



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“ANÁLISIS TÉCNICO DE UN POZO DIRECCIONAL DE DOS SECCIONES”

PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEOS

Presentado por:

Adán Andrés Fernández Chica

Michelle Joselin Bazurto Litardo

Director de Proyecto Integrador:

Ing. Xavier Vargas

Guayaquil – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTO

Al **Ingeniero Alex Guevara** por brindarnos su apoyo y colaboración para llevar a cabo este proyecto integrador.

Al director del proyecto **Ingeniero Xavier Vargas** y al **Ingeniero Alberto Galarza** por su esfuerzo y dedicación en orientarnos para avanzar a paso firme en la realización del presente trabajo.

Agradecemos a todas las personas que nos apoyaron durante la realización del este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres **Sr. Carlos Bazurto** y **Sra. Rosa Litardo** quienes me apoyaron y respetaron siempre mis decisiones a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis hermanas **Annabell** y **Nicole** por siempre incentivarme a cumplir mis metas y a no decaer.

A mi novio **Daniel Barrionuevo** quien siempre tiene una frase de motivación y está conmigo apoyándome cuando más lo necesito.

A mis amigos porque de una u otra manera han estado pendientes de este proceso.

Michelle Joselin Bazurto Litardo

DEDICATORIA

A mis padres **Luis** y **Narcisa** que a pesar de la distancia siempre estuvieron presentes con su apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria.

A mis hermanos **Milena**, **Polo** y **Robinson** quienes siempre estuvieron pendientes de mis decisiones y apoyándome en cada una de ellas.

Adán Andrés Fernández Chica

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Xavier Vargas
DIRECTOR DE PROYECTO INTEGRADOR

Ing. Francisco Miranda
PROFESOR DELEGADO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Adán Andrés Fernández Chica

Michelle Joselin Bazarro Litardo

RESUMEN

El siguiente proyecto desarrolla el análisis técnico y económico del diseño de un pozo direccional tipo "S" de dos secciones, perforado en el Oriente Ecuatoriano.

Se realiza una breve descripción de la geología del Oriente Ecuatoriano y litología del pozo "ESPOL" con sus respectivos topes geológicos para el posterior análisis del diseño.

Luego se analiza el Plan de perforación direccional, programa de brocas usadas, fluidos de perforación para cada sección, programa de casing, programa de cementación y el tiempo empleado en la perforación.

Finalmente se realiza el análisis de los costos operacionales durante la perforación del pozo "ESPOL".

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xix

CAPITULO 1

INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Introducción	1
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4

CAPITULO 2

OBTENCIÓN DE DATOS PARA DISEÑO DEL POZO

2.1 Justificación de datos para diseño de pozo	5
2.2 Análisis de la información del pozo	6
2.2.1 Registros Geofísicos	6
2.2.2 Zona productora.- Formación Napo	10
2.2.3 Tipos de Brocas	11
2.2.4 Fluidos de perforación	14
2.2.5 Diseño de Revestidor/Cementación	15

CAPITULO 3

ANÁLISIS TÉCNICO DE POZO DIRECCIONAL DE DOS SECCIONES

“ESPOL”

3.1 Plan Direccional.....	16
3.1.1 Trayectoria Planificada	17
3.2 Programa de BHA.....	19
3.2.1 Hoyo de 26”	20
3.2.2 Hoyo de 12 ¼”	21
3.2.3 Hoyo de 8 ½”	24
3.3 Programa de Brocas	26
3.3.1 Hoyo de 26”	26
3.3.2 Hoyo de 12 ¼”	27

3.3.3 Hoyo de 8 ½"	28
3.4 Programa de Hidráulica	30
3.4.1 Hoyo de 12 ¼" BHA # 2	30
3.4.2 Hoyo de 12 ¼" BHA # 3	30
3.4.3 Hoyo de 8 ½" BHA # 4	31
3.4.4 Hoyo de 8 ½" BHA # 5	31
3.5 Programa de Fluidos de perforación	31
3.5.1 Hoyo de 26"	32
3.5.2 Hoyo de 12 ¼"	33
3.5.3 Hoyo de 8 ½"	35
3.5.4 Curva de densidades del lodo de perforación	38
3.6 Programa de Casing	39
3.6.1 Factores de Diseño	40
3.6.2 Análisis de la tubería de revestimiento en pozo dos secciones	47
3.7 Programa de cementación	64
3.7.1 Hoyo de 26" @ casing de 20"	64
3.7.2 Hoyo de 12 ¼" @ casing de 9 5/8"	65
3.7.3 Hoyo de 8 ½" @ casing de 7"	65
3.8 Análisis del tiempo real de perforación del pozo ESPOL	66
3.8.1 Sección de 26" @ Casing 20"	66
3.8.2 Sección de 12 ¼" @ Casing 9 5/8"	67
3.8.3 Sección de 8 ½" @ Casing 7"	67

