotativo representa una de las dos mediciones esenciales de profundidad utilizadas por los perforadores (Schlumberger, 2022).

2.6.3 Profundidad medida

Es la distancia o longitud medida a lo largo de la ruta actual del pozo, desde el punto de referencia, en la superficie hasta el punto de registros direccionales, representa la distancia de la trayectoria del pozo o la medición de la tubería en el hoyo (Cerde E, 2023).

2.6.4 Azimut

La dirección en el plano horizontal de un pozo en un punto particular se denomina azimut y se expresa como un ángulo medido en sentido de las agujas del reloj desde el norte de referencia. Esta referencia puede ser el norte verdadero, magnético o de mapa, y de acuerdo con la convención común, la medición se efectúa en el sentido de las agujas del reloj (Cerde E, 2023).

2.6.5 Pata de perro (dog leg)

La curvatura total del pozo, conocida como pata de perro y determinada entre dos estaciones de registros direccionales (como consecuencia de alteraciones en la inclinación y dirección), se expresa en unidades angulares. La severidad de dicha curvatura se reporta en grados por cada tramo de 100 pies o grados por cada 30 metros (Cuchicho K, 2022).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de este proyecto de investigación es el diseño de un pozo tipo “S considerando la columna litológica del bloque 60 del oriente ecuatoriano, determinando de forma cuantitativa el uso de tubería de revestimiento, cementación y cálculo de trayectoria, a su vez de forma cualitativa se identificarán las arenas productoras.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE ARENAS

Se relacionará las arenas correspondientes al bloque 60 del campo Sacha con datos históricos de perforación, obteniendo así la información correspondiente de arenas productoras y no productoras, estableciendo de forma cualitativa un perfil litológico, el cual, proporcionará datos que ayuden a la creación del diseño del pozo tipo “S”, analizando también, los costos económicos que implica la implementación de este tipo de pozo en el campo Sacha.

3.3 ESTRUCTURA DEL POZO TIPO “S”

En la figura 7 se presenta el diseño de la estructura de un pozo tipo “S”

Donde:

V_1 = La profundidad de la sección vertical (KOP)

V_2 = Profundidad que termina la sección de ángulo a incrementar

V_3 = profundidad en la que termina la sección tangencial.

V_4 = Profundidad en la que inicia el ángulo de disminución de curvatura.

V_5 = Profundidad vertical verdadera.

R_1 = Radio de la curvatura o desplazamiento de la sección del incremento de ángulo.

R_2 = Radio de la curvatura o desplazamiento de la sección de disminución de ángulo.

D_1 = Distancia horizontal entre V_1 y V_2

D_2 = Distancia horizontal entre V_1 y V_3

D_3 = Distancia horizontal entre V_1 y V_5

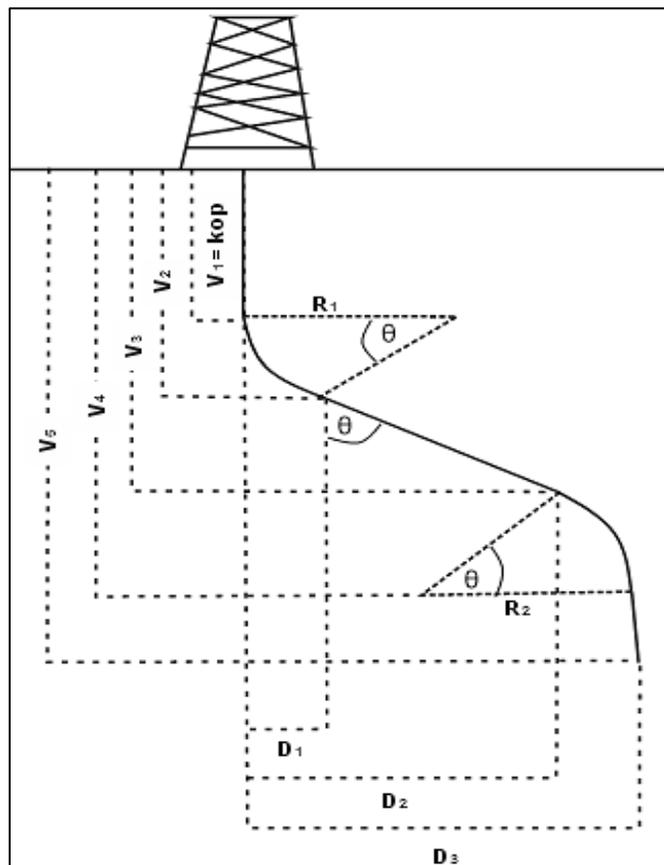


Figura 7. Diseño del pozo tipo "S"

3.4 PARÁMETROS CONOCIDOS

En el diseño de un pozo tipo “S” existen parámetros que se conocen previamente al cálculo de las variables desconocidas.

3.4.1 Profundidad vertical total (TVD)

El TVD es la profundidad vertical desde la superficie en donde se encuentra la mesa rotaria hasta la altura del objetivo de perforación.

3.4.2 Punto de arranque del ángulo (KOP)

El KOP es una variable conocida la cual indica la profundidad vertical desde la superficie hasta el inicio de la desviación del pozo.

3.4.3 Ángulo de desviación

El ángulo de desviación es utilizado para la construcción de la desviación del pozo o también conocido como pata de perro, generalmente el ángulo máximo es de $2^{\circ}/100\text{ft}$. Para el diseño del pozo tipo “S” se usa el ángulo de crecimiento (BUR) que comienza a partir del KOP y el ángulo de decrecimiento o caída (DOR) que comienza al final de la sección tangencial.

3.5 PARÁMETROS A CALCULAR

3.5.1 Azimut

El azimut es la ubicación del objetivo, la cual, está dada desde la locación de la torre de perforación en superficie hasta el objetivo de perforación, para aquello se utiliza el sistema de coordenadas polares, las cuales permiten localizar el objetivo de perforación, teniendo como referencia los puntos cardinales y los ángulos de un plano cartesiano como se muestra en la figura 8.

Una vez obtenidas las coordenadas del pozo, mediante trigonometría o con el teorema de Pitágoras, se calcula el desplazamiento horizontal desde la plataforma de perforación hasta la zona de interés.

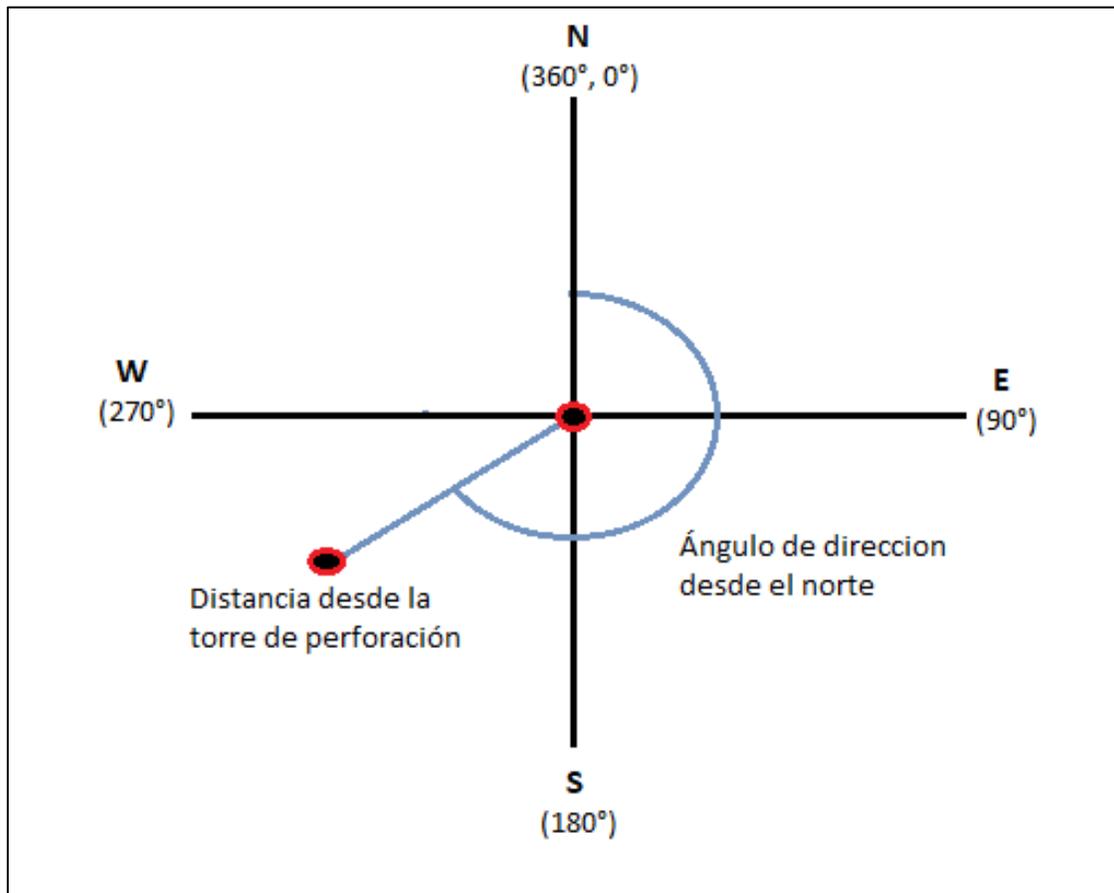


Figura 8. Explicación gráfica del azimut para un pozo tipo “S”.

3.5.2 Radio de la curvatura

En el caso de diseño del pozo tipo “S”, existen 2 radios de curvaturas a calcular como se muestra en la figura 9.

El primer radio trabaja con el ángulo de crecimiento (BUR) identificado como β mientras que para el segundo radio de desviación se utiliza el ángulo de caída (DOR) identificado como Φ .

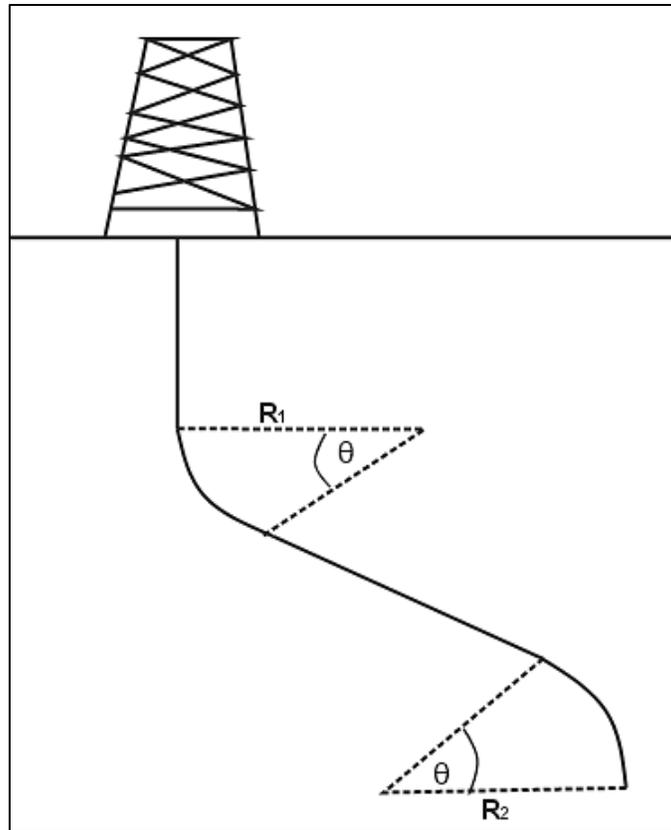


Figura 9. Construcción de los radios de curvatura en pozos tipo "S".

Para el cálculo de los radios de curvatura se utilizan las siguientes fórmulas:

$$R_1 = \frac{5729,58}{BUR} [ft] \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{5729,58}{DOR} [ft] \quad (2)$$

Donde:

R_1 = Radio de incremento de curvatura

R_2 = Radio de caída de curvatura

3.5.3 Ángulo máximo de inclinación

En la figura 10 se muestran las secciones a calcular para obtener el ángulo máximo de curvatura a mantener, el cual, será aplicado para los dos radios de curvatura y para la sección tangencial.

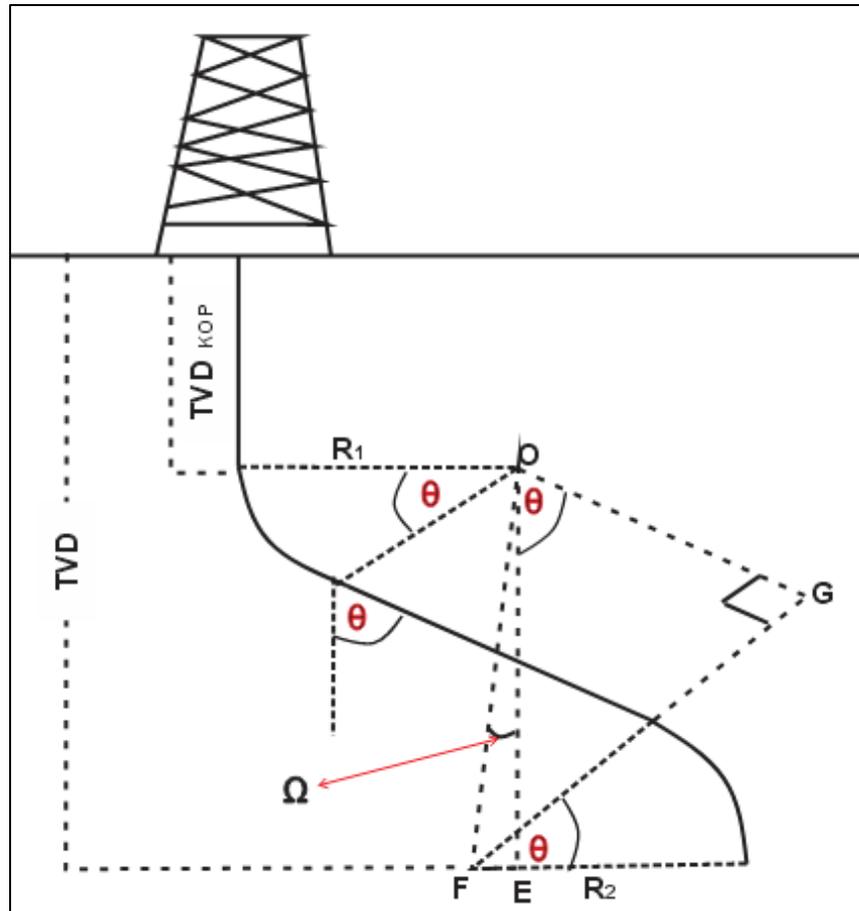


Figura 10. Secciones para el cálculo del ángulo máximo a mantener.

Para hallar el ángulo máximo de la curvatura a mantener, previamente se deben calcular 2 ángulos, correspondientes a la sección \overline{FOE} y \overline{FOG} .

En la figura 11 se muestra la sección \overline{FOE} en color anaranjado, de la cual se obtendrá la distancia horizontal desde el punto F al E y la distancia vertical desde el punto E al O , también se obtendrá el ángulo correspondiente a dicha sección.

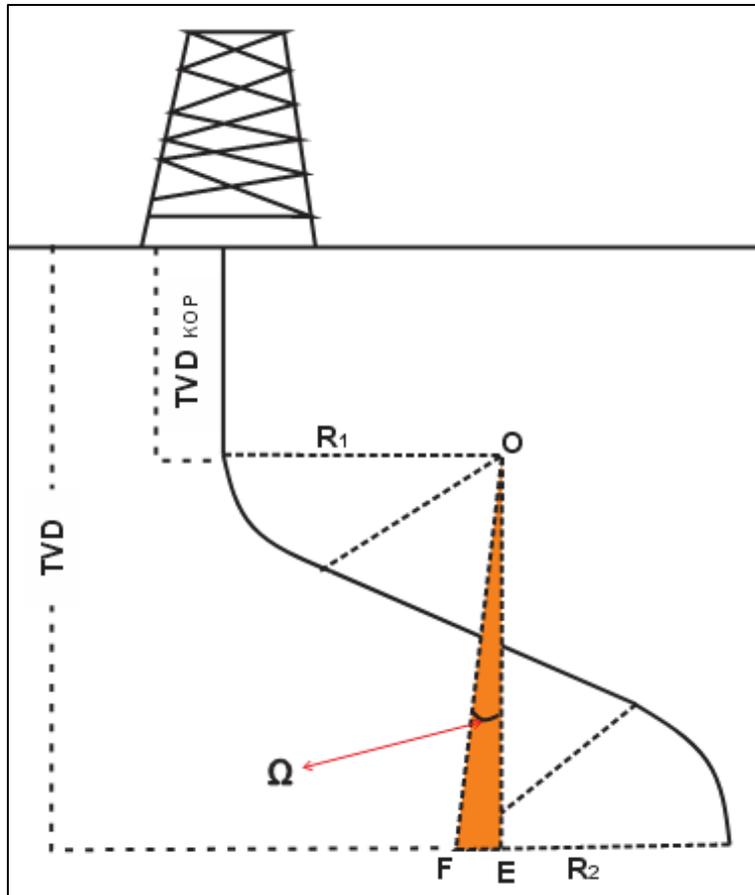


Figura 11. Sección "FOE" del pozo tipo "S".

