

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN
ESQUEMA DE DOS SECCIONES TIPO SLIM HOLE (MONOBORE)
PARA LA PERFORACIÓN EN LA CUENCA AMAZÓNICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
PETRÓLEOS
OPCIÓN: TRABAJO TÉCNICO-EXPERIMENTAL**

ALEX FERNANDO REA CHELA
alex.rea@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARCO VINICIO LOAIZA CÓRDOVA, MSc
mloaiza@sippec.com.ec
CODIRECTOR: ING. JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO, PhD
CARRANZA
johnny.zambrano@epn.edu.ec

Quito - 2020

DECLARACIÓN

Yo, Alex Fernando Rea Chela, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente

ALEX FERNANDO REA CHELA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alex Fernando Rea Chela, bajo mi supervisión.

**ING. MARCO VINICIO LOAIZA CÓRDOVA,
M.Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO**

**ING. JOHNNY ROBINSON ZAMBRANO
CARRANZA, P.hd.
CO-DIRECTOR DEL TRABAJO**

AGRADECIMIENTO

A los pilares fundamentales mis padres, Anita y Ernesto por toda la comprensión y motivación para conseguir este sueño, en especial a mi madre quién me demostró que con humildad no hay obstáculos para lograr conseguir un sueño.

A mis hermanos, Michael, Jhomayra y Ana Belén por ser mi mayor motivación y compartir sus alegrías cuando más los necesité.

A mis tías, Hortensia y Santo por su cariño y apoyo durante toda mi carrera universitaria.

A mi tutor de tesis al MsC. Marco Loaiza, por su humildad y predisposición para ayudarme en la realización de este trabajo de titulación.

A mi codirector de tesis al PhD. Jhonny Zambrano, por compartir todos conocimientos profesionales y por sus sugerencias para la culminación de este trabajo.

A Schlumberger, Halliburton y Tuscany, por compartir sus experiencias y abrirme las puertas para realizar mí trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A mis padres Anita y Ernesto, por el apoyo incondicional que me han brindado a pesar de las dificultades, en especial a mí madre por estar en los momentos difíciles, este logro es el reflejo de todo su amor y sacrificio.

A mi abuelitos Agustín y María, por ser mi mayor inspiración que siempre estarán conmigo y me enseñaron a enfrentar con humildad las adversidades de la vida, dedico este logro allá en el cielo.

A mis hermanos por ser mi motivación, que con sus ocurrencias siempre han estado brindándome su apoyo.

A mi novia Anita, que en mi última etapa universitaria ha sido un apoyo incondicional.

A mi amigo Berman, por compartir sus consejos, enseñanzas y motivarme para conseguir este logro.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIII
CAPÍTULO 1	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2	2
MARCO TEÓRICO	2
2.1. CUENCA AMAZÓNICA.....	2
2.1.1. DESCRIPCIÓN.....	2
2.1.2. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	3
2.2. ESTRATIGRAFÍA.....	4
2.2.1. FORMACIÓN PUMBUIZA (SILÚRICO - DEVÓNICO).....	5
2.2.2. FORMACIÓN MACUMA (CARBONÍFERO-PÉRMICO)	5
2.2.3. MESOZOICO-JURÁSICO - FORMACIÓN SANTIAGO (JURÁSICO INFERIOR).....	5
2.2.4. FORMACIÓN CHAPIZA, YAUPI, MISAHUALLI (JURASICO MEDIO -CRETÁCICO INFERIOR).....	6
2.2.5. CRETÁCICO FORMACIÓN HOLLÍN (ALBIANO – APTIANO INFERIOR).....	6
2.2.6. GRUPO NAPO (ALBIANO INFERIOR – CAMPANIANO MEDIO)....	7
2.2.7. FORMACIÓN TIYUYACU (CENOZOICO).....	8
2.2.8. FORMACIÓN ORTEGUAZA	8
2.2.9. NEÓGENO Y CUATERNARIO	9
2.2.9.1 Formación Chalcana.....	9
2.2.10. FORMACIÓN ARAJUNO	9

2.2.11. FORMACIÓN CHAMBIRA	9
2.2.12. FORMACIÓN CURARAY	10
2.2.13. FORMACIÓN MESA	10
2.2.14. FORMACIÓN MERA	10
2.3. PERFORACIÓN SLIM HOLE	10
2.3.1. DEFINICIÓN	11
2.3.2. VENTAJAS DE LA PERFORACIÓN DE POZOS SLIM HOLE	11
2.3.3. APLICACIONES DE POZOS TIPO SLIM HOLE	12
2.3.4. OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN	13
2.4. BROCAS	15
2.4.1. BROCAS SLIM HOLE	15
2.5. FLUIDOS DE PERFORACIÓN	16
2.5.1. SELECCIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	16
2.6. EQUIPOS DE PERFORACIÓN	16
CAPÍTULO 3	18
METODOLOGÍA	18
3.1. ESTUDIO DESCRIPTIVO	18
3.2. ESTUDIO COMPARATIVO	18
3.3. ESTUDIO PROSPECTIVO	18
3.4. ÁREA DE ANÁLISIS Y POZOS SELECCIONADOS	18
3.5. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.5.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	19
CAPÍTULO IV	20
ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE RESULTADOS	20
4.1. DATOS PARA LOS POZOS SLIM HOLE	20
4.1.1. BROCAS	20
4.1.2. PERFIL DIRECCIONAL	24
4.1.3. DATOS DEL CASING PARA LOS POZOS SLIM HOLE	26
4.1.4. TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE	26
4.2. RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DEL POZO SLIM HOLE “1”	30
4.2.1 PERFIL DIRECCIONAL PARA EL POZO SLIM HOLE	30

4.2.2 TOPES DE LAS FORMACIONES PROGRAMADAS PARA EL POZO “1”	31
4.2.3 DISEÑO MECÁNICO DEL POZO	31
4.2.4 ENSAMBLAJE DIRECCIONAL DE FONDO (BHA).....	32
4.2.5 RESUMEN DE LA PERFORACIÓN DEL POZO SLIM HOLE “1”	35
4.2.5.1 Sección casing 12 ¼” (+/- 82 ft a 7330 ft).....	35
4.2.5.2 Sección casing 8 ½” (+/- 7330 ft a 10988 ft).....	36
4.2.6 CORRIDA CASING PARA EL POZO “1” (Slim Hole).....	38
4.2.6.1 Corrida del revestidor de 9 5/8”	39
4.2.6.2 Corrida del Liner de 7”	39
4.2.6.3 Cementación de Casing de 9-5/8" a 7330 ft.....	40
4.2.6.4 Cementación de Casing de 7" a 10988 ft	40
4.2.7 RESUMEN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	40
4.2.7.1 Sección 12¼"	40
4.2.7.2 Sección 8 ½"	42
4.3. RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DEL POZO ROBUSTO “A”	44
4.3.2 BROCAS	45
4.3.2.1 Sección de 16".....	46
4.3.2.2 Sección 12 ¼".....	46
4.3.2.3 Sección 8 ½"	47
4.3.3 DATOS DEL CASING PARA EL POZO “A” (Robusto).....	47
4.3.4 RESUMEN DE LA PERFORACIÓN DEL POZO	48
4.3.4.1 Sección de 16” (67 ft a 7678 ft).....	48
4.3.4.2 Cementación del casing de 13 3/8"	51
4.3.4.3 Perforación de la Sección de 12 1/4” (7678 ft – 10000 ft).....	51
4.3.4.4 Corrida del revestidor de 13 3/8”	53
4.3.4.5 Perforación de la Sección de 8 1/2” (10000 ft – 1177 ft).....	53
4.3.4.6 Cementación del revestidor de 8-1/2”	55
4.3.5 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA EL DISEÑO ROBUSTO.....	55
4.4. ANÁLISIS TÉCNICO PARA EL DISEÑO SLIM HOLE Y ROBUSTO... 57	
4.4.1. Brocas (Relación de áreas).....	57
4.4.2. Capacidad del hoyo.....	58

4.4.3. Cementación	59
4.4.4. VOLUMEN DE RIPIOS.....	60
4.5. TALADRO DE PERFORACIÓN.....	63
4.5.1. PESO DEL REVESTIDOR EN EL AIRE	64
4.5.2. FACTOR DE FLOTACIÓN.....	64
4.5.3. PESO DEL REVESTIDOR EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN ...	65
4.5.4. VELOCIDAD DE IZAMIENTO	65
4.5.5. EFICIENCIA DE LA POLEA	65
4.5.6. POTENCIA DEL MALACATE	66
4.5.7. CARGA ESTÁTICA DEL GANCHO	66
4.5.8. CARGA DINÁMICA DEL GANCHO	67
4.5.9. CARGA DE LA LÍNEA RÁPIDA	67
4.5.10. CARGA DEL BLOQUE CORONA.....	68
4.5.11. CARGA DINÁMICA DE LA LÍNEA MUERTA	68
4.5.12. CARGA DINÁMICA DE LA TORRE.....	69
4.5.13. POTENCIA REQUERIDA POR LAS BOMBAS	69
4.6. ANÁLISIS DEL TIEMPO ESTIMADO DE PERFORACIÓN PARA EL POZO “1” Y PARA EL POZO “A”	71
4.6.1 TIEMPOS TOTALES PARA EL DISEÑO SLIM HOLE DEL POZO “1”	71
4.6.2. TIEMPOS TOTALES PARA EL DISEÑO CONVENCIONAL (ROBUSTO) DEL POZO “A”	74
4.7. ANÁLISIS ECONÓMICO (SLIM HOLE – ROBUSTO)	75
4.7.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE	76
4.7.12 ANÁLISIS DE COSTOS TANGIBLES.....	78
4.7.15 COSTOS POR TIPO DE POZO	79
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN	14
TABLA 2.2 PROCESO DE LA OPTIMIZACIÓN EN LA PERFORACIÓN	14
TABLA 2.3 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO DE PERFORACIÓN	17
TABLA 4.1 DATOS DE LOS POZOS SLIM HOLE.....	20
TABLA 4.2 ESPECIFICACIONES DE LA BROCA SLIM HOLE (12 ¼")	22
SECCIÓN 12 ¼"	22
TABLA 4.3 ESPECIFICACIONES DE LA BROCA SLIM HOLE (8 ½")	24
SECCIÓN 8 ½ "	24
TABLA 4.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.....	25
TABLA 4.5 DATOS DEL CASING DEL POZOS (SLIM HOLE)	26
TABLA 4.6 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "1"	26
TABLA 4.7 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "2"	27
TABLA 4.8 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "3"	27
TABLA 4.9 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "4"	28
TABLA 4.10. TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE....	29
TABLA 4.11 TOPES DE FORMACIONES DEL POZO "1" (SLIM HOLE)	31
TABLA 4.12 COMPONENTES DEL BHA # 1.....	32
TABLA 4.13 COMPONENTES DEL BHA # 2.....	33
TABLA 4.14 COMPONENTES DEL BHA # 3.....	33
TABLA 4.15 COMPONENTES DEL BHA # 4.....	34
TABLA 4.16 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (493 FT A 1283 FT)	35
TABLA 4.17 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (6365 FT A 6700 FT)	36
TABLA 4.18 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (6700 FT A 7051FT)	36

TABLA 4.19 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7340 FT A 7850 FT)	37
TABLA 4.20 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7900 FT A 8135 FT)	37
TABLA 4.21 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9400 FT A 9680 FT)	38
TABLA 4.22 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10755 FT A 10988 FT)	38
TABLA 4.23 DATOS DEL CASING DEL POZO "1" (SLIM HOLE)	38
TABLA 4.24 PROPIEDADES PROGRAMADAS VS. REAL A 7330 FT.....	42
TABLA 4.25 PROPIEDADES PROGRAMADAS VS. REAL 10988 FT	43
TABLA 4.26 TOPES DE FORMACIONES DEL POZO "A" (ROBUSTO)	45
TABLA 4.27 ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 16".....	46
TABLA 4.28 ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 12 ¼"	47
TABLA 4.29 ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 8 ½".....	47
TABLA 4.30 DATOS DEL CASING DEL POZO "A" (ROBUSTO)	48
TABLA 4.31 PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN	49
TABLA 4.32 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (3570 FT A 4969 FT)	49
TABLA 4.33 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (5967 FT A 6088 FT)	49
TABLA 4.34 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7150 FT A 7335 FT)	50
TABLA 4.35 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7150 FT A 7335 FT)	50
TABLA 4. 36 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7693 FT A 7724 FT)	52
TABLA 4.37 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7724 FT A 8471 FT)	52
TABLA 4.38 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (8471 FT A 8798 FT)	52
TABLA 4.39 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9219 FT A 9680 FT)	53
TABLA 4.40 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9967 FT A 10000 FT)	54
TABLA 4.41 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10604 FT A 10980 FT)	54
TABLA 4.42 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10980 FT A 11407 FT).....	55
TABLA 4.43 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (11407FT A 11670 FT).....	55
TABLA 4.44 RELACIÓN DE ÁREA PARA EL DISEÑO SLIM HOLE	57

TABLA 4.45 CAPACIDAD DEL FLUIDO EN CADA SECCIÓN PARA EL POZO ROBUSTO.....	58
TABLA 4.46 CAPACIDAD DEL FLUIDO EN CADA SECCIÓN PARA EL POZO SLIM HOLE	59
TABLA 4 .47 CANTIDAD DE CEMENTO PARA EL DISEÑO SLIM HOLE	59
TABLA 4.48 CANTIDAD DE CEMENTO PARA EL DISEÑO CONVENCIONAL	60
TABLA 4.49 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL POZO SLIM HOLE CON UN EXCESO DE 1.5	61
TABLA 4.50 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL POZO SLIM HOLE CON UN EXCESO DE 3	61
TABLA 4.51 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO DE 1.5	62
TABLA 4.52 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO DE 3	62
TABLA 4.53 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO DE 3	63
TABLA 4.54 VOLUMEN DE CASING UTILIZADO (SLIM HOLE).....	63
TABLA 4.55 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL COLGADOR.....	70
TABLA 4.56 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN TALADRO SLIM HOLE ..	70
TABLA 4.57 TIEMPOS TOTALES DEL POZO “1” (SLIM HOLE).....	73
TABLA 4.58 TIEMPOS TOTALES DEL POZO “A” (ROBUSTO).....	74
TABLA 4.59 COSTOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS SLIM HOLE	76
TABLA 4.60 COSTOS INTANGIBLES DE PERFORACIÓN	77
TABLA 4.61 COSTOS TANGIBLES.....	79
TABLA 4.62 RESUMEN DE COSTOS DEL POZO “1” Y POZO “A”	80
TABLA 4.63 AHORRO NETO DEL DISEÑO SLIM HOLE.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA ORIENTE DE ECUADOR CON CAMPOS Y OLEODUCTOS. ABAJO, CORTE REGIONAL.....	3
FIGURA 2.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CUENCA ORIENTE	4
FIGURA 4.2 PERFIL DIRECCIONAL TIPO “J”	30
FIGURA 4.3 DISEÑO MECÁNICO DEL POZO SLIM HOLE “1”	32
FIGURA 4.4 DENSIDAD DEL LODO	44
FIGURA 4.5 CURVA DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN VS PROFUNDIDAD DEL POZO “1”	74
FIGURA 4.6 CURVA DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN VS PROFUNDIDAD DEL POZO ROBUSTO “A”	75

RESUMEN

Se realizó el análisis comparativo de los datos técnicos y de los parámetros de perforación de los pozos de diámetros reducidos, respecto al diseño de tres revestimientos (Robusto), a partir de tiempos de perforación, perfil direccional, tipo de fluidos de perforación, tipo de brocas empleadas, diseño de la lechadas de cemento, control de sólidos, tipos de casing, profundidad de asentamiento y capacidad del taladro.

La fase de perforación del pozo Slim Hole se llevó a cabo en 16.71 días, mientras que el pozo robusto se ejecutó en un lapso de 20.48 días.

En cuestión de casing se evidenció un ahorro importante, puesto que el diseño convencional empieza a correr en superficie de 13 3/8" a comparación del pozo Slim que obtuvo un casing de 9 5/8 representando un ahorro de \$ 689,419.17 equivalente al 57% con respecto al diseño convencional.

En el manejo de ripios se observó un ahorro de \$ 33,408.34 equivalente al 30%, en cuestión de lodos un ahorro del 22% equivalente a \$48,814.77 y en conceptos de cementación se obtuvo un ahorro de \$ 46,015.17 equivalente al 21 %, puesto que se denotó que se genera un menor impacto ambiental con respecto al manejo de desechos.

Posterior a los análisis económicos realizados, se obtuvo un ahorro general de \$ 1, 364,351.69 equivalente al 33%.

Por supuesto, este resumen nos ayuda a comprobar que la aplicación del Slim Hole es el diseño de mayor factibilidad para ser empleado en la cuenca Amazónica.

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

La alta demanda de hidrocarburos y los pocos hallazgos propician la búsqueda de nuevas tecnologías e investigar cómo aprovechar al máximo las reservas ya existentes. Durante el último medio siglo, la industria del petróleo y del gas ha utilizado en forma continua la tecnología de perforación Slim Hole para reducir los costos del proyecto sobre los ya estimados en un diseño convencional, fundamentados principalmente en el uso de diámetros reducidos, tamaños más pequeños en los equipos de perforación, menos cemento, menos fluidos de perforación y menor disposición de ripios, así como la capacidad de perforar el pozo y completarlo en un periodo de tiempo más corto. La perforación Slim Hole es una técnica que está siendo aplicada en algunos campos del Ecuador por sus buenos resultados operacionales, siendo un factor importante en el aumento de la capacidad de producción de un pozo de petróleo (Pozo, 2015).

Mediante la recolección y análisis de la información obtenida a través de los reportes finales (Open Wells) se pretende desarrollar un modelo de perforación de pozos de dos secciones tipo Slim Hole que reduzca los costos procedentes de actividades propias de la operación. Este trabajo experimental analiza técnica y económicamente, desarrollando una comparación de tiempo y costos operacionales durante la perforación entre el diseño del pozo “1” tipo Slim Hole (Monobore) y el pozo “A” convencional de tres revestimientos destacando los beneficios del diseño del pozo “1” que es óptimo para aplicar en proyectos futuro.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. CUENCA AMAZÓNICA

2.1.1. DESCRIPCIÓN

La cuenca Amazónica está localizada al Este de la Zona Sub-andina, sobreyace al basamento cristalino y constituye el transarco de la Cordillera de Los Andes. Una gran parte de las estructuras encontradas aquí, tienen una orientación Norte – Sur, producto de ligeros plegamientos asimétricos generados por el crecimiento de la Cordillera Andina (ver Figura 2.1).

La Cuenca Oriente ecuatoriana representa una de las cuencas sub-andinas más complejas y más atractivas tanto desde el punto de vista científico como económico. Posee alrededor de 30 mil millones de barriles de petróleo en sitio, acumulados en cien campos. La Cuenca Oriente se desarrolla como resultado de esfuerzos transpresivos presentes a partir del Cretácico Terminal, los que provocan la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca de antepaís de transarco (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

La exploración petrolera en la Amazonía ecuatoriana se inicia en la década de los cincuenta. Al comenzar los procesos de exploración, se identifican yacimientos de crudo pesado en la zona centro sur amazónico; además, en esta región las expediciones se encuentran con comunidades indígenas muy agresivas, lo cual hacía muy dificultosa la operación (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

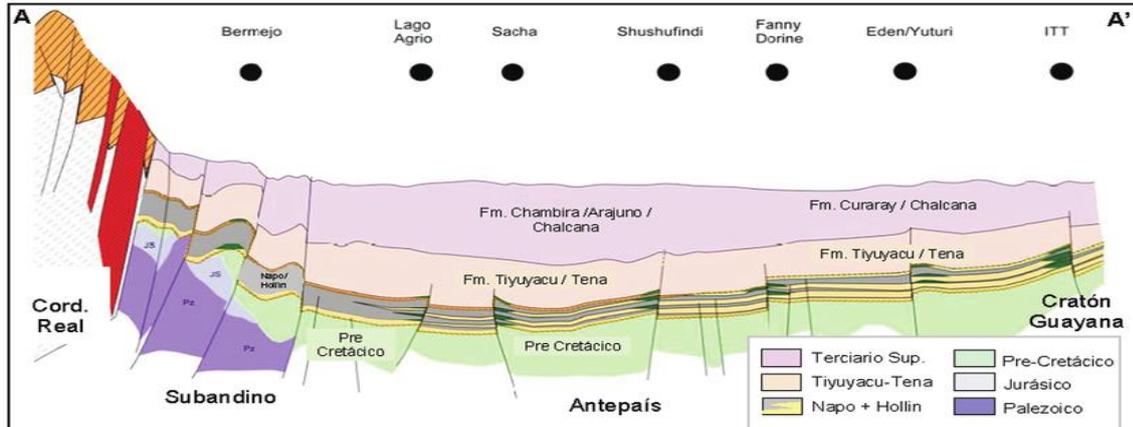
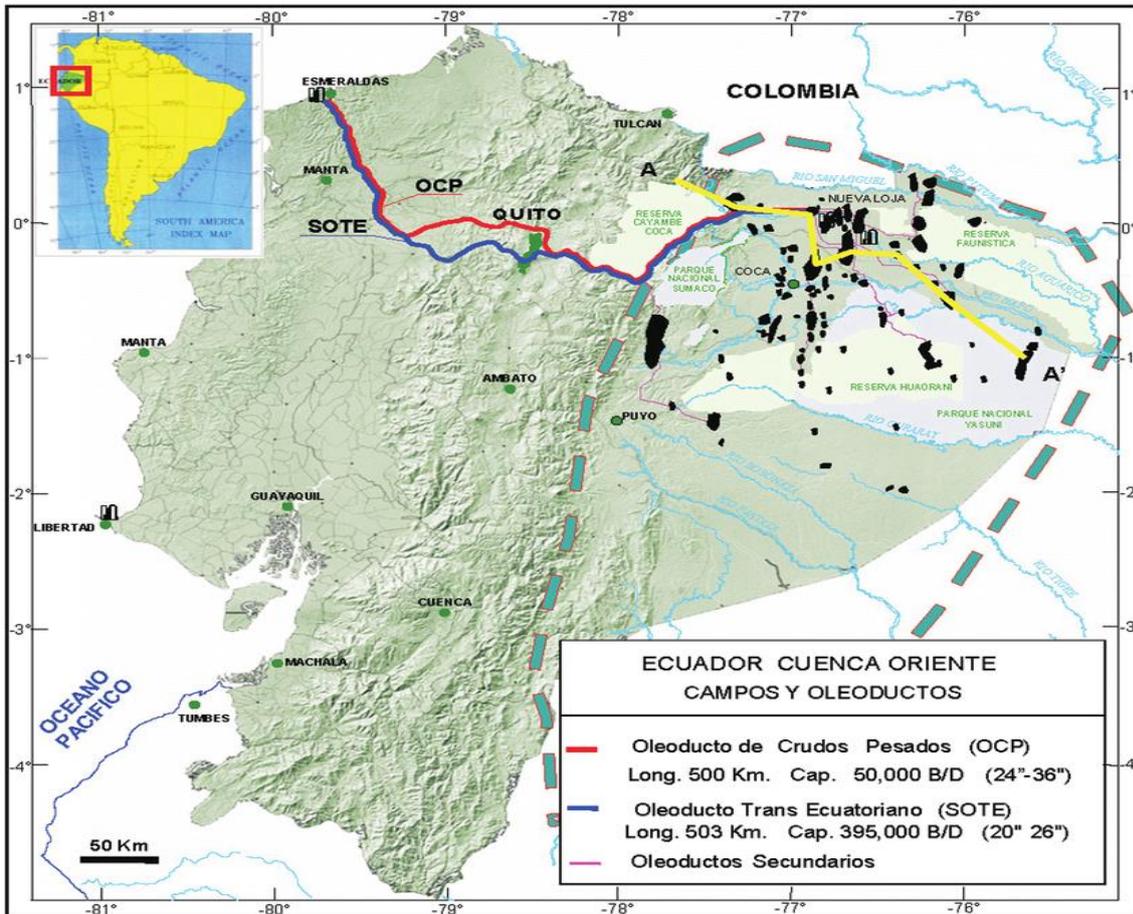


FIGURA 2.1 MAPA DE UBICACIÓN DE LA CUENCA ORIENTE DE ECUADOR CON CAMPOS Y OLEODUCTOS. ABAJO, CORTE REGIONAL

Fuente: Albariño, 2008
Elaboración: Albariño, 2008

2.1.2. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

El sistema petrolero más importante de la cuenca es Napo. Está integrado de depósitos marinos y continentales del Cretáceo al Terciario y la generación de

hidrocarburos comenzó durante el Neógeno, favorecida por la tectónica andina. La fuente principal de roca es el Grupo Napo marino del Cretáceo, lutitas y calizas de kerógeno tipo I y II con 2 a 6% del Carbono orgánico total (TOC). Los portadores de petróleo y los reservorios principales son areniscas cretáceas, afectadas por un entierro bajo a moderado, con excelentes condiciones petrofísicas preservadas. (Albariño, 2008).