3.8.4 Tiempo real de perforación del pozo ESPOL.....	69
3.8.5 Distribución del tiempo total de perforación	70
3.9 Costos Operacionales.....	70
3.9.1 Análisis de Costos Operacionales	71
3.8.2 Distribución de Costos Operacionales.....	72

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 4.1 Conclusiones
- 4.2 Recomendaciones

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

ANEXO IV

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BHA	Bottom Hole Assembly
DLS	Dog Leg Severity
DPN	Distancia de Punto Neutro
EOC	End Of Curve
FS	Factor de seguridad
HP	Horse Power
HSI	Horsepower per Square Inch
HWOP	Heavy Weight Drill Pipe
ID	Internal Diameter
KOP	Kick of Point
MWD	Measurements While Drilling
MD	Measured Depth
NPT	Non Productive Time
OD	Outer Diameter
PDC	Policristalinas de Diamantes Compactos
TVD	True Vertical Depth

SIMBOLOGÍA

°	=	Grados
ρ	=	Densidad
μ	=	Viscosidad
%	=	Porcentaje
"	=	Inch (pulgadas)
'	=	Feet (pies)
P_H	=	Presión Hidrostática
P_f	=	Presión de formación
R_a	=	Resistencia permisible a la tensión
R_c	=	Resistencia al colapso
R_e	=	Resistencia al estallido
R_t	=	Resistencia a la tensión
@	=	a / con / en
G_f	=	Gradiente de formación
W_t	=	Peso total de la sarta
N-80	=	Grado de acero de la tubería
K-55	=	Grado de acero de la tubería
P-110	=	Grado de acero de la tubería
bbl	=	Barrels
bpm	=	Barrels per minute
ft	=	feet (pies)
gal	=	Gallon
gpm	=	Gallons per minute
in	=	Inch (pulgadas)
in ²	=	Square inch (pulgadas cuadradas)
lb	=	Libras
mm	=	Milímetros
ppg	=	Pounds per gallon
psi	=	Pounds-force per Square Inch
rpm	=	Revolutions per minute

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 3.1 Presión Hidrostática	41
Ecuación 3.2 Presión de Colapso	41
Ecuación 3.3 Presión de Formación	42
Ecuación 3.4 Presión de Estallido.....	43
Ecuación 3.5 Distancia del Punto Neutro.....	44
Ecuación 3.6 Peso total de la sarta.....	45
Ecuación 3.7 Resistencia permisible a la Tensión	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Cuenca del Oriente Ecuatoriano	2
Figura 2.1 Litología del pozo ESPOL.....	8
Figura 2.2 Secuencia Estratigráfica	9
Figura 2.3 Especificaciones Técnicas de Broca Tricónica para sección de 26"	11
Figura 2.4 Especificaciones Técnicas de Broca PDC para sección de 12-1/4"	12
Figura 2.5 Especificaciones Técnicas de Broca PDC para sección de 8-1/2"	13
Figura 3.1 Pozo direccional tipo "S". Trayectoria planificada.....	18
Figura 3.2 Configuración de BHA # 1 para Hoyo de 26"	20
Figura 3.3 Configuración de BHA # 2 para Hoyo de 12-1/4"	21
Figura 3.4 Descripción de BHA # 3 para Hoyo de 12-1/4".....	22
Figura 3.5 Configuración de BHA # 4 para Hoyo de 8-1/2"	24
Figura 3.6 Configuración de BHA # 5 para Hoyo de 8-1/2"	25
Figura 3.7 Broca Tricónica para perforar hasta 400 ft de profundidad.....	27
Figura 3.8 Broca PDC para perforar desde 400 ft hasta 6870 ft de profundidad	28
Figura 3.9 Broca PDC para perforar desde 400 ft hasta 9590 ft de profundidad	29
Figura 3.10 Presión de colapso en una tubería.....	40
Figura 3.11 Presión de estallido en la tubería	42
Figura 3.12 Esfuerzo de tensión en la tubería.....	44
Figura 3.13 Factores de Diseño.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 3.1 Curva de densidades del Fluido de Perforación del pozo ESPOL	38
Gráficos 3.2 Esquema mecánico del pozo	63
Gráfico 3.3 Curvas comparativas del tiempo (real y estimado) empleado en la perforación del pozo ESPOL de dos secciones	69
Gráfico 3.4 Distribución de tiempo total de perforación	70
Gráficos 3.5 Distribución de costos operacionales del pozo ESPOL.....	72
Gráficos 3.6 Distribución de costos porcentuales.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I Topes geológicos del pozo ESPOL.....	7
Tabla II Características del fluido de perforación en Hoyo de 26"	14
Tabla III Características del fluido de perforación en Hoyo de 12-1/4"	14
Tabla IV Características del fluido de perforación en Hoyo de 8-1/2"	14
Tabla V Especificaciones de casing.....	15
Tabla VI Topes y tipos del cemento.....	15
Tabla VII Descripción de BHA # 1 para Hoyo de 26"	20
Tabla VIII Descripción de BHA # 2 para Hoyo de 12-1/4"	22
Tabla IX Descripción de BHA #3 para Hoyo de 12-1/4"	23
Tabla X Descripción de BHA # 4 para Hoyo de 8-1/2"	25
Tabla XI Descripción de BHA # 5 para Hoyo de 8-1/2"	26
Tabla XII Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 26"	33
Tabla XIII Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 26"	33
Tabla XIV Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 12-1/4"	34
Tabla XV Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 12-1/4"	35
Tabla XVI Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 8-1/2"	36
Tabla XVII Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 8-1/2"	37
Tabla XVIII Selección de casing en Hoyo de 26"	49
Tabla XIX Selección de casing en Hoyo de 12-1/4"	53
Tabla XX Selección de casing en Hoyo de 8-1/2"	57
Tabla XXI Selección de casing en Hoyo de 8-1/2" @ 8829 ft TVD / 9590 ft MD.....	61