Primero se determina la distancia del punto F al punto E, considerando dos condiciones como se muestra en la ecuación 3 y 4, luego se halla la distancia en \overline{EO} , posteriormente se calcula el ángulo de la sección \overline{FOE} .

$$D_3 > (R_1 + R_2) \rightarrow \overline{FE} = D_3 - (R_1 + R_2) \quad (3)$$

$$D_3 < (R_1 + R_2) \rightarrow \overline{FE} = R_1 - (D_3 - R_2) \quad (4)$$

$$\overline{EO} = TVD - TVD_{KOP} \quad (5)$$

$$\sphericalangle FOE = \Omega = \tan^{-1} \frac{\overline{FE}}{\overline{EO}} \quad (6)$$

Donde:

D_3 = desplazamiento horizontal desde la plataforma hasta la zona de interés

TVD = Profundidad vertical total

TVD_{KOP} = Profundidad vertical desde la superficie hasta el KOP

$\sphericalangle FOE$ = Ángulo de la sección \overline{FOE}

En la figura 12, se muestran la sección \overline{FOG} en color azul, la cual, tiene un ángulo denominado “ α ”, en esta sección se determinará la distancia \overline{OF} y la distancia \overline{FG} para proceder al cálculo del ángulo “ α ”.

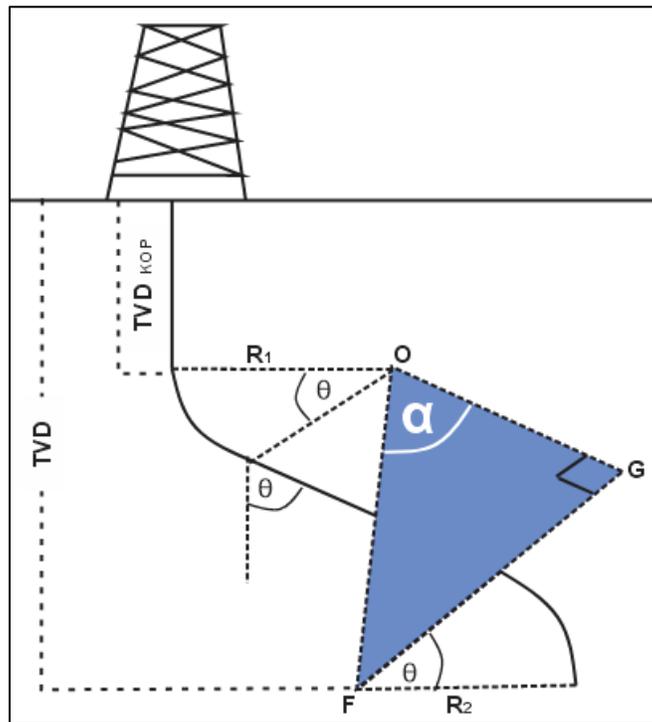


Figura 12. Sección “FOG” del pozo tipo “S”.

$$\overline{OF} = \sqrt{\overline{FE}^2 + \overline{EO}^2} \quad (7)$$

$$\overline{FG} = R_1 + R_2 \quad (8)$$

$$\sphericalangle FOG = \alpha = \sin^{-1} \frac{\overline{FG}}{\overline{OF}} \quad (9)$$

Donde:

$\sphericalangle FOG = \text{Ángulo de la sección } \overline{FOG}$

Una vez calculado los ángulos de las secciones \overline{FOE} y \overline{FOG} , se procede a utilizarlos para halla el ángulo máximo a mantener o de inclinación θ , como se aprecia en la ecuación 10.

$$\theta = \sphericalangle FOG - \sphericalangle FOE \quad (10)$$

Donde:

$\theta = \text{Ángulo máximo a mantener}$

3.5.4 Profundidad vertical del final del incremento de ángulo

El final del incremento de ángulo es conocido también como “EOB” por sus siglas en inglés de “*End of Build*” como se muestra en la figura 13.

Para calcular la profundidad vertical total del final del incremento del ángulo se utiliza la Ec.11.

$$TVD_{EOB} = TVD_{KOP} + [R_1 * (\sin \theta)] \quad (11)$$

Donde:

θ = Ángulo máximo a mantener

TVD_{EOB} = Profundidad vertical del final del incremento del ángulo

TVD_{KOP} = Profundidad vertical del KOP

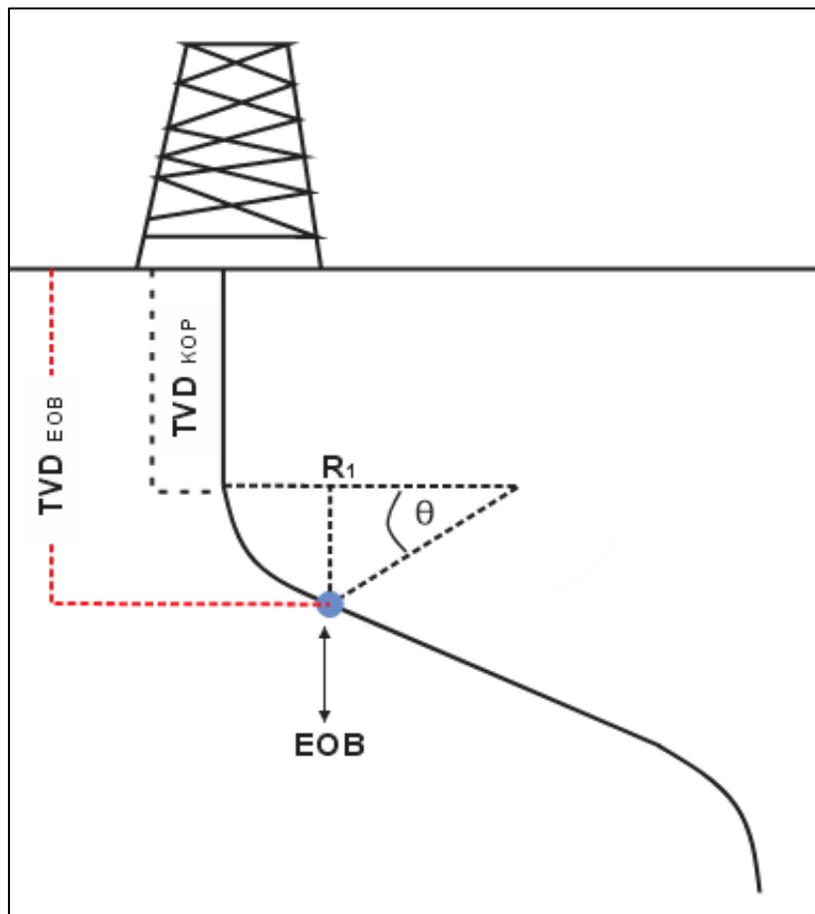


Figura 13. Profundidad vertical del EOB en el pozo tipo "S"

3.5.5 Profundidad medida del EOB

La profundidad medida del EOB, es el recorrido de la trayectoria desde la superficie hasta donde termina el incremento del primer ángulo, antes del comienzo de la sección tangencial, como se muestra en la figura 14.

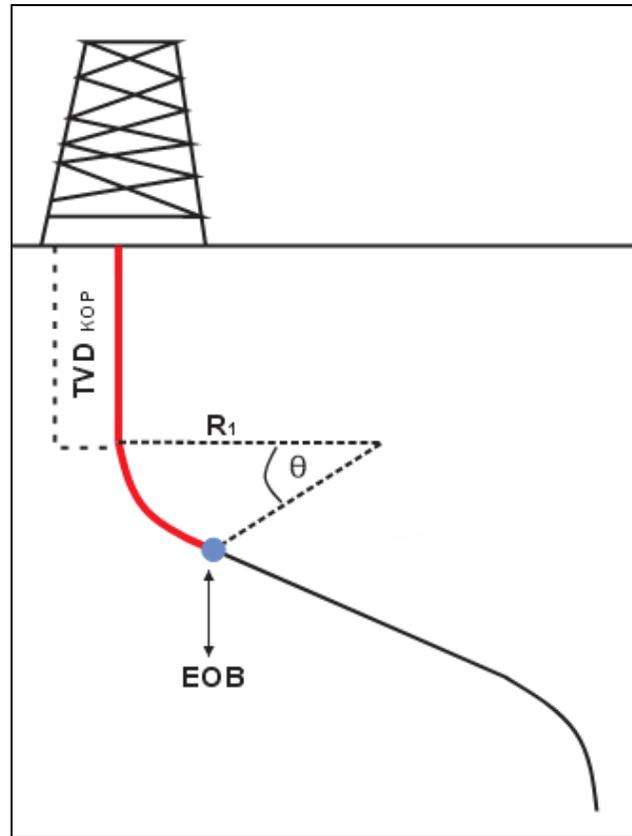


Figura 14. Profundidad medida del EOB en el pozo tipo "S".

Para el cálculo del recorrido desde el KOP hasta el EOB, se utiliza el ángulo de incremento del radio de curvatura (BUR) como se muestra en la Ec.12.

$$MD_{EOB} = TVD_{KOP} + \frac{\theta}{BUR} * 100 \quad (12)$$

Donde:

MD_{EOB} = Profundidad medida hasta el EOB

TVD_{KOP} = Profundidad vertical del KOP

BUR = ángulo de incremento

3.5.6 Desplazamiento horizontal hasta el EOB

El desplazamiento horizontal del EOB es calculado desde el punto en el que inicia la perforación horizontalmente hasta donde termina el incremento del radio 1, como se muestra en la figura 15.

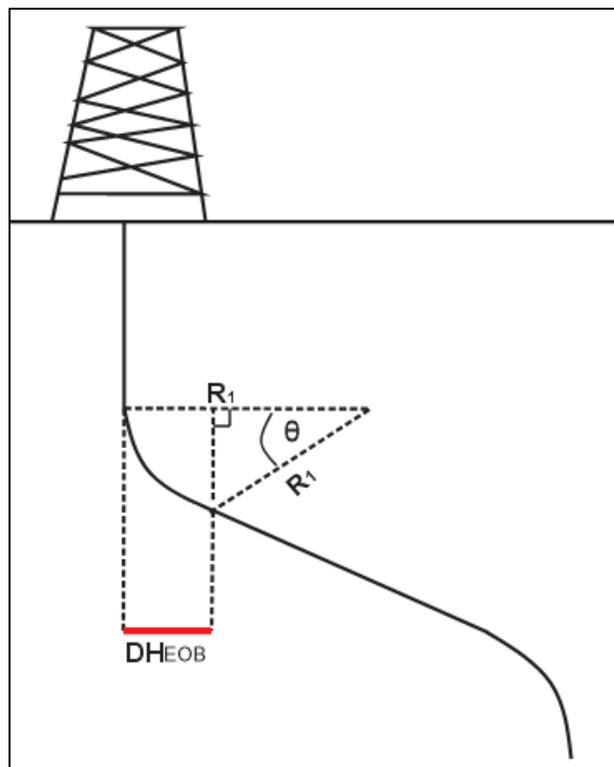


Figura 15. Desplazamiento horizontal del EOB en el pozo tipo "S".

Para el cálculo del desplazamiento horizontal de EOB, se traza una vertical desde el EOB hacia arriba hasta interceptar el radio 1, formando un triángulo como se muestra en la

figura 15, el cual, se calculará el sobrante del radio 1 para luego restarlo, como se muestra en la ecuación 13.

$$DH_{EOB} = R_1 - (R_1 * \cos \theta) \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

DH_{EOB} = Desplazamiento horizontal hasta el EOB

3.5.7 Profundidad medida hasta el final de sección tangencial

La sección tangencial es aquella que conecta los radios de curvatura 1 y 2, el final de esta sección se la denomina “comienzo de la caída” (SOD) por sus siglas en inglés de “start of drop” como se muestra en la figura 16.

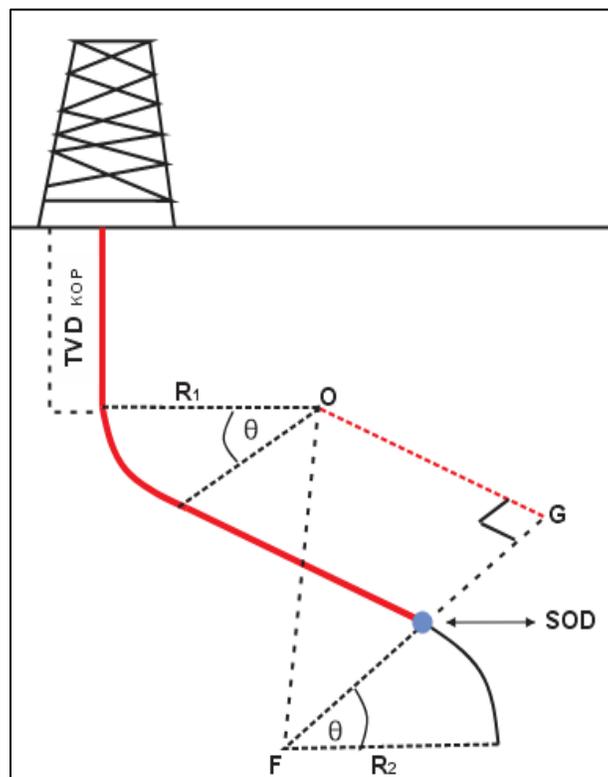


Figura 16. Profundidad medida del SOD del pozo tipo “S”.

La sección \overline{FOG} fue calculada previamente con la ecuación 7, 8 y 9, con esos datos se determina la sección \overline{OG} , el cual, equivale a la sección tangencial, para aquello se utiliza en la ecuación 14.

$$\overline{OG} = \sqrt{\overline{OF}^2 - \overline{FG}^2} \quad (14)$$

Luego el \overline{OG} se suma con la profundidad medida del EOB, como se muestra en la ecuación 15.

$$MD_{SOD} = TVD_{KOP} + \left(\frac{\theta}{BUR} * 100\right) + \overline{OG} \quad (15)$$

Donde:

MD_{SOD} = Profundidad medida hasta el comienzo de la caída

3.5.8 Profundidad vertical del SOD

La profundidad vertical del SOD es medida desde la superficie verticalmente hasta el comienzo de la caída SOD, como se muestra en la figura 17.

En la ecuación 16 se determina la profundidad vertical del SOD, en el cual, al TVD_{EOB} se le sumará la profundidad vertical de la sección tangencial, obteniendo:

$$TVD_{SOD} = TVD_{EOB} + (OG * \cos \theta) \quad (16)$$

Donde:

TVD_{SOD} = Profundidad vertical del SOD

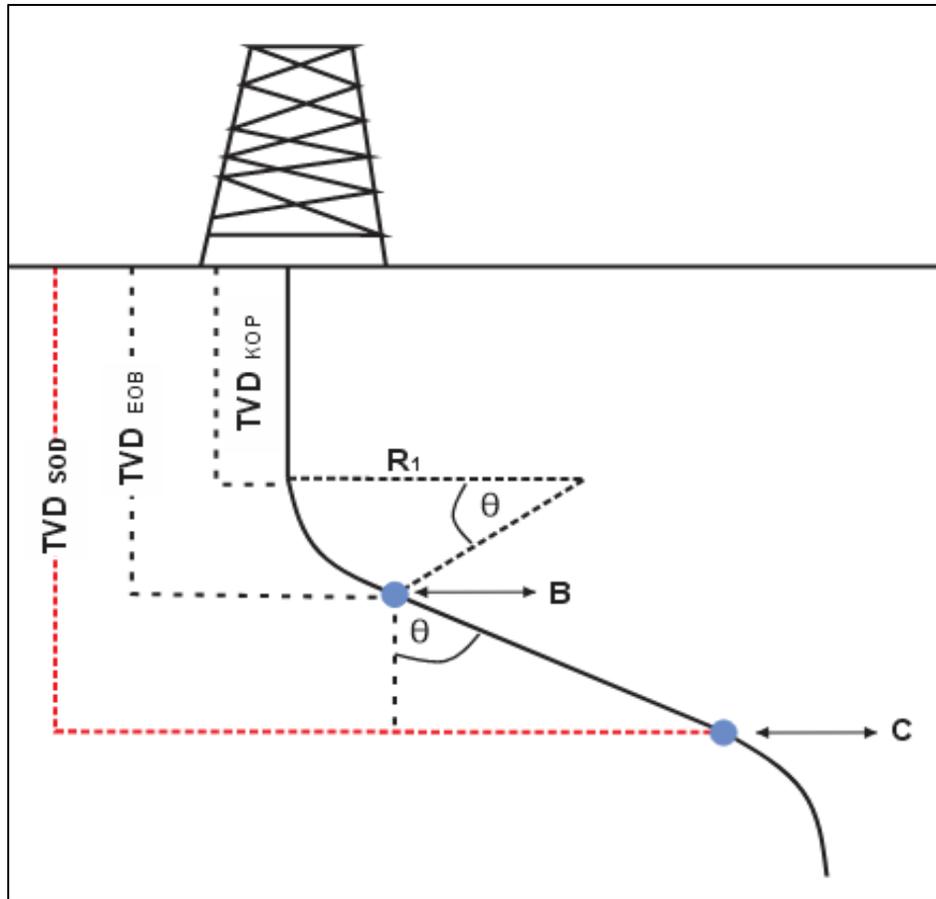


Figura 17. Profundidad vertical del SOD del pozo tipo "S".