En la Figura 2.2, se muestra una breve descripción litológica de la Columna estratigráfica de la Cuenca Oriente:

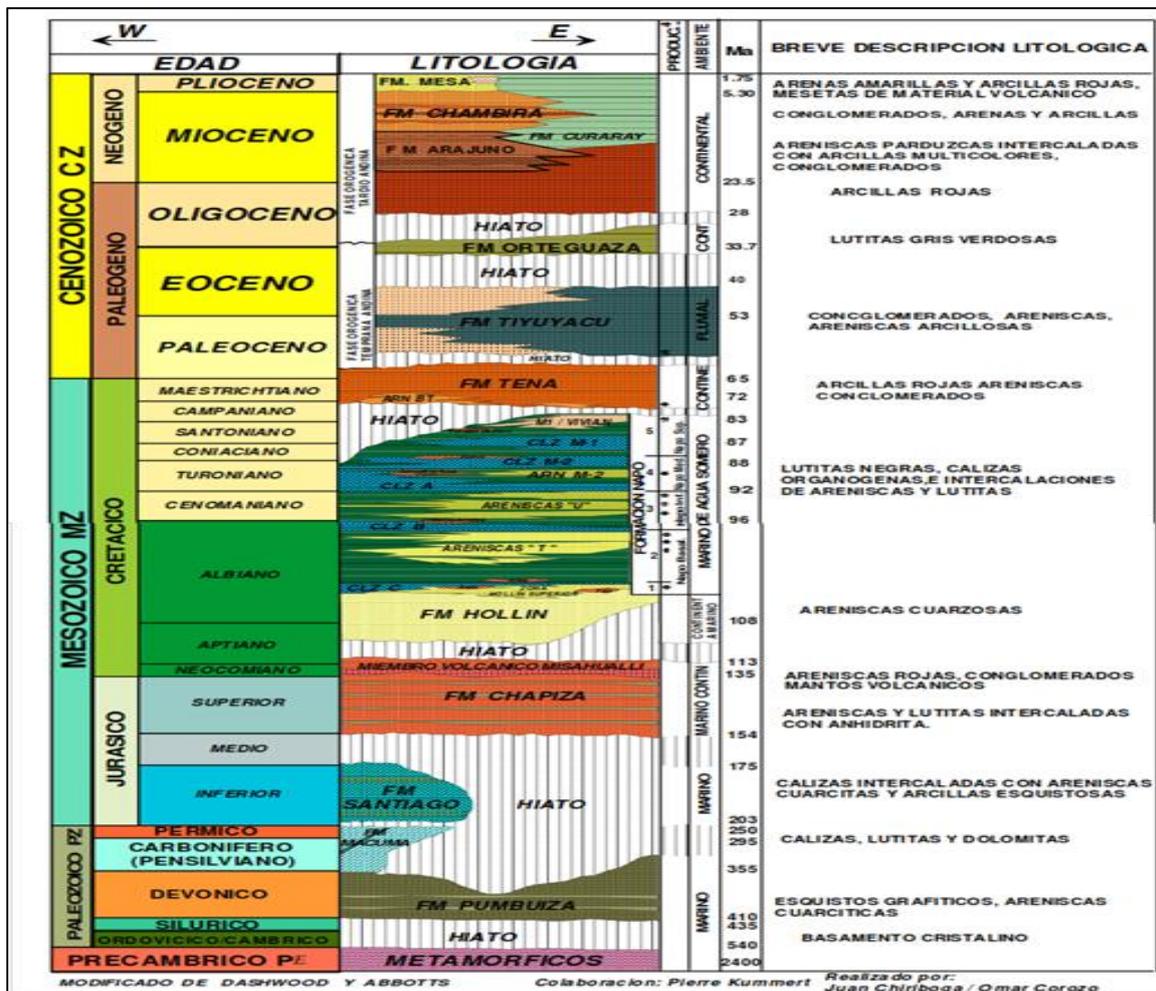


FIGURA 2.2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CUENCA ORIENTE

Fuente: Andrade, Acurio, Ramírez, & Reyes, 2016

2.2. ESTRATIGRAFÍA

Siguiendo con el estudio de la estratigrafía de los sedimentos cretácicos y paleógenos en la Cuenca Oriente, puntualizamos las edades geológicas,

formaciones y ambientes de depositación.

2.2.1. FORMACIÓN PUMBUIZA (SILÚRICO - DEVÓNICO)

Su afloramiento se localiza a lo largo del río Pumbuiza en la parte norte de la cordillera del Cutucú desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Macuma. Afloran pizarras grises a negras, en algunos lugares grafitosas, areniscas cuarcíticas duras de grano fino y conglomerados de color gris oscuro con clastos subangulares a subredondeados muy compactos y matriz silícea, estas rocas han sufrido fuerte plegamiento y fallamiento, no se conoce el espesor ni la base de la formación, pero está discordantemente sobrepuesta por calizas carboníferas de la formación Macuma (Mach, 2011).

2.2.2. FORMACIÓN MACUMA (CARBONÍFERO-PÉRMICO)

Los afloramientos se encuentran en el cerro Macuma, al norte de la cordillera del Cutucú y fueron los geólogos de la Shell quienes la nombraron y la datan como del carbonífero y se encuentra en discordancia erosional o fallada con la formación Pumbuiza, esta discordancia aparece también en ciertas secciones sísmicas en el norte de la cuenca igualmente en el norte del levantamiento del Cutucú, tiene un contacto discordante con la formación Chapiza supra yacente, lo que sugiere que la formación Santiago se acuña y desaparece en el área del cerro Macuma (Mach, 2011).

2.2.3. MESOZOICO-JURÁSICO - FORMACIÓN SANTIAGO (JURÁSICO INFERIOR)

Según Mach (2011), la formación Santiago fue nombrada por los geólogos de la Shell y sus afloramientos tipo correspondientes a la parte superior de la formación están en el Río Santiago (Cutucú Sur), donde se presenta como una secuencia de calizas silíceas de color oscuro, lutitas negras a veces bituminosas y areniscas con cemento calcáreo, de grano fino hasta grueso, de color gris dispuestas en capas delgadas de 1 a 0.50 metros, además en el lado oeste, la formación empieza a ser más volcánica con abundantes intercalaciones intraformacionales de brechas, tobas, intrusiones porfiríticas y diabasas submarinas.

2.2.4. FORMACIÓN CHAPIZA, YAUPI, MISAHUALLI (JURASICO MEDIO - CRETÁCICO INFERIOR)

Según Mach (2011), la formación Chapiza fue denominada así por los geólogos de la compañía Shell, por encontrarse presentes sus afloramientos a lo largo del Río Chapiza, de acuerdo a la información tomada de los afloramientos se divide en tres miembros: inferior, con capas rojas y verdes; medio con capas rojas y superior, facies de lavas y piroclastos, denominada Misahuallí. La formación Chapiza, por ser eminentemente continental, contiene niveles de roca arenosa que podrían constituir reservorios potenciales, aunque esto todavía no se ha probado en ningún pozo de la cuenca (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

Albán & Álvarez (2014) dividen a esta formación de la siguiente manera:

- **Chapiza Inferior.** Conocida como Chapiza roja y gris, está constituida de areniscas y lutitas color gris y rosado, con intercalaciones de capas delgadas de evaporitas, vetas de yeso y concreciones dolomíticas.
- **Chapiza Media.** Contiene una alternancia de areniscas y lutitas de color rojo e intercalaciones de evaporitas.
- **Chapiza Superior.** Se la conoce como miembro Misahuallí, consiste en lutitas rojas, areniscas feldespáticas y conglomerados interestratificados con tobas violáceas, grises y verdes, brechas tobáceas y basaltos.

2.2.5. CRETÁCICO FORMACIÓN HOLLÍN (ALBIANO – APTIANO INFERIOR)

Es el reservorio más importante del Oriente, entre la formación subyacente Chapiza y Hollín, existe una discordancia angular con excepción del flanco de los Cutucú Sur. La Formación Hollín consiste de una arenisca blanca, grano grueso a medio, en capas gruesas y a veces macizas, muchas veces con una estratificación cruzada y presencia de ondulitas, intercalando con lentes irregulares de lutita

(Mach, 2011).

Albán & Álvarez (2014), dividen a esta formación en dos secciones:

- **Arenisca Hollín Inferior.** Corresponde a una arenisca blanca cuarzosa, consolidada, de grano medio a grueso, matriz y cemento silicio, inclusiones locales de carbón, ámbar, caolín y con ocasionales intercalaciones de niveles limosos y arcillosos.
- **Arenisca Hollín Superior.** Consiste en una serie de areniscas cuarzosas - glauconíticas, calcáreas, de grano fino a muy fino, tiene interestratificaciones de lutitas negras, ligeramente calcáreas.

2.2.6. GRUPO NAPO (ALBIANO INFERIOR – CAMPANIANO MEDIO)

El ambiente de sedimentación se vuelve netamente marino. La transición de la Hollín a la Napo es rápida y la superposición claramente concordante. La transgresión vino probablemente del sur o suroeste, desarrollándose hacia el escudo cristalino, fue depositada en una cuenca de orientación norte – sur o en un graben limitado por fallas con una plataforma mucho menos profunda hacia el este, donde predominantemente es de una facie más arenosa (orilla) (Mach, 2011).

Albán & Álvarez (2014, pág. 14) clasifican la formación Napo de la siguiente manera:

Formación Napo Inferior (Albiano Superior-Cenomaniano Superior)

Comprende la caliza “B” que son calizas alternadas con lutitas negras; y las areniscas U y T, glauconíticas, masivas, a menudo divididas en dos y tres miembros por niveles lutáceos, localmente con calizas.

Formación Napo Medio (Turoniano). Tiene un espesor de 75 a 90 metros, es una unidad calcárea marina compuesta por las calizas “A” de color gris oscuras a

negras, ocasionalmente con cherts que culminan con margas y calizas, en cuya base ocasionalmente se desarrollan depósitos arenosos conocidos como arenisca "M-2".

Formación Napo Superior (Coniciano Inferior-Campaniano Medio). Alcanza 320 metros de espesor. De base a tope, comprende: una secuencia de lutitas con intercalaciones de bancos calcáreos; la caliza "M-1" integrada por calizas y lutitas oscuras, la arenisca "M-1 inferior", que consiste de lutitas con intercalaciones delgadas e intercalaciones de areniscas y la arenisca "M-1 masiva", que es una secuencia grano-decreciente de areniscas discordantes cubiertas por un delgado nivel lutáceo.

2.2.7. FORMACIÓN TIYUYACU (CENOZOICO)

El afloramiento de la formación Tiyuyacu se encuentra principalmente en el hundimiento sur del Levantamiento Napo, pero también en el norte de la zona subandina, en el campo petrolero Bermejo y al sur en la cordillera de Shaime (Este de la cordillera de Cutucú) (Morales, 2014).

La formación Tiyuyacu se clasifica como (Yuquilema, 2010):

Formación Tiyuyacu inferior. Está constituido principalmente de conglomerados y en menor proporción de areniscas gruesas y de lutitas. Los conglomerados contienen un 90% de cherts rojizos y angulosos y 10% de cuarzos lechosos y rocas metamórficas.

Formación Tiyuyacu superior. Está formado en su mayoría por conglomerados y en menor proporción por areniscas y lutitas. La base del Miembro superior es también una superficie de erosión a tal punto que en ciertos lugares de la cuenca (cordillera de Shaime), el miembro inferior está completamente erosionado, por lo que el Miembro Tiyuyacu superior sobreyace directamente a la Formación Tena.

2.2.8. FORMACIÓN ORTEGUAZA

Yace sobre la Formación Tiyuyacu Superior y se encuentra debajo de los

sedimentos continentales fluviales de la Formación Chalcana. Está constituida de una serie marina somera compuesta por areniscas grises y verduscas, y lutitas gris verdosas a negras. El color negro o gris muy oscuro de las lutitas, su fisilidad y la presencia de nódulos piríticos indican un ambiente reductor, como es el de la plataforma marina interna (zona infratidal) (Yuquilema, 2010).

2.2.9. NEÓGENO Y CUATERNARIO

Dentro del sistema subandino se puede observar el estilo de las últimas deformaciones durante el Neógeno y Cuaternario, debido a que este constituye la parte aflorante de la Cuenca Oriente (Almeida & Cárdenas, 2010). A continuación se describe la Formación Chalcana.

2.2.9.1 Formación Chalcana

Está constituida por sedimentos continentales (capas rojas), formadas por lutitas abigarradas con yeso. Su parte basal corresponde al equivalente lateral en facies continentales de la Formación Orteguzza (Almeida & Cárdenas, 2010).

2.2.10. FORMACIÓN ARAJUNO

Está constituida principalmente por areniscas finas a gruesas, conglomerados intercalados con limolitas y arcillolitas rojizas. Está separada de la Chalcana por un contacto bien definido, aunque hacia el Sur el cambio es más transicional. La Arajuno es una potente secuencia (más de 1.000 m) con variación litológica y ha sido dividida en tres: una arenisca inferior con conglomerado e intercalaciones de arcillas bentónicas; una unidad intermedia de arcillas rojizas, yesíferas en la base y tobáceas en la parte superior, y una subdivisión superior de areniscas con lignitos (Yuquilema, 2010).

2.2.11. FORMACIÓN CHAMBIRA

Constituida principalmente por una alternancia de niveles de conglomerados, con abundantes troncos silicificados, niveles de areniscas tobáceas y arcillas intercaladas. Esta es una secuencia transgresiva que descansa en “onlap” sobre la Formación Arajuno (Almeida & Cárdenas, 2010).

2.2.12. FORMACIÓN CURARAY

Según Yuquilema (2010), está confinada al Este del Oriente, en donde subyace gran parte del terreno o cubierta por jungla bajo las delgadas capas aluviales. La formación consiste de una serie potente de arcillas rojas verdosas y azuladas bien estratificadas, localmente se encuentra yeso, alternando con horizontes de arenisca de grano fino; horizontes tobáceos y carbonáceos-ligníticos son comunes.

2.2.13. FORMACIÓN MESA

Comprende una serie de terrazas disectadas, compuestas de depósitos clásticos de medios a gruesos, derivados de la continua erosión de la Sierra. Las terrazas muestran evidencia de fallamiento y levantamiento y están parcialmente cubiertas por depósitos Cuaternarios posteriores (Yuquilema, 2010).

2.2.14. FORMACIÓN MERA

Consiste de terrazas más jóvenes (topográficamente inferiores) depósitos compuestos por abanicos de piedemonte del Cuaternario areniscas tobáceas y arcillas, las que postdatan al último período importante de fallamiento y levantamiento y están menos disectadas que las terrazas remanentes de la Formación Mesa (Rotuno) (Yuquilema, 2010).

Con la exploración de yacimientos petrolíferos moviéndose a mayores profundidades, o atravesando estratigráficas más compleja, áreas remotas; la perforación de pozos de diámetros reducidos es beneficiosa para el operador de bajo presupuesto, ya que hay ahorros considerables en tiempo y costos de la plataforma ideal para perforar en áreas remotas (Griston, 2001). A continuación se detalla una recopilación acerca de la perforación Slim Hole.

2.3. PERFORACIÓN SLIM HOLE

Los pozos delgados resultantes pueden proporcionar una reducción total del costo del pozo del 30%. Al mismo tiempo, los recortes y los volúmenes de lodo residual se reducen drásticamente. Los pozos pueden perforarse o desviarse de manera

segura y efectiva, valorarse y completarse en diámetros pequeños de hasta 4 1/8". Las definiciones de agujeros delgados varían desde un pozo con un 90% perforado con un diámetro de menos de 7 pulgadas hasta un pozo con un 70% perforado con menos de 5 pulgadas (Ali, 2017).

2.3.1. DEFINICIÓN

Slim Hole es cualquier pozo diseñado con un tamaño de orificio de 4 3/4" o menos. La perforación tipo Slim Hole puede llegar a ser una mejora en la eficiencia de las operaciones de perforación, al mismo tiempo que disminuye el impacto ambiental. Con tiempo de perforación menor y equipo reducido de perforación puede significar una reducción hasta de un 50% en los costos de perforación. Por su bajo costo comparado con la perforación convencional y menor impacto ambiental, la perforación tipo Slim Hole proporciona un método económico de perforación de exploración en nuevas áreas; perforando pozos más profundos en campos ya existentes y proporciona una eficiencia significativa por la extracción de más gas natural y crudo de campos agotados (Bolaños, 2018).

La perforación Slim Hole puede ser de:

- Rotación superficial
- Sondaje continuo
- Convencional de bajo tamaño

2.3.2. VENTAJAS DE LA PERFORACIÓN DE POZOS SLIM HOLE

La perforación de pozos petroleros mediante la tecnología Slim Hole ha contribuido a la exploración y desarrollo de nuevas cuencas a nivel mundial, debido a los bajos costos operativos en comparación con la perforación convencional. Las características principales de este tipo de pozo son los diámetros reducidos y estrechos espacios anulares que generalmente usan altas velocidades de rotación. (Pérez, 2015)

Técnicamente, al tener un pozo de menor diámetro, es factible previamente utilizar tubería y brocas de perforación que se ajuste a los diámetros y espacio anular requerido para la entubación.

Las principales ventajas son:

- **Reducción de costos por disposición de ripios**

Si el tamaño del Slim Hole es la mitad de un convencional, el volumen de cortes podría reducirse hasta un 25% del volumen convencional. La tecnología de perforación Slim Hole comparada con la convencional representa una alternativa clave desde el aspecto ambiental estimando una disminución de lodo entre 60% y 75%, disminución de la generación de ripios entre 60% y 75% y la disminución del área o locación entre 50% y 75% (López & Gómez, 2011).

- **Reducción del Impacto Ambiental**

La tecnología de pozos Slim Hole puede proporcionar oportunidades para minimizar el impacto ambiental general. Las estrictas regulaciones ambientales han obligado a las compañías petroleras a reestructurar su capital de gasto para alinearse a veces sin que el costo sea un problema, con la protección del medio ambiente (Schulumberger S. F., 2000).

El tamaño relativamente pequeño de los equipos involucrados en las operaciones de pozos Slim Hole también se traduce en la reducción de transporte para la movilización y desmovilización de los equipos de perforación y ripios de perforación. Esto reduce el impacto general y el riesgo de incidentes relacionados con el transporte del equipo. Por su reducción en el diámetro perforado, en los pozos Slim Hole hay menor cantidad de agua a tratar luego de su uso en la perforación y completación (Pozo, 2015).

2.3.3. APLICACIONES DE POZOS TIPO SLIM HOLE

Las aplicaciones más importantes que tienen los pozos Slim Hole son:

- **Pozos Slim Hole exploratorios en áreas remotas**

Debido al tamaño reducido del equipo necesario, las locaciones son significativamente más pequeñas que las construidas para la perforación

convencional y las carreteras de acceso se pueden eliminar mediante el uso de helicópteros para transportar la plataforma de perforación (Schulumberger S. F., 2000).

- **Perforación de pozos tipo Slim Hole para pozos de desarrollo de bajo costo**

En un campo petrolero la perforación y terminación de pozos nuevos es muy costosa, esta es una consideración especial en yacimientos con pocas reservas, donde no es considerada económicamente factible la perforación de un pozo convencional; como solución a esto, los pozos Slim Hole pueden ofrecer oportunidades de acceso al petróleo y/o el gas, proporcionando una producción barata de sus reservas (Pozo, 2015).

- **Reentradas en pozos existentes**

El uso de la perforación de pozos Slim Hole para volver a entrar en los pozos existentes que han sido abandonados por su baja producción ha proporcionado oportunidades para desarrollar las reservas de pozos en campos maduros evitando perforar nuevos pozos. (Pozo, 2015)

La automatización de los equipos y la aplicación de nuevos diseños de perforación han contribuido a la industria a recuperar las inversiones en forma rápida buscando así, procesos cada vez más óptimos.

2.3.4. OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN

Se puede entender como optimización de la perforación al proceso a través del cual se logra una disminución en el costo general de las operaciones de perforación de pozos petroleros en un campo en específico, al seleccionar y usar las mejores combinaciones de equipos y técnicas disponibles hasta el momento. (García, 2011)

En la Tabla 2.1 se presentan los parámetros a considerar para lograr una optimización durante las etapas de la perforación.