Tabla XXII Análisis de Tiempo productivo y Tiempo No Productivo	66
Tabla XXIII Descripción de Costos Operacionales del pozo ESPOL.....	71

INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos petroleros implica grandes inversiones, esta se ven afectada especialmente por las operaciones realizadas, los problemas que puedan surgir y el tiempo que se tarda en resolverlos. Los trabajos a realizarse deben ser planificadas con suma precaución ya que un error podría terminar matando el pozo y con ello la perdida de toda la inversión.

El programa de perforación es una planificación minuciosa de todas las operaciones que se realizaran en la perforación, en la actualidad la tecnología combinada con la experiencia profesional constituyen un papel fundamental para reducir los tiempos de operaciones y con ello el ahorro de mucho dinero para las compañías operadoras.

El diseño de pozos de dos secciones implica una reducción considerable en los costos de perforación, este proyecto tiene como objetivo el análisis técnico de éste diseño tomando como referencia un pozo perforado en el oriente ecuatoriano

CAPITULO I

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Introducción

El Oriente Ecuatoriano comprende un área de 120.000 km² y sus límites están marcados por la Cordillera de los Andes en la parte occidental de esta región, mientras que en el límite meridional y oriental se encuentra Perú y Colombia.

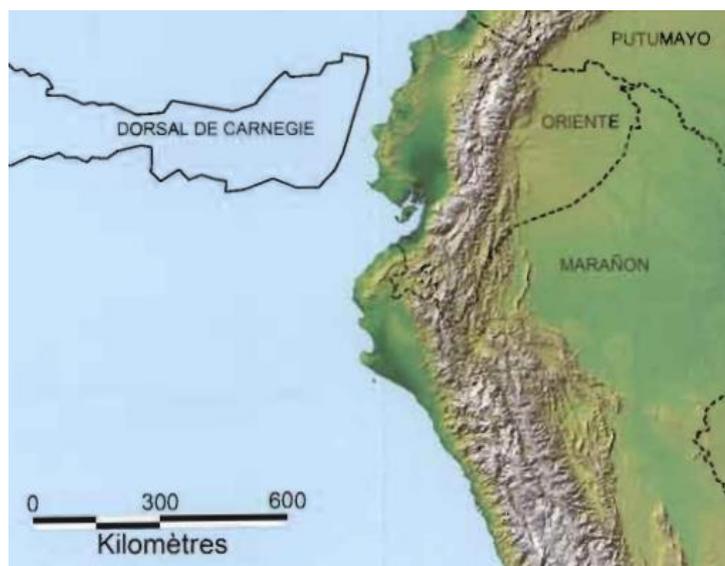


Figura 1.1 Cuenca del Oriente Ecuatoriano
Fuente: La Cuenca Oriente: Geología y
Patrónleo.vBaby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R.
(2004).