3.5.9 Desplazamiento horizontal hasta el SOD

El desplazamiento horizontal del SOD se determina desde el inicio de la perforación horizontalmente hasta donde termina la sección tangencial o donde comienza la caída del radio 2, como se muestra en la figura 18.

Para determinar el desplazamiento horizontal del SOD, se formará un triángulo con la sección tangencial, determinando la dimensión de su base; luego se procede a sumar el desplazamiento horizontal del EOB, como se muestra en la ecuación 17.

$$DH_{SOD} = DH_{EOB} + (OG * \sin \theta) \quad (17)$$

Donde:

DH_{SOD} = Desplazamiento horizontal del SOD

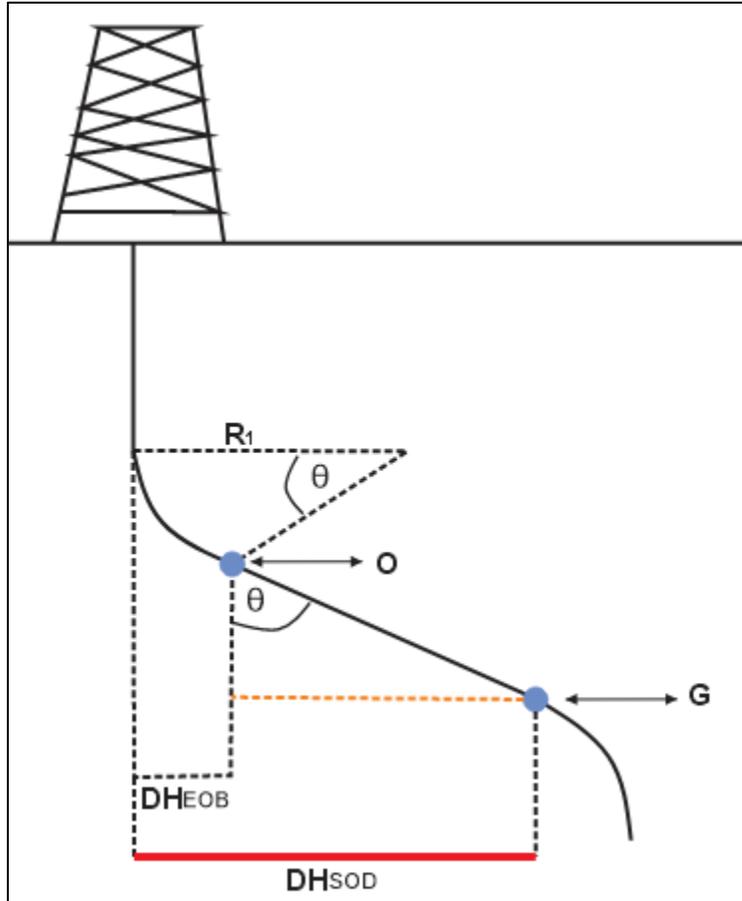


Figura 18. Desplazamiento horizontal del SOD del pozo tipo "S".

3.5.10 Profundidad medida total hasta el objetivo

La profundidad medida total hasta el objetivo, es el recorrido total que realiza el pozo tipo "S" desde el inicio de la perforación en la superficie hasta el objetivo a perforar, como se muestra en la figura 19.

En la ecuación 18, se determina la profundidad medida total en la cual se usará la profundidad medida del SOD y se le sumará la profundidad medida del radio 2, utilizando el ángulo de caída del radio de la curvatura (DOR).

$$MD_{TOTAL} = TVD_{KOP} + \left(\frac{\theta}{BUR} * 100\right) + OG + \left(\frac{\theta}{DOR} * 100\right) \quad (18)$$

Donde:

MD_{TOTAL} = Profundidad medida total

DOR = Caída del radio de la curvatura

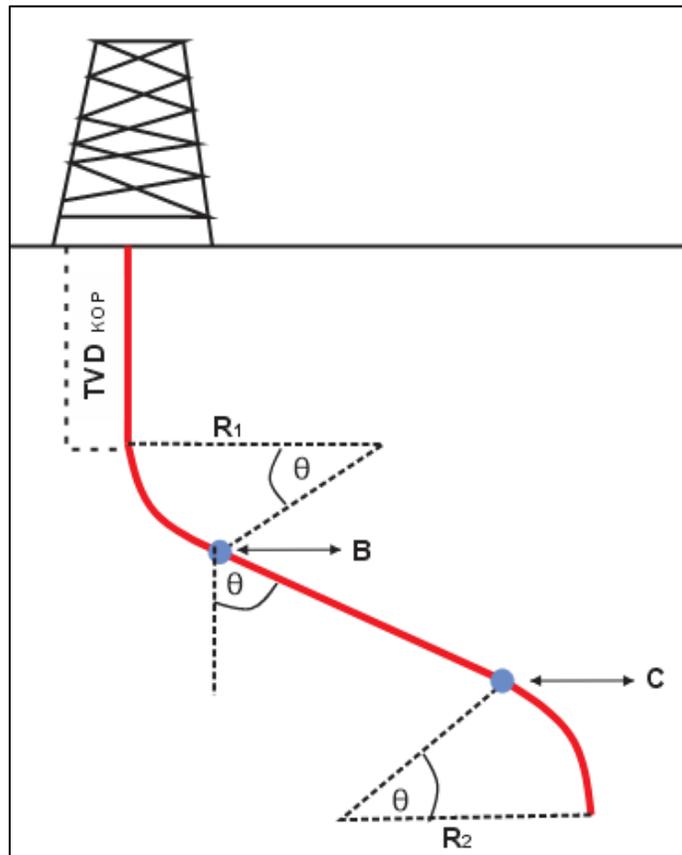


Figura 19. Profundidad medida total del pozo tipo "S".

3.6 SELECCIÓN DE BROCAS DE PERFORACIÓN

Según lo explicado por González y colaboradores en el 2010, para la selección de brocas, se empleará la tabla de la asociación internacional de contratistas de perforación (IADC) de comparación de brocas como se muestra en la figura 20 y 21, la cual, se utiliza a menudo para seleccionar la mejor broca para un uso en particular.

	1er Dígito		2do Dígito		3er Dígito								
	Sistema de Corte		Dureza		Sistema de rodamiento								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Dientes de Acero	1 Dientes de acero para formación blanda	1 Suave	T	T	P	B	B	C	C	P	O		
		2 Media Suave	O	O	R	A	A	H	H	A	A		
		3 Media Dura	B	B	E	L	L	U	U	M	M		
		4 Dura	E	E	R	E	E	M	M	A	A		
	2 Dientes de acero para formación media	1 Suave	S	S	A	S	S	C	S	E	R		
		2 Media Suave	A	A	I	I	O	O	S	E	R		
		3 Media Dura	R	R	R	R	L	L	E	R	R		
		4 Dura	A	A									

Figura 20. Código IADC para brocas tricónicas (González et al., 2010)

1er CARACTER			2do CARACTER			3er CARACTER			4to CARACTER					
TIPO DE CORTADOR	MATERIAL DEL CUERPO	PERFIL DEL CUERPO			DISEÑO HIDRÁULICO			TAMAÑO Y DENSIDAD DE CORTADORES						
		ALTURA DEL FLANCO	ALTURA DEL CONO			DISTRIBUCIÓN DE CORTADORES	TIPO DE ORIFICIO			TAMAÑO	DENSIDAD			
			Alta	Media	Baja		Toberas	Orificio tipo	Salida abierta		Alta	Media	Baja	
D	DIAMANTE NATURAL	MATRIZ	Alto	1	2	3	En Aletas	1	2	3	Grande	1	2	3
M	PDC	MATRIZ	Media	4	5	6	En Costillas	4	5	6	Mediano	4	5	6
S	PDC	ACERO	Bajo	7	8	9	No agrupados	7	8	9	Pequeño	7	8	9
T	TSP	MATRIZ	O = de doble centro o asimétrico			R = Flujo radial X = Flujo cruzado O = Otro			O = Impregnado					

Figura 21. Código IADC para brocas PDC (González et al., 2010)

3.7 CURVA DEL LODO VS PROFUNDIDAD

La curva de lodo vs profundidad está determinada por la presión de poro y presión de fractura, mediante esta curva se determina el peso de lodo que se debe utilizar durante la perforación, así como también, establecer la profundidad a la que se van a asentar cada una de las etapas de la tubería de revestimiento, siendo estas, conductora, superficial, intermedia y de producción (Lobato y Arzani, 2019).

Para este proyecto de investigación, se tiene los datos directamente del peso de lodo, por lo que se construirá la curva con los datos que se tiene en función de la profundidad.

3.8 COLUMNA LITOLÓGICA DEL CAMPO SACHA

La columna litológica del campo Sacha, se presenta en la figura 22, la cual será analizada y presentada en el capítulo 4.

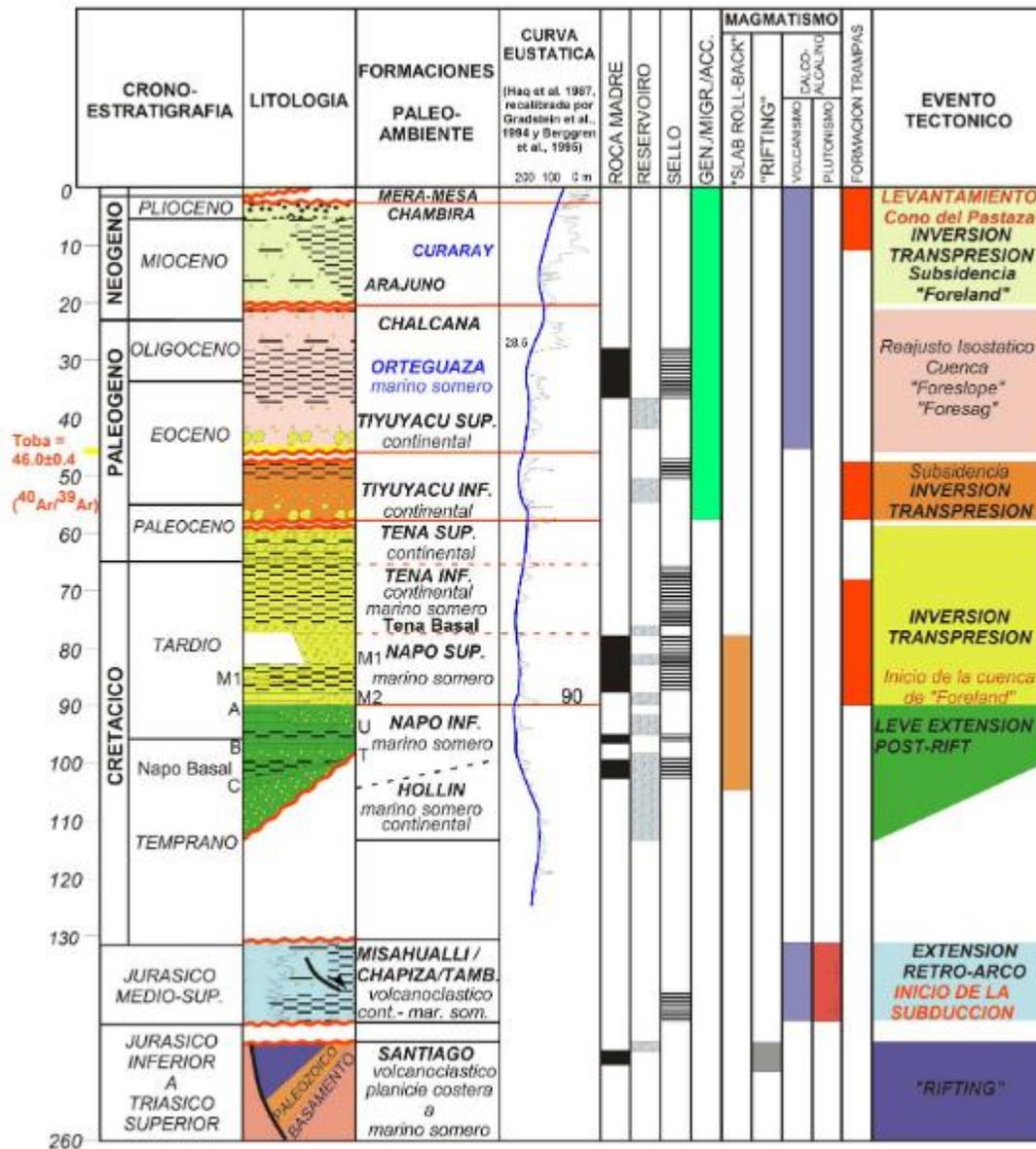


Figura 22. Columna litológica del campo Sacha (Espín E, 2017).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ZONAS DE INTERÉS

Para el diseño de este pozo, primero se identifican las zonas de interés, a las cuales se quiere llegar con la perforación. En este caso de estudio se determinan dos zonas de interés, las cuales serán de objetivo principal y secundario.

4.1.1 Zona de interés de objetivo principal

a) Arenisca Napo U inferior.

La formación de la arenisca Napo U Inferior (NUI) será considerada como el objetivo principal de perforación, esta formación se encuentra a una profundidad de 9468,9 pies (ft). Como se observa en la figura 22, la formación NUI es el reservorio, el cual, por encima de NUI se encuentra una trampa y la roca sello se encuentra a la altura de la formación Napo Superior M1, se considera también esta formación como zona de interés de objetivo principal, debido a que es la roca madre y por debajo está la formación hollín, la cual es potencialmente productora.

4.1.2 Zona de interés de objetivos secundarios

a) Tena Basal.

La formación Tena Basal (TB) es el primer objetivo secundario de perforación, esta formación se encuentra a la profundidad de 8733,2 pies (ft). En la figura 22, se observa que la formación TB es un reservorio que está por encima y debajo de la

Formación donde se encuentran rocas sellos y atraviesan una formación de trampa que traspasan el TB, por debajo de la formación TB también se encuentra la roca madre de la formación Napo Superior M1 y M2.

b) *Napo T Inferior.*

La formación Napo T Inferior (NTI) es el segundo objetivo secundario de perforación, el cual, se encuentra a la profundidad de 9698,4 pies (ft), por encima y debajo de la formación NTI se encuentra la roca sello, considerándose como un reservorio, siendo parte de la roca madre de la formación NUI, la cual está por encima de NTI, se considera también que en esta formación no se atraviesa una trampa.

4.2 CURVA DE LODO VS PROFUNDIDAD

En este apartado se identificará la ventana operativa de lodo y la profundidad de asentamiento para las secciones superficial, intermedia y de asentamiento como se muestra en la figura 23.

Se plantearon tres secciones como se observa en la figura 23, la primera curva en color azul, que va desde la superficie hasta los 5750 ft, esta sección tiene una ventana operativa de peso de lodo que va desde un peso de 8,4 hasta 10,4, es decir, va aumentando a medida que la profundidad aumenta. Dentro de esta sección superficial, está considerada una pequeña sección que va de 0 a 500 ft, la cual se denominará como “*conductora*” la cual servirá como guía de la primera sección vertical y estará instalada con la base del cabezal del pozo.

La segunda curva en color naranja corresponde a la sección intermedia, la cual, comienza desde los 5750 ft justo donde termina la sección superficial hasta los 9800 ft, en esta sección el peso de lodo que se usará durante la perforación tiene un rango de peso de 9,5 hasta 10,4.

La tercera curva en color dorado corresponde a la sección de producción, esta sección comienza desde los 9800 ft que corresponde al final de la sección intermedia hasta los 10588 ft; en la sección de producción, se trabajará con un peso de lodo de un rango entre 9,3 hasta 9,4.