TABLA 2.1
OPTIMIZACIÓN DE LA PERFORACIÓN

Optimización durante la etapa de planificación	Optimización durante la etapa de operación
<ul style="list-style-type: none"> • Selección del Equipo de Perforación • Diseño del contrato del equipo • Diseño de los contratos a compañías de servicio • Selección de la cabeza de pozo • Diseño del Pozo • Diseño de las tuberías revestidores (casings) • Política y planeamiento del servicio direccional • Programa de lodo • Programa de brocas • Políticas sobre Supervisores • Evaluación del programa 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de las brocas • WOB • Selección de la velocidad de rotación • Selección de BHA`s • Hidráulica • Programas de lodos • Organización de la logística

Fuente: (CHEN, 2004)

Elaboración: (CHEN, 2004)

Según (García, 2011) no existe un programa de perforación óptimo o perfecto, pues siempre se tendrán de forma invariable limitaciones en las operaciones que van más allá de nuestro control que harán que no se alcance el punto óptimo o ideal.

En la tabla 2.2 se detallan los pasos en el proceso de la optimización de la perforación:

TABLA2.2
PROCESO DE LA OPTIMIZACIÓN EN LA PERFORACIÓN

Planeación de la perforación	El producto principal de este paso es el Programa de Perforación que es un condensado donde se incluyen todas las características de la zona a perforar, columna geológica esperada, ventana operacional esperada para el pozo, densidades del lodo, etc.
Implementación de la perforación	Para este paso de debe optimizar las operaciones para que estas sean realizadas en menor tiempo la cual da como resultado un ahorro sustancial de recursos aumentando la rentabilidad del proyecto.
Evaluación post-operación	Este ciclo consta de la recolección de datos obtenidos en la perforación del pozo, lo cuales se convierten en datos

Fuente: (García, 2011)

Elaboración: (García, 2011)

Para una optimización en la perforación, es importante la selección adecuada de brocas, fluidos y equipos de perforación que pueden variar en los costos y diseños del pozo.

2.4. BROCAS

Las brocas de perforación son herramientas que van enroscadas en el extremo inferior de la sarta de perforación, y están dotadas de elementos cortantes, que sirven para penetrar las formaciones en el subsuelo, estableciendo contacto entre la zona productora de hidrocarburos y la superficie. En la perforación rotatoria, el proceso de perforar un hoyo en la corteza terrestre requiere del uso de un elemento cortante que está constituido por la broca (Ramos, 2011).

2.4.1. BROCAS SLIM HOLE

La perforación Slim Hole, se ha convertido en una tecnología importante y se ha aplicado ampliamente. Sin embargo, las brocas tricónicas y las brocas PDC existentes no pueden satisfacer los requisitos de perforación debido a su estructura limitada y su corta vida. Por lo tanto, se ha desarrollado una nueva broca de Slim Hole, denominada broca de disco de un cono, que combina una broca de un cono con una de disco. Esta nueva broca tendrá una perspectiva de aplicación expansiva en perforación profunda, perforación ultra profunda y perforación de orificios angostos debido a su menor torsión, mayor coeficiente de cobertura de fondo de pozo y mayor vida útil del rodamiento (Liu, 2016).

Debido a la restricción de la estructura y el principio de funcionamiento, la broca PDC Slim Hole no se puede usar en muchas condiciones debido a la falta de adaptabilidad en algunas formaciones complicadas, gran torque y la dificultad para limpiar y enfriar sus dientes. Tiene ventajas únicas sobre la estructura y el principio de rotura de rocas, por lo que es más aplicable a la formación muy dura y plástica que la broca de tres conos y puede funcionar de manera eficiente en algunas

formaciones complicadas, donde la broca PDC no es adaptable (Liu, 2016).

2.5. FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos de perforación de para la zona de producción no son dañinos, especialmente diseñados para ser usados en los intervalos del yacimiento. Están formulados para maximizar la eficiencia de la perforación al minimizar los daños a la formación, conservando así la productividad potencial del pozo (Fluidos, 2001).

2.5.1. SELECCIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Según (Dhiman, 2012) cuando se trata de presentar un fluido de perforación idóneo que cumpla todas las propiedades reológicas requeridas para evitar contratiempos durante las actividades de perforación.

(Dhiman, 2012) Presenta los factores importantes que rigen en la selección de fluidos de perforación:

- Los tipos de formación a perforar.
- El rango de temperaturas.
- Resistencia, permeabilidad
- Presión de los fluidos de poros exhibidos por la formación.

Una vez revisado los puntos más destacados de la perforación Slim Hole, se realiza un resumen sobre el taladro de perforación:

2.6. EQUIPOS DE PERFORACIÓN

El taladro de perforación es una estructura utilizada para perforar hoyos de gran profundidad en el suelo, que soporta el bloque corona y la sarta de perforación con el objetivo de producir un yacimiento geológico de la forma más económica, segura y eficiente (Pilapaña, 2014).

Según (García, 2011) en ocasiones, debido a las limitaciones presentadas en el equipo de perforación, es necesario realizar cambios o adaptaciones en el programa de perforación, reduciendo así, la eficiencia de las operaciones que se llevaran a cabo, dado que el equipo presenta limitaciones en el control de una o más variables.

En la tabla 2.3 se detalla los criterios para la selección del equipo de perforación.

TABLA 2.3
CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPO DE PERFORACIÓN

Potencia	Debe ser la necesaria para la operación combinada de bombas, mesa rotaria y demás equipos.
Capacidad de izaje	Debe tener la capacidad de izar la tubería considerando los máximos jalones permisibles.
Estructura y subestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de tuberías. • Altura suficiente para albergar los preventores en la subestructura
Capacidad de rotación	Rangos apropiados dependiendo las formaciones esperadas
Sistema de Circulación	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de gasto de fluido aceptable para mantener una buena limpieza del agujero. • Tanques de asentamiento adecuados, así como bombas de mezclado y productos químicos necesarios en existencia. • Equipo para remoción y control de sólidos.
Disponibilidad de herramientas	Que se cuente con el número de tuberías necesario.
Control de brotes	Equipo adecuado para las presiones esperadas

Fuente: (García, 2011)

Elaboración: (García, 2011)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

El trabajo de titulación se enfoca en la aplicación de métodos de análisis técnico y económico, que incluye: tipos de estudio descriptivo, comparativo y prospectivo.

3.1. ESTUDIO DESCRIPTIVO

Se realizó una descripción importante de las características del diseño Slim Hole (Monobore) y de un diseño convencional de un pozo de tres revestimientos, desarrollados en la Cuenca Amazónica a través de la información disponible del pozo "A" y el pozo "1", proporcionada por los programas y reportes finales de perforación.

3.2. ESTUDIO COMPARATIVO

A través de datos reales obtenidos en los programas de perforación, tanto de un diseño convencional de pozo así como de 4 pozos con diseño Slim Hole, es posible comparar la viabilidad técnica económica entre ambos diseños de perforación y tener una visión clara acerca de cuál de los diseños es más factible emplear en la Cuenca Amazónica.

3.3. ESTUDIO PROSPECTIVO

Pretende analizar la importancia del diseño Slim Hole de manera técnica y económica en un esquema de dos secciones, frente a un diseño convencional de un pozo de tres revestimientos, así como la factibilidad de ser implementado en programas de perforación en pozos de la Cuenca Amazónica.

3.4. ÁREA DE ANÁLISIS Y POZOS SELECCIONADOS

El área de análisis está centrada en los pozos en desarrollo de la Cuenca Amazónica. Se analizaron los datos provistos, de cuatro pozos Slim Hole y del Pozo A; lo que permitió elaborar un análisis comparativo y económico para un

diseño Slim Hole (Monobore) y su viabilidad, con la finalidad de ser implementada en futuros proyectos en la Cuenca Amazónica.

3.5. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para demostrar la hipótesis de la factibilidad de la aplicación del diseño Slim Hole en los pozos de la Cuenca Amazónica, se optó por la aplicación de los diferentes Métodos y Técnicas que sustentaron la recopilación de información necesaria proveniente de fuentes institucionales y académicas.

3.5.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para tener una idea clara de la tecnología y el diseño Slim Hole, se recurrió a un marco teórico basado en la perforación de diámetro reducido, recopilado de fuentes bibliográficas como libros y artículos científicos. La información para los pozos analizados fue proporcionada por el departamento de perforación de la empresa Enap Sipec.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE RESULTADOS

Para realizar un análisis técnico económico procedimos a realizar un preliminar de todas las operaciones realizadas en la perforación para el diseño Slim Hole y el diseño robusto.

4.1. DATOS PARA LOS POZOS SLIM HOLE

En relación a los 4 pozos Slim Hole, se presenta un resumen en base a los tiempos y costos durante toda la actividad de perforación teniendo en cuenta la profundidad, densidad y casing que se detalla a continuación en la tabla 4.1:

TABLA 4.1 DATOS DE LOS POZOS SLIM HOLE

	POZO 1		POZO 2		POZO 3		POZO 4	
	Sección		Sección		Sección		Sección	
	12 ¼"	8 ½"	12 ¼"	8 ½"	12 ¼"	8 ½"	12 ¼"	8 ½"
Profundidad	7165 ft	10988 ft	6357 ft	10580 ft	7165 ft	10800 ft	8,933 ft	11761 ft
Diámetro casing	9 5/8"	7"	9 5/8"	7"	9 5/8"	7"	9 5/8"	7"
Grado Casing	N-80	P - 110	N-80	P - 110	N-80	P - 110	N-80	P - 110
Azimut	350.5 grados		328.12 grados		330.79 grados		253.64 grados	
Máxima Inclinación	32.95 grados a 8729 ft MD		26.32 grados a 7831 ft		25.49 grados a 5474.64 ft		35.6 grados a 5634 ft	
Densidad lodo	10.3 lb/gal	10.9 lb/gal	9.9 lb/gal	10.5 lb/gal	10.3 lb/gal	10.9 lb/gal	10.2 lb/gal	10.8 lb/gal

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Luego de revisar todos los datos procedemos a caracterizar las brocas utilizadas en cada sección de los cuatro diseños Slim Hole.

4.1.1. BROCAS

Se analizó las brocas para cada una de las secciones, en general las broca presentaron buenas condiciones con un ligero desgaste.

Sección 12 ¼"

Siguiendo con el análisis, se presenta un resumen de las brocas utilizadas en la sección 12 ¼" en cada uno de pozos Slim Hole.

Pozo 1

En esta sección se perforó con 2 tipos de brocas con un diámetro de 12 ¼" XR+CPS con un TFA: 0.518 in²/ 4x13".

En esta sección se trabajó con una broca tricónica 12 ¼" desde 54 ft hasta 313 ft; la litología que presentó este tramo contenía: 40 % Arcillolita, 40% Arenisca, y 20% Conglomerado.

A partir de 493 ft se utilizó una broca PDC Z519 de 12 ¼ " con un TFA: 0.884 in² / 8x12 hasta una profundidad de 7330 ft atravesando una litología de; 70% Arcillolita, 30% Limolita.

Pozo 2

Se empezó a trabajar con una broca Tricónica 12 ¼" QHR1C con un TFA: 0.61 in²/ 4x3" desde 47 ft hasta 405 ft; la litología que presentó en este tramo contenía: 60 % Arenisca, 40 % Arcillolita y trazas de Conglomerado.

A partir de 405 ft se utilizó una broca PDC MMD56M de 12 ¼ " con un TFA: 0.981 in² / 8x12 hasta una profundidad de 6402 ft atravesando una litología de: 80 % Arcillolita, 10 % Lutita, 10 %Limolita.

Pozo 3

En esta sección se perforó con 2 tipos de brocas con un tamaño de 12 ¼" QH3GRC con un TFA: 0.539194 in²/ 3x13.

Se empezó a trabajar con una broca tricónica 12 ¼" desde 43 ft hasta 371 ft, la litología que presentó contenía: 20 % arenisca, 70% Arcillolita, 10 % conglomerado.

A partir de 550 ft se utilizó una broca PDC GTE55DCKS de 12 ¼ " con un TFA: 0.9073 in² / 7x12 hasta una profundidad de 7165 ft atravesando una litología de: 90% Arcillolita - 10% Limolita.

Pozo 4

Se perforó con 2 tipos de brocas con un tamaño de broca de 12 ¼" XR+CPS con

un TFA: 0.745 in²/ 3x18.

En esta sección se empezó a trabajar con una broca tricónica 12 ¼” desde 56 ft hasta 312 ft, la litología que presentó esta parte contenía: 40 % Arcillolita, 40% Arenisca, y 20% Conglomerado.

A partir de 555 ft se utilizó una broca PDC GT55WRKO de 12 ¼ " con un TFA: 0.5588 in² / 8x12 hasta una profundidad de 8178 ft atravesando una litología de: 40% lutita, 30% Arcillolita, 20% Limolita, 10% arenisca

En la Tabla 4.2 se presentan las especificaciones y características de las brocas utilizadas en la sección de 12 ¼” de los pozos Slim Hole.

TABLA 4.2
ESPECIFICACIONES DE LA BROCA SLIM HOLE (12 ¼”)

		Sección 12 ¼”				
pozo	Tipo de broca	Q (gpm)	TFA (in ²)	JETS	Intervalo	Formación
Pozo 1	R+CPS S/N: RG6368	100-515	0.518	4x13	54 ft a 493 ft	TERCIARIO
	Z519 S/N:JM8787	515-930	0.884	8x12	493 ft a 7330 ft	CHALCANA, ORTEGUAZA , TIYUYACU
Pozo 2	S/N: QHR1C	100-400	0.618	4x13	47 ft a 405 ft	TERCIARIO
	MMD56M	400-920	0.98	8x12	405 ft a 6346 ft	CHALCANA, ORTEGUAZA , TIYUYACU
Pozo 3	QH3GRC	100-500	0.539	3x13	56 ft a 312 ft	TERCIARIO
	GTE55DCKS	500-930	0.9073	7x12	312 ft a 7165 ft	CHALCANA, ORTEGUAZA , TIYUYACU
Pozo 4	R+CPS S/N: SR1GR	100-400	0.745	3x18	0 ft a 500 ft	TERCIARIO
	GT55WRKO	400-930	0.5588	8x12	500 ft a 8545 ft	CHALCANA, ORTEGUAZA , TIYUYACU

Fuente: Reportes Finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Sección 8 ½”

Se presenta un resumen de las brocas utilizadas en la secciones 18 ½” de cada uno de los pozos Slim Hole.

Pozo 1

Se empezó a trabajar con una broca PDC 8 ½" (Tipo: Z519) un TFA: 0.6627 in²/ 5x10.2x11 desde 7330 ft hasta 8130 ft, la litología que presentó en este tramo contenía: 90 % Arcillolita, 10 % Limolita que corresponde a la Formación Tiyuyacu.

A partir de 9480 ft se avanzó con una broca PDC 8 1/2 " (Tipo: XS616) con un TFA: 0.663in^2 / 6x12 atravesando la siguiente litología: 70% Lutita, 20 % Caliza, 10% Lutita y a una profundidad de 10988 ft se registró 100% Arenisca que corresponde a la Formación Hollín.

Pozo 2

Esta sección se empezó a trabajar con una broca PDC 8 1/2" (Tipo: Z519) un TFA: $0,601\text{ in}^2$ / 3x10/32"+4x11/32" desde 6357 ft hasta 8130 ft, la litología que presentó en este tramo contenía; 90% Arcillolita, 10% Limolita que corresponden a la Formación Tena.

A partir de 8783 ft se avanzó con una broca PDC 8 1/2 " (Tipo: XS616) con un TFA: $0,823\text{in}^2$ / 6x12 hasta una profundidad de 10580 ft atravesando la siguiente litología; 80% Arcillolita / 10% lutita 10% caolinita.

Pozo 3

Se empezó a trabajar con una broca PDC 8 1/2" (Tipo: Z519) un TFA: 0.6627 in^2 / 5x10.2x11 desde 7165 ft hasta 9280 ft, la litología que presentó en este tramo contenía: 90% Caliza y 10% de Lutita que corresponde a la Formación Napo.

A partir de 9280 ft se avanzó con una broca PDC 8 1/2 " (Tipo: XS616) con un TFA: 0.663in^2 / 6x12 atravesando la siguiente litología; 70% Lutita, 20 % Caliza, 10% Lutita y a una profundidad de 10762 ft se registró 100% Arenisca que corresponde a la Formación Hollín.

Pozo 4

Se empezó a trabajar con una broca PDC 8 1/2" (Tipo: Z519) un TFA: 0.6627 in^2 / 5x10.2x11 desde 8555 ft hasta 10173 ft, la litología que presentó en este tramo contenía; 90% Caliza y 10% Lutita que corresponde a la Formación Napo.

A partir de 10173 ft se avanzó con una broca PDC 8 1/2 " (Tipo: XS616) con un TFA: 0.663in^2 / 6x12 atravesando la siguiente litología; 70% Lutita, 20 % Caliza, 10% Lutita y a una profundidad de 11760 ft se registró 100% Arenisca que corresponde a la Formación Hollín.

En la Tabla 4.3 se presentan las especificaciones y características de las brocas utilizadas en la sección de 8 1/2" de los pozos Slim Hole.

TABLA 4.3
ESPECIFICACIONES DE LA BROCA SLIM HOLE (8 ½”)

		Sección 8 ½ ”				
pozo	Tipo de broca	Q (gpm)	TFA (in²)	JETS	Intervalo	Formación
Pozo 1	Z519 S/N: JN6913	380-520	0.569	5x10.2x11	7330 ft – 9480 ft	TIYUYACU – CONGLOMERADO INFERIOR-TENA
	XS616 S/N: JN3914	380-500	0.663	6x12	9480 ft a 10988 ft	NAPO – CALIZA M1/M2/A, U Sup/Inf, CALIZA B, T Sup/Inf, HOLLIN
Pozo 2	Z519 S/N: JN6913	450-550	0,601	4x11/32	6357 ft a 8783 ft	TIYUYACU – CONGLOMERADO INFERIOR-TENA
	XS616 S/N: 13684344	550-450	0.82	6x12	8783 ft a 10580ft	NAPO – CALIZA M1/M2/A, U Sup/Inf, CALIZA B, T Sup/Inf, HOLLIN
Pozo 3	Z519 S/N: JM9746	930-500	0.601	4x11, 3x10	7165 ft a 9280 ft	TIYUYACU – CONGLOMERADO INFERIOR-TENA
	XS616 S/N: JK5038	500-400	0.663	6 x 12/32	9280 ft a 10762 ft	NAPO – CALIZA M1/M2/A, U Sup/Inf, CALIZA B, T Sup/Inf, HOLLIN
Pozo 4	GT65D S/N: 13179855	850-500	0.5568	6x11	8555 ft a 10173 ft	TIYUYACU – CONGLOMERADO INFERIOR-TENA
	MME56D S/N: 13093827	500-250	0.7517	5 x 14/32	10173 ft a 11760 ft	NAPO – CALIZA M1/M2/A, U Sup/Inf, CALIZA B, T Sup/Inf, HOLLIN

Fuente: Reportes Finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.1.2. PERFIL DIRECCIONAL

El programa de perforación consiste en un pozo direccional tipo “J”, este tipo de pozos direccionales tienen un perfil con sección vertical, sección de construcción y una sección tangente

En la tabla 4.4 se detalla la columna estratigráfica, la litología, los marcadores geológicos y los topes formacionales utilizados en el programa de perforación para los pozos Slim Hole.

TABLA 4.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

EDAD	FORMACIÓN	MIEMBRO	TOPES (ft)				AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN
			MD				
			Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4	
Cuaternario	Cuaternario Indiferenciado						Continental
Mioceno	Chalcana Inferior						Continental
Oligoceno	Orteguaza		5648	5467	5592	5554	Marino
Eoceno	Tiyuyacu	Tiyuyacu	6480	6311	6472	6488	Continental
		Conglomerado Superior	6741	6682	6695	6674	
		Base Conglomerado Superior	7023	6868	6868	6862	
		Conglomerado Tiyuyacu Inferior	7931	7795	7656	7608	
		Base Conglomerado Tiyuyacu Inferior	8631	7795	7656	7608	
Paleoceno	Tena	Tena	8631	8356	8143	8167	Continental
		Basal Tena	9539	8356	8143	8167	
Cretáceo Superior	Napó	Lutita Napó	9564	9490	9340	9311	Marino Transicional
		Caliza "M-1"	9814	9646	9542	9499	
		Caliza "M-2"	10101	9833	9833	9872	
		Caliza "A"	10224	9927	9944	9966	
		Arenisca "U" Superior	10315	10021	10094	10114	
		Arenisca "U" Inferior	10409	10120	10131	10171	
		Base Arenisca "U" Inferior	10457	10260	10163	10365	
		Caliza "B"	10530	10300	10282	10461	
Cretáceo Inferior	Napó	Arenisca "T" Superior	10553	10327	10307	10558	Marino Mareal Fluvial
		Arenisca "T" Inferior	10665	10395	10378	10635	
		Base Arenisca "T" Inferior	10713	10375	10400	10947	
	Hollín	Hollín Superior	10811	10530	10570	11044	
		Hollín Inferior	10873	10560	10607	11577	
Profundidad Total			10988	10580	10762	11760	

Fuente: Reportes Finales, 2019

4.1.3. DATOS DEL CASING PARA LOS POZOS SLIM HOLE

En la Tabla 4.5 se detallan los datos de casing empleados en el diseño Slim Hole:

TABLA 4.5
DATOS DEL CASING DEL POZOS (SLIM HOLE)

Diámetro casing	Diámetro hueco [in]	Peso [lb/ft]	Grado	Conexión
9-5/8"	12 1/4"	47	N-80	TXP BTC
7"	8 1/2"	26	P -110	BTC

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.1.4. TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE

Se realizó un análisis de costos y tiempos, para definir el pozo ideal para nuestra comparación técnica frente a un pozo convencional.

POZO 1

Según los datos de la tabla 4.6 mostrada a continuación para el pozo 1:

- Se perforó la sección casing 9 5/8" hasta 7165 ft en un lapso de 4.33 días; la fase del cambio de sección de 9 5/8" a liner de 7" se completó en 3.38 días.
- Se perforó la sección casing liner 7" hasta 10731 ft en un lapso de 6.38 días; la fase del cambio de sección de 9 5/8" a liner de 7" se completó en 2.63 días.