1.2 Geología General del Oriente Ecuatoriano

En el Oriente Ecuatoriano se encuentra constituido por una secuencia estratigráfica como se describe a continuación:

FORMACIÓN CHALCANA.- (Mio_{Ch}) Compuesta por capas de lutitas abigarradas, con yeso. Alcanza un espesor desde 650-800 m hasta 1100 m.

FORMACIÓN ORTEGUAZA.- (Oli_{Or}) La formación Orteguzza está constituida por lutitas y arcillas verdosas endurecidas intercaladas con areniscas medias a gruesas y areniscas conglomeráticas de color gris a gris verdoso, con fisilidad y presencia de nódulos piríticos al tope.

FORMACIÓN TIYUYACU.- (Pa_{Ty}) Esta formación comprende una serie de 250 m de conglomerado de guijarros y cantos de cuarzo, lutita y cherts redondeados hasta angulares en una matriz arenolimososa; y areniscas de grano variable con intercalaciones de lutitas rojas, grises y verdes. Hacia el SE desde la localidad tipo, se presenta una arcilla bentonítica en la mitad de la Formación y separa una parte inferior conglomerática arenosa de una superior mucho más arcillosa.

FORMACIÓN TENA.- (K_{3Te}) Esta formación alcanza una potencia de más de 1000 m en la parte central y disminuye hasta 270 m hacia los bordes. La litología principal corresponde a arcillas abigarradas pardo rojizas. La coloración roja se acentúa en la superficie. Las arcillas son margosas a arenosas y varían desde macizas a laminadas.

FORMACIÓN NAPO.- (K_{Np}) Esta formación contiene una serie variable de calizas fosilíferas, grises a negras, entremezcladas con areniscas calcáreas y lutitas negras. Muchos componentes son bituminosos (se la podría considerar roca madre del petróleo). Se ha subdividido en 3 litologías: Napo Inferior (areniscas y lutitas con calizas subordinadas), Napo medio (caliza principal, maciza, gris, fosilífera, de espesor constante entre 70 y 90 m) y Napo Superior

(lutitas verde grises hasta negras interestratificadas con escasas calizas grises parcialmente fosilíferas).

FORMACIÓN HOLLÍN.- (K_{2H_0}) Es una arenisca de grano medio a grueso, maciza o con estratificación cruzada, con intercalaciones escasas de lutitas arenosas, localmente micáceas o carbonatadas. Alcanza desde 35 m hasta 200m de espesor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Analizar técnicamente el diseño del pozo direccional “ESPOL”

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar programa de perforación direccional
- Definir tipos de brocas y fluidos según el diseño del pozo
- Dimensionar tuberías de revestimiento
- Analizar curvas de tiempo estimado y real de la perforación
- Analizar costos operacionales

CAPITULO II

2. OBTENCIÓN DE DATOS PARA DISEÑO DEL POZO

2.1 Justificación de datos para diseño de pozo

En el desarrollo de la perforación del pozo se necesita conocer en primera instancia la información geológica del mismo, ya que permite determinar las propiedades de las formaciones que se está perforando, esto se puede lograr realizando corridas de registros eléctricos, y correlacionando pozos aledaños de los cuales ya se conoce su litología.

Con la información geológica se puede conocer datos como la dureza de las rocas y así realizar una selección de los tipos de brocas que se utilizarán en la perforación del pozo, además hacer una planificación de los fluidos a utilizar y el diseño de los revestimientos que se asentarán a diferentes profundidades.

2.2 Análisis de la información del pozo

2.2.1 Registros Geofísicos

Los registros geofísicos permiten evaluar las formaciones obteniendo información de cada una de ellas para conocer y calcular topes de los tipos de rocas que se encuentra en cada formación.

2.2.1.1 Topes Geológicos

FORMACION	PROFUNDIDAD	
	MD (pies)	TVD (pies)
ORTEGUAZA	5378	5113
TIYUYACU	6092	5825
TENA	7825	7558
NAPO	8356	8089
"M-1" SS	8383	8116
"M-2" Limestone	8752	8485
"M-2" SS	8.849	8581
"A" Limestone	8945	8677
UPPER "U"	8962	8694
LOWER "U" (SS)	9041	8773
"B" Limestone	9172	8905
UPPER "T" SS	9193	8925
MAIN "T" (SS)	9245	8977
BASAL NAPO	9290	9022
HOLLIN	9370	9102
TD	9470	9202