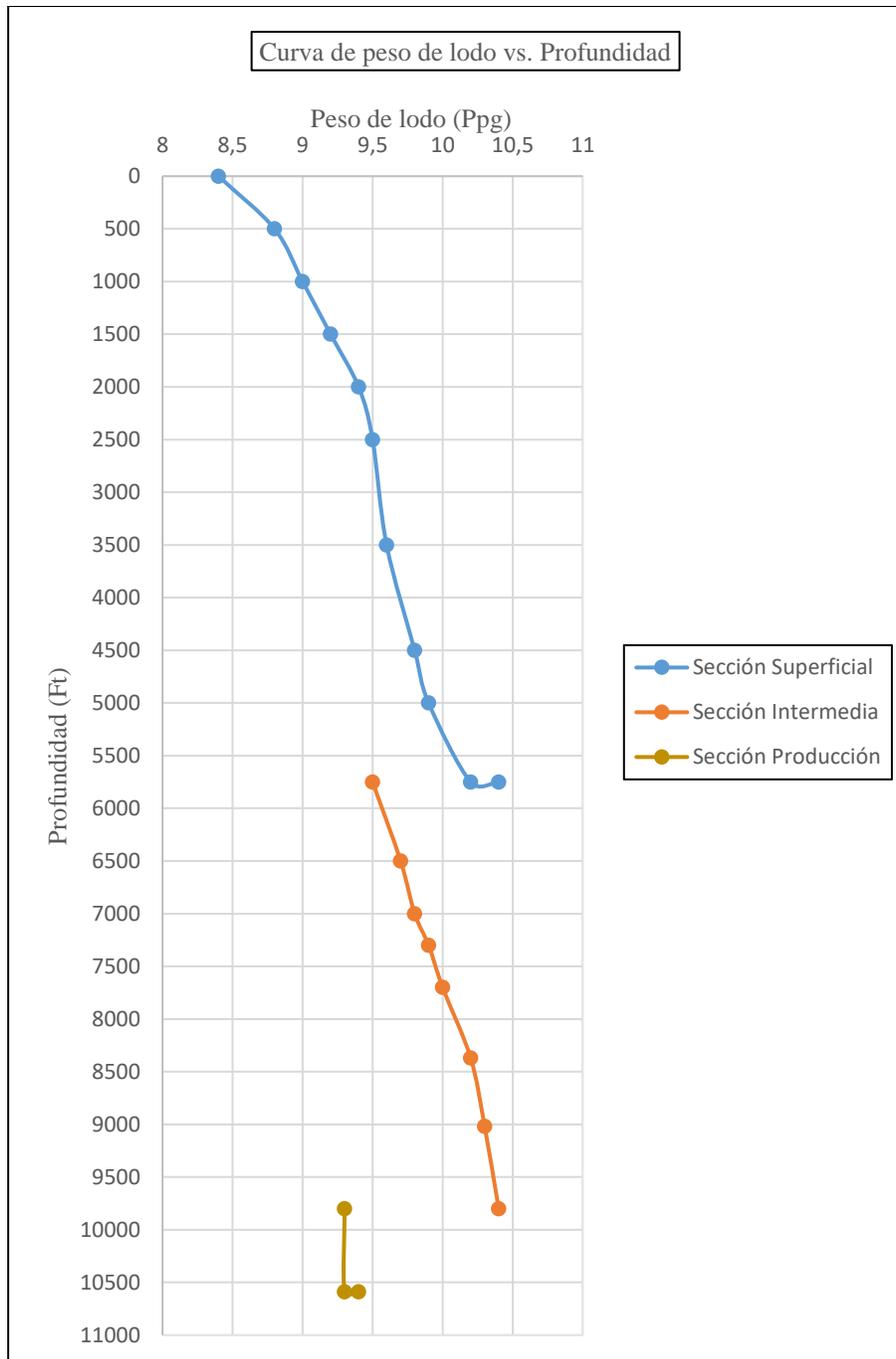


Figura 23. Representación gráfica de la curva de peso de lodo vs. Profundidad.

4.3 AZIMUT Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

Para el azimut y el desplazamiento horizontal, se utilizará el sistema de coordenadas UTM para ubicar la plataforma de perforación, en la cual se iniciará la perforación denominada

coordenadas de superficie y también para ubicar el objetivo de perforación o zona de interés, que se la conocerá como coordenadas de objetivo.

- Coordenadas de superficie (UTM): N: 9951099,53 m; E: 293094,64 m.
- Coordenadas de Objetivo (UTM): N: 9950628,80 m; E: 292808,29 m.

La ubicación del objetivo con respecto a la superficie se obtiene restando los valores de norte y este de las coordenadas objetivo menos las de superficie, obteniendo lo siguiente:

- Resta del norte: - 473,73 m, o en unidades de pies: - 1544,39 ft.
- Resta del este: - 286,35 m, o en unidades de pies: - 939,47 ft.

Mediante el teorema de Pitágoras se obtiene la hipotenusa, la cual, sería el desplazamiento horizontal desde la plataforma en superficie, hasta el objetivo, obteniendo:

- Desplazamiento horizontal = 550,98 m, o en unidades de pies: 1807,68 ft.

El ángulo de β se calculó de la siguiente manera:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{-1544,39 \text{ ft}}{-939,47 \text{ ft}} \right) = 31,31^\circ$$

Al ángulo β se le sumará los 180° como se muestra en la figura 24, obteniendo el azimut:

$$\text{Azimut} = 180^\circ + 31,31^\circ = 211,31^\circ$$

En la figura 24, se muestra que la ubicación del objetivo se encuentra en el tercer cuadrante, ubicándose al suroeste a $211,31^\circ$ desde el norte de la plataforma de perforación en superficie.

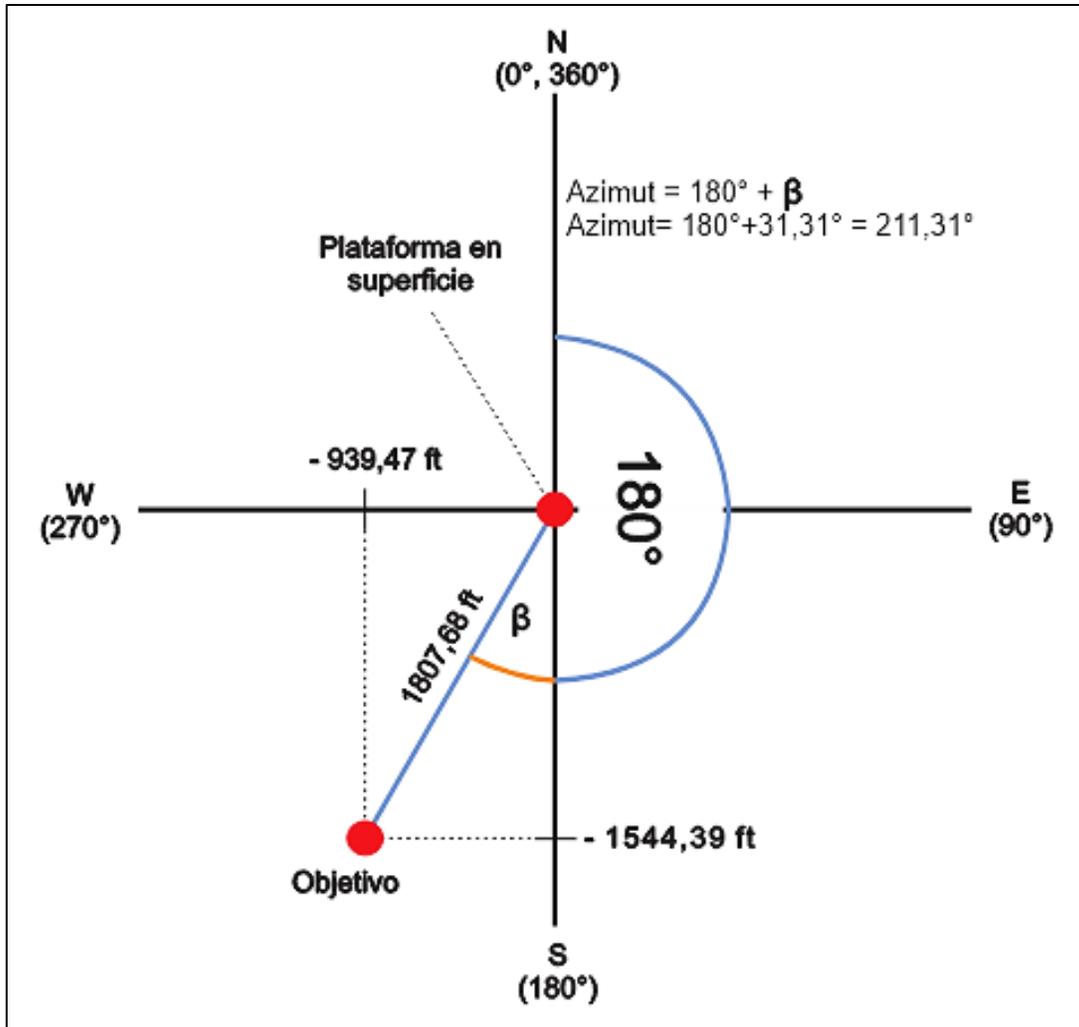


Figura 24. Desplazamiento Horizontal y azimut para el pozo tipo "S".

4.4 DISEÑO PARA EL POZO TIPO "S"

La sección superficial será hasta los 5750 ft, tal como se detalló en la curva de lodo vs profundidad, dentro de esta sección se construirá la sección vertical desde la superficie hasta el KOP, así como también, la construcción del EOB, sección tangencial y SOD a 130 ft antes del tope de la formación Orteguaza.

Para la construcción de esta sección se cuenta con la siguiente información:

- KOP = 833,33 ft

- BUR y DOR = $1.8^\circ/100$ ft
- DH = 1807,68 ft
- TVD = 5540 ft

4.4.1 Construcción del radio de la curvatura

Para la construcción del radio de la curvatura, se utilizó la ecuación 1 y 2, en este caso como el BUR y DOR son iguales, por ende, la magnitud de los radios 1 y 2 serán iguales, siendo de 3183,1 ft, tal como se observa en la figura 25.

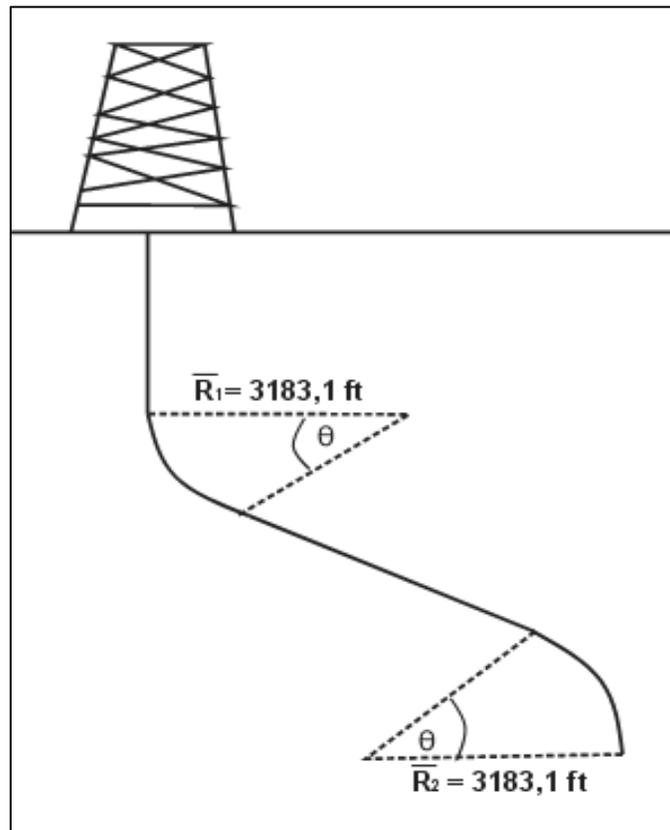


Figura 25. Construcción del radio de la curvatura.

4.4.2 Construcción del ángulo máximo de inclinación

Para la construcción del ángulo máximo de inclinación, primero se aplicará la ecuación 4, debido a que la sumatoria de los radios 1 y 2 que es de 6366,2 ft, es mayor al

desplazamiento horizontal que es de 1807,68 ft, cumpliendo así esta condición; por lo cual se determinan la sección \overline{FE} en la que su magnitud es de 4588,52 ft.

Con la Ec.5, se obtiene la sección \overline{EO} , la cual es consecuencia de la resta del \overline{TVD} y el KOP, obteniendo el resultado de 4706,67 ft. Con la sección \overline{FE} y \overline{EO} se puede obtener el ángulo de la sección \overline{FOE} mediante el uso de la ecuación 5, el cual da como resultado un ángulo de $44,08^\circ$, tal como se observa en la figura 26.

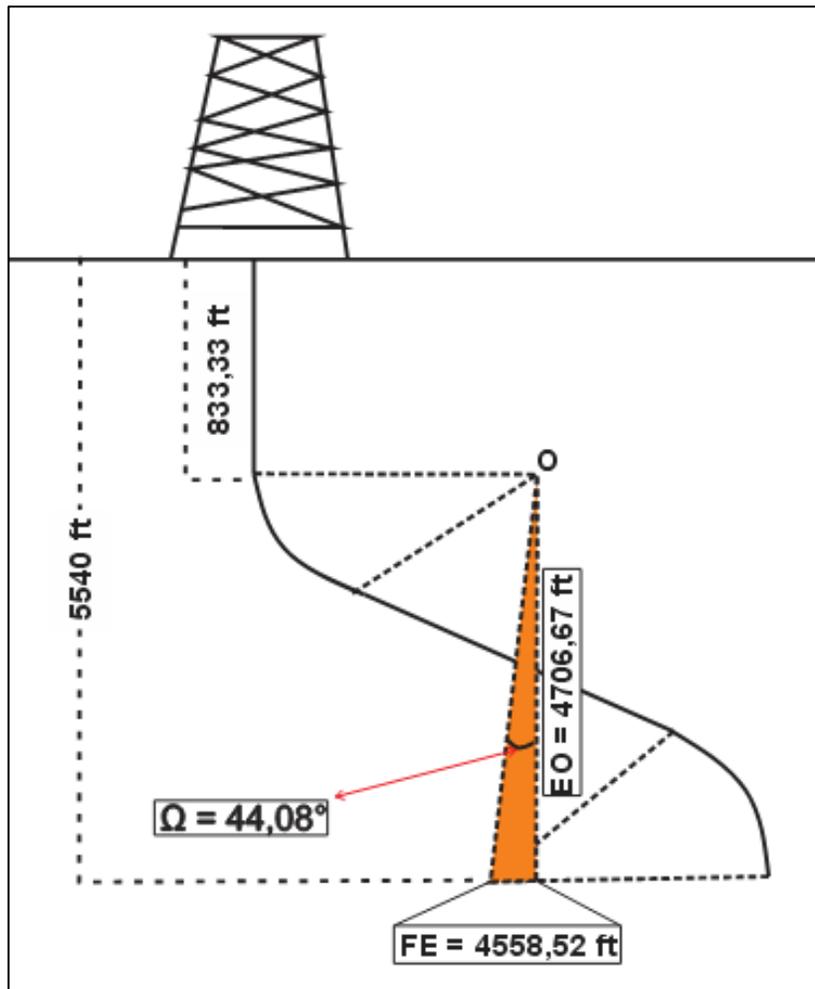


Figura 26. Ángulo Ω de la sección FOE.

Con la ecuación 7 se halla la magnitud de la sección \overline{OF} , siendo de 6552,32 ft, luego se procede a utilizar la Ec.8, para hallar determinar la sección \overline{FG} , cuya magnitud es resultado de la suma de los radios 1 y 2 en este caso por ser iguales también se considera como el doble

del radio 1, siendo así de 6366,2 ft. Por último, se aplica la ecuación 9 para determinar el ángulo de la sección \overline{FOG} el cual es de $76,31^\circ$, tal como se observa en la figura 27.