TABLA 4.6 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "1"

POZO 1							
Casing	PROGRAMA			REAL			
9 5/8" 1a. Etapa	Profundidad (ft)	7165 ft	ft/día	Profundidad (ft)	7330 ft	ft/día	
	Perfora (días)	6.63	9.65	1082	Perfora (días)	4.33	7.71
	Cambio Etapa (días)	3.02			Cambio Etapa (días)	3.38	
7" 2a. Etapa	Profundidad (ft)	10732 ft	ft/día	Profundidad (ft)	10988 ft	ft/día	
	Perfora (días)	7.13	12.35	501	Perfora (días)	6.38	9.00
	Cambio Etapa (días)	5.23			Cambio Etapa (días)	2.63	
Total perforando		13.75		Total Perforando		10.71	
Total Cambio de Etapa		8.25		Total Cambio de Etapa		6.00	
Total Perforación		22.00		Total Perforación		16.71	

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

POZO 2

Según los datos de la tabla 4.7 mostrada a continuación para el pozo 2:

- En el transcurso de 7.67 días se realizó la perforación de la sección de casing 9 5/8" hasta 10580 ft; la fase del cambio de etapa de liner 7" se finalizó en 9.75 días.
- El pozo 2 realizó todas las actividades de perforación en un lapso de 17.42 días; 4.58 días menos al tiempo planeado de 22 días.

TABLA 4.7 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "2"

POZO 2								
Casing	PROGRAMA				REAL			
9 5/8" 1a. Etapa	Profundidad (ft)	6374	Ft	ft/día	Profundidad (ft)	6357	ft	ft/día
	Perfora (días)	7.21	9.77	884	Perfora (días)	4.38	7.67	1453
	Cambio Etapa (días)	2.56			Cambio Etapa (días)	3.29		
7" 2a. Etapa	Profundidad (ft)	10580	Ft	ft/día	Profundidad (ft)	10580	ft	ft/día
	Perfora (días)	8.46	12.23	497	Perfora (días)	5.50	9.75	738
	Cambio Etapa (días)	3.77			Cambio Etapa (días)	4.25		
Total perforando			15.67		Total Perforando			9.88
Total Cambio de Etapa			6.33		Total Cambio de Etapa			7.54
Total Perforación			22.00		Total Perforación			17.42

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

POZO 3

Según los datos de la tabla 4.8 mostrada a continuación para el pozo 3:

- En el transcurso de 8.58 días se realizó la perforación de la sección de casing 5/8" hasta 10580 ft; la fase de cambio de etapa del liner 7" se finalizó en 9.19 días.
- El pozo 3 realizó todas las actividades de perforación en un lapso de 17.77 días; 4.23 días menor al tiempo planeado de 22 días.

TABLA 4.8 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "3"

POZO 3								
Casing	PROGRAMA				REAL			
9 5/8" 1a. Etapa	Profundidad (ft)	7165	Ft	ft/día	Profundidad (ft)	7165	ft	ft/día
	Perfora (días)	6.63	9.65	1082	Perfora (días)	4.96	8.58	1445
	Cambio Etapa (días)	3.02			Cambio Etapa (días)	3.63		
7" 2a. Etapa	Profundidad (ft)	10732	Ft	ft/día	Profundidad (ft)	10762	ft	ft/día
	Perfora (días)	7.13	12.35	501	Perfora (días)	5.69	9.19	632

	Cambio Etapa (días)	5.23			Cambio Etapa (días)	3.50		
Total perforando		13.75		Total Perforando		10.65		
Total Cambio de Etapa		8.25		Total Cambio de Etapa		7.13		
Total Perforación		22.00		Total Perforación		17.77		

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

POZO 4

Según los datos de la tabla 4.9 mostrada a continuación para el pozo 4:

- En el transcurso de 9.69 días se realizó la perforación de la sección de casing 9 5/8" hasta 10580 ft; la fase de cambio de la etapa de liner 7" se finalizó en 14.08 días.
- El pozo 4 realizó todas las actividades de perforación en un lapso de 24.08 días; 2.08 días más de lo planeado de 22 días.

TABLA 4.9 TIEMPOS TOTALES PARA EL POZO "4"

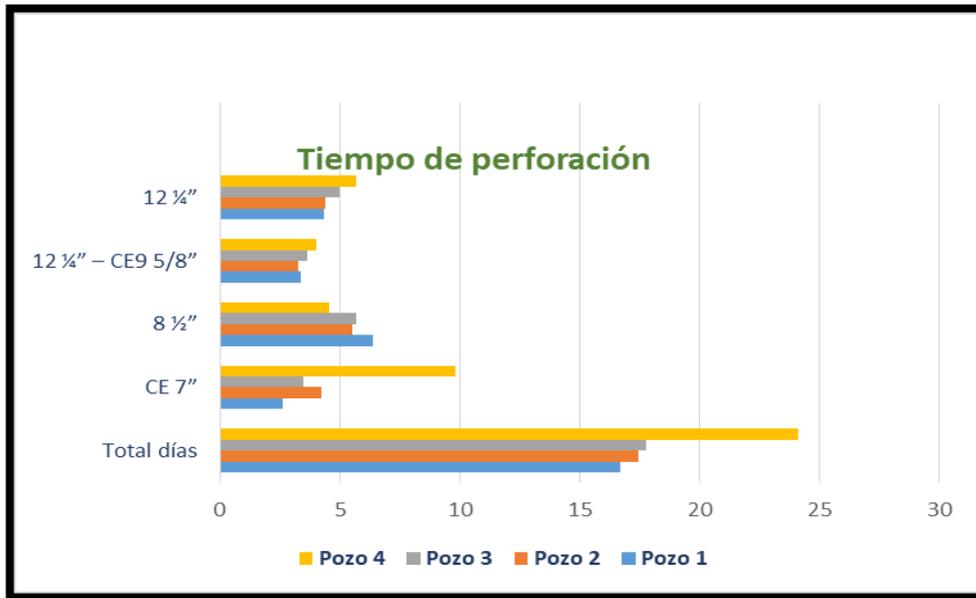
POZO 4								
Casing	PROGRAMA				REAL			
9 5/8" 1a. Etapa	Profundidad (ft)	8545	ft	ft/día	Profundidad (ft)	8555	ft	ft/día
	Perfora (días)	7.25	11.44	1179	Perfora (días)	5.67	9.69	1510
	Cambio Etapa (días)	4.19			Cambio Etapa (días)	4.02		
7" 2a. Etapa	Profundidad (ft)	11761	ft	ft/día	Profundidad (ft)	11760	ft	ft/día
	Perfora (días)	6.02	10.56	534	Perfora (días)	4.58	14.40	669
	Cambio Etapa (días)	4.54			Cambio Etapa (días)	9.81		
Total perforando		13.27		Total Perforando		10.25		
Total Cambio de Etapa		8.73		Total Cambio de Etapa		13.83		
Total Perforación		22.00		Total Perforación		24.08		

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Con respecto a la figura 4.1 se puede visualizar que el pozo "1" da a notar una pequeña diferencia en la sección 8 1/2" con respecto a la reducción de tiempos a comparación de los tres pozos restantes Slim Hole.

Figura 4.1 TIEMPOS TOTALES PARA LOS POZOS SLIM HOLE



Fuente: Reportes finales, 2019
 Elaboración: Rea, A., 2020

En la tabla 4.10 se detalla los tiempos en días empleados en la perforación de los pozos:

TABLA 4.10. TIEMPOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE

Sección	Tiempos de perforación [Días]				
	Tiempo por etapa	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Pozo 4
12 1/4"	12 1/4" Perforar	4.33	4.38	4.96	5.67
12 1/4"	12 1/4" - CE9 5/8" Cambio de etapa	3.38	3.29	3.63	4.02
8 1/2"	8 1/2" Perforar	6.38	5.50	5.69	4.58
8 1/2"	CE 7" Cambio de etapa	2.63	4.25	3.50	9.81
	Total días	16.71	17.42	17.77	24.08

Fuente: Reportes finales, 2019
 Elaboración: Rea, A., 2020

En la información presentada en la tabla 4.1, el pozo 1 es aquel que presenta el menor tiempo de perforación de 16.71 días, el pozo 4 en la sección 8 1/2" obtuvo un incremento significativo obteniendo un total de 24.08 días durante todas las actividades de perforación.

Luego de organizar la información de los 4 pozos Slim Hole provista por la Empresa Enap Sipec; la variación de sus características son mínimas pero cabe recalcar que el pozo "1" presenta un cambio significativo, motivo por el cual se

realizó un resumen centrado en el análisis de las operaciones realizadas durante la perforación. Dicho esto es necesario tener un resumen adicional a este que conlleve al diseño convencional para una posterior comparación.

4.2. RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DEL POZO SLIM HOLE “1”

La información acerca de la litología, brocas, fluidos de perforación y asentamiento de casing detallados en los reportes de perforación se presenta a continuación.

4.2.1 PERFIL DIRECCIONAL PARA EL POZO SLIM HOLE

El programa de perforación para este pozo Slim Hole “1”, corresponde a un diseño de un pozo direccional tipo “J”, la cual presenta una sección vertical, una sección de construcción y una sección tangente, respectivamente.

En la Figura 4.2 se presenta el diseño direccional planteado y el real donde se aprecia que el KOP inicia a partir de 3614 ft, llegando a una profundidad total de 10988 ft con una máxima inclinación de 32.95 grados a 8,729 ft.

FIGURA 4.2 PERFIL DIRECCIONAL TIPO “J”



Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

4.2.2 TOPES DE LAS FORMACIONES PROGRAMADAS PARA EL POZO "1"

En la Tabla 4.11 se presentan los topes de las formaciones alcanzadas:

TABLA 4.11
TOPES DE FORMACIONES DEL POZO "1" (SLIM HOLE)

Formación	diámetro Casing	diámetro Hueco	MD (ft) Programa	MD(ft) Real	TVD (ft)	INCL Grados	AZIM Grados
Chalcana	20"	20"	0	0	0	0	0
Orteguaza	9-5/8"	12 1/4"	5592	5467	5420	30.759	350.693
Tiyuyacu	9-5/8"	12 1/4"	6472	6311	5433	30.759	350.693
Tope Cgdo. Superior	9-5/8"	12 1/4"	6695	6682	6139	29.2	350.693
Base Cgdo. Superior	9-5/8"	12 1/4"	6868	6868	6367	30.759	350.693
Arcillas Tiyuyacu	9-5/8"	12 1/4"	6868	6961	6611	30.759	350.693
Tope Cgdo. Inferior	9-5/8"	12 1/4"	7656	7795	7396	30.759	350.693
Base Cgdo. Inferior	7"	8 1/2"	8143	8356	7994	30.759	350.693
Tope Tena	7"	8 1/2"	8143	8356	7994	30.759	350.693
Tope Basal Tena	7"	8 1/2"	9315	9490	8766	30.759	350.693
Tope Caliza "M1"	7"	8 1/2"	9542	9646	8786	30.759	350.693
Tope Caliza "M2"	7"	8 1/2"	9833	9833	9005	28.218	350.693
Caliza A	7"	8 1/2"	9944	9927	9269	30.759	350.693
Tope "U" Superior	7"	8 1/2"	10094	10021	9382	27.218	350.693
Tope "U" Inferior	7"	8 1/2"	10131	10120	9462	25.231	350.693
Base "U" Inferior	7"	8 1/2"	10163	10260	9554	25.231	350.693
Tope Caliza "B"	7"	8 1/2"	10282	10300	9596	25.231	350.693
Tope "T" Superior	7"	8 1/2"	10307	10327	9667	25.231	350.693
Tope "T" Inferior	7"	8 1/2"	10378	10395	9681	25.231	350.693
Base "T" Inferior	7"	8 1/2"	10441	10675	9784	25.231	350.693
Tope Hollin Superior	7"	8 1/2"	10570	10768	9838	25.231	350.693
Tope Hollin Inferior	7"	8 1/2"	10607	10860	9933	25.231	350.693
TD	7"	8 1/2"	10372	10988	10089	25.231	350.693

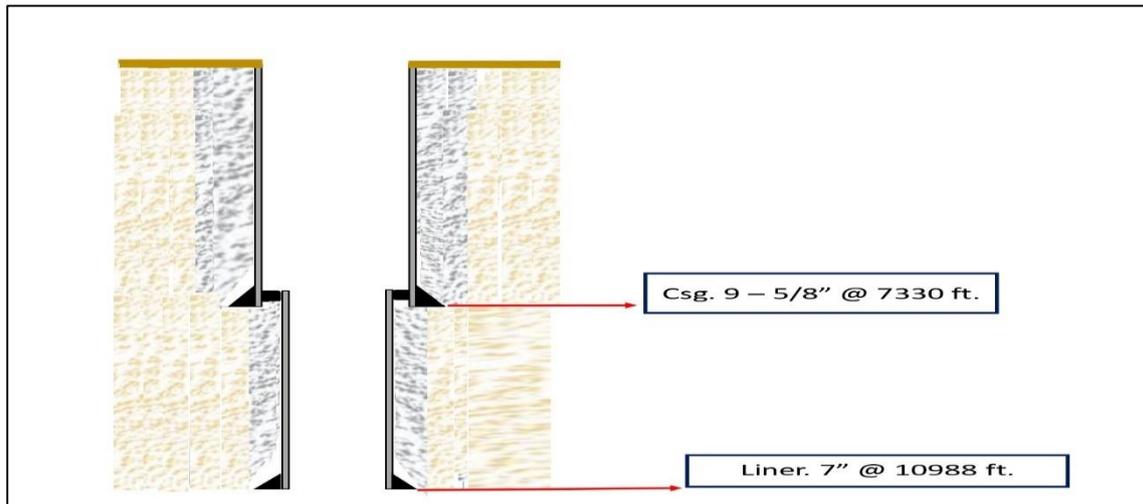
Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.2.3 DISEÑO MECÁNICO DEL POZO

En la Figura 4.3 se presenta el esquema mecánico programado para el pozo "1":

FIGURA 4.3 DISEÑO MECÁNICO DEL POZO SLIM HOLE "1"



Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.2.4 ENSAMBLAJE DIRECCIONAL DE FONDO (BHA)

Para la perforación del diseño Slim Hole, se presenta las características del BHA en cada una de las secciones con un resumen detallado a continuación respectivamente de acuerdo al orden de las tablas.

BHA1

Para el tramo de 54 ft hasta 493 ft se utilizó el equipo de ensamblaje con la configuración que se presenta en la tabla 4.12:

TABLA 4.12 COMPONENTES DEL BHA # 1

Datos de los componentes BHA 1								
Item #	Descripción	Número de serie	OD (in)	ID (in)	Gauge (in)	Peso (lbpf)	Conexión	Longitud (ft)
1	Broca tricónica de 12 1/4 "	12120810	8.000	3.500	12.250	138.52	P 6-5/8" REG	1.08
2	8" Bit Sub w/float valve	003	9.750	2.990		230.52	B 6-5/8" REG	3.97
3	1 x 8 1/4" Drill Collar		8.250	2.875		149.80	B 6-5/8" REG	30.33
4	12" Integral Blade Stb	12276933	8.000	2.750	12.000	151.06	B 6-5/8" REG	7.29
5	2 x 8 1/4" Drill Collar		8.250	2.875		149.80	B 6-5/8" REG	59.80
6	X-Over Sub 6 5/8 REG (P) x 4 1/2IF (B)	02-S-0818	7.813	3.125		137.23	B 4-1/2" IF	2.46
7	15 x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	448.83
Total:								553.76

Fuente: Reportes Finales, 2019

BHA2

Para el tramo de 493 ft hasta 7330 ft se utilizó el equipo de ensamblaje con la configuración que se presenta en la tabla 4.13:

TABLA 4.13 COMPONENTES DEL BHA # 2

Datos de los componentes BHA 2								
Item #	Descripción	Número de serie	OD (in)	ID (in)	Gauge (in)	Peso (lbpf)	Conexión	Longitud (ft)
1	Broca PDC de 12 1/4 "	JM8787	8.750	3.000	12.250	180.84	P 6-5/8" REG	1.12
2	8" SperryDrill Lobe 6/7 - 4.0 stg-BH 1.5°-12" Sleeve - R Jet	11439119	8.000	5.250		123.16	B 6-5/8" REG	30.27
	Btm Sleeve Stabilizer				12.000			
3	8" Float Sub / Float Valve	12986863	8.000	3.000		147.22	B 6-5/8" REG	2.91
4	11 1/2" Integral Blade Stabilizer	10554244	8.000	3.000	11.500	147.22	B 6-5/8" REG	4.63
5	8" HOC w/1200 MWD System + Gamma Probe	11688093	8.000	4.015		128.16	B 6-5/8" REG	32.21
6	8" Orienting Sub UBHO	REG065	7.940	2.875		146.62	B 6-5/8" REG	1.91
7	2 X 8 1/4" Drill Collar		8.250	3.000		149.80	B 6-5/8" REG	59.80
8	X-Over Sub 6 5/8" Reg (P) x 4 1/2" IF (B)	TUSCANY	7.813	3.125		137.23	B 4-1/2" IF	2.46
9	1 x 6 1/2" Drill Collar	03-U-09-11	6.500	2.813		91.70	B 4-1/2" IF	30.04
10	34 x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	1016.62
11	6 1/2" Drilling Jar	650-118	6.500	2.940		89.95	B 4-1/2" IF	28.63
12	7x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	205.50
13	X-Over Sub 4 1/2" IF(P) x 5 1/2" HT55 (B)	XO-005	7.940	2.875		146.62	B HT 55	3.49
Total:								1419.59

Fuente: Reportes Finales, 2019

BHA 3

Para el tramo de 7330 ft hasta 9480 ft se utilizó el equipo de ensamblaje con la configuración que se presenta en la tabla 4.14:

TABLA 4.14 COMPONENTES DEL BHA # 3

Datos de los componentes BHA 3								
Item #	Descripción	Número de serie	OD (in)	ID (in)	Gauge (in)	Peso (lbpf)	Conexión	Longitud (ft)
1	Broca PDC de 8 1/2 "	JN6916	6.750	3.000	8.500	97.86	P 4-1/2" REG	0.79
2	6 3/4" SperryDrill Lobe 6/7 - 5.0 stg BH 1.5	10954917	6.750	4.498		87.63	B 4-1/2" IF	24.34
	Btm Sleeve Stabilizer				8.250			
3	6 3/4" Flex Sub on motor	1463261	6.750	2.810		100.82	B 4-1/2" IF	2.68
4	6 3/4" Float Sub w/ float valve	11498463	6.790	2.810		102.27		3.11

5	7 3/4" Integral Blade Stabilizer	12276941	6.840	2.780	7.750	104.54	B 4-1/2" IF	5.67
6	6 3/4" HOC w/650 MWD + Gamma Probe	11838199	6.600	2.810		95.46	B 4-1/2" IF	31.96
7	2 x 6 1/2" Drill Collar		6.500	2.813		91.70	B 4-1/2" IF	59.88
8	34 x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	1016.62
9	6 1/2" Drilling Jar	HJDA 650 118	6.500	2.940		89.95	B 4-1/2" IF	28.63
10	8 x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	235.46
11	X-Over Sub 4 1/2" IF(P) x 5 1/2" HT 55(B)		6.500	3.000		89.00	B HT 55	3.49
Total:								1412.63

Fuente: Reportes Finales, 2019

BH4

Para el tramo de 9480 ft hasta 10988 ft se utilizó el equipo de ensamblaje con la configuración que se presenta en la tabla 4.15:

TABLA 4.15 COMPONENTES DEL BHA # 4

Datos de los componentes BHA 3								
Item #	Descripción	Número de serie	OD (in)	ID (in)	Gauge (in)	Peso (lbpf)	Conexión	Longitud (ft)
1	Broca PDC de 8 1/2 "	JN3914	6.000	2.500	8.500	160.00	P 4-1/2" REG	0.76
2	6 3/4" SperryDrill Lobe 6/7 - 5.0 stg BH 1.5 + ABI	11111684	6.750	4.498		87.63	B 4-1/2" IF	24.95
	Btm Sleeve Stabilizer				8.250			
3	6 3/4" Flex Float Sub w/ float valve	12386458	5.100	3.000		45.53	B 4-1/2" IF	2.83
4	6 3/4" Pony Collar	12276947	6.820	3.000		100.41	B 4-1/2" IF	9.73
5	7 1/2" Integral Blade Stabilizer	12022513	6.720	2.250	7.500	107.32	B 4-1/2" IF	5.31
6	6 3-4" Pin-Pin XOver	12417892	6.780	3.000		98.95	P 4-1/2" IF	1.87
7	6 3/4" DGR Collar	11412145	6.780	1.920		97.80	P 4-1/2" IF	4.54
8	6 3/4" ADR Collar	12386469	6.750	1.920		109.40	B 4-1/2" IF	26.14
9	6 3/4" PWD	13027892	6.740	1.905		96.30	B 4-1/2" IF	8.32
10	6 3/4" P-P XOVER (H/C)	11916904	6.750	3.000		105.10	B 4-1/2" IF	1.87
11	6 3/4" AFR Collar	11494988	6.650	1.920		102.60	B 4-1/2" IF	10.76
	6-3/4" AFR Btm Stabilizer				8.320			
	6-3/4" AFR Top Stabilizer				8.320			
12	6 3/4" CTN Collar	12088472	6.720	1.905		102.30	B 4-1/2" IF	11.80
13	6 3/4" ALD Collar	11266200	6.710	1.920	8.250	104.30	B 4-1/2" IF	13.47
	Stabilizer				8.250			
14	6 3/4" SHOC (650 MWD System)	11295551	6.720	3.015		96.54	B 4-1/2" IF	15.50
15	8 1/4" Integral Blade Stabilizer	10524758	6.750	2.810	8.250	100.82	B 4-1/2" IF	4.67
16	1 x 6 1/2" Drill Collar		6.500	2.813		91.70	B 4-1/2" IF	29.90
17	31 x 5" HWDP		5.000	3.000		49.30	B 4-1/2" IF	927.03
18	6 1/2" Drilling Jar	HDJ-650-114	6.500	2.930		90.11	B 4-1/2" IF	30.67
19	5 x 5" HWDP		5.000	3.000		179.42	B 4-1/2" IF	147.87
20	X-Over Sub 4 1/2" IF (P) X 5 1/2" HT 55 (B)		6.930	2.875		106.42	B HT 55	3.49
Total:								1281.48

4.2.5 RESUMEN DE LA PERFORACIÓN DEL POZO SLIM HOLE “1”

4.2.5.1 Sección casing 12 ¼” (+/- 82 ft a 7330 ft)

Se presenta un resumen de perforación de la sección 12 ¼”:

- Se inició perforando el tramo de 54 ft a 313 ft con el equipo de ensamblaje direccional BHA #1(ver tabla 4.7): broca tricónica de 12 ¼” XR+CP, estabilizador de 8 ¼”.
- Se realizó la primera corrida de Gyro para el control de verticalidad.
- Se continuó perforando de 313 ft hasta 493 ft; en esta sección se registró parámetros de circulación de 350 gpm a una presión de 400 psi y un margen de Overpull máximo de 20Mlb.
- Se sacó el equipo de ensamblaje direccional (BHA #1) en paradas de 5” HWDP desde 493 ft hasta superficie.
- Se realizó una reunión previa al armado del BHA #2 direccional (ver tabla 4.8) con todo el personal involucrado.
- Se armó el ensamblaje direccional (BHA #2): 12 ¼” PDC Bit Z519, motor de 8”, estabilizador 11 ½” con 8” de MWD.
- Se bajó el equipo de ensamblaje direccional (BHA # 2) con broca PDC Z519 de 12 ¼” en paradas de 5” HWDP desde 493 ft hasta 1283 ft, registrando parámetros de circulación presentados en la tabla 4.16.