Tabla I Topes geológicos del pozo ESPOL

Fuente: Correlación con pozos vecinos

2.2.1.2 Litología del Pozo ESPOL

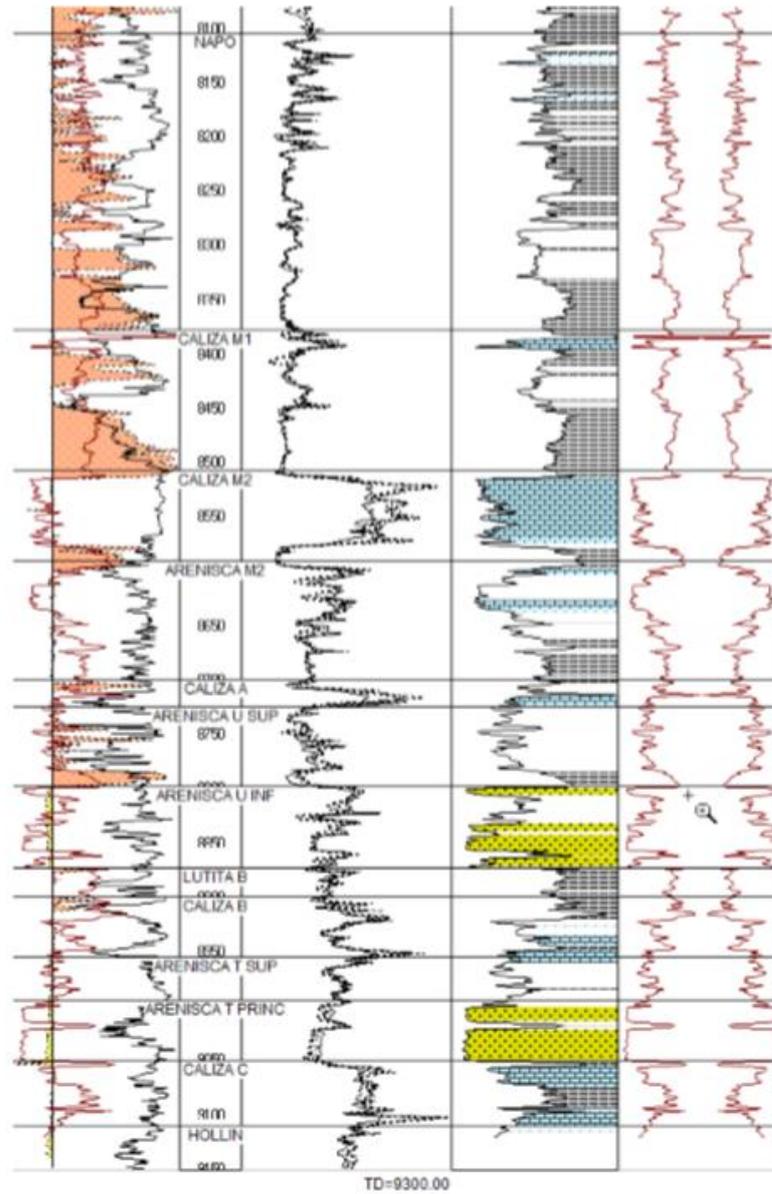


Figura 2.1 Litología del pozo ESPOL
Fuente: Correlación con pozos vecinos

2.2.1.3 Descripción Geológica del pozo ESPOL

La secuencia estratigráfica de este pozo contiene formaciones de la siguiente manera:

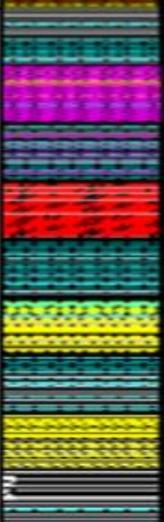
EDAD	LITOLOGÍA	FORMACIÓN	MIEMBRO
Quaternary		Undifferentiated Quaternary	
Miocene		CHALCANA	
Oligocene		ORTEGUAZA	
Eocene		TIYUYACU	
Paleocene		TENA	
Upper Cretaceous		NAPO	"M-2" Sandstone
			"M-1" Limestone
			"M-2" Limestone
			"M-2" Sandstone
			"A" Limestone
			"U" Sandstone
			"B" Limestone
			"T" Sandstone
			Lower Napo Shale

Figura 2.2 Secuencia Estratigráfica

Fuente: Correlación con pozos vecinos

2.2.2 Zona productora.- Formación Napo

ARENISCA "U" SUPERIOR

La arenisca "U" superior se compone principalmente de piedra arenisca, intercaladas con piedra caliza y pizarra.