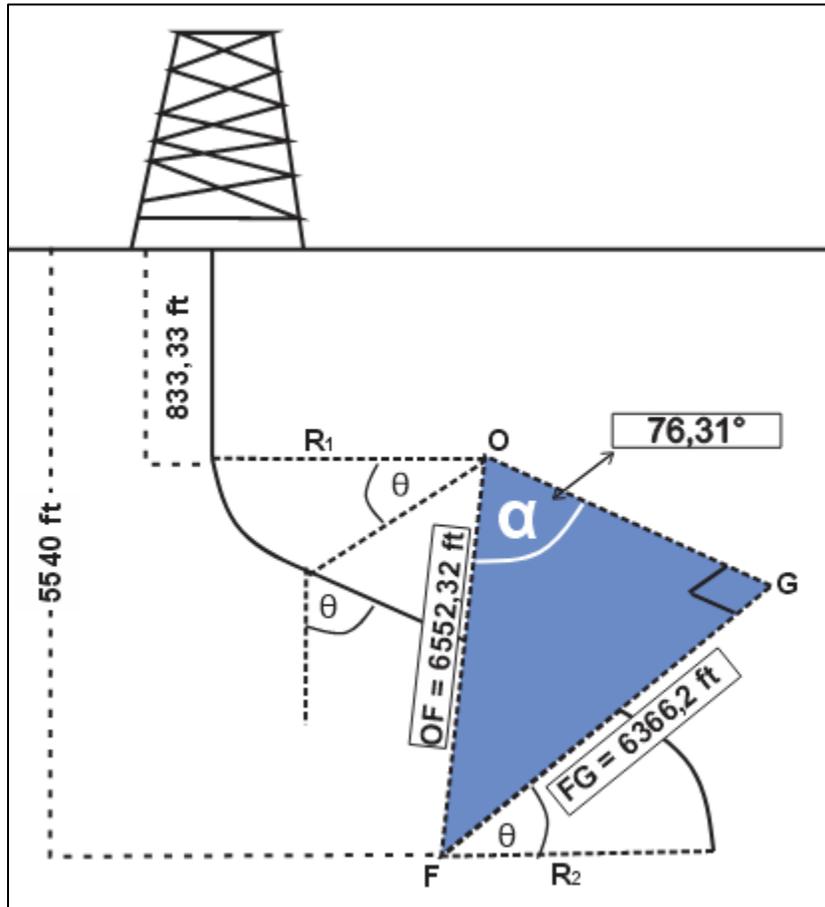


Figura 27. Ángulo α de la sección FOG .

Una vez calculado los ángulos de las secciones \overline{FOE} y \overline{FOG} , se procede a utilizar la ecuación 10 para determinar el ángulo máximo de inclinación θ , obteniendo el resultado de $32,22^\circ$.

4.4.3 Cálculo de la profundidad vertical y medida del EOB

Para el cálculo de la profundidad vertical del EOB, se utilizó la ecuación 11, en la cual, se obtuvo como resultado 2530,81 ft tal como se muestra la línea punteada de color

verde en la figura 28, esta profundidad es considerada desde la superficie en donde se encuentra la plataforma de perforación, hasta donde termina la construcción del ángulo de incremento.

Para el cálculo de la profundidad medida del EOB, se utilizó la ecuación 12, en la cual se obtuvo 2623,73 ft, tal como se muestra la curva roja en la figura 28; se considera que la profundidad medida, es también el largo de tubería de revestimiento que se necesitaría en esta sección, considerando que cada tubo de casing tiene 30 ft, se divide la profundidad medida con el largo de un casing, obteniendo así que se necesitan 88 tuberías de revestimiento; generalmente en las plataformas de perforación cada parada tiene 90 ft de largo, es decir tres tuberías de revestimiento en cada parada, por lo cual, para esta sección se realizarán 29 paradas de tres tubos cada una.

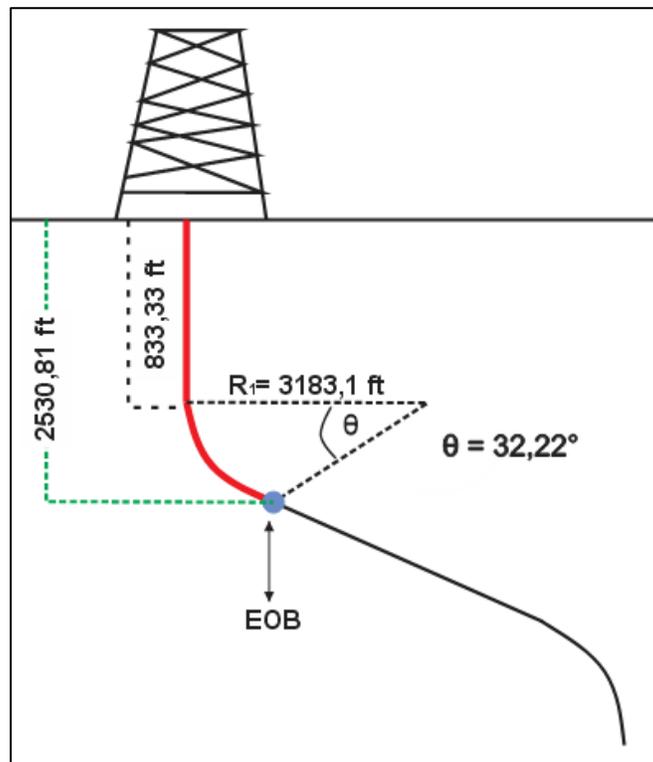


Figura 28. Profundidad vertical y medida del EOB.

4.4.4 Cálculo del desplazamiento horizontal del EOB

Para el cálculo del desplazamiento horizontal del EOB se utilizó la Ec. 13, este desplazamiento horizontal es considerado en dirección en la que se encuentra la plataforma

de perforación hasta el EOB, en este primero desplazamiento se obtuvo como resultado 490,4 ft, tal como se detalla en la línea roja de la figura 29.

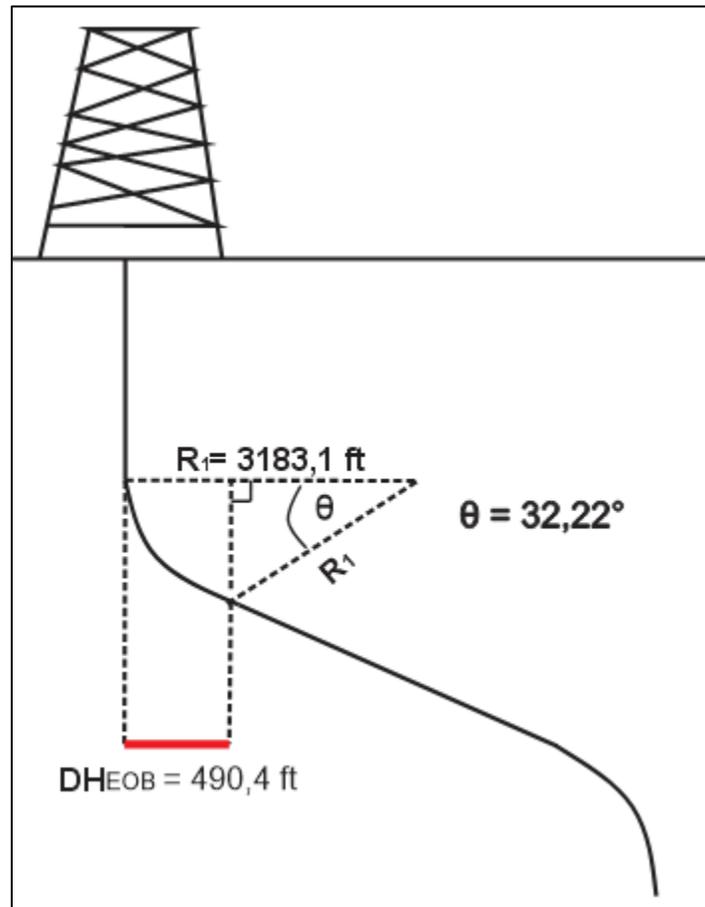


Figura 29. Desplazamiento horizontal del EOB.

4.4.5 Cálculo de la profundidad vertical y medida del SOD

Para el cálculo de la profundidad medida se utilizó la ecuación 14 para obtener la sección \overline{OG} que está en línea punteada en la figura 30, la cual tiene la misma magnitud que la sección tangencial, siendo esta de 1550,6 ft, luego se aplica la ecuación 15 para obtener la profundidad medida desde la torre de perforación hasta el SOD identificada en la línea roja continua como se observa en la figura 30, siendo un total de 4174,33 ft, lo cual también infiere a ser el mismo largo de tubería de revestimiento hasta esa sección, considerando que cada tubo tiene 30ft, esto da como resultado que se necesitarían 139 tubos de revestimiento,

desde la superficie hasta el SOD, teniendo en cuenta que cada parada tiene 90 ft, se necesitará realizar 46 paradas con 3 tuberías cada parada.

Para el cálculo de la profundidad vertical del SOD, se utilizó la ecuación 16, en la cual, se obtuvo como resultado 3842,52 ft tal como se muestra la línea punteada de color verde en la figura 30, esta profundidad es considerada desde la superficie en donde se encuentra la plataforma de perforación, hasta donde comienza el ángulo de caída SOD.

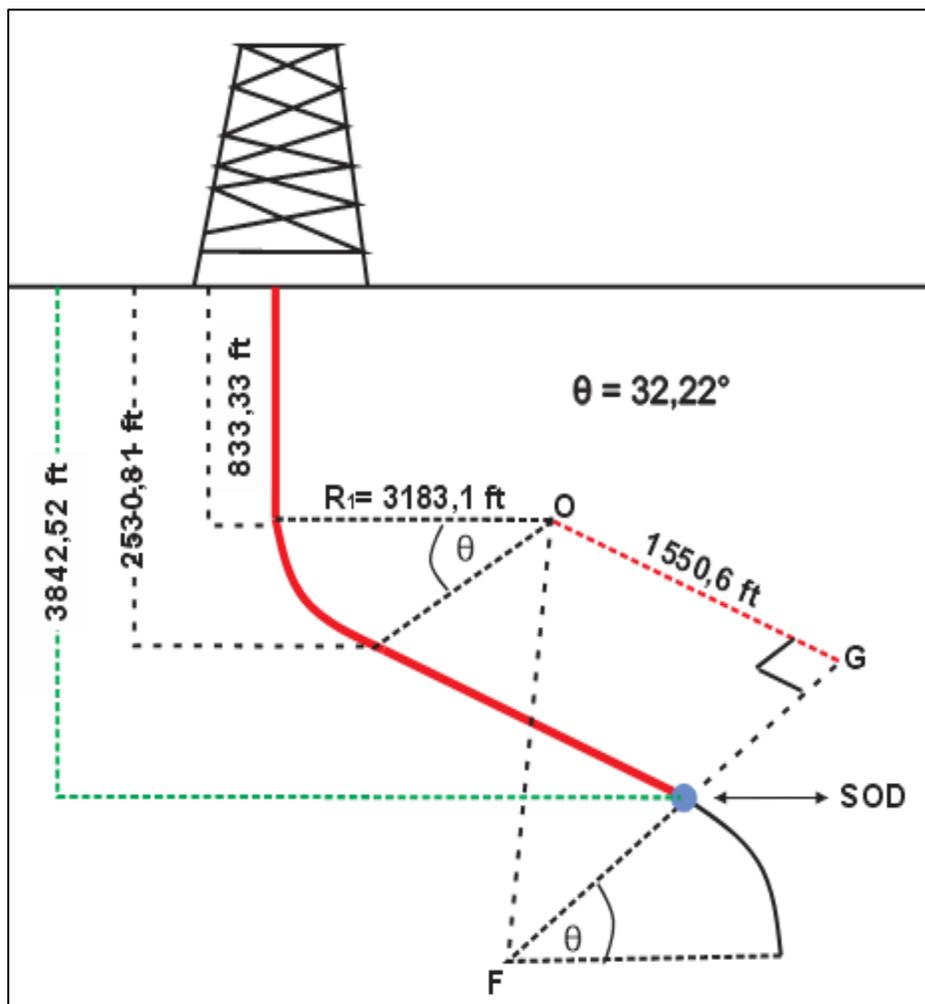


Figura 30. Profundidad medida y vertical del SOD.

4.4.6 Cálculo de desplazamiento horizontal del SOD

Para el cálculo del desplazamiento horizontal del SOD se utilizó la Ec.17, este desplazamiento horizontal es considerado en dirección en la que se encuentra la plataforma de perforación hasta el SOD, en este primero desplazamiento se obtuvo como resultado 1317,29 ft, tal como se detalla en la línea roja de la figura 31.

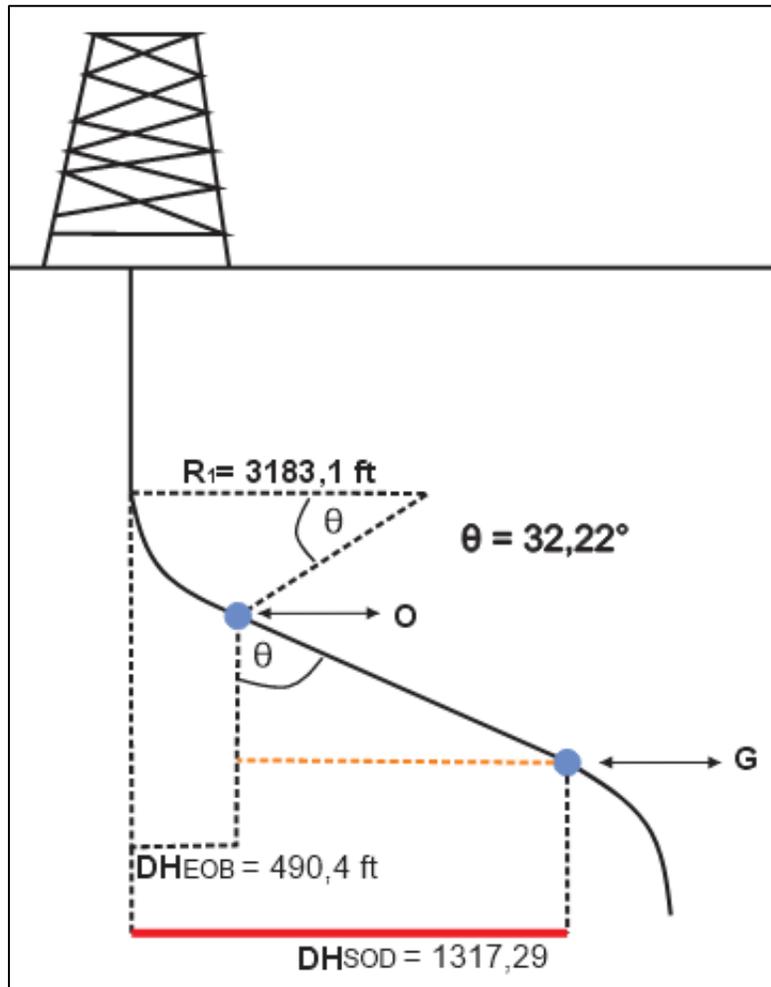


Figura 31. Desplazamiento horizontal del SOD.

4.4.7 Cálculo de Profundidad medida al final de caída de ángulo

Para el cálculo de la profundidad medida total hasta donde termina la caída del ángulo se utilizó la Ec.18, obteniendo así un total de 5964,73 ft, detallada en la línea roja continua de la figura 32.