TABLA 4.16 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (493 ft a 1283 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	Rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
650	1000	70	5	2	100
930	2400	80	20	10	300

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- Se perforó desde 1283 ft hasta 3490 ft con parámetros controlados.
- Se continuó perforando la sección de 12 ¼”, rotando y deslizando con BHA # 2” desde 3490 ft hasta 5525 ft con una densidad del lodo de 9.6 lb/gal.
- Se perforó la sección de 12 ¼” controlando parámetros previos al ingreso de la Formación Ortegua desde 5550 ft hasta 5682 ft.
- Se continuó perforando la sección de 12 ¼” deslizando parámetros normales

desde 5682 ft hasta 6365 ft.

- Se perforó desde 6365 ft hasta 6700 ft con parámetros de circulación que se presentaran en la siguiente tabla 4.17:

TABLA 4.17 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (6365 ft a 6700 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
800	2500	50	18	9	100
830	2900	60	30	13	150

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- Se perforó desde 6700 ft hasta 7051 ft previo al ingreso del conglomerado superior, controlando parámetros de circulación presentados en la tabla 4.18.

TABLA 4.18 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (6700 ft a 7051ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
700	2000	40	10	8	40
770	2250	50	25	12	50

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- Se perforó desde 7235 ft hasta 7330 ft, en esta sección se registra densidad del lodo de 10.3 lb/gal.

4.5.2.2 Sección casing 8 ½" (+/- 7330 ft a 10988 ft)

A continuación se presenta un resumen de perforación de la sección 8 ½":

- Se realizó la reunión de Integridad Operacional y Gestión de Riesgos previo al armado del equipo de ensamblaje de fondo BHA # 3 (ver tabla 4.9).
- Se bajó BHA # 3 Direccional con una broca PDC 8 ½" (Tipo: Z519), motor de 6 ¾" y estabilizador de 7 ¾" en paradas de 5- 1/2" DP desde 1412 ft hasta 6919 ft.
- Se continuó bajando el BHA # 3 Direccional desde 6919 ft hasta 7017 ft donde registra apoyo de 5 Mlbs y parámetros de circulación de 380 gpm y presión de 1050 psi.
- Se realizó el desplazamiento del fluido de perforación de Spud Mud de 10.5 lb/gal por Polimérico Inhibido de 9.8 lb/gal, en esta sección se Bombeó 70

bbls de agua y 60 bbls de píldora viscosa espaciadora. Se registró parámetros de profundidad Zapato 9-5/8" a 7330 ft a máxima presión: 1070 psi.

- Se perforó desde 7340 ft hasta 7850 ft con los parámetros de circulación presentados a continuación en la tabla 4.19.

TABLA 4.19 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7340 ft a 7850 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
500	1900	50	15	9	40
520	2300	75	20	15	50

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- Se perforó desde 7663 ft- 7850 ft con parámetros controlados.
- Previo al ingreso al Conglomerado se perforó la sección de 8 ½" desde 7900 ft hasta 8135 ft, controlando parámetros de circulación presentados en la tabla 4.20:

TABLA 4.20 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7900 ft a 8135 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
500	1900	50	15	9	40
	2300	75	20	15	50

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- La sección de 8-1/2" continuó con la perforación, controlando parámetros en el Conglomerado Inferior desde 8135 ft hasta 8660 ft.
- Se perforó desde 8660 ft hasta 9480 ft con parámetros normales.
- Se sacó el BHA # 3 direccional con una broca PDC de 8-1/2" (Tipo Z519) en hoyo abierto en paradas de 5-1/2" MWD.
- Se realizó la reunión de Integridad operacional y Gestión de Riesgos previo al armado del equipo de ensamblaje BHA # 4 (ver tabla 4.10) con manejo de fuentes radioactivas.
- Se armó el BHA # 4 direccional con: broca PDC 8-1/2" (Tipo: XS616), estabilizador de 7 ¾", 6 ¾" de MWD y 6 ¾" con motor de fondo.

- Se perforó la sección 8-1/2", rotando desde 9480 ft hasta 9680 ft con los parámetros de circulación presentados en la tabla 4.21:

TABLA 4.21 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9400 ft a 9680 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
380	1400	40	18	14	35
400	1700	50	30	17	45

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- Se continuó rotando y deslizando desde 9680 ft hasta 10290 ft con parámetros normales controlados.
- Se continuó perforando la sección 8-1/2" con BHA # 4 desde 10755 ft hasta 10988 ft (TD de pozo) con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.22.

TABLA 4.22 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10755 ft a 10988 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
400	1800	50	16	17	40
	2200	60	25	23	60

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

- A 10988 ft se realizó un previo viaje corto de calibración del BHA # 4 para la limpieza del pozo, en esta sección se obtuvo un incremento en la densidad del lodo de 10.6 lb/gal a 10.8 lb/gal.

4.2.6 CORRIDA CASING PARA EL POZO "1" (Slim Hole)

En la Tabla 4.23 se detallan los datos de casing necesarios:

TABLA 4.23 DATOS DEL CASING DEL POZO "1" (SLIM HOLE)

Diámetro casing	Diámetro hueco [in]	Profundidad de inicio casing	Profundidad de fin casing	Longitud [ft]	Peso [lb/ft]	Grado	Conexión	# de Juntas
20"	20"	0	86	86				
9-5/8"	12 1/4"	0	7165	7165	47	N-80	TXP BTC	58 Jts.
7"	8 1/2"	6965	10988	3767	26	P -110	BTC	60 Jts.

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.2.6.1 Corrida del revestidor de 9 5/8”

A continuación se presenta un resumen de las operaciones de la corrida del revestimiento de 9 5/8”:

- Se bajó el casing 9-5/8”, 47 lbs/ft, N-80, TXP-BTC / BTC, clase “A” junta por junta desde 86 ft hasta 2469 ft; se aplicó un torque de 23 Mlbs-ft en cada junta TXP-BTC.
- Se bajó casing 9-5/8”, 40 lbs/ft, L-80, BTC, T junta por junta desde 2469 ft hasta 5670 ft. Se bajó con una bomba 300 gpm, una presión de 250 a 270 psi y se aplicó un 12 Mlbs-ft en cada junta BTC.
- Continuó bajando el casing 9-5/8”, 40 Lbs/ft, L-80, BTC, junta por junta desde 5670 ft hasta 7330 ft. Se bajó con una bomba de 300 - 400 gpm y una presión de 270 - 500 psi.
- Se realizó la circulación con casing 9-5/8” en fondo de 7330 ft hasta tener retornos limpios en las zarandas con parámetros de: 500 gpm, presión inicial 350 psi y Presión final 250 psi.
- Se realizó la reunión de Integridad Operacional y Gestión de Riesgos previo a cementación del casing 9-5/8”.
- A 7330 ft se instaló los tapones de desplazamiento en la cabeza de cementación.

4.2.6.2 Corrida del Liner de 7”

Se presenta un resumen de las operaciones de corrida casing del Liner de 7”:

- Se bajó el liner 7”, 26 lbs-ft, P-110, BTC, R3, Clase “A”; desde 87 ft hasta 3824ft. Se aplicó un torque de 7 Mlbs-ft en cada junta, de acuerdo al programa el pozo registró un total de 90 juntas, 63 centralizadores y 26 stop rings; también se colocó anillos reductores de torque en cada junta.
- Se continuó bajando liner de 7”, 26 lbs/ft, P-110, BTC + liner Hanger Versaflex HT 7” x 9 5/8” en paradas de 5 ½” HT-55 DP desde 3873 ft hasta 7290 ft, se registró parámetros de: 100 gpm, presión de 380 psi, 15 rpm, TRQ: 5 – 7 Mlbs-ft.
- Se continuó bajando el liner de 7”, en hoyo abierto desde 7290 ft hasta 9422 ft.

- Se realizó la estación de circulación a 9422 ft pasando por la formación Tena con: 200 – 400 gpm, presión: 850 - 1100 psi, 15 rpm, TRQ: 8 - 13 Mlbs-ft hasta obtener retornos limpios en superficie.
- Se bajó el liner de 7", 26 lbs/ft, P-110, BTC desde 9422 ft hasta 10988 ft, con parámetros de: 300 - 400 gpm, presión: 800 - 1300 psi, 20 rpm y TRQ: 14 - 25 Mlbs-ft.

4.2.6.3 Cementación de Casing de 9-5/8" a 7330 ft

En esta sección se bombearon cemento tipo "A", bajo las siguientes características:

- Presión final de circulación: 1000 psi.
- Presión final de cierre: 700 psi.
- Realiza back flow = 1 bbl.
- Densidad 10.5 lb/gal en zarandas.

4.2.6.4 Cementación de Casing de 7" a 10988 ft

Inicialmente se bombeo cemento tipo "G", bajo las siguientes características:

- Presión final de circulación: 2100 psi.
- Presión de cierre: 2600 psi.
- Liberó presión y verificó Back flow: 3 bls

4.2.7 RESUMEN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

A continuación se presenta un resumen de los fluidos de perforación utilizados en la sección 12 ¼".

4.2.7.1 Sección 12¼"

Se perforó los primeros 493 ft en un circuito corto con un fluido SPUD MUD viscosificado (1.5 lb/gal de Barazan D Plus), garantizando una óptima limpieza del hoyo debido que al proporcionar la suspensión de los cortes a una baja velocidad anular se previene pérdidas superficiales. Adicionalmente el modo de floculación selectiva fue aplicado desde el inicio de la sección con una mezcla de polímeros

(Clay Grabber), fue necesario realizar diluciones controladas del sistema con 400 bbls de agua fresca debido a la alta ROP (400-500 ft/h) desde 900 ft hasta 3100 ft.

A partir de los 4500 ft donde se mantuvo la tangente del hoyo, se adicionó material asfáltico Soltex con el objetivo de sellar y estabilizar las lutitas de la formación Orteguaza, mostrando un buen desempeño al no observarse derrumbes de material lutítico en retornos de píldoras en superficie, ni durante la perforación de la sección.

La adición de píldoras (Soltex) requirió un tratamiento con antiespumante, debido a que generó espuma superficial y fue controlada normalmente previo al ingreso a la formación Orteguaza.

Para el ingreso a la formación Tiyuyacu se ajustó una concentración de 1.9 lb/gal de PAC – L, donde la densidad final fue de 10.5 lb/gal previo al viaje a superficie.

Al alcanzar el TD de la sección, se observó una gran cantidad de recortes a 5552 ft.

A 7330 ft se bombeó píldoras de Baja reología y 2 píldoras viscosas pesadas.

El casing alcanzó la profundidad deseada, donde se realizó el programa de cementación de acuerdo al diseño de servicio y así no se observaron pérdidas de fluido.

Durante la corrida del revestidor, la densidad del fluido fue controlada con las centrifugas decantadoras y floculación selectiva.

Propiedades del fluido

La Tabla 4.24 muestra los valores propuestos en el plan de fluidos y los valores reales obtenidos en campo durante la aplicación del sistema SPUD MUD en la perforación de la sección de 12 ¼ " de 86 ft a 7330 ft, para esta sección se utilizó un lodo de perforación de 10.5 lb/gal.

TABLA 4.24
PROPIEDADES PROGRAMADAS VS. REAL A 7330 ft.

Propiedades	Unidad	Programado		Real	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Densidad	lb/gal	10.2	10.3 (10.5)	10.2	10.5
Viscosidad Plástica	cP	3	10	6	10
Punto cedente	lb/100 ft ²	10	25	10	14
Mbt	ppb eq.	<50		32.5	40
Filtrado api	cc/30 min	<15		12	13
Tau	lbs/1000ft ²	7	10	4.65	10.53

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea. A., 2020

El volumen total utilizado en el tramo de +/- 86 ft a 7330 ft fue de 2037 bbls.

A continuación se presenta un resumen de los fluidos de perforación utilizados en la sección 8 ½”.

4.2.7.2 Sección 8 ½”

Se preparó un volumen total de 1200 bbls de fluido 9.8 lb/gal, luego se ajustó las concentraciones del fluido con Clayseal Plus 2 que actúan como inhibidores de arcillas y Clay Grabber como encapsulantes de sólidos.

Para mantener las características reológicas durante las operaciones, se realizó el proceso de floculación selectiva para minimizar la incorporación de sólidos de baja gravedad durante la perforación de formación Tena.

En esta sección se agregó: Clay Grabber como encapsulante de sólidos, Clayseal Plus y Amine Inhibitor como inhibidor de hinchamiento de arcillas, Soltex como material de sello y Pac-L y Filterchek como controlador de filtrado.

Se agregó Soda Caustica como fuente de alcalinidad para mantener el pH para atravesar el Conglomerado Inferior con un punto cedente de 24 lbs/100ft².

Al ingreso a la Formación Tena se relajó el sistema a un punto cedente de 17- 18 lbs/100ft².

Previo al ingreso de la formación Napo, se incrementó valores geológicos y de filtrado; para ajustar estos valores se utilizó D Plus y Pac-L. Se continuó realizando puenteo de la Formación Basal Tena con carbonatos.

Se realizó el proceso de floculación selectiva con Clay Grabber, para minimizar la incorporación de sólidos de baja gravedad y se procedió a compensar la densidad con Carbonato de Calcio.

Se Proporcionó un sello mecánico con Soltex en la Formación Napo y se agregó Clayseal Plus como inhibidor y estabilizador de lutitas.

Durante el ingreso a Hollín, se procede a incrementar la densidad del sistema a 10.7 lb/gal manteniendo el puenteo en la zona de areniscas con Carbonato de Calcio.

Llegando al fondo a 10988 ft, se procedió con el esquema de bombeo de píldoras viscosas pesadas para la limpieza y el incremento de densidad del sistema a 10.8 lb/gal, para lo cual se agregó CLAYSEAL PLUS como inhibidor y estabilizador de lutitas.

Durante toda la sección se mantuvo el monitoreo constante del pH y H₂S, donde no presentó ningún inconveniente durante la corrida del liner de 7”.

Propiedades del fluido

La Tabla 4.25 muestra los valores propuestos en el plan de fluidos y los valores reales obtenidos en campo en la sección de 8 ½ ” de 7330 ft a 10988 ft . Para esta sección se utilizó un lodo de perforación de 10.8 lb/gal.

TABLA 4.25
PROPIEDADES PROGRAMADAS VS. REAL 10988 ft

Propiedades	Unidad	Programado		Real	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Densidad	lb/gal	10.2	10.8	10.4	10.8
Viscosidad Plástica	cP	14	30	19	22

Punto cedente	lb/100 ft ²	20	30	23	31
Mbt	ppb eq.	<20		12.5	15
Filtrado api	cc/30 min	<6		4.2	5.4
Tau	lbs/1000ft ²	4	10	4.08	5.6

Fuente: Reportes finales, 2019
 Elaboración: Rea, A., 2020

En la figura 4.4 se esquematiza la curva del registro de la densidad del lodo resultante para el pozo Slim Hole según lo programado y lo ejecutado. Llegando a una profundidad total de 10988 ft con una densidad de 10.8 lb/gal.

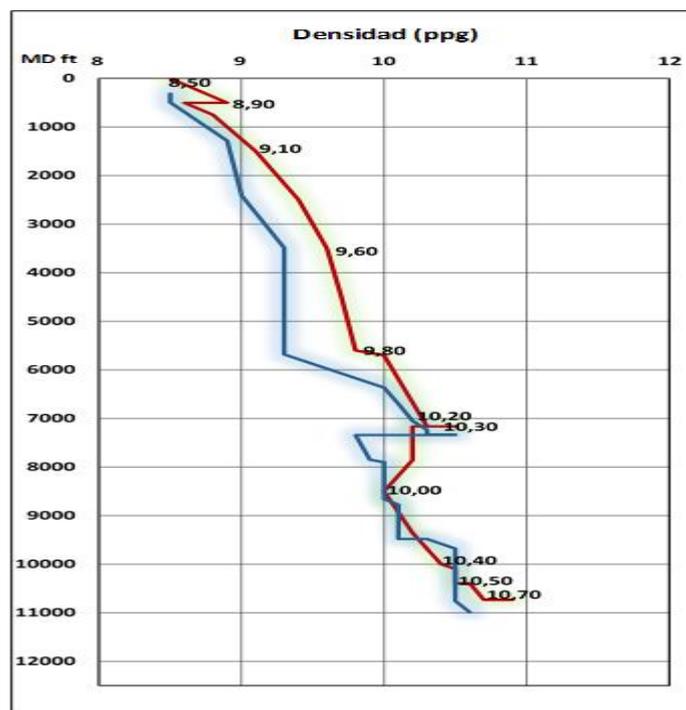


FIGURA 4.4 DENSIDAD DEL LODO

Fuente: Reportes finales, 2019
 Elaboración: Rea, A., 2020

4.3. RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DEL POZO ROBUSTO “A”

La información acerca de la litología, brocas, fluidos de perforación y asentamiento de casing detallados en los reportes de perforación para el diseño robusto se presenta a continuación.

4.3.1 TOPES DE LAS FORMACIONES PROGRAMADAS PARA EL POZO “A”

La Tabla 4.26 presenta los topes de las formaciones alcanzadas para este programa de perforación.

TABLA 4.26
TOPES DE FORMACIONES DEL POZO “A” (ROBUSTO)

Formación	Diámetro casing	Diámetro hueco	MD Programa	MD Real	TVD	INCL Grados	AZIM Grados
Chalcana	20"	20"	0	0	0	0	0
Orteguaza	13 3/8"	16"	5890	5890	5435	37.456	204.692
Tiyuyacu	13 3/8"	16"	6930	6930	6261	37.456	204.692
Conglomerado Superior	13 3/8"	16"	7235	7235	6503	37.456	204.692
Base Cgdo. Superior	13 3/8"	16"	7371	7371	6611	37.456	204.692
Conglomerado Inferior	9 5/8"	12 1/4"	8406	8518	7521	37.456	204.692
Tope Cgdo. Inferior	9 5/8"	12 1/4"	8517	9147	8021	37.456	204.692
Base Cgdo. Inferior	9 5/8"	12 1/4"	9147	9147	8021	37.456	204.692
Tope Tena	9 5/8"	12 1/4"	9147	10038	8728	37.456	204.692
Tope Basal Tena	9 5/8"	12 1/4"	10038	10062	8747	37.456	204.692
Tope Caliza “M1”	7"	8 1/2"	10317	10317	8953	34.904	204.692
Tope Caliza “M2”	7"	8 1/2"	10627	10627	9212	31.803	204.692
Caliza A	7"	8 1/2"	10765	10765	9329	31.803	204.692
Tope “U” Superior	7"	8 1/2"	10876	10877	9424	31.803	204.692
Tope “U” Inferior	7"	8 1/2"	10978	10978	9510	31.803	204.692
Base “U” Inferior	7"	8 1/2"	11039	11039	9562	31.803	204.692
Tope Caliza “B”	7"	8 1/2"	11138	11138	9646	31.803	204.692
Tope “T” Superior	7"	8 1/2"	11159	11159	9664	31.803	204.692
Tope “T” Inferior	7"	8 1/2"	11278	1278	9765	31.803	204.692
Base “T” Inferior	7"	8 1/2"	11360	11360	9835	31.803	204.692
Tope Hollín Superior	7"	8 1/2"	11476	11477	10027	31.803	204.692
Tope Hollín Inferior	7"	8 1/2"	11534	11670	10055	31.803	204.692

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.3.2 BROCAS

Según las secciones perforadas, en el pozo Convencional (Robusto) “A” se emplearon diferentes tipos de brocas.

4.3.2.1 Sección de 16"

En esta sección se perforó con 2 tipos de brocas con un tamaño de 16 XR+CPS tipo PY0330 y con un TFA: 0,518 in²/ 4x13/32".

Esta sección se empezó a trabajar con una broca tricónica de 16" desde 32 ft hasta 585 ft.

A partir de 585 ft se utilizó una broca PDC GT55WRKO de 12 ¼ " con un TFA: 0,906 in² / 5x11/32" hasta una profundidad de 5971 ft atravesando una litología de: 40% lutita, 30% Arcillolita, 20% Limolita, 10% arenisca.

En la Tabla 4.27 se presentan las especificaciones y características de las brocas utilizadas en la sección de 16" del pozo Robusto "A".

TABLA 4.27
ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 16"

SECCIÓN	# BROCA	TIPO BROCA	FORMACIÓN	Q (gpm)	TFA (in ²)	CALIFICACIÓN
16"	1	XR+CPS S/N: PY0330	TERCIARIO	90-600	4x13/32" TFA: 0,518 in ²	1- 2- CT- G- E- I- NO- BHA
16"	2	XZ416 S/N: JP2000	CHALCANA, ORTEGUAZA , TIYUYACU	585-7678	5x11/32"; 4x12/32" TFA: 0,906 in ²	0-1-WT-S-X-I-CT – TD

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.3.2.2 Sección 12 ¼"

En esta sección se perforó con 2 tipos de brocas con un tamaño de 12 ¼" XR+CPS tipo Z519 S/N: JP2196 con un TFA: 0.922 in²/ 3x18.

Se empezó a trabajar con una broca tricónica 12 ¼" desde 5971 ft hasta 8178 ft; la litología que presentó en esta parte contenía: 90% Arcillolita, 10% Limolita.

A partir de 8178 ft se utilizó una broca PDC MDSi519LMHB tipo JK6422 de 12 ¼ " con un TFA: 1.208in² hasta una profundidad de 10000 ft atravesando una litología de: 40% lutita, 30% Arcillolita, 20% Limolita, 10% arenisca.

En la Tabla 4.28 se presentan las especificaciones y características de las brocas utilizadas en la sección de 12 ¼" del pozo Robusto.