Los picos de gas presentes en esta sección:

- Pico máximo de gas total: FG = 1.17% @ 8914 'MD
- Gas en el subsuelo: BG = 0,67%

ARENISCA "U" INFERIOR

La arenisca " U" inferior se compone predominantemente de arenisca, intercaladas con lutitas y kaolín.

El 20 % - 40 % de la muestra presenta evidencia de hidrocarburos en esta zona.

Los picos de gas presentes en esta sección:

- Pico máximo de gas total: FG = 1. 17 % @ 8937 ' MD
- Gas en el subsuelo: BG = 0. 66 %

2.2.3 Tipos de Brocas

2.2.3.1 Hoyo de 26''

DIAM	BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA	IADC	INTERVALO	LITOL	CARACTERÍSTICAS	ESQUEMA	JUSTIFICACION	PARAMETROS / OBSERVACIONES
26"	XR+CPS	115	365' (25'- 400')	Piedrones, Arena, Arcilla	TRICONICA DE DIENTES XPLORER , DIENTES EN LA PARTE INTERNA 54 + DIENTES EN LA PARTE DEL GAGE 48. TOTAL: 102. DISTRIBUIDOS EN 9 HILERAS, 3 BOQUILLAS STÁNDAR + 1 JET CENTRAL, INSEROS CARBURO DE TUNGTEÑO DE PROTECCIÓN EN LAS PIERNAS		BROCA CON AMPLIA EXPERIENCIA EN EL ORIENTE ECUATORIANO	WOB: 5-22 klbs RPM: 60 -120 GPM: 300-600 TFA: 0.518 (4x13)

Figura 2.3 Especificaciones Técnicas de Broca Tricónica para sección de 26''

Fuente: Catálogo Schlumberger

2.2.3.2 Hoyo de 12-1/4"

DIAM	BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA	IADC	INTERVALO	LITOL	CARCATERSTICAS	ESQUEMA	JUSTIFICACION	PARAMETROS / OBSERVACIONES
12.25"	MDI519LMHSPX	M223	6,470' (400' - 6,870)	Arcillita, arenisca Conglomerado , lutita, chert	CUERPO DE MATRIZ, PDC 5 ALETAS, CORTADORES: 32 x 19 mm + 4x 16 mm + 5 x 13 mm BACKREAMING TOTAL: 41, INSERTOS ATLAS EN EL CALIBRE JSA: 45.8 plg2 , 7 BOQUILLAS		BROCA USADA CON EXCELENTE RESULTADOS Y MINIMA CONDICION DE DESGASTE	WOB: 20-30 klbs RPM: 130-150 GPM: 900 TFA: 0.907 (7x13)
12.25"	MI519HSPX	M223	CONTINGENCIA	Arcillita, arenisca, lutita, limolita, conglomerado anhidrita	CUERPO DE MATRIZ, PDC NUEVA TECNOLOGÍA, 5 ALETAS, CORTADORES: 41 x 19 mm + 10 x 16 mm TOTAL: 51, JSA: 33.2 plg2 , 7 BOQUILLAS		MODELO AGRESIVO, PERFIL PARABÓLICO Y CON CORTADORES DE RESPALDO PARA OTORGAR MAYOR DURABILIDAD	WOB: 20-30 klbs RPM: 130-150 GPM: 900 TFA: 0.907 (7x13)

Figura 2.4 Especificaciones Técnicas de Broca PDC para sección de 12-1/4"

Fuente: Catálogo Schlumberger

2.2.3.3 Hoyo de 8-1/2"

DIAM	BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA	IADC	INTERV	LITOL	CARCATERISTICAS	ESQUEMA	JUSTIFICACION	PARAMETROS / OBSERVACIONES
8.5"	MSI519HUPX	M223	2,720' (6,870 - 9,590)	TIYUYACU, TENA, BASAL TENA Y NAPO HOLLIN	CUERPO DE MATRIZ, PDC, 5 ALETAS, CORTADORES: 27 x 19 mm + 7 x 16 mm + 6 TOTAL: 34 JSA: 12.476 plg2, 7 BOQUILLAS		BROCAS USADA ... CON EXCELENTE RESULTADOS PERFORO TODO EL INTERVALO	WOB: 10-25 kbs RPM: 80-150 GPM: 550-400 TFA: 0.66 (7X11)
BROCA ALTERNATIVA								
8.5"	GF12GVR IADC 437 CONTINGENCIA	437X	CONTINGENCIA	TIYUYACU, COGLOMERADO	BROCA DE INSERTO, 106 INSERTO DE CARBURO DE TUSTEGNO 3 BOQUILLA INTERCAMBIABLE PARA UNA MEJOR CONFIGURACION HIDRAULICA.		BROCAS USADA	WOB: 10-20 kbs RPM: 80-150 GPM: 450-550 TFA: 0.699