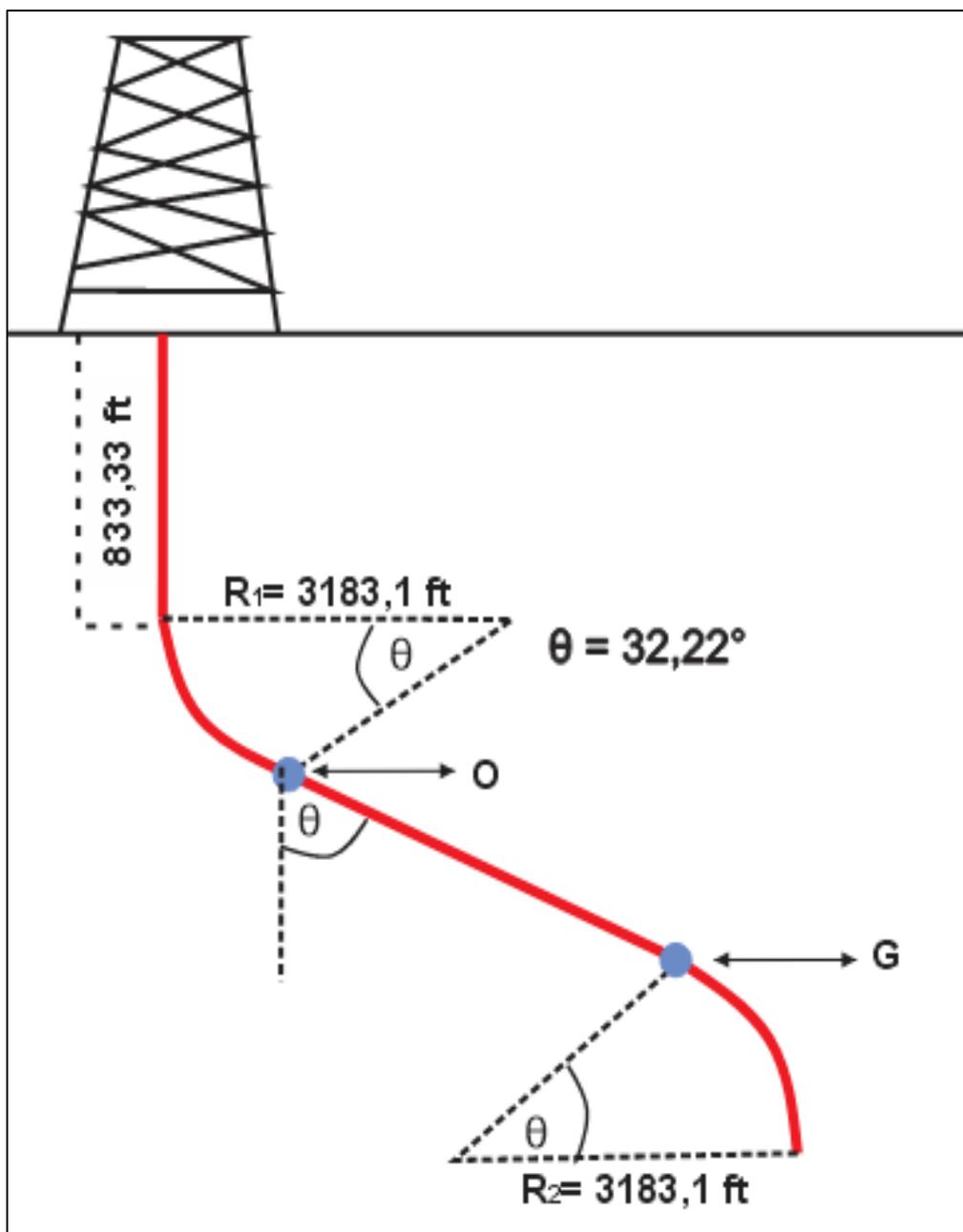


Figura 32. Profundidad Total medida hasta el final del incremento del ángulo.

Considerando que la profundidad total medida es de 5964,73 ft, dividiendo el valor para los 30 ft que tiene cada tubo de revestimiento, se utilizarán 199 tubos. Adicional para cada parada de 90 ft en la torre, desde la superficie hasta el final de esta sección, se deberán realizar 66 paradas de tres tuberías de revestimiento cada una.

4.4.8 Cálculo de la profundidad medida total

Para la determinación de la profundidad medida total hacia el objetivo de perforación, se adicionó una sección vertical de 5048 ft desde la sección en que terminó el ángulo de caída como se observa en la figura 33, sumando esta sección vertical a la profundidad medida al final de la caída del ángulo, se obtiene una profundidad medida total de 11002 ft.

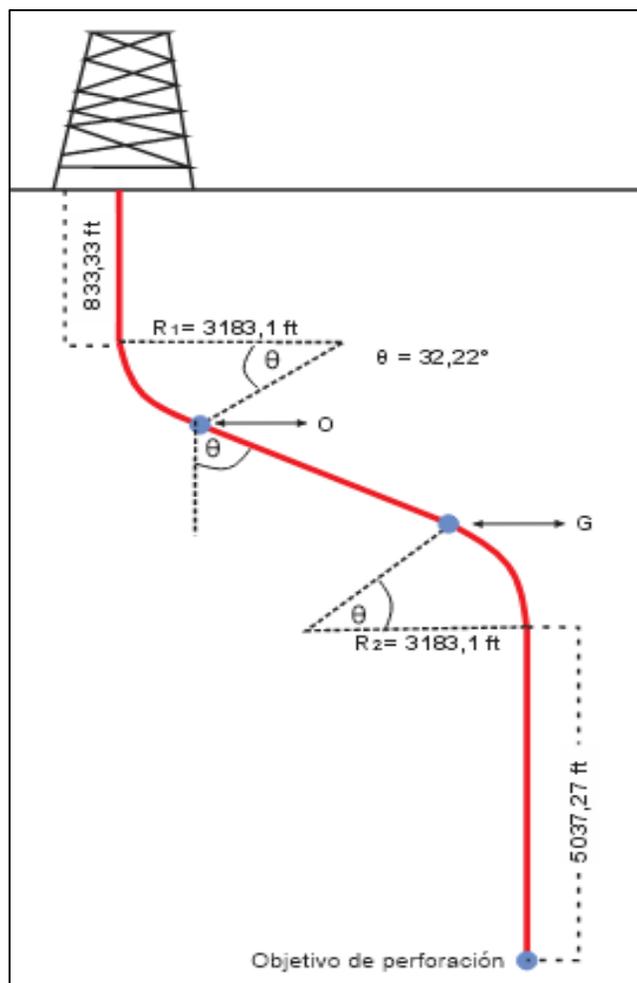


Figura 33. Profundidad medida total del pozo.

4.5 SECCIÓN CONDUCTORA

4.5.1 Sarta de perforación para conductor de 26”

La sección conductora es la primera sección a construir, la cual, va desde la superficie hasta los 548,76 ft, esta sección será de 20 pulgadas (in) de diámetro por lo cual se perforará con una broca tricónica de 26 in, este tipo de broca, evita la desviación y es utilizada para zonas blandas y media-dura, por aquello mediante el programa de selección de brocas, se tomó la decisión de utilizarla. En la tabla 1 se muestra la descripción del ensamblaje de fondo (BHA) en el cual se tendrá un peso total de sarta de perforación de 1816,51 libras (lb) y la longitud total será de 548,76 ft, la cual, se define como la longitud de perforación en la sección conductora.

Tabla 1. Componentes del BHA para la perforación de la sección conductora de 20 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca tricónica de 26"	9.000	3.000	192.72	2.27
conector de broca de 9"	9.000	3.000	192.72	3.00
6 Drill collar de 8"	8.000	2.813	720.00	180.00
Conector (6 ⁵ / ₈ ", 5 ¹ / ₂ ") x 54	6.937	3.125	102.67	3.49
12 Tuberías pesadas de 5 ¹ / ₂ "	5.500	4.000	608.40	360.00
Total			1816.51	548.76

4.5.2 Cementación de la sección conductora 20”

Para la cementación de esta sección, se conoce que el diámetro del hoyo es de 26 in, para lo cual, se corre la tubería de revestimiento o casing de 20 in, la longitud total de esta sección es de 548,76 ft como se detalló en la tabla 1, por lo tanto, el volumen del hoyo de esta sección es 57300 litros (lts) y el volumen del casing es de 33900 lts, por lo tanto el volumen del anular el cual equivale al volumen de cemento a utilizar en esta sección es de

23400 lts de cemento, por seguridad, se recomienda bombear 50% más del volumen del anular, obteniendo el total de volumen de cemento a utilizar de 35100 lts.

4.6 SECCIÓN SUPERFICIAL

4.6.1 Sarta de perforación para sección superficial de 16”

La sección superficial es la segunda sección en construir, la cual, será desde los 548,76 ft hasta la profundidad vertical de 5550 ft, el diámetro de esta sección será de 16 in para aquello, se utilizará una broca de perforación PDC de 16 in de diámetro, este tipo de brocas se escogió debido a que es utilizada en zonas duras y abrasivas. En la tabla 2 se muestra el BHA para esta sección en el cual, el peso total del ensamblaje será de 4185,45 libras y tiene una longitud de 1252,81 pies, además se le acoplará 157 tuberías de perforación de 30 ft cada tubo, alcanzando la profundidad medida al final de la caída del ángulo que es 5964,73 ft.

Tabla 2. Componentes del BHA para la perforación de la sección superficial de 16 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca PDC de 16"	9.500	3.500	575.17	1.45
Motor direccional de 9 ^{5/8} "	9.625	6.135	179.08	27.35
Válvula flotante flexible de 8"	7.750	4.875	147.22	2.85
Estabilizador de 14 ^{3/4}	8.040	3.000	148.93	6.00
Sistema de MWD de 8"	8.000	3.310	141.98	32.00
Herramienta orientadora de fondo de 8"	8.125	2.750	156.46	2.76
Drill collar de 8"	8.000	2.813	149.80	30.00
Conector de 6 ^{5/8} "	8.000	3.000	147.22	2.60
2 Drill collar de 6 ^{1/4} "	6.250	2.813	166.40	60.00
Conector de 4 ^{1/2} " a 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
28 Tuberías pesadas de 5 ^{1/2} "	5.500	3.250	1596.84	840.00
Conector de 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
Martillo de perforación de 6 ^{1/2} "	6.500	2.500	88.24	30.00
Conector de 4 ^{1/2} " a 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
7 Tuberías pesadas de 5 ^{1/2} "	5.500	3.250	399.21	210.00
Total:			4185.45	1252.81

4.6.2 Cementación de la sección de 16”

Para la cementación de la sección de 16 in, la cual tiene una profundidad medida de 5964,73 ft, se utilizará 199 tuberías de revestimiento de 13 ^{3/8} in de 30 ft cada tubo. Primero se determinó el volumen del hoyo el cual es 235368.19 litros, luego se calculó el volumen del casing el cual es de 164094,90 litros, una vez obtenido los dos volúmenes, se procede a calcular el volumen del espacio anular el cual equivale al total de cemento a utilizar para esta sección, el cual es de 71273,3 litros. Se recomienda bombear el 50% de exceso, obteniendo un total de volumen de cemento de 106910 litros.

4.7 SECCIÓN INTERMEDIA

4.7.1 Sarta de perforación para sección intermedia de 12 1/4”

La sección intermedia es la tercera sección a construir, la cual, será perforada desde la profundidad vertical de 5550 ft hasta los 9300 ft. En esta sección se utilizará una broca PDC de 12 1/4 in que servirá para el corte de formaciones medias y duras, a pesar de que será una sección vertical, igual se utilizará un motor direccional 9 ^{5/8} in, para así, atravesar las desviaciones de la sección superficial. En la tabla 3 se muestra los componentes del BHA, el cual, tiene un peso total de 4154,70 lb y con una longitud total de 1186,71 ft, considerando esta longitud, se adicionan 8528 ft de tubería de perforación, lo cual, equivale a 284 tubos de 30 ft cada uno.

Tabla 3. Componentes del BHA para la perforación de la sección intermedia de 12 1/4 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lbpf)	longitud (ft)
Broca PDC de 12 1/4"	8.750	3.000	379.00	1.29
Motor direccional de 9 5/8"	9.625	6.135	179.08	27.36
Válvula flexible flotante de 8"	7.750	4.875	147.22	2.85
Estabilizador de 12"	8.000	3.000	147.22	6.00
Sistema MWD de 8"	7.980	4.015	127.30	32.00

Estabilizador de 12"	8.030	3.000	148.50	7.21
2 Drill collar de 8"	8.000	2.813	299.60	60.00
Conector de 6 ^{5/8} " x 4 ^{1/2} "	8.000	3.000	147.22	2.60
Drill collar de 6 ^{1/4} "	6.250	2.813	83.20	30.00
Conector de 4 ^{1/2} " x 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
22 tuberías pesadas de 5 ^{1/2} "	6.500	3.250	1254.66	660.00
Conector de 5 ^{1/2} " x 4 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
Martillo de perforación de 6 ^{1/2} "	6.500	2.500	96.36	30.00
Conector 4 ^{1/2} " x 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
3 tuberías pesadas de 5 ^{1/2} "	5.500	3.250	171.09	90.00
Conector de 5 ^{1/2} " x 4 ^{1/2} "	6.625	2.010	90.30	2.00
Acelerador de 6 ^{1/2} "	6.500	2.250	99.54	15.00
Conector de 4 ^{1/2} " x 5 ^{1/2} "	6.625	2.813	96.30	2.60
7 Tuberías pesadas de 5 ^{1/2} "	5.500	3.250	399.21	210.00
Total			4154.70	1186.71

4.7.2 Cementación de la sección 12 ^{1/4}"

Para la cementación de la sección 12 ^{1/4}", se considera que tiene una profundidad medida de 9714 ft, para esta sección, se utilizará casing de 9 ^{5/8} in, con un total de 324 tubos de revestimiento de 30 ft cada uno. Primero se determina el volumen total del hoyo desde la superficie hasta la profundidad medida, la cual, es un total de 888246 litros; luego se determina el volumen casing, el cual, es un total de 532948 litros, por lo cual, el volumen de cemento a utilizar en el anular es de 355298 litros, sin embargo, por seguridad, se recomienda bombear 50 % de exceso con respecto al volumen del cemento, utilizando un total de 532948 litros de volumen de cemento.

4.8 SECCIÓN DE PRODUCCIÓN

4.8.1 Sarta de perforación para la sección de producción de 8 ^{3/8}"

La sección de producción es la cuarta y última sección a construir, siendo un tramo vertical que vas desde los 9300 ft hasta los 10588 ft. Para esta sección se utilizará una broca PDC de 8 ^{3/8} in, la cual, es para formaciones medias y duras. Se implementa un motor direccional debido a que debe pasar por la zona de desviación de la sección superficial. En

la tabla 4, se muestra los componentes del BHA, en el cual, se observa que su peso total es de 3354,89 lb y mantiene una longitud de 1094,16 ft, por lo cual, se acoplará 291 tubos de perforación de 30 ft cada uno, considerando la profundidad medida desde la superficie hasta el fondo de la sección

Tabla 4. Componentes del BHA para la perforación de la sección de producción de 8 3/8 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca PDC de 8 3/8"	8.375	2.250	180.00	0.95
Motor direccional de 6 3/4"	6.750	4.498	87.63	24.38
Válvula flexible flotante de 6 3/4"	6.750	2.500	102.71	2.99
Conector de 6 3/4"	6.750	3.000	105.10	1.87
Estabilizador de 8 1/4"	8.250	2.813	75.08	2.12
Drill collar de 6 1/4"	6.250	1.920	109.40	24.21
Sistema MWD de 6 3/4"	6.750	3.250	95.50	15.85
Estabilizador de hoja integral de 8 1/4"	6.250	3.000	97.50	3.79
6 Drill collar de 6 1/4"	6.250	2.813	499.20	180.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	31.94	2.60
16 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	811.20	480.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.813	106.91	2.60
Martillo de perforación de 6 1/2"	6.500	2.500	96.36	30.00
Conector 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	106.91	2.60
3 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	158.10	90.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
Acelerador de 6 1/2"	6.500	2.250	99.54	15.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
7 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	399.21	210.00
Total			3354.89	1094.16

4.8.2 Cementación de la sección 8 3/8"

Para la cementación de la sección de producción de 8 3/8 in, se considera que existe una profundidad medida de 11002 ft. Para esta sección se utilizarán 367 tuberías de revestimiento de 7 in de 30 ft cada tubo. Primero se determina el volumen del hoyo, el cual, es de 469477,4 litros, luego se determina el volumen de casing que es de 335341 litros, por lo tanto, el volumen de cemento a utilizar en el espacio anular es de 134136,4 litros, por

seguridad se recomienda bombear el 50 % de exceso de cemento, obteniendo un volumen total de cemento de 201204,6 litros.

4.9 CURVA DE PROFUNDIDAD VS TIEMPO

La curva de profundidad vs tiempo se la muestra en la figura 34. En esta curva se puede apreciar el avance de la perforación con respecto al tiempo, teniendo un estimado de los días que se va a demorar en perforar este pozo.

La primera sección, la cual es la conductora, se la perforaría en aproximadamente medio día, sin embargo, desde el mediodía hasta el día 2, se considera el fraguado del cemento y la instalación del BOP, por esa razón, se aprecia un tiempo lineal. Luego desde el día 2 y medio, empieza la perforación de la sección superficial, la cual se termina de perforar al final del día 4, luego se observa una paralización de 8 días, considerando que, en estos días se espera por el fraguado del cemento, corrida de registros y dos días adicionales para cualquier imprevisto en los servicios de completación.

Para la sección intermedia, la cual, se comienza a perforar desde el día 8 hasta el día 12, luego de culminar esta sección, se procede a realizar trabajos de completación. Una vez culminada la completación, se procede a perforar la última sección, la cual va desde el día 15 al día 16, el tiempo de perforación en esta sección es corto, debido a que la sección de producción no es tan larga como la superficial y la intermedia, luego de culminar esta sección se dan 4 días para servicios de completación de pozos, para así, dar por culminado la perforación del pozo.