TABLA 4.28
ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 12 ¼”

SECCIÓN	# BROCA	TIPO BROCA	FORMACIÓN	Q (gpm)	TFA (in ²)	CALIFICACIÓN
12 ¼ ”	3	Z519 S/N: JP2196	TIYUYACU CONGLOMERA DO INFERIOR	550-900	0.922	ROP Promedio: 55 ft/hr. (SMITH). 0-1-WT-S-X-I-NO-BHA
12 ¼ ”	4	MDSi519LMHB PXX S/N JK6422	BASAL TENA TENA- NAPO CALIZAS – U T- HOLLIN.	700 - 850	1.208	ROP Promedio: 35.11 ft/hr. (SMITH). 0- 2-CT-S/G-X-I-WT-TD

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.2.2.3 Sección 8 ½”

A partir de 10000 ft se avanzó con una broca PDC 8 1/2 " (Tipo: XS616) con un TFA: 0.663in² / 6x12 atravesando la siguiente litología: 70% Lutita, 20 % Caliza, 10% Lutita y a una profundidad de 11760 ft se registró 100% Arenisca que corresponde a la Formación Hollín.

En la Tabla 4.29 se presentan las especificaciones y características de las brocas utilizadas en la sección de 8 ½” del pozo Robusto.

TABLA 4.29
ESPECIFICACIONES DE LA BROCA DE 8 ½”

SECCIÓN	# BROCA	TIPO BROCA	FORMACIÓN	Q (gpm)	TFA (in ²)	CALIFICACIÓN
8 ½”	6	XS616 S/N: JN3914	NAPO – CALIZA M1/M2/A, U Sup/Inf, CALIZA B, T Sup/Inf, HOLLIN	380-500	0.663	ROP Efectiva: 43.97 ft/hr. 0-1-CT-G-X-i-NO-TD

Fuente: Reportes Finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.3.3 DATOS DEL CASING PARA EL POZO “A” (Robusto)

En la Tabla 4.30 se detallan los datos de casing empleados en el diseño de tres revestimientos (Robusto).

TABLA 4.30
DATOS DEL CASING DEL POZO "A" (ROBUSTO)

Diámetro casing	Diámetro hueco [ft]	Longitud Casing [ft]	Peso[lb/ft]	Grado	Conexión
13 3/8"	16"	7678	68	K-55	BTC
9 5/8"	12 ¼ "	2322	53.5	N-80	SD
7 "	8 1/2"	1760	26	P110	BTC

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.3.4 RESUMEN DE LA PERFORACIÓN DEL POZO

4.3.4.1 Sección de 16" (67 ft a 7678 ft)

Se perforó la sección de 16" con BHA #1 convencional y broca tricónica desde 39 ft hasta 312 ft con parámetros de circulación de 150 gpm con una presión 60 psi, 50 RPM y TRQ: 2 Mlbs-ft.

Se bajó el registro Gyro para realizar la primera corrida de verticalidad del pozo.

Se continuó perforando la sección 16" con BHA #1 convencional desde 312 ft hasta 495 ft con parámetros de: 650gpm, presión de 1500 Psi, TRQ: 1 - 3 lbs – ft y WOB: 8 - 10 RPM.

Se sacó el BHA #1 convencional desde 585 ft hasta 104 ft, la calificación de la broca tricónica de 16" en la superficie fue: 1 - 2 - CT - G- E - I - NO – BHA.

Se realizó la reunión y análisis de riesgos previo al ensamblaje del BHA #2 Direccional con broca PDC 16" XZ416, motor de 16", estabilizador de 15" y 8" de MWD.

Se bajó BHA #2 Direccional en paradas de 5" HWDP desde 74ft hasta 585 ft circulando con parámetros de:

- 300 GPM - 200 Psi
- 400 GPM - 420 Psi
- 550 GPM - 650 Psi

Se bajó el registro Gyro para realizar la primera corrida del motor a 510 ft,

obteniendo los resultados presentados en la tabla 4.31:

TABLA 4.31 PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN

Profundidad (ft)	Inclinación (°)	Azimuth (°)
500	0.34	45.03
510	0.35	50.70

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se continuó perforando la sección de 16" deslizándolo con el BHA #2 desde 585 ft hasta 1702 ft, en esta sección se bombearon 50 bbls de píldora viscosa de 8.9 lb/gal.

Se bombearon 40 bbls de píldora viscosa desde 1702 ft hasta 2110 ft.

Se registró un WOB de 14 Mlbs desde 2110 ft hasta 3570 ft donde se perforó deslizando paradas entre 18 a 28 ft desde 2074 ft, para construir a razón de 1.5 deg/100 ft.

Se perforó la sección de 16" rotando y deslizando con BHA # 2 direccional desde 3570 ft hasta 4969 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.32.

TABLA 4.32 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (3570 ft a 4969 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
1000	3600	75	28	14

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se perforó desde 5967 ft hasta 6088 ft con BHA #, previo al ingreso a Orteguzaza se registraron los parámetros de circulación presentados en la tabla 4.33.

TABLA 4.33 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (5967 ft a 6088 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
950	3250	50	30	16

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se perforó la sección de 16" rotando y deslizando con BHA #3 Direccional desde 6930 ft hasta 6958 ft con paradas en cada 18 ft.

Se continuó perforando el hoyo de 16" controlando parámetros presentados en la tabla 4.34 previo ingreso al conglomerado superior desde 7150ft hasta 7335 ft; en ésta sección el reporte de la litología fue: 60% Arenisca, 10% Limolita, 30% Arcillolita.

TABLA 4.34 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7150 ft a 7335 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
700	1900	40	20	13
	2100	50	30	16

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se perforó con parámetros de circulación controlados desde 7335 ft hasta 7400 ft. Se llegó a la sección de 16" con el BHA "3" desde 7400 ft hasta 7678 ft con los parámetros de circulación presentados en la tabla 4.35. En ésta sección el reporte de la litología fue: 10% Limolita, 10% Arenisca donde se obtuvo un incremento en la densidad del lodo de 10.5 lb/gal.

TABLA 4.35 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7150 ft a 7335 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
1000	3750	39	40	22

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

A continuación se presenta un resumen de las operaciones de la corrida de casing del revestimiento de 13 3/8":

- Se realizó la reunión de Integridad Operacional y gestión de Riesgos previo la corrida de Casing 13-3/8".
- Se realizó la corrida de casing 13-3/8", 68 lb/ft, K-55, BTC desde 78ft hasta 4535ft donde se registró un apoyo de 50 Mlbs.

- Se aplicó un torque de 12000 lbs-ft en cada junta y se bajó el casing rompiendo la circulación cada 1000 ft.
- Se continuó bajando y rotando el casing de 13-3/8", con una bomba desde 4535ft hasta 4742 ft con 250 gpm, presiones de 450 - 650 psi, 20 RPM, TRQ: 15 - 20 Mlbs-ft.
- Se bajó el casing de 13-3/8", 68 lb/ft, K-55, BTC desde 4742ft hasta 4968ft donde registró un apoyo de 50 Mlbs y se aplicó un torque de 12000 lbs-ft en cada junta.
- Continuó bajando el Casing de 13-3/8", desde 4953ft hasta 7678 ft (Fondo); se bajaron un total de 206 Juntas en el pozo. Se realizó la circulación con 500 gpm y 325 psi hasta tener retornos limpios en zarandas.

4.3.4.2 Cementación del casing de 13 3/8"

Para la cementación del casing de 13 3/8" a 7678 se bombeó:

- 80 bbls de espaciador de 12 lb/gal a 250psi.
- 330 bbls de cemento Econocem A de 13 lb/gal a 275 psi.
- 186 bbls de cemento Halcem A de 15.8 lb/gal a 180 psi.

Para desplazar el cemento se utilizó:

- 10 bbls de agua fresca.
- 1113 bbls de lodo 10.5 ppg.

Se asentó el tapón superior con 9500 strokes mostrando una eficiencia de 97% y una presión final de desplazamiento de 900 psi.

4.3.4.3 Perforación de la Sección de 12 1/4" (7678 ft – 10000 ft)

Se realizó la reunión de Integridad Operacional y Gestión de Riesgos previo al armado del BHA # 4: Broca 12-1/4" tipo: Z519 (2x13+6x12), estabilizador de 11 3/4", motor de 8".

Se perforó desde 7678 ft hasta 7693 ft con parámetros de: 600 gpm, 1800 psi, 40 RPM, TRQ: 15 - 17 Mlbs-ft, WOB: 10 -12 Mlbs. En esta sección se realizó el

desplazamiento de fluido de perforación Spud Mud de 10.5 lb/gal por un lodo Polimérico Inhibido de 9.8 lb/gal con 600 gpm y 1350 psi.

A 7693 ft se circuló el fluido de perforación de 9.5 ppg con una presión de 960 psi por 10 min después se realizó la limpieza de los tanques.

Se perforó con BHA # 4 desde 7693 ft hasta 7724 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.36.

TABLA 4. 36 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7693 ft a 7724 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
850	2400	50	10	14
			15	17

Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

Continuó perforando y rotando desde 7724 ft hasta 8471 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.37.

TABLA 4.37 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (7724 ft a 8471 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
880	2950	75	30	15
	3050		35	22

Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

Se perforó desde 8471 ft hasta 8798 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.38.

TABLA 4.38 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (8471 ft a 8798 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
700	1800	40	20	12
	1980		25	15

Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

Se perforó desde 8798 ft hasta 9219 ft con parámetros de circulación controlados desde 9219 ft hasta 9680 ft, se continuó desplazando con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.39.

TABLA 4.39 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9219 ft a 9680 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)	ROP (Ft/h)
880	3030	65	20	12	13
			30	17	

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se continuó perforando y rotando con BHA # 4 direccional desde 9680 ft hasta 10000 ft con parámetros controlados en esta sección la litología registrada fue de: 90% Arcillolita, 10% Limolita.

Se sacó BHA # 4 direccional libremente en el hoyo abierto desde 10000 ft hasta 7678 ft (Zapato 13 3/8").

Se retiró el BHA # 4 en 2 paradas (en hueco entubado) por precaución hasta 7444 ft.

Se Bombeó 30 bbbs de píldora pesada de 12.5 ppg y se desplazó con 100 strokes para sacar la tubería seca. Continuó sacando BHA # 3 direccional desde 7444 ft hasta 77.53 ft.

4.3.4.4 Corrida del revestidor de 13 3/8"

Se realizó la reunión de Integridad Operacional y Análisis de riesgos previo a la corrida de casing 9-5/8.

Se realizó la corrida del casing de 9- 5/8", 53.5 lb/ft SD, N-80. BTC TXP desde 134 ft hasta 3006 ft donde se aplicó un torque de 24000 lb/ft hasta la base del triángulo y se corrieron 71 juntas registrando un peso del revestidor de 180 Mlbs.

Desde 3006 ft hasta 4808 ft se bajó el casing de 9-5/8" rompiendo geles con 250 gpm a 200 psi posteriormente, se bajó hasta 7643ft donde se rompió geles 6500ft con 300 gpm a 300 Psi y se registró el peso del revestidor de 260 Mlbs.

Además se continuó realizando la corrida de casing de 9-5/8" (47 lb/ft) desde 7643ft hasta 10000ft. Se rompió geles a 8431ft con 350 GPM / 300 Psi.

4.3.4.5 Perforación de la Sección de 8 1/2" (10000 ft – 1177 ft)

Se perforó la sección de 8 ½ " con BHA # 5 direccional desde 9967 ft hasta 10000 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.40.

TABLA 4.40 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (9967 ft a 10000 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
850	3300	60	10	18

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se continuó perforando la sección de 12-1/4" con BHA # 4 direccional desde 10000 ft hasta 10064 ft con parámetros controlados.

El sistema presenta una lubricidad desde 10064 ft hasta 10437 ft de 2% ahí se define los siguientes topes formacionales:

- Tope Basal Tena: 10017 ft MD / 8911ft TVD (17 ft arriba).
- Tope Napo: 10040 ft MD / 8730ft TVD (17ft arriba).
- Tope Caliza M1: 10340' MD / 8947' TVD (6' arriba).

Se continuó perforando la sección de 12 ½ " con BHA # 4 direccional desde 10604 ft hasta 10980 ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.41.

TABLA 4.41 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10604 ft a 10980 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
720	2850	50	20	16

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

A 10834 ft. Se definieron los siguientes topes formacionales:

- Tope Caliza M2: 10613ft MD / 9202 ft TVD (10ft arriba).
- Tope Caliza A: 10754ft MD / 9319ft TVD (10ft arriba).

Se continuó perforando la sección de 8 ½" con BHA # 5 direccional desde 10980 ft hasta 11559ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.42:

TABLA 4.42 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (10980 ft a 11407 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
720	2850	50	20	16

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se definieron los siguientes topes formacionales:

- Tope U superior: 10871' MD / 9416' TVD (8' arriba).
- Tope U inferior: 10988' MD / 9511' TVD (1' abajo).
- Tope Base U inferior: 11035' MD / 9545' TVD (17' arriba).
- Tope Caliza B: 11136' MD / 9631' TVD (15' arriba).
- Tope T Superior: 11155' MD / 9646' TVD (18' arriba).
- Tope T Inferior: 11294' MD / 9758' TVD (7' arriba).

Se continuó perforando la sección de 8 ½ " con BHA #5 direccional desde 11407ft hasta 11670ft con parámetros de circulación presentados en la tabla 4.43 en esta sección se incrementó el peso de lodo desde 10.5 lb/gal hasta 10.7 lb/gal.

TABLA 4.43 PARÁMETROS DE CIRCULACIÓN (11407ft a 11670 ft)

Q (gpm)	Presión (psi)	rpm	WOB (Mlbs)	TQ (Mlbs-ft)
625	2050	70	24	16

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Se bajó el revestidor de 7", 26 lbs/ft, P-110, BTC a 11760 ft, con parámetros de: 550 gpm a 550 psi.

4.3.4.6 Cementación del revestidor de 8-1/2"

En esta sección se bombeó cemento tipo "G", las cuales presenta las siguientes características:

- Presión final de circulación: 2100 psi.
- Asentó tapón con 500 psi sobre la última presión de circulación, Presión de cierre: 2600 psi.
- Cemento retardante

4.3.5 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA EL DISEÑO ROBUSTO

Se presenta un resumen de los fluidos utilizados en toda la sección:

Se inició con 300 bbls del fluido SPUD-MUD con AQUAGEL G.S a 10 lb/gal.

Posteriormente se bombeó píldoras de baja reología a 2947 ft, 3980 ft, 4070 ft, 4342 ft, 4554 ft, 4917 ft, 5930 ft, 5479 ft.

Para realizar la limpieza de conjunto de fondo se bombeó 150 bbls de píldora dispersante y 100 bbls de píldora Visco-Pesada de 10.6 lb/gal.

Se acondicionó el fluido SPUD MUD con PAC L y BXR L para controlar el filtrado y así sellar la zona lutítica de Orteguaza.

A partir de la formación Orteguaza se modificó la estrategia de limpieza para continuar con el bombeo de píldoras visco-pesadas sellantes a 641 ft, 6740 ft, 7217 ft y 7678 ft; se incrementó la densidad a 10.5 lb/gal.

Previo a perforar las zonas de interés se utilizó un fluido polimérico inhibido y se realizó un tratamiento de floculación selectiva para eliminar sólidos asfálticos para esto se usó el equipo "Vaporela" para la limpieza adecuada de mallas y así evitar pérdida de fluido.

Durante los viajes de tubería el fluido presento ligeras variaciones en sus propiedades, principalmente en la reología y filtrado, disminuyendo el punto de cedencia de 24 lbs/100 ft² a 23 lbs/100 ft² y el filtrado API paso de 7.4 ml a 7.2 ml, la estrategia aplicada en concentraciones y el tratamiento con Soda Caustica y ALDACIDE, mantuvo al fluido prácticamente estable con un control del pH en valores de 10.1 a 10.4 unidades previo al viaje.

Con la adición de ALDACIDE-G en concentraciones de 0.19-.0.29 lb/gal se manejó el paquete de sello en toda la zona arcillosa de Tena donde se adicionó asfalto BXR-L.

Para generar y atravesar un buen revoque en las zonas lutítica y zonas de arenas, se redujo los valores de pérdida de filtrado a valores < 6 ml/30 min.

4.4. ANÁLISIS TÉCNICO PARA EL DISEÑO SLIM HOLE Y ROBUSTO

Para una optimización en la perforación es importante analizar los criterios de la perforación que reduzcan tiempos y costos por lo cual, este trabajo se enfoca en el estudio de factores que influyen directamente esta reducción, los cuales son la disposición de ripios, cantidad de casing utilizado, lodo, cemento y equipo de perforación.

4.4.1. Brocas (Relación de áreas)

La optimización de la perforación tiene como objetivo optimar las variables controlables durante la operación de perforación, como el peso en la broca y la velocidad de rotación de la broca para obtener la máxima velocidad de perforación y generen un ahorro en tiempo y costos. (Irawan, 2012) El control preciso WOB se consigue normalmente el sistema hidráulico debido a los requisitos de altas RPM, y esto está asociado con los pequeños espacios anulares. Lo más relevante de la perforación Slim Hole es que para lograr tasas óptimas de penetración un factor importante puede ser las RPMs por lo cual utiliza brocas PDC con una alta RPM con bajo peso de la broca (WOB) (López C. , 2011).

Los pequeños espacios anulares parecen beneficiarse de la capacidad de rotación la cual genera estabilidad a la sarta de perforación la cual hace que tenga una tasa de penetración mayor que en una perforación convencional (Liu, 2016).

Tabla 4.44 Relación de área para el diseño Slim Hole

Sección	Slim Hole	Robusto	Relación de área
Superficial	12 ¼"	16"	76%
Producción	8 ½"	12 ¼"	69%

Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

La relación de diámetros a las mismas profundidades y secciones mantiene una relación de área en la sección superficial de 76%; y, en la sección de producción de 69%. Esto genera un ahorro de energía específica por sección de 24% & 31%

respectivamente, que se refleja en la eficiencia del WOB, con mayor capacidad de transmisión así como el aumento del ROP y el menor desgaste debido a la RPM. En la tabla 4.44 se presenta la relación de área para el diseño Slim Hole y el Robusto.

4.4.2. Capacidad del hoyo

La ecuación 1 calcula la capacidad de fluido que puede contener cada sección del hoyo,

Donde:

D diámetro del hoyo en pulgadas

ECUACIÓN 1 CAPACIDAD DEL HOYO

$$\text{Capacidad del hoyo} = \frac{D^2}{1029.4} \left(\frac{\text{bbl}}{\text{ft}} \right) \quad (1)$$

Fuente: (Norton J., 2014)

En la tabla 4.45 se presenta la capacidad total del fluido de perforación para el diseño convencional de tres secciones.

Tabla 4.45 CAPACIDAD DEL FLUIDO EN CADA SECCIÓN PARA EL POZO ROBUSTO

Diámetro casing	Diámetro hueco [ft]	Longitud sección [ft]	Capacidad del hoyo [bbls/ft]	Capacidad de la sección [bbls]
13 3/8"	16"	7678	0.2487	1909.52
9 5/8"	12 1/4 "	2322	0.1458	338.55
7 "	8 1/2"	1760	0.0702	123.53
Capacidad total del pozo				2371.6

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

En la tabla 4.46 se presenta la capacidad total del fluido de perforación para el diseño Slim Hole.

**TABLA 4.46 CAPACIDAD DEL FLUIDO EN CADA SECCIÓN PARA EL POZO
SLIM HOLE**

Diámetro casing	Diámetro hueco [ft]	Longitud sección [ft]	Capacidad del hoyo [bbls/ft]	Capacidad de la sección [bbls]
9 5/8"	12 1/4 "	7330	0.1458	1068.71
7 "	8 1/2"	3658	0.0702	256.79
Capacidad total del pozo				1325.5

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Según los datos de la capacidad total del pozo, el diseño Slim Hole presenta una disminución de 56 % en el manejo de fluidos de perforación a diferencia del diseño convencional.

4.4.3. CEMENTACIÓN

La ecuación 2 calcula la cantidad de cemento necesario para cada sección del diseño Slim Hole y del convencional.

Según los reportes de cementación se presenta un exceso de 20% a un rendimiento de 1.356 y una densidad de cemento tipo G de 15.8 lb/gal.

ECUACIÓN 2 CANTIDAD DEL CEMENTO

$$\# \text{ de sacos de cementos} = \frac{0.00319 * (D_{\text{hoyo}}^2 - D_{\text{csg}}^2) * longitud}{rendimiento} + \text{exceso} \quad (2)$$

Fuente: (Norton J., 2014)

En la tabla 4.47 se presenta la cantidad de sacos requeridos para cada sección en el diseño Slim Hole.

TABLA 4 .47 CANTIDAD DE CEMENTO PARA EL DISEÑO SLIM HOLE

Sección	Superficial	Producción
D. hoyo	12 1/4"	8 1/2"
D. casing	9 5/8"	7
Longitud	7330 ft	3658 ft
Densidad del cemento	15.8 lb/gal	16 lb/gal
Exceso	20%	20%

Rendimiento	1.356	1.356
# sacos	990.4	200.3
# de sacos total para toda la sección	1191	

Elaboración: Rea, A., 2020

En la tabla 4.48 se presenta la cantidad de sacos requeridos para cada sección del diseño convencional:

TABLA 4.48 CANTIDAD DE CEMENTO PARA EL DISEÑO CONVENCIONAL

Sección	Superficial	Intermedio	Producción
D. hoyo	16	12 1/4"	8 1/2"
D. casing	13 3/8"	9 5/8"	7"
Longitud	7678 ft	10000 ft	11760 ft
Densidad del cemento	15.6 lb/gal	15.8 lb/gal	16 lb/gal
Exceso	30%	30%	30%
Rendimiento	1.356	1.356	1.356
# sacos	1392.8	1350.9	643.3
# de sacos total para toda la sección	3387		

Elaboración: Rea, A., 2020

Según los datos de la cantidad total de sacos de cementos, el diseño Slim Hole presenta una disminución de 35% en el manejo de fluidos de perforación a diferencia del diseño convencional.

4.4.4. VOLUMEN DE RIPIOS

En la actualidad reducir el impacto ambiental ha sido una de los retos que enfrenta la perforación, en el cual se ve marcado el manejo de sólidos, por esta razón la característica principal de la perforación Slim Hole es disminuir dicho impacto.

El volumen de los ripios es aproximadamente de 1.5 a 3 veces el volumen del hoyo. La cantidad de ripios está en función del tamaño de la sección (Schlumberger, 2012).

La tabla 4.49 presenta el volumen de ripios para el pozo Slim Hole "1" con un

exceso de 1.5:

TABLA 4.49 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL POZO SLIM HOLE CON UN EXCESO DE 1.5

Volumen de rípios para el pozo Slim Hole "1"		
	Superficial	Producción
Diámetro	12 ¼"	8 ½"
Capacidad del hoyo	1068.71 bbls	256.79 bbls
Exceso en volumen hoyo	1.5	1.5
,Volumen de rípios	1603 bbls	385.2 bbls
Volumen total de rípios	1988.2 bbls	

Elaboración: Rea, A., 2020

La tabla 4.50 presenta el volumen de rípios para el pozo Slim Hole "1" con un exceso de 3.