Figura 2.5 Especificaciones Técnicas de Broca PDC para sección de 8-1/2"

Fuente: Catálogo Schlumberger

2.2.4 Fluidos de perforación

2.2.4.1 Hoyo de 26"

Diámetro del hoyo, in	26"
Capacidad, Bbl/ft: Diámetro del Hoyo	0.6567
Diámetro del Revestidor OD/ID, in	20"/19.124
Capacidad del Revestidor, Bbl/ft	0.35528
Sistema del Lodo de Perforación	NATIVO

Tabla II Características del fluido de perforación en Hoyo de 26"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

2.2.4.2 Hoyo de 12-1/4"

Diámetro del hoyo, in	12.25"
Capacidad, Bbl/ft: Diámetro del Hoyo	0.14577
Diámetro del Revestidor OD/ID, in	9.625"/8.681"
Capacidad del Revestidor, Bbl/ft	0.0732
Sistema del Lodo de Perforación	FLUIDO DISPERSO

Tabla III Características del fluido de perforación en Hoyo de 12-1/4"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

2.2.4.3 Hoyo de 8-1/2"

Diámetro del hoyo, in	8.5"
Capacidad, Bbl/ ft: Diámetro del Hoyo	0.0701
Diámetro de Revestidor OD/ID, in	7.0"/6.276"
Capacidad del Revestidor, Bbl/ft	0.03383
Sistema del Lodo del Perforación	FLUIDO KLA SHIELD

Tabla IV Características del fluido de perforación en Hoyo de 8-1/2"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

2.2.5 Diseño de Revestidor/Cementación

2.2.5.1 Puntos de Asentamiento de Revestidor

Casing	OD (in)	Peso (lb/ft)	Asentamiento	Profundidad Asentamiento MD (ft)	Propiedades
Conductor	20"	94		400	K-55, BTC
Superficie	9 5/8"	47	Tiyuyacu	6870	N-80, BTC
Producción	7"	26 26	TD para cubrir zonas productoras	9590	N-80, BTC P-110, BTC

Tabla V Especificaciones de casing

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

2.2.5.2 Topes de Cemento

Casing	Tail		Lead		Planned Excess
	Slurry	Top	Slurry	Top	
20"	15.2 ppg Tipo "A"	Superficie	-	-	50%
9 5/8"	15.8 ppg Tipo "A"	5856	13.5 ppg Tipo "A"	500	20%
7"	17.0 ppg Tipo "G"	8408	13.5 ppg Tipo "G"	6660	40%

Tabla VI Topes y tipos del cemento

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

CAPITULO III

3. ANÁLISIS TÉCNICO DE POZO DIRECCIONAL DE DOS SECCIONES “ESPOL”

3.1 Plan Direccional

El pozo “ESPOL” fue diseñado con el fin de encontrar el mejor escenario operativo desde el punto de vista de perforación direccional cumpliendo con los objetivos dentro de la zona productora, con una profundidad final de 9590 ft MD y un Objetivo con una tolerancia de 100 ft de diámetro. Previo a la perforación se debe realizar un análisis de anticollisión que es un escaneo con todos los pozos existentes en el campo para saber si se deben tomar en cuenta por su cercanía. Además de realizar un reporte de interferencia magnética

externa (monitoreo del survey de cada pozo cercano) en la que se espera saber si existe o no interferencia magnética provenientes de los pozos vecinos, en este caso no se encontraron inconvenientes con los pozos aledaños.

3.1.1 Trayectoria Planificada

El programa de perforación consiste en el diseño de pozo direccional tipo “S” (*figura 3.1*), este tipo de pozos direccionales tienen un perfil con una sección vertical, una sección de construcción, una sección tangente y una sección de caída.