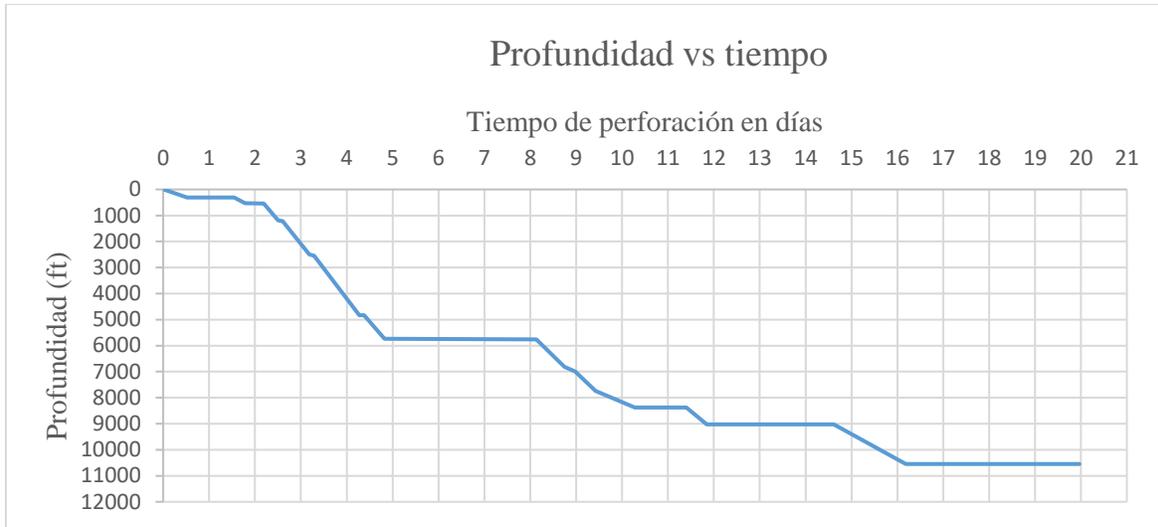


Figura 34. Curva de estimación del tiempo de perforación vs profundidad.

4.10 ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN

Para la estimación económica de los costos de operación, se consideró lo explicado por Tacuri Antonio en el 2019, en el cual, detalla los costos de que implica las operaciones de perforación en el bloque 7, el presupuesto fue propuesto para 8 pozos en 150 días, en base a ese presupuesto, se detalló el costo de operación por día para un pozo, como se lo muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Estimación de costos del taladro de perforación y cementación, para 1 pozo en 20 días

COSTOS DE TALADROS		
Detalles	Presupuesto para 8 pozos en 150 días	Presupuesto para 1 pozo en 20 días
Movilización de taladro (valor fijo)	\$ 704075.00	\$ 704075.00
Taladro de perforación	\$ 2403148.52	\$ 15019.68
Taladro de completación	\$ 100100.00	\$ 625.63
Total	\$ 3207323.52	\$ 719720.30

En la tabla 6 se muestra el gasto económico del personal de trabajo de la plataforma de perforación, en un total de 20 días laborables, obtenido un total de \$ 43126,8.

Tabla 6. Estimación de costos del personal de operación, para 1 pozo en 20 días

COSTOS DEL PERSONAL DE OPERACIÓN			
Detalle	Valor Diario (\$)	Días	Valor Total (\$)
Cuadrilla de perforación			
Supervisor	57.24	20	1144.8
Obrero de patio 1	26.27	20	525.4
Obrero de patio 2	26.27	20	525.4
Cuñero 1	26.27	20	525.4
Cuñero 2	26.27	20	525.4
Mecánico	40	20	800
Médico de campo	48	20	960
Eléctrico	38.16	20	763.2
Encuellador	33.21	20	664.2
Soldador	31.8	20	636
Perforador	50	20	1000
Supervisor HSE	48	20	960
Tool Pusher	26.27	20	525.4
Rig Manager	650.68	20	13013.6
Cuadrilla de completación			
Cuñero 1	26.27	20	525.4
Cuñero 2	26.27	20	525.4
Obrero de patio 1	26.27	20	525.4
Encuellador	33.21	20	664.2
Supervisor	48	20	960
Eléctrico	38.16	20	763.2
Maquinista	50	20	1000
Mecánico	40	20	800
Soldador	31.8	20	636
Supervisor	57.24	20	1144.8
Rig Manager	650.68	20	13013.6
Total	2156.34		43126.8

Por lo tanto, los costos totales para la perforación de un pozo tipo “S” en un tiempo estimado de 20 días, sería de \$ 762847,10, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Costos de perforación para el pozo tipo “S”.

COSTOS DE PERFORACIÓN	
Detalle	Valor de 20 días (\$)

Costos de taladros	719720.30
Costos del personal de operación	43126.80
Total	762847.10

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Perfil direccional para el pozo tipo “S” es la siguiente: $\theta = 32,22^\circ$; $DH = 1807,68 \text{ ft}$; $TVD_{EOB} = 2530,81 \text{ ft}$; $MD_{EOB} = 2623,73 \text{ ft}$; $DH_{EOB} = 490,4 \text{ ft}$; $TVD_{SOD} = 3842,52 \text{ ft}$; $MD_{SOD} = 4174,33 \text{ ft}$; $DH_{SOD} = 1317,29 \text{ ft}$; $MD_{Total} = 5964,73 \text{ ft}$.

Se determinaron las siguientes secciones a perforar: la sección conductora desde superficie hasta 548,76 ft utilizando broca tricónica de 26 in; la sección superficial desde los 548,76 ft hasta los 5550 ft utilizando broca PDC de 16 in; la sección intermedia desde los 5550 ft hasta los 9300 ft utilizando broca PDC de 12 ¼ in; la sección de producción desde los 9300 ft hasta los 10588 ft utilizando broca PDC 8 ^{3/8}.

En el análisis económico se obtuvo un costo total por operación de perforación del pozo tipo “S” de \$ 762847,10, correspondientes a: costos de taladro = \$ 719720,30 y costos de personal de operación = \$ 43126,80

Se determinaron tres arenas productoras las cuales son: como objetivo principal se fijó a 9468,9 ft siendo esta la arenisca Napo U Inferior identificándose como reservorio y por encima se encuentra la roca sello; el primer objetivo secundario se determinó a 8733,2 ft identificándolo como Tena Basal, en el cual, por debajo de esta formación se encuentra la roca madre y el segundo objetivo secundario se delimitó a 9698,4 ft siendo Napo T Inferior considerándose como un reservorio y teniendo como tope y base rocas sellos.

5.1 RECOMENDACIONES

Para la cementación de cada sección, se recomienda exceder el volumen del cemento en un 50% para evitar fugas por presencias de fracturas en la formación.

Para el fraguado del cemento considerar un tiempo de 24 a 48 horas para obtener un fraguado optimo del cemento.

Al terminar la sección conductora, se recomienda soldar el BOP al casing conductor.

Establecer tiempos extras en perforación para imprevistos por contratación de servicios de completación, registros y fraguado del cemento.

En la sección de producción colgar un liner de 7" para disminuir el uso de volumen de cemento.

Circular el pozo al menos 4 horas antes de cada cementación.

...

....

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángel, Y. (2022). *Perforación direccional, herramientas y aplicación en sondajes diamantinos*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Campos, E. (2006). *Normas principales de operación y mantenimiento de equipos de perforación y workover* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0481_M.pdf
- Cano, W., & Santivañez, J. (2019). *Efecto de almidón de papa y NaOH en el filtrado api de un fluido de perforación base agua en la industria petrolera*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cargua, S., & Ipiates, M. (2014). *Implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante la técnica de ultrasonido en la tubería de perforación de la empresa Nabor Drilling Services*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cendales, D., & Sánchez, J. (2021). *Evaluación del comportamiento del mse (energía mecánica específica) implementando el motor de fondo D&J en operaciones de perforación de las formaciones A1, A2 y Alpha en un pozo del campo J1 de la cuenca Caguán - Putumayo*. Fundación Universidad de América.
- Cerda, E. (2023). *Optimización del diseño de la perforación multilateral basada en el sistema de fijación tubular expandible, para mejorar la producción del pozo MGR - 4 del campo Margarita, aplicando algoritmos genéticos* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/33041/PG-8492.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chalén, J. (2023). *Evaluación de las diferentes tecnologías de perforación de pozos petroleros aplicables al campo Gustavo Galindo Velasco*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

- Coloma Chango, M. J. (2008). *Evaluación de ensamblajes de fondo (bha) para optimizar el tiempo de perforación en pozos direccionales en el campo Sacha*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6168>
- Cotos, N. (2021). *Evaluación de brocas tricónicas para mejorar los KPI'S de perforación en la unidad minera Toromocho año 2020*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Cózar, A. (2017). *Estudio comparado de ensamblajes direccionales de fondo para la perforación de pozos direccionales tipo "s" en el campo X del oriente ecuatoriano* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17456/1/CD-7955.pdf>
- Criollo, R. (2019). *Mejoras en el motor de fondo y su comparación con las otras herramientas para la desviación de los pozos Perú 2018*. Universidad Nacional de Piura.
- Cuchicho, K. (2022). *Análisis de fallas en las herramientas direccionales para mejorar la perforación de pozos en el noroeste del Perú* [Universidad Nacional de Piura].
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/4553/IPET-CUC-ALV-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espín, E. (2017). *Estudio para la optimización de los trabajos con fracturas hidráulicas en la arena "U" en el campo Sacha*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- García, D. (2015). *Perforación direccional para pozos de hidrocarburos*.
- González, A., Jara, M., & Ramírez, L. (2010). *Diseño del programa de brocas requerido para perforar el pozo direccional XD*. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- Guayes, I. (2023). *Análisis del comportamiento del fluido de perforación de los pozos del campo Tambococha*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

- Guzmán Cabrera, R. A. (2021). *Evaluación de las prácticas operativas durante la perforación direccional con trayectoria tipo “j” con alto desplazamiento, ubicado al noreste de la cuenca oriente del ecuador*".
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6529>
- Herrera, A. (2019). *Mejoras en la perforación de pozos verticales y direccionales en operaciones del nor-oeste* [Universidad Nacional De Piura].
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2954/IPET-HER-ZAP-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrera Herbert, J. (2020a). *Ingeniería de la perforación de pozos de petróleo y gas. Vol. III: Sistemas básicos y procesos de los equipos de perforación*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.
<https://doi.org/10.20868/UPM.book.62720>
- Herrera Herbert, J. (2020b). *Ingeniería de la perforación de pozos de petróleo y gas. Vol. IV: Técnicas de perforación direccional de pozos: Vol. IV*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.
<https://doi.org/10.20868/UPM.book.62722>
- Lobato, O., & Arzani, E. (2019). *Procedimientos que determinan la densidad equivalente de circulación con base en las geopresiones*. Instituto Politécnico Nacional Esia Unidad Ticomán.
- Loor, Á. (2014). *Diseño y planificación del programa de perforación del pozo tipo “J” Modificado: ANMA XD, en el campo ESPOL* [Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32294>
- Magallanes, J. (2019). *Factibilidad de la implementación de un diseño de sarta con sistema de rotación continua que disminuya los principales problemas en la perforación direccional en los pozos de alcance extendido del campo huyapari de la faja petrolífera del orinoco* [Universidad Central de Venezuela].
<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20233/1/TEG%20Final.pdf>

- Mansilla, D. (2019). *Análisis técnico financiero del uso de tecnologías de corte multidimensional de broca PDC para perforar formaciones abrasivas de la secuencia carboneras en el bloque de Pidemonte*. Fundación Universidad de América.
- Medina, C. (2020). *Evaluación de las concentraciones de surfactantes para un fluido de perforación base aceite que mejoren la estabilidad de la emulsión*. Fundación Universidad de América.
- Miranda, N. (2014). *Análisis de la normativa pertinente para la implementación de un manual de inspección y mantenimiento de las bombas de lodo usadas en el proceso de perforación de pozos petroleros en la industria hidrocarburífera del Ecuador*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Moreno piña, J. J. (2008). *Análisis y selección entre ensamblajes de fondo convencionales y rotatorio para la perforación de pozos direccionales en los campos del bloque 15*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/7729>
- Narváez, J. (2013). *Mejoras al proceso de mantenimiento a herramientas para la medición durante la perforación de pozos petroleros*. Instituto Politécnico Nacional.
- Panchana, G. (2021). *Análisis técnicos de los problemas operacionales durante la perforación de pozos direccionales del campo Ishpingo y Tambococha*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Parrilla, Y. (2023). *Mejoramiento de pozos multilaterales en yacimientos perforados con baja permeabilidad para una mayor rentabilidad en el sector de hidrocarburos* [Universidad Nacional De Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/4558/IPET-PAR-VIN-2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pilla Cunalata, Z. V. (2015). *Manual de planificación, diseño y consideraciones para la construcción de pozos direccionales en el campo sacha*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7688>

- Romero, J., & Gómez, F. (2010). *Estudio de los efectos de la inyección de agua en los yacimientos "U" y "T" de la formación Napo del campo Sacha*. Escuela Politécnica Nacional.
- Rosero, F., & Toscano, J. (2012). *Diseño y optimización de la perforación horizontal en las secciones 8 1/2" y 6 1/8" con el uso de la broca smith international*. Universidad Central Del Ecuador.
- Sánchez, I. (2016). *Perforación en la industria petrolera*. Instituto politécnico nacional.
- Sánchez Velázquez, M. J. (2011). *Perforación direccional*.
- Schlumberger. (2022a). *Inclinación*. Schlumberger | Energy Glossary. <https://glossary.slb.com/es/terms/i/inclination>
- Schlumberger. (2022b). *Pileta de lodo*. Schlumberger | Energy Glossary. https://glossary.slb.com/es/terms/m/mud_pit
- Schlumberger. (2022c). *Produndidad vertical verdadera*. Schlumberger | Energy Glossary. https://glossary.slb.com/es/terms/t/true_vertical_depth
- Schlumberger. (2023). *Equipo de perforación*. Schlumberger | Energy Glossary. <https://glossary.slb.com/es/terms/r/rig>
- Sevilla, K. (2023). *Análisis comparativo técnico-económico entre pozos direccionales tipo S versus pozos direccionales tipo J en campo ESPOL [Escuela Superior Politécnica Del Litoral]*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/361e9eae-8c73-4d6d-8ef2-7c3c1b0913fc/T-70606%20SEVILLA%20LARA.pdf>
- Silva, D. (2023). *Uso de taladros eléctricos en operaciones de perforación en el noroeste peruano*. Universidad Nacional de Piura.
- Tacuri Antonio. (2019). *Cálculo de costos para una empresa petrolera dedicada al alquiler de taladros de perforación y mantenimiento de pozo*. Universidad Tecnológica Israel.

Tenorio, F. (2015). *Tratamiento de lodos de perforación mediante el sistema de tubos de geotextil tejido (polipropileno) en el proyecto de exploración minera Hilarión, Distrito de Huallanca, Región Ancash, 2015*. Universidad José Carlos Mariátegui.

Vidal, E. (2022). *Gestión de integridad en ensamblajes de perforación (BHA) para pozos de alta complejidad*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

ANEXOS

ANEXO A. COMPONENTES DEL BHA

Tabla 8. Componentes del BHA para la perforación de la sección conductora de 20 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca tricónica de 26"	9.000	3.000	192.72	2.27
conector de broca de 9"	9.000	3.000	192.72	3.00
6 Drill collar de 8"	8.000	2.813	720.00	180.00
Conector (6 ⁵ / ₈ " , 5 ¹ / ₂ ") x 54	6.937	3.125	102.67	3.49
12 tuberías pesadas de 5 ¹ / ₂ "	5.500	4.000	608.40	360.00
Total			1816.51	548.76

Tabla 9. Componentes del BHA para la perforación de la sección superficial de 16 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca PDC de 16"	9.500	3.500	575.17	1.45
Motor direccional de 9 ⁵ / ₈ "	9.625	6.135	179.08	27.35
Válvula flotante flexible de 8"	7.750	4.875	147.22	2.85
Estabilizador de 14 ³ / ₄ "	8.040	3.000	148.93	6.00
Sistema de MWD de 8"	8.000	3.310	141.98	32.00
Herramienta orientadora de fondo de 8"	8.125	2.750	156.46	2.76
Drill collar de 8"	8.000	2.813	149.80	30.00
Conector de 6 ⁵ / ₈ "	8.000	3.000	147.22	2.60
2 Drill collar de 6 ¹ / ₄ "	6.250	2.813	166.40	60.00
Conector de 4 ¹ / ₂ " a 5 ¹ / ₂ "	6.625	2.813	96.30	2.60
28 tuberías pesadas de 5 ¹ / ₂ "	5.500	3.250	1596.84	840.00
Conector de 5 ¹ / ₂ "	6.625	2.813	96.30	2.60
Martillo de perforación de 6 ¹ / ₂ "	6.500	2.500	88.24	30.00
Conector de 4 ¹ / ₂ " a 5 ¹ / ₂ "	6.625	2.813	96.30	2.60
7 tuberías pesadas de 5 ¹ / ₂ "	5.500	3.250	399.21	210.00
Total:			4185.45	1252.81

Tabla 10. Componentes del BHA para la perforación de la sección intermedia de 12 1/4 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lbpf)	longitud (ft)
Broca PDC de 12 1/4"	8.750	3.000	379.00	1.29
Motor direccional de 9 5/8"	9.625	6.135	179.08	27.36
Válvula flexible flotante de 8"	7.750	4.875	147.22	2.85
Estabilizador de 12"	8.000	3.000	147.22	6.00
Sistema MWD de 8"	7.980	4.015	127.30	32.00
Estabilizador de 12"	8.030	3.000	148.50	7.21
2 Drill collar de 8"	8.000	2.813	299.60	60.00
Conector de 6 5/8" x 4 1/2"	8.000	3.000	147.22	2.60
Drill collar de 6 1/4"	6.250	2.813	83.20	30.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
22 Tuberías pesadas de 5 1/2"	6.500	3.250	1254.66	660.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
Martillo de perforación de 6 1/2"	6.500	2.500	96.36	30.00
Conector 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
3 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	171.09	90.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.010	90.30	2.00
Acelerador de 6 1/2"	6.500	2.250	99.54	15.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
7 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	399.21	210.00
Total			4154.70	1186.71

Tabla 11. Componentes del BHA para la perforación de la sección de producción de 8 3/8 in.