TABLA 4.50 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL POZO SLIM HOLE CON UN EXCESO DE 3

Volumen de rípios para el pozo Slim Hole "1"		
	Superficial	Producción
Diámetro	12 ¼"	8 ½"
Capacidad del hoyo	1068.71 bbls	256.79 bbls
Exceso en volumen hoyo	3	3
Volumen de rípios	3206.13	770,37
Volumen total de rípios	3976.5 bbls	

Elaboración: Rea, A., 2020

La tabla 4.51 presenta el volumen de rípios para el pozo Robusto "A" con un exceso de 1.5:

TABLA 4.51 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO DE 1.5

Volumen de ripios para el pozo Robusto "A"			
	Superficial	Intermedio	Producción
Diámetro	16"	12 ¼"	8 ½"
Capacidad del hoyo	1909.52 bbls	338.55 bbls	123.53 bbls
Exceso en volumen hoyo	1.5	1.5	1.5
Volumen de ripios	2864.28 bbls	507.83 bbls	185.3 bbls
Volumen total de ripios	3530.3 bbls		

Fuente: Reportes finales, 2019
Elaboración: Rea, A., 2020

La tabla 4.52 presenta el volumen de ripios para el pozo Robusto "A" con un exceso de 3.

TABLA 4.52 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO DE 3

Volumen de ripios para el pozo Robusto "A"			
	Superficial	Intermedio	Producción
Diámetro	16"	12 ¼"	8 ½"
Capacidad del hoyo	1909.52 bbls	338.55 bbls	123.53 bbls
Exceso en volumen hoyo	3	3	3
Volumen de ripios	5728.56	1015.65	370.56
Volumen total de ripios	7114.77 bbls		

Elaboración: Rea, A., 2020

Según los resultados de la tabla 4.53, en el manejo de ripios es evidente que el diseño Slim Hole presente una disminución de 56% que es favorable para reducir el impacto ambiental.

**TABLA 4.53 VOLUMEN DE RIPIOS PARA EL ROBUSTO CON UN EXCESO
DE 3**

	Slim Hole	Robusto	Diminución Slim Hole
Diámetro de la sección (Superficial)	12 ¼"	16"	76%
Diámetro de la sección (Producción)	8 ½"	12 ¼"	69%
Capacidad del lodo	1325.5 bbls	2371.6 bbls	56%
Cantidad de cemento (sacos)	1191	1825	65%
Volumen de ripios	1988.2 bbls	3530.3 bbls	56.3%

Elaboración: Rea, A., 2020

Luego del análisis de las actividades propias de la operación de perforación en la incidencia de ahorros en tiempos y costos, se puede definir condiciones ideales para el diseño de un taladro, razón por la cual se presenta un análisis de la misma.

4.5. TALADRO DE PERFORACIÓN

Para el diseño de un taladro es necesario analizar las características del plan de perforación como: la profundidad del pozo, condiciones geológicas, el diseño de tubería de revestimiento, para así definir los requerimientos de un taladro y su funcionamiento sea óptimo.

En la tabla 4.54 se detalla los datos de volumen de casing provistos:

**TABLA 4.54
VOLUMEN DE CASING UTILIZADO (SLIM HOLE)**

Item	Descripción					Precio Usd/Ft
	Diámetro (pulgadas)	Peso (lbs/ft)	Grado	Acople / Grade	Extremo	
1	9 5/8"	43.50	N80	SI/N80	TXP BTC	36.67
2	9 5/8"	47.00	N80	SI/N80	BTC	40.73
3	7"	26.00	P110	SI/P110	BTC	22.00

Fuente: Reportes finales, 2019

4.5.1. PESO DEL REVESTIDOR EN EL AIRE

Para calcular el peso del revestidor en el aire utilizamos la ecuación 3 con los datos del pozo:

- longitud del revestimiento más pesado 7330 ft
- Peso del revestidor 47 [lb/ft]

Donde:

Peso del revestidor en el aire (PSRA): [lb]
Peso del revestidor: [lb/ft]
Longitud o cantidad: [ft]

Ecuación 3: Peso del revestidor en el aire

$$\text{PSRA} = \text{Peso del revestidor} * \text{Longitud o cantidad} \quad (3)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$\text{PSRA} = 47 * 7330$$

$$\text{PSRA} = 3445510 \text{ lb}$$

El peso del revestidor en el aire es 3445510 lb, para el ejemplo del cálculo utilizamos los datos del revestidor más pesado que es de 9 5/8”.

4.5.2. FACTOR DE FLOTACIÓN

Con la ecuación 4 se calcula el factor de flotación, para nuestro análisis empleamos la densidad del lodo del revestidor en este caso es de 9 5/8”.

Donde:

Factor de flotación: FF

Densidad del lodo: Df [lb/gal]

Densidad del acero: Dac [lb/gal]

La densidad del acero es un valor constante de 65.4 lb/gal.

Densidad del lodo es 10.1-10.9 lb/gal

Ecuación 4: Factor de flotación

$$\text{FF} = 1 - \frac{\text{Df}}{\text{Dac}} \quad (4)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$FF = 1 - \frac{10,5}{65.4}$$

$$FF = 0.84$$

4.5.3. PESO DEL REVESTIDOR EN EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

El peso del revestidor en el fluido (lodo) se calcula con el factor de flotación del revestidor para cada sección con la ecuación 5.

Donde:

Peso del revestidor en el fluido (PSPF):	[lb]
Peso del revestidor:	[lb/ft]
Longitud o cantidad:	[ft]

Ecuación 5: El peso en el fluido de perforación

$$PSPF = PSRA * FF \quad (5)$$

Fuente: (Schlumberger, 2014)

$$PSPF = 3445510 * 0.84$$

$$PSPF = 2894228.4 \text{ lb}$$

4.5.4. VELOCIDAD DE IZAMIENTO

Es la velocidad requerida para bajar o subir la sarta de perforación en este caso será la mínima velocidad para un parada de tres tubos de 100- 120 ft/min (Schlumberger, 2014).

4.5.5. EFICIENCIA DE LA POLEA

La eficiencia de las poleas se calcula con la ecuación 6:

Factor de fricción para poleas que es de 1.04 para 12 líneas (IFP Drilling Data Handbook):

Donde:	
Factor de fricción	k
Número de líneas	n

Ecuación 6: Eficiencia de las poleas

$$RE = \frac{k^n - 1}{n(k - 1) * k^n} \quad (6)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$RE = \frac{1.04^{12} - 1}{12(1.04 - 1) * 1.04^{12}}$$

$$RE = 0.78$$

4.5.6. POTENCIA DEL MALACATE

La potencia del malacate se encuentra a partir de la ecuación 3, para lo cual utilizamos una velocidad de izamiento de 120 ft/min y el peso del revestimiento en el lodo, calculada en la ecuación 7.

ECUACIÓN 7: POTENCIA DEL MALACATE

$$HPg = PSPF * \frac{\text{Velocidad de izamiento}}{33000 * RE} \quad (7)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$HPg = 2894228.4 * \frac{120}{33000 * 0.78}$$

$$HPg = 1349.13HP$$

4.5.7. CARGA ESTÁTICA DEL GANCHO

La carga estática que soporta el gancho es el peso del revestidor de mayor peso más el peso del bloque viajero y el margen del Overpull (Pilapaña, 2014).

Según los reportes finales, este peso es distribuido en 12 líneas rápidas. En nuestro cálculo utilizamos los datos de la sección del revestidor de 9 5/8" a una profundidad de 10988 ft, margen de Overpull máximo de 40000Mlb y el peso del bloque viajero de 35000Mlb.

Donde:

SHL: Carga estática del Gancho (lb)

PSRA: Peso de la sarta más pesada en el aire (lb)

TB: Peso del Bloque viajero (lb)

MO: Margen del Overpull (lb)

Factor de seguridad (1.25)

ECUACIÓN 8: CARGA ESTÁTICA DEL GANCHO

$$SHL = (PSRA+TB+MO)*1.25 \quad (8)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$SHL = (344510+35000+40000)*1.25$$

$$SHL = 524387.5 \text{ lb}$$

La carga estática del gancho que se obtuvo con la ecuación 4 es de 524387.5 lb.

4.5.8. CARGA DINÁMICA DEL GANCHO

Para determinar la carga del gancho en condiciones dinámicas se debe tomar en cuenta la eficiencia de las poleas donde se determinará la carga de la línea rápida, la carga del bloque corona y la línea muerta. (Pilapaña, 2014)

4.5.9. CARGA DE LA LÍNEA RÁPIDA

El gancho que conecta al bloque viajero es usado para suspender la carga de perforación. Uno de los extremos de las líneas se enrolla en el malacate, siendo conocida como la línea rápida. (Arguelle, 2016). La carga de la línea rápida se calcula con la ecuación 9:

Donde:

Carga de la línea rápida:	F_{LL}	[lb]
Carga más pesada a levantar:	HS	[lb]
Número de líneas	n	

Ecuación 9: CARGA DE LA LÍNEA RÁPIDA

$$F_{LL} = \frac{W}{n * R} \quad (9)$$

Fuente: (Schlumberger, 2014)

$$F_{LL} = \frac{868165.2}{12 * 0.78}$$

$$F_{LL} = 92752.7 \text{ lb}$$

En cambio para determinar la carga más pesada a levantar se determina por la multiplicación del peso de la tubería de revestimiento más pesada por un factor de seguridad de 2 y el peso de la sarta más pesada por un factor de seguridad de 3, el valor más alto será el que se utilice. (Schlumberger, 2014)

4.5.10. CARGA DEL BLOQUE CORONA

La carga del bloque corona se calcula con la ecuación 10:

Donde:

- Carga del bloque corona: F_D [lb]

Ecuación 10: CARGA DEL BLOQUE CORONA

$$F_D = W * \frac{n + 2}{n} \quad (10)$$

Fuente: (Schlumberger, 2014)

$$F_D = 868165.2 * \frac{12 + 2}{12}$$

$$F_D = 1012860.1 \text{ lb}$$

4.5.11. CARGA DINÁMICA DE LA LÍNEA MUERTA

La línea Muerta es el extremo de la línea que se sujeta dentro de un punto de

anclaje en el piso del taladro (Arguelle, 2016).

La carga dinámica de la línea muerta se calcula con la ecuación 11:

ECUACIÓN 11: CARGA DINÁMICA DE LA LÍNEA MUERTA

$$F_{DL} = \frac{W * (1/k)^n}{RE * n} \quad (11)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$F_{DL} = \frac{868165.2 * (1/1.04)^{12}}{0.78 * 12}$$

$$F_{DL} = 57933.06 \text{ lb}$$

4.5.12. CARGA DINÁMICA DE LA TORRE

La carga dinámica total de la torre se calcula con la ecuación 12:

ECUACIÓN 12: CARGA DINÁMICA DE LA TORRE

$$F_{DT} = W + F_{FL} + F_{DL} \quad (12)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$F_{DT} = 868165.2 + 92752.7 + 57933.06$$

$$F_{DT} = 868165.2 + 92752.7 + 57933.06$$

$$F_{DT} = 1018950.96 \text{ lb}$$

4.5.13. POTENCIA REQUERIDA POR LAS BOMBAS

Avanzando con el tema se puede determinar la potencia requerida por las bombas aplicando los datos de la tabla 4.55:

TABLA 4.55
PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL COLGADOR

Longitud del liner (ft)	Overlap (ft)	Presión de circulación en fondo (psi)	Caudal de circulación en fondo (GPM)	Presión máxima de expansión (psi)
3824.42	203.02	1160	340	4200

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

La potencia requerida se obtiene a partir de la ecuación 13:

Donde:

HPP: Potencia requerida de las bombas del taladro (HP)

FR: Caudal (gpm)

P: Presión (Psi)

ECUACIÓN 13: POTENCIA REQUERIDA POR LAS BOMBAS

$$HPP = \frac{FR * P}{1714} \quad (13)$$

Fuente: (Schulumberger, 2014)

$$HPP = \frac{500 * 4200}{1714}$$

$$HPP = 1225.2 \text{ HP}$$

Una vez obtenido los datos de los pasos anteriores se presenta los requerimientos del taladro para realizar la perforación Slim Hole.

De esta manera se presenta la tabla 4.56:

TABLA 4.56
CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UN TALADRO SLIM HOLE

Diseño del taladro para un diseño Slim Hole			
		Sección 12 ¼"	Sección 8 ½"
Profundidad	ft	0 - 7330	7330 - 10988
Peso	lb/ft	47	26
Grado		N - 80	P- 110
longitud	ft	7330	3767
Peso total de Casing en el aire	lb	344510	97942

Velocidad de viaje	ft/min	90	90
Número de líneas		12	12
Peso del bloque viajero	lb	35000	35000
Margen de Overpull	lb	100000	100000
Eficiencia del sistema de Gancho		0.78	0.78
Factor de seguridad		1.25	1.25
Potencia requerida por el Malacate	HP	1349.13	
Carga estática del Gancho	lb	524387.5	
Carga de la línea rápida	lb	92752.7	
Carga del bloque corona	lb	1012860.1	
Carga dinámica del Gancho	lb	92752.7	
Carga dinámica de la Línea muerta	lb	57933.06	
Carga Dinámica De La Torre	lb	1018950.96	
Potencia requerida por las bombas	HP	1225.2	

Elaboración: Rea, A., 2020

Una vez descrito las características que debe tener un equipo de perforación para su funcionamiento óptimo se procede a revisar los tiempos empleados para nuestro diseño.

4.6. ANÁLISIS DEL TIEMPO ESTIMADO DE PERFORACIÓN PARA EL POZO “1” Y PARA EL POZO “A”

De la información que se obtiene de los reportes (open Wells), es posible determinar los tiempos para un determinado diseño de pozo, en este caso para un pozo robusto y un pozo Slim Hole los tiempos que se obtienen son:

- Tiempo total
- Tiempo limpio total
- Tiempo no productivo (NPT)

$$\text{Tiempo total} = \text{tiempo limpio total} + \text{NPT} + \text{Riesgo}$$

Empezaremos a ver los tiempos totales para el diseño Slim Hole del pozo “1” y posteriormente del pozo robusto.

4.6.1 TIEMPOS TOTALES PARA EL DISEÑO SLIM HOLE DEL POZO “1”

Se realizó un análisis de los tiempos totales en las operaciones de perforación en toda la sección del diseño Slim Hole.

Estas operaciones fueron planeadas para ser ejecutadas en 22 días (528 horas)

sin embargo, fueron realizadas en 16.71 días (401.04 horas) dando un ahorro de 5.29 días (126.96 horas), representando el 24%.

Se perforó la sección de 12 ¼" con una broca tricónica desde 54 ft hasta a los 313 ft en 5.52 horas a una tasa promedio de 46,9 ft por hora. En este tramo se registró la primera corrida de Gyro para el control de la verticalidad. Se realizó trabajos de mantenimiento del taladro desde 313 ft a 493 ft, posteriormente se dio una reunión previa al armado de BHA #2 con una broca PDC.

Se perforó con un a broca PDC Z519 desde 1283 ft a 4503 ft en 34.56 horas, a una tasa promedio de 93.2 ft/h en el que se repasó cada parada sin rotación hacia arriba con parámetros controlados.

En el tramo de 5525 ft hasta 7330 ft en 63.12 horas se presentó una tasa promedio de 28,6 ft/h. Esta sección tuvo un incremento debido a que se realizó la limpieza de filtros de succión de las bombas, así como la instalación de pantallas atribuido en los generados de control de sólidos, posteriormente se realizó una inspección, operación de cementación, instalación de cortadores y se realizó el corte en frío, así como el biselado del casing 9 5/8", no obstante se tuvo un daño de dos cuchillas.

Las operaciones durante el cambio de 9 5/8" a 8 ½" no presenta ningún problema operacional de tal manera que se da la limpieza de canaletas y se realiza un circuito corto en los tanques del lodo previo a la perforación de la sección 8 ½", así como una reunión previo al armado del BHA #3, este proceso se completó en 81.12 horas.

Se perforó con una broca PDC en la sección de 7340 ft hasta 9480 ft controlando los parámetros de circulación examinados en 143.20 horas presentando una tasa promedio de 15 ft/h; en esta sección se realizó un simulacro sobre la presencia de H2S donde se observaron el retorno limpio de las zarandas.

La sección de 10102 ft a 10988 ft se perforo en 72.96 horas, posteriormente se

realizó el desarmado del BHA #4, esta etapa obtuvo una tasa promedio de 12 ft/h a causa de que se retiró las fuentes radioactivas de la herramienta LWD, con motivo de la corrida del Liner se colocó anillos reductores de torque, así que se realizó un análisis acerca del funcionamiento del taladro.

En las Tablas 4.57 y 4.58 se detallan todos los tiempos empleados en las operaciones de perforación en el pozo 1 (programado para 22 días de ejecución). Luego del reporte, los resultados que se obtuvieron fue de un adelanto de 5.3 días, llegando así a la operación total en un tiempo de 16.7 días según estadísticas de los reportes finales de perforación presentados para este diseño.

TABLA 4.57
TIEMPOS TOTALES DEL POZO “1” (SLIM HOLE)

OD	ID	POZO “1” SLIM HOLE Tiempo por Etapa	Tiempos totales			Profundidades	
			Programa Días	Real	Diferencia Días	Programa MD	Real MD
12 1/4"	12 1/4"	Perforar	6.63	4.33	2.29	7165	7330
12 1/4"	CE9 5/8"	Cambio de Etapa	3.02	3.38	-0.35	7165	7330
8 1/2"	8 1/2"	Perforar	7.13	6.38	0.75	10732	10988
8 1/2"	CE 7"	Cambio de Etapa	5.23	2.63	2.60	10732	10988
		Tiempo Total de Perforación	22.00	16.71	5.29		

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Grafica de Tiempos de Perforación Vs Profundidad del Pozo “1”.

En la figura 4.5 se detalla el reporte diario donde la curva de color rojo nos muestra los tiempos programados durante el desarrollo de la perforación donde se pretendía culminar las actividades en 22 días, mientras que la curva de color azul representa los tiempos reales en el cual se obtuvo un adelanto de 5.3 días obtenidos por el pozo “1”, completando la perforación en 16.7 días a una profundidad de 10988 ft.

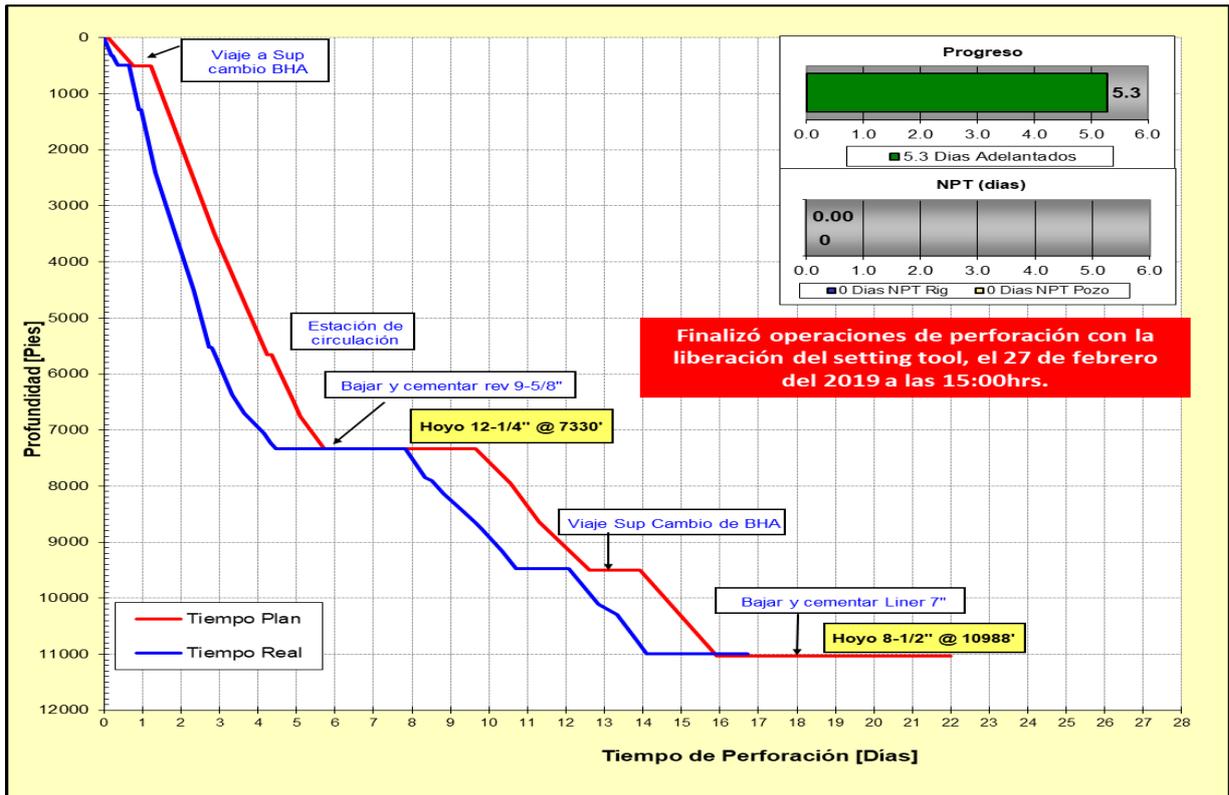


FIGURA 4.5 CURVA DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN VS PROFUNDIDAD DEL POZO "1"

Fuente: (Reportes finales, Enap Sipec, 2019)

4.6.2. TIEMPOS TOTALES PARA EL DISEÑO CONVENCIONAL (ROBUSTO) DEL POZO "A"

En la Tabla 4.38 se detallan los tiempos empleados en las operaciones de perforación del pozo "A" programados para 25 días de ejecución que luego del reporte dio como resultado un adelanto de 4.52 días llegando a un total de 20.48 días a una profundidad 11670 ft.

TABLA 4.58 TIEMPOS TOTALES DEL POZO "A" (ROBUSTO)

Tiempos por etapa	POZO ROBUSTO PLAN				Total	POZO ROBUSTO REAL				Total
	20"	13 3/8"	9 5/8"	7"		20"	13 3/8"	9 5/8"	7"	
Depth plan (ft)	52	8856	11583	11670		67	7678	11670	11670	
Tiempo de perforación (días)	-	8.13	8.67	3.00		-	4.08	9.56	3.00	
Tiempo planos (días)	-	2.88	5.33	0.00		-	3.83	0.00	0.00	
Tiempo total (días)	-	11.00	14.00	0.00	25	-	7.92	9.56	3.00	20.48

Construcción de pozo (ft/día)	-	800.36	194.79	0.00	-	961.39	417.46	0.00
ROP (ft/hr)	-	45.15	13.11	0.00	-	77.66	17.39	0.00

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

Curva de Tiempos de Perforación Vs Profundidad del Pozo "A"

En la figura 4.6 se detalla el reporte diario donde la curva de color rojo nos muestra los tiempos programados durante el desarrollo de la perforación donde se pretendía culminar las actividades en 25 días, mientras que la curva de color azul representa los tiempos reales en el cual se obtuvo un adelanto de 4.52 días obtenidos por el pozo "1", completando la perforación en 20.48 días a una profundidad de 11670 ft.

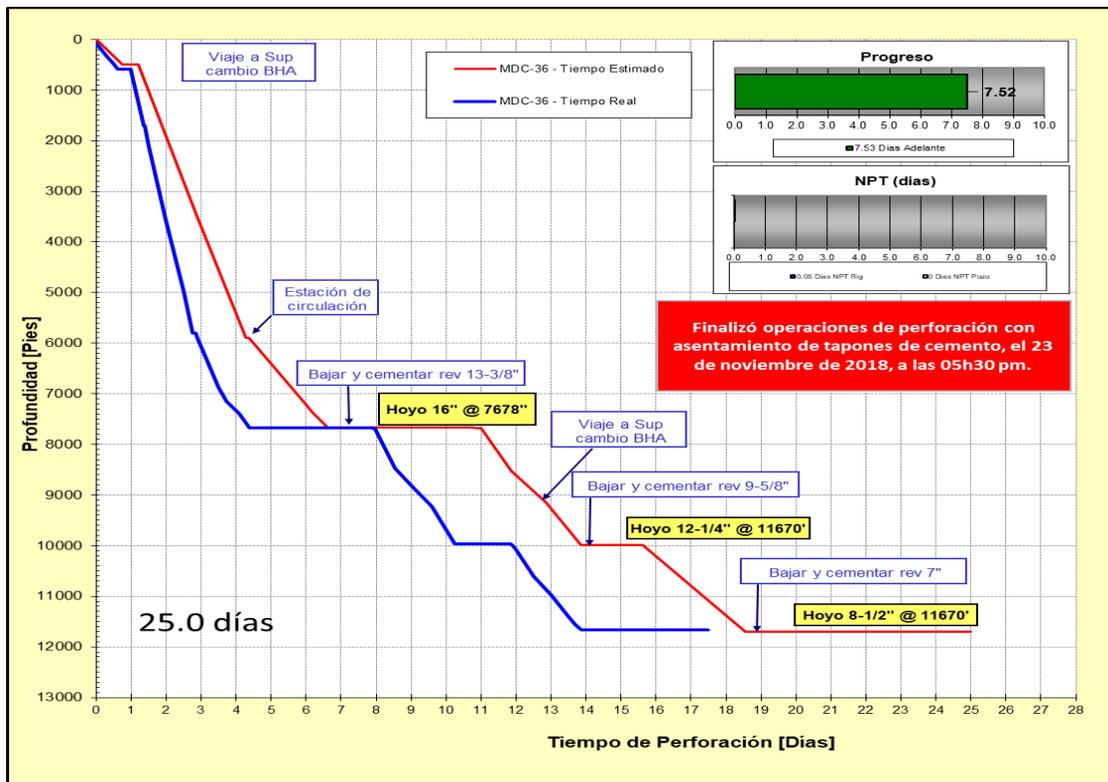


FIGURA 4.6 CURVA DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN VS PROFUNDIDAD DEL POZO ROBUSTO "A"

Fuente: (Reportes finales, Enap Sipec, 2019)

4.7. ANÁLISIS ECONÓMICO (SLIM HOLE – ROBUSTO)

Avanzando con el tema se presenta un análisis de costos procedentes de la actividad de perforación para nuestros dos diseños (Slim Hole – Robusto).

4.7.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS SLIM HOLE

Siguiendo el programa de perforación se detalla el análisis de costos para el diseño de pozo Slim Hole Monobore de 2 secciones, donde se proponen acciones y mejoras técnicas que contribuyan a su optimización.

En la tabla 4.59 se detalla los costos de perforación para los cuatro pozos:

TABLA 4.59 COSTOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS SLIM HOLE

EMPRESA	POZO SLIM HOLE "1"	POZO SLIM HOLE "2"	POZO SLIM HOLE "3"	POZO SLIM HOLE "4"
	Valor	Valor	Valor	Valor
SERVICIOS INTEGRADOS	\$ 1,213,692.96	\$ 1,109,295.47	\$ 1,193,882.91	\$ 1,211,358.67
CASING	\$ 484,692.40	\$ 753,969.50	\$ 585,341.17	\$ 554,092.38
EQUIPO	\$ 798,284.98	\$ 696,063.61	\$ 740,022.80	\$ 906,822.35
BROCAS	\$ 101,500.00	\$ 108,273.02	\$ 112,007.00	\$ 87,750.00
COMPANY	\$ 31,024.00	\$ 22,950.00	\$ 28,350.00	\$ 41,100.00
RIPIOS	\$ 79,861.68	\$ 85,778.56	\$ 78,161.85	\$ 59,994.00
CABEZALES	\$ 43,861.00	\$ 43,861.00	\$ 43,861.00	\$ 43,861.00
EFLUENTES	\$ 104,694.51	\$ 127,211.07	\$ 137,335.56	\$ 126,039.40
GEÓLOGO	\$ 14,350.00	\$ 14,350.00	\$ 16,950.00	\$ 24,100.00
Total	\$ 2,871,961.53	\$ 2,961,752.23	\$ 2,935,912.29	\$ 3,145,017.80

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

SELECCIÓN DE POZO SLIM HOLE

De acuerdo a nuestro análisis, se ha seleccionado el pozo "1" el cual será presentado considerando los enfoques más importantes:

Con respecto al control de sólidos se puede notar que hay diferencia en costos (efluentes) de +/- \$25000 con respecto a los otros pozos Slim Hole.

En cuestión de casing el pozo Slim Hole "1" presenta un ahorro de \$ 269,277.10 equivalente al 35.71% respecto al pozo "2", un ahorro de \$ 100,648.77 equivalente

al 17.19% respecto al pozo “3”, un ahorro de \$ 69,399.98 equivalente al 12.52% respecto al pozo 4.

Como es visible, el pozo Slim Hole “1” tiene un ahorro en costos del 10% a diferencia de los 3 pozos restantes.

ANÁLISIS DE COSTOS INTANGIBLES

En la tabla 4.60 se detalla los costos intangibles resultantes para ambos diseños, en el cual es evidente el ahorro de \$ 674,932.52 equivalente al 22% que representa el pozo Slim Hole:

Con respecto a la tabla la sección de taladro muestra que el diseño Slim Hole presentó un gasto de \$ 798,284.98 a comparación del diseño robusto que ocasionó un gasto de \$ 1, 306,314.95, dando como resultado un ahorro \$ 508,029.97 representando el 39%.

En otro punto de la tabla se encuentran los lodos de perforación; para este estudio se compara el diseño Slim Hole (Monobore) y el pozo Robusto, es decir, el diseño Slim Hole maneja un fluido de perforación en 2 secciones y el diseño robusto en 3. Se deduce que se utiliza un menor volumen de fluido, dando a notar un ahorro de \$ 48,814.77 equivalente al 22%.

Debido a que el diseño Slim Hole presenta dos secciones, la cantidad de ripios es considerablemente menor que en un diseño Robusto, aspecto que reduce los costos generando un ahorro de \$ 33,408.34 equivalente al 30%.

TABLA 4.60 COSTOS INTANGIBLES DE PERFORACIÓN

Tipo de Servicio	Slim Hole “1”		Robusto “A”	
	Costo Programado	Costo real	Costo Programado	Costo real
TALADRO				
Rig Movilización + DTM	\$ 185,000.00	\$ 277,261.88	\$ 654,000.00	\$ 654,000.00
Tarifa Operativa	\$ 650,880.00	\$ 377,646.00	\$ 806,400.00	\$ 454,410.00
Combustibles	\$ 125,000.00	\$ 143,377.10	\$ 212,500.00	\$ 197,904.95
TOTAL DEL TALADRO	\$ 960,880.00	\$ 798,284.98	\$ 1,672,900.00	\$ 1,306,314.95
SERVICIOS INTEGRADOS				
Gerenciamiento	\$ 100,000.00	\$ 76,605.92	\$ 105,000.00	\$ 69,747.48

Cementación	\$ 150,000.00	\$ 195,973.19	\$ 199,000.00	\$ 314,157.27
Brocas	\$ 124,000.00	\$ 101,500.00	\$ 133,500.00	\$ 116,254.57
Lodos	\$ 160,000.00	\$ 178,639.49	\$ 190,000.00	\$ 227,454.26
Direccional	\$ 490,625.00	\$ 334,919.36	\$ 220,000.00	\$ 224,919.36
Registros Eléctricos	\$ 166,000.00	\$ 84,574.00	\$ 250,000.00	\$ 102,346.48
Mudlogging	\$ 70,000.00	\$ 56,778.78	\$ 75,000.00	\$ 80,699.66
Disposición de Ripios	\$ 87,300.00	\$ 79,861.68	\$ 169,750.00	\$ 113,270.02
Control de Sólidos	\$ 145,000.00	\$ 104,694.51	\$ 130,000.00	\$ 192,422.79
TOTAL	\$ 1,492,925.00	\$ 1,213,546.93	\$ 1,472,250.00	\$ 1,441,271.89
SERVICIOS TERCEROS				
Camper Dormitorio	\$ 5,760.00	\$ 3,840.00	\$ 5,760.00	\$ 4,560.00
Catering	\$ 18,000.00	\$ 7,201.00	\$ 10,800.00	\$ 10,805.00
Comunicaciones	\$ 15,000.00		\$ 5,000.00	\$ 1,393.27
Martillos	\$ 34,736.00	\$ 147,235.80	\$ 24,736.00	\$ 4,802.00
Elementos Varios	\$ 142,000.00	\$ 36,933.64	\$ 134,319.56	\$ 177,360.20
Coronas	-	\$ 12,878.08	-	-
Seguridad física	\$ 13,565.00	\$ 14,019.50	\$ 13,565.00	-
Gyro	\$ 30,000.00	\$ 18,000.00	\$ 30,000.00	-
Vaccum	\$ 72,000.00	\$ 46,094.20	\$ 71,100.00	\$ 28,733.34
Cama baja			\$ 36,500.00	-
Company	54000	\$ 31,024.00	\$ 60,000.00	25650
Geólogo	\$ 28,250.00	\$ 14,350.00	\$ 25,500.00	17,450.00
TOTAL TERCEROS	\$ 413,311.00	\$ 331,576.22	\$ 417,280.56	\$ 270,753.81
TOTAL DE SERVICIOS				
TOTAL DE SERVICIOS	\$ 2,867,116.00	\$ 2,343,408.13	\$ 3,562,430.56	\$ 3,018,340.65

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.7.12 ANÁLISIS DE COSTOS TANGIBLES

En la Tabla 61 se detallan los costos por concepto de materiales y corrida de casing para los dos diseños en donde se muestra un ahorro del \$ 689,419.17 equivalente al 57% en el diseño Slim Hole a comparación del pozo Robusto "A".

El ahorro por concepto de casing es evidente, ya que en el diseño de perforación tipo Slim Hole se utilizó 2 tipos de tuberías de revestimiento para las secciones 12 ¼ " a 7330 ft y 8 ½ " a 10,988 ft, por lo que se utilizó menor cantidad de casing,

que directamente incide en la reducción de costos.

TABLA 4.61
COSTOS TANGIBLES

COSTOS MATERIALES	Slim Hole "1"		Robusto "A"	
	Costo Programado	Costo real	Costo Programado	Costo real
Casing 20" 94#	-	\$ 8,446.35	\$ 12,600.00	\$ 25,008.00
Casing 13 3/8" 68# K-55	-	-	\$ 357,000.00	-
Casing 13 3/8" 68# N-80	-	-	\$ 115,200.00	\$ 495,855.92
Casing 9 5/8" 40# N-80	\$ 310,500.00	\$ 203,419.34	\$ 240,000.00	-
Casing 9 5/8" 47# N-80	\$ 108,675.00	\$ 121,655.75	\$ 192,000.00	-
Casing 9 5/8" 53# N-80	-	-	-	\$ 416,357.15
Colgador Liner 7" 26# P-110	\$ 102,000.00	\$ 125,697.56	\$ 130,000.00	\$ 129,697.56
Cabezal Multibowl	\$ 43,861.00	\$ 43,861.00	\$ 51,686.21	\$ 51,686.21
	CORRIDA DE CASING			
	\$ 75,000.00	\$ 25,473.40	\$ 115,000.00	\$ 99,367.73
TOTAL	\$ 640,036.00	\$ 528,553.40	\$ 1,213,486.21	\$ 1,217,972.57

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

4.7.15 COSTOS POR TIPO DE POZO

Para cada diseño los costos de los diferentes servicios (lodos, cementación, brocas, servicios integrados), impactan en el costo total de operación del pozo.

En la Tabla 4.62 se presenta un resumen de las actividades y servicios operacionales realizadas durante la perforación del pozo Slim Hole "1" y el pozo Robusto "A".

TABLA 4.62
RESUMEN DE COSTOS DEL POZO “1” Y POZO “A”

EMPRESA	POZO SLIM HOLE “1”		POZO ROBUSTO “A”	
	Valor	%	Valor	%
EMPRESA (Servicios Integrados)	\$ 1,213,692.96	42.3	\$ 1,246,978.32	29.4
EMPRESA(Casing)	\$ 484,692.40	16.9	\$ 1,166,286.36	27.5
EMPRESA(Equipo)	\$ 798,284.98	27.8	\$ 1,306,314.95	30.8
EMPRESA Brocas	\$ 101,500.00	3.5	\$ 116,254.57	2.7
EMPRESA (Company)	\$ 31,024.00	1.1	\$ 25,650.00	0.6
(Ripios)	\$ 79,861.68	2.8	\$ 113,270.02	2.7
(cabezales)	\$ 43,861.00	1.5	\$ 51,686.21	1.2
(Efluentes)	\$ 104,694.51	3.6	\$ 192,422.79	4.5
(Geólogos)	\$ 14,350.00	0.5	\$ 17,450.00	0.4
Total	\$ 2,871,961.53	100.00	\$ 4,236,313.22	100.00%

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

En la Tabla 4.63 se presenta el ahorro neto de \$ 1, 364,351.69 que equivale al 33% resultante de las actividades y servicios operacionales realizadas durante la perforación del pozo Slim Hole “1”.

TABLA 4.63
AHORRO NETO DEL DISEÑO SLIM HOLE

TOTAL, COSTOS DE AHORROS	DISEÑO		AHORRO	
	SLIM HOLE “1”	ROBUSTO “A”	\$ 1,364,351.69	%
	\$ 2,871,961.53	\$ 4,236,313.22		33 %

Fuente: Reportes finales, 2019

Elaboración: Rea, A., 2020

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En relación a tiempos durante toda la perforación se concluye que el diseño Slim Hole tiene una diferencia significativa de 4 días a comparación del diseño convencional, de modo que genera un ahorro total de \$ 1, 364,351.69 equivalente al 33%.

En conclusión, el pozo Slim Hole da a notar una gran diferencia en lo que tiene que ver con los costos del casing, debido a que este diseño utiliza un tamaño más pequeño de 9 5/8" con respecto al pozo robusto, dando un ahorro de la sección 13 3/8" desde superficie representando un total de \$ 689,419.17 representando el 56%.

En la zona de producción, el pozo Slim Hole "1", presenta una sección más larga con 3658 ft de Liner; mientras que el pozo robusto cubre parte de esta misma sección con 1898 ft de casing de 9 5/8", completando la siguiente parte con 1700 ft de liner, siendo el mismo, el ahorro representado para el Slim Hole generando un ahorro total de \$ 81,305.54 equivalente al 39%.

En cuestión de los rubros por el equipo de perforación, movilización y combustibles; el diseño Slim Hole presentó un gasto de \$ 798,284.98 a comparación del diseño robusto que ocasionó un gasto de \$ 1, 306,314.95, dando como resultado un ahorro \$ 508,029.97 representando el 39%.

En cuanto a la cantidad de fluidos de perforación se concluye que el diseño robusto utilizó: 1909.52 bbls en la sección de 16", 338.55 bbls en la sección 9 5/8" y 123.53 bbls en la sección 8 1/2"; mientras que el diseño Slim Hole necesitó 1068.71 bbls para la sección de superficie y 256.79 bbls de fluido en la zona de producción, llegando a tener un ahorro de 1046 bbls equivalente al 44%.

Finalmente con respecto al impacto ambiental, la disposición de ripios del diseño

Slim Hole manejó un total de 1603 bbls en la sección 9 5/8" y 385.2 bbls en la sección de 8 1/2" a diferencia del diseño Robusto, ya que este utilizó 2864.28 bbls en la sección de 13 3/8", 507.83 bbls en la sección 9 5/8" y 185.3 bbls en la sección 8 1/2"; obteniendo un ahorro en barriles de 1569 representando el 44%, de la misma forma se puede notar el ahorro en costos de \$33408.34 equivalente al 30%.

RECOMENDACIONES

Se propone que las perforaciones en pozos futuros continúen con el sistema de Floculación Selectiva, ya que permitió el control de los sólidos incorporados al sistema y otorgó un manejo óptimo de volúmenes de dilución.

Para que el diseño Slim Hole sea viable desde el punto de vista técnico y de calidad en la producción. Se recomienda utilizar colgadores expandibles necesarios para rotar y viabilizar la entubación del Liner de 7" hacia el fondo del pozo.

Se recomienda realizar diseños técnicos y optimizados referentes a los tipos y grados de casing para los pozos Slim Hole, el mismo será producto de un diseño de casing con nuevas tecnologías.

Para no tener problemas de manejos de ripsos en superficie, se sugiere verificar el estado de las conexiones y válvulas en los tanques del sistema, para evitar pérdidas del fluido de perforación por la presencia de agujeros o válvulas dañadas generando retrasos en las operaciones.

Como es de conocimiento general el precio del petróleo depende de su demanda, no obstante los costos de operaciones son cada vez más elevados, por lo que se recomienda por último que los futuros proyectos de perforación en la Cuenca Amazónica, utilicen un diseño Slim Hole centrado en el manejo de diámetros de casing cada vez más reducidos en la zona de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Albán, S. C., & Álvarez, F. F. (2014). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEPERFORACIÓN EN EL CAMPO SACHA. Obtenido de Tesis de grado de la Escuela Politécnica Nacional.

Albariño, L. (2008). Sistemas Petroleros de la Cuenca Oriente, Ecuador. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303851380_Sistemas_Petroleros_de_la_Cuenca_Oriente_Ecuador/citation/download

Ali, M. (2017). Intro to Slim Hole Drilling. Obtenido de SPE 4353073: https://www.slideshare.net/mubarikali43/introduction-to-slim-hole-drilling?from_action=save

Arguelle. (2016). Cálculo de La Carga de La Cabria Del Taladro. Obtenido de Documento de Diseño del Taladro: <https://es.scribd.com/document/315079123/Calculo-de-La-Carga-de-La-Cabria-Del-Taladro>

Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo. Editor Institut français d'études andines, Lima, Perú.

Bolaños, M. (2018). Exploración y bloque 73. Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

CHEN, D. C.-K. (2004). New Drilling Optimization Technologies, Make Drilling More Efficient. Obtenido de Paper 2004-020, Publicación de CANADIAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGY & PETROLEUM, Alberta, Canadá.

Dhiman, A. S. (2012). RHEOLOGICAL PROPERTIES & CORROSION CHARACTERISTICS OF DRILLING MUD ADDITIVES. Obtenido de Tesis de Posgrado, DALHOUSIE UNIVERSITY, CANADA.

Enap Sipec. (2016). Propuesta de Diseño Pozo Inyector Tipo. (I. d. Negocios, Intérprete)

Griston, S. (2001). Recommended Practices for Slim-Hole Steam Injectors. Obtenido de Artículo científico, Publicación Paper - SPE 68808.

Irawan, S. (2012). OPTIMIZATION OF WEIGHT ON BIT DURING DRILLING OPERATION BASED ON RATE OF PENETRATION MODEL. Obtenido de Article in Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology.

Liu, Q. (13-15 de noviembre de 2016). A New Slim-hole Drill Bit. Obtenido de Paper IADC/SPE 102380.

López, C. E., & Gómez, H. S. (2011). ANALISIS COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA "SLIM HOLE" CON LA PERFORACIÓN CONVENCIONAL DE POZOS. Obtenido de Tesis de grado de la Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Mach, W. (2011). Columna estratigráfica ecuador. Obtenido de Capítulo1, Artículo científico.

Morales, A. R. (2014). DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REINYECCIÓN DE AGUA EN LA FORMACIÓN RECEPTORA TIYUYACU DEL POZO GUANTA 07 DEL AREA LAGO AGRIO. Obtenido de Tesis de Grado de la Universidad Tecnológica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Norton J., L. (2014). "Fórmulas y Cálculos para la Perforación, Producción y Rehabilitación". Obtenido de Cálculos Básicos de perforación

Pérez, D. J. (2015). "Análisis comparativo técnico-económico de la tecnología de perforación Slim Hole con la perforación convencional de pozos para el campo Fanny en el bloque Tarapoa". Obtenido Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

Pilapaña, L. I. (2014). DIMENSIONAMIENTO DE UN TALADRO HELITRANSPORTABLE DE POZOS EXPLORATORIOS PROFUNDOS EN EL BLOQUE 78 DEL SUR ORIENTE DEL ECUADOR. Obtenido de Tesis de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Pozo, D. (2015). "Estudio de factibilidad para la implementación de pozos". Tesis

de Grado, Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

Ramos, J. L. (2011). Estado del arte de brocas de perforación. Obtenido de Artículo científico de la Universidad de América, Colombia.

Reportes finales, Enap Sipec. (2019). Reportes Finales.

Schlumberger. (2014). Especificación y selección de equipos. Obtenido del Programa de entrenamiento acelerado para supervisores.

Schlumberger, S. F. (2000). Slim-Hole Technology. Obtenido de Artículo Científico. Publicación, ENG 970801.

Yuquilema, J. A. (2010). MODELO DEPOSITACIONAL DE LA ARENISCAS EN LA CUENCA ORIENTE. Obtenido de Tesis de Grado de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.