COMPONENTES DEL BHA				
Descripción de herramienta	OD (in)	ID (in)	Peso (lb)	longitud (ft)
Broca PDC de 8 3/8"	8.375	2.250	180.00	0.95
Motor direccional de 6 3/4"	6.750	4.498	87.63	24.38
Válvula flexible flotante de 6 3/4"	6.750	2.500	102.71	2.99
Conector de 6 3/4"	6.750	3.000	105.10	1.87
Estabilizador de 8 1/4"	8.250	2.813	75.08	2.12
Drill collar de 6 1/4"	6.250	1.920	109.40	24.21
Sistema MWD de 6 3/4"	6.750	3.250	95.50	15.85
Estabilizador de hoja integral de 8 1/4"	6.250	3.000	97.50	3.79
6 Drill collar de 6 1/4"	6.250	2.813	499.20	180.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	31.94	2.60
16 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	811.20	480.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.813	106.91	2.60

Martillo de perforación de 6 1/2"	6.500	2.500	96.36	30.00
Conector 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	106.91	2.60
3 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	158.10	90.00
Conector de 5 1/2" x 4 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
Acelerador de 6 1/2"	6.500	2.250	99.54	15.00
Conector de 4 1/2" x 5 1/2"	6.625	2.813	96.30	2.60
7 Tuberías pesadas de 5 1/2"	5.500	3.250	399.21	210.00
Total			3354.89	1094.16

ANEXO B. DISEÑO DEL POZO TIPO “S”

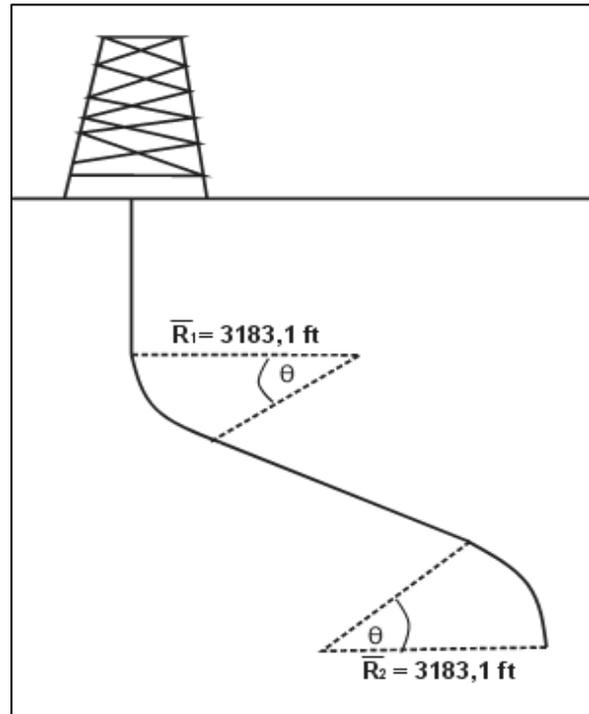


Figura 35. Construcción del radio de la curvatura.

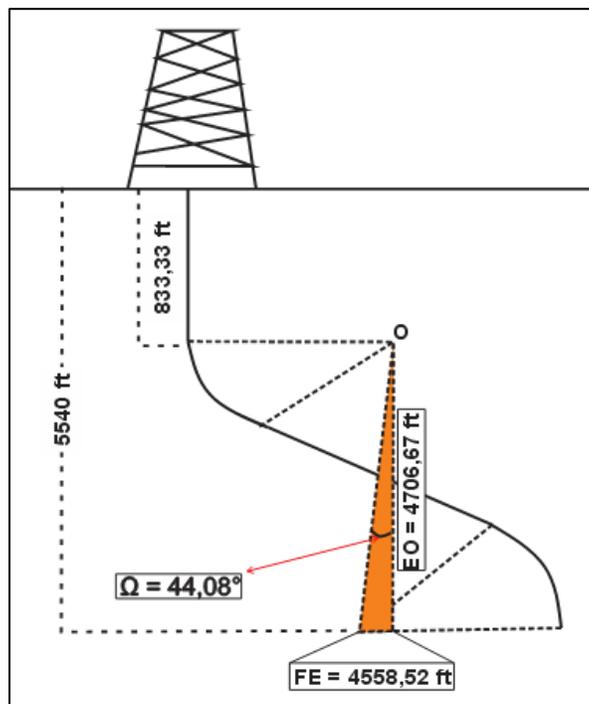


Figura 36. Ángulo Ω de la sección FOE.

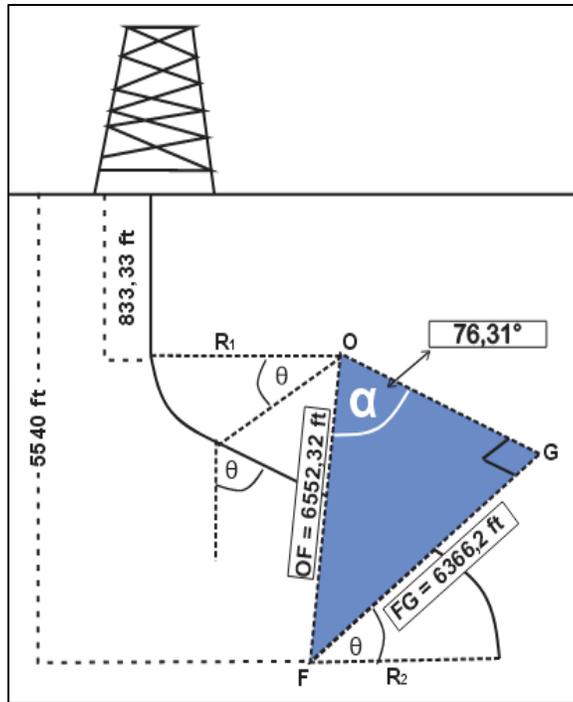


Figura 37. Ángulo α de la sección FOG.

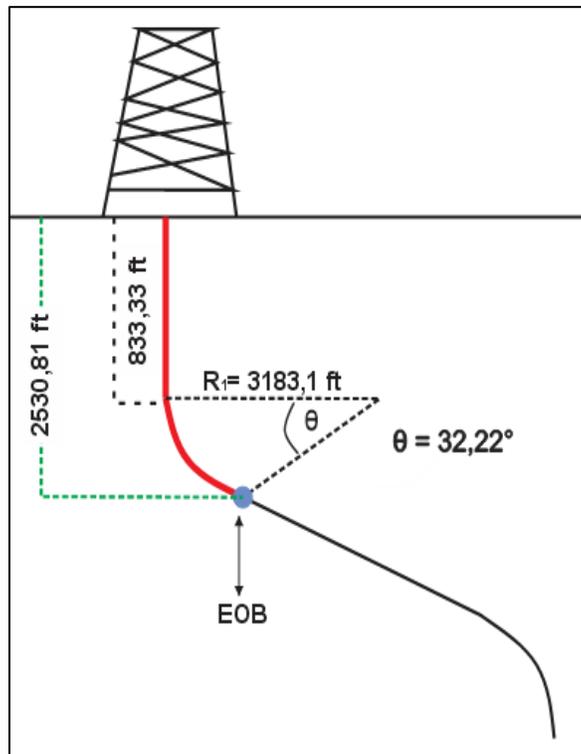


Figura 38. Profundidad vertical y medida del EOB.

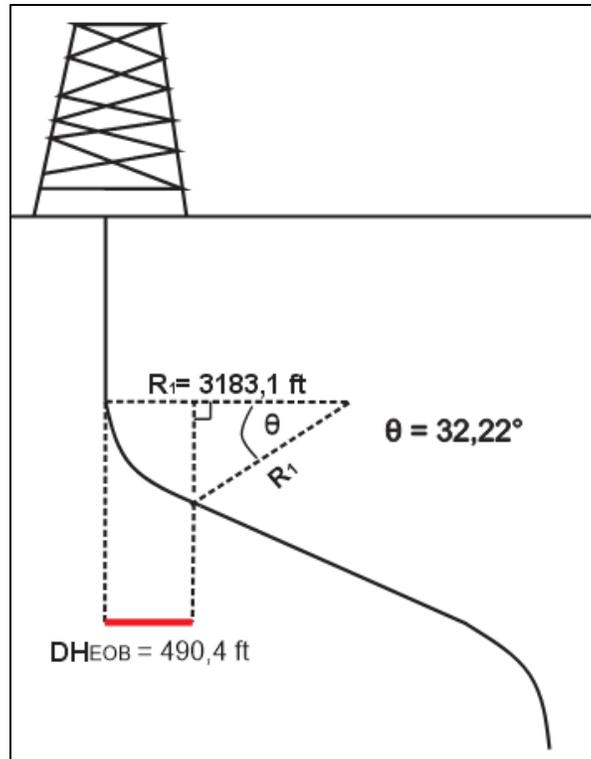


Figura 39. Desplazamiento horizontal del EOB.

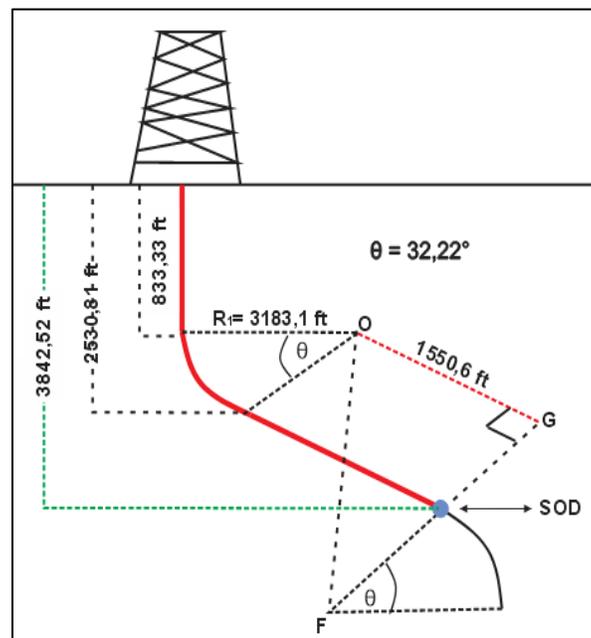


Figura 40. Profundidad medida y vertical del SOD.

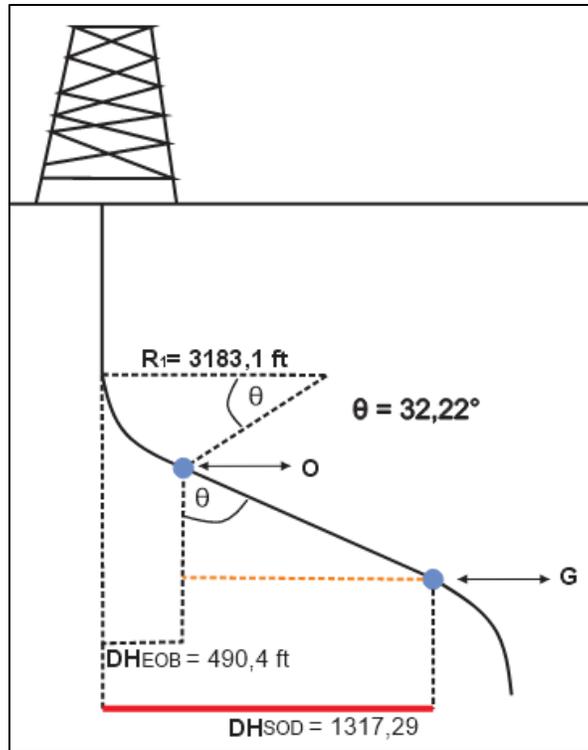


Figura 41. Desplazamiento horizontal del SOD.

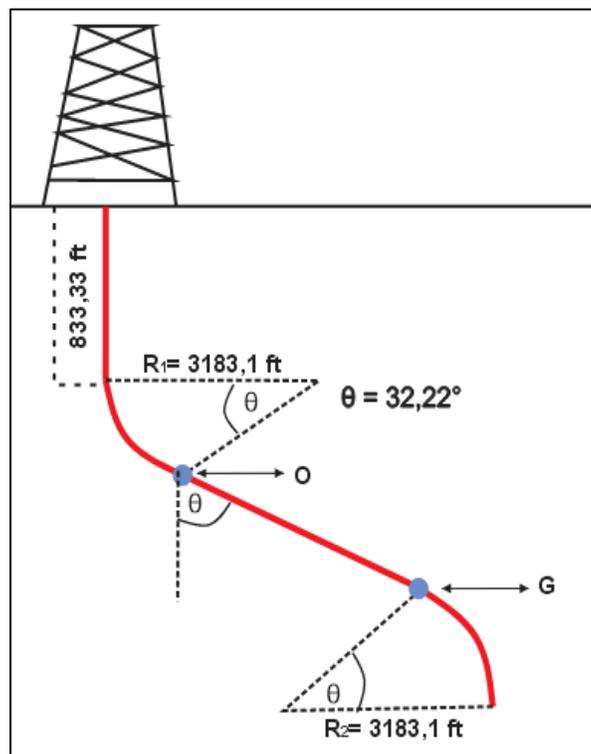


Figura 42. Profundidad Total medida hasta el final del incremento del ángulo.

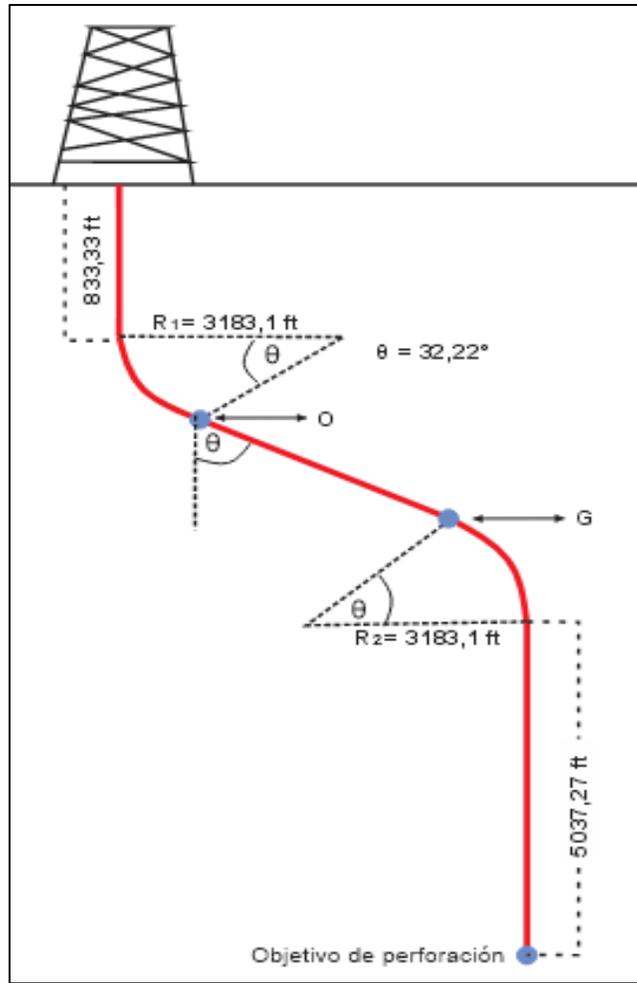


Figura 43. Profundidad medida total del pozo.