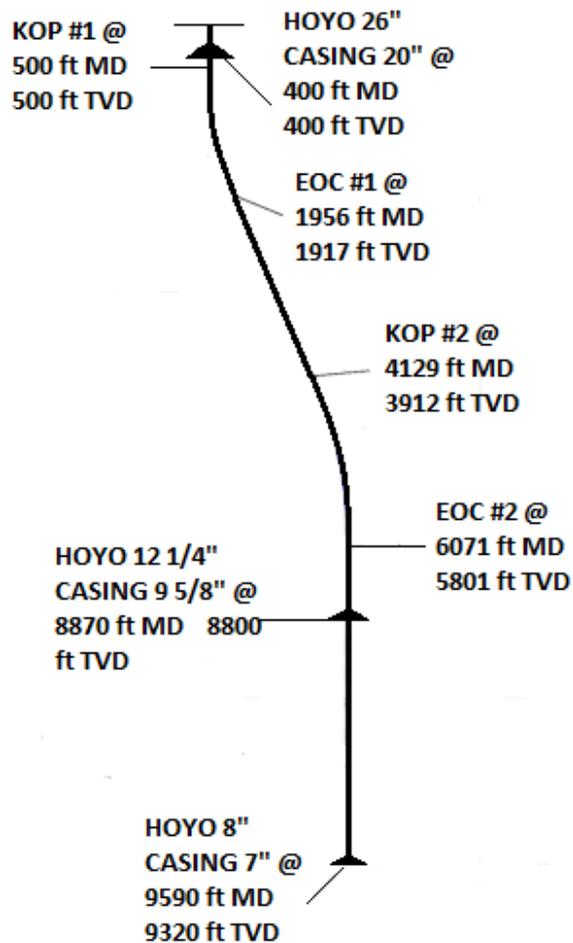


Figura 3.1 Pozo direccional tipo "S". Trayectoria planificada
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.1.1.1 Análisis de trayectoria planificada

Sección vertical:

Se perfora manteniendo verticalidad hasta realizar el KOP (Kick of Point) a 500 ft, en la sección de 12 1/4".

Sección de construcción:

Se empieza construyendo la curva con DLS (Dog Leg Severity) de $1.6^{\circ}/100\text{ft}$ a los 500ft de KOP en dirección 131.73° hasta alcanzar 1956 ft MD.

Sección tangencial:

La sección de mantenimiento de ángulo comienza a 1956ft MD, con 23.3° de inclinación hasta los 4129 ft MD.

Sección de caída:

A la profundidad de 4129 ft MD se inicia el drop (Tasa de caída de ángulo) con un DLS de $1.2^{\circ}/100\text{ft}$ hasta 6071.18 ft MD alcanzando los 0 grados, que se mantienen por el resto de la trayectoria. De allí se mantiene la verticalidad del pozo hasta la profundidad de 9590 ft MD donde se encuentra el objetivo.

3.2 Programa de BHA

El ensamblaje de fondo es la sección de la sarta de perforación que agrupa el conjunto de herramientas entre la broca y la tubería de perforación. Tiene como funciones proporcionar el peso requerido sobre la broca para maximizar la tasa de penetración, producir hoyos en calibre, evitar la formación de desviaciones tipo pata de perros, minimizar vibraciones y pegamentos de la sarta de perforación.

3.2.1 Hoyo de 26"

En esta sección se utiliza una configuración para el ensamblaje de fondo (figura 3.2) con el que se perfora desde la superficie hasta los 400ft donde es asentado el casing conductor.

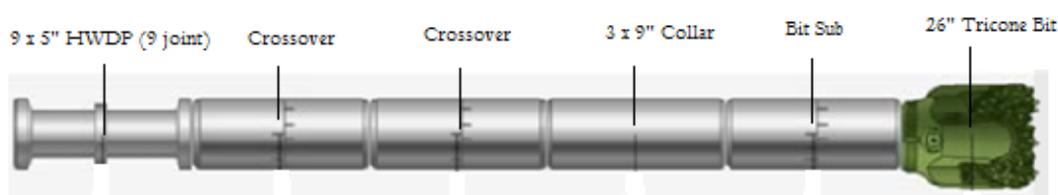


Figura 3.2 Configuración de BHA # 1 para Hoyo de 26"

Fuente: Catálogo Schlumberger

Diámetro de 26"			
Descripción del componente	OD (in)	ID (in)	Longitud (ft)
Tricónica	26	3.75	2.6
Bit Sub	8	2.813	2.28
3x9" Collar	9	2.813	30
Crossover	7.75	2.88	2.26
Crossover	7.75	2.88	2.26
21x5" HWDP	6.5	3	273.23

Tabla VII Descripción de BHA # 1 para Hoyo de 26"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.2.2 Hoyo de 12 1/4"

En esta sección se utiliza el primer ensamblaje de fondo tal como se muestra en la *figura 3.3* para perforar desde los 400ft manteniendo verticalidad hasta los 500ft MD donde comienza el KOP con un DLS de 1.6°/100ft, en una dirección constante a 131.73° en Azimuth hasta alcanzar 23.3° de inclinación a 1956 ft MD y de allí se mantiene la tangente hasta los 4100 ft MD donde se saca para cambio de configuración de BHA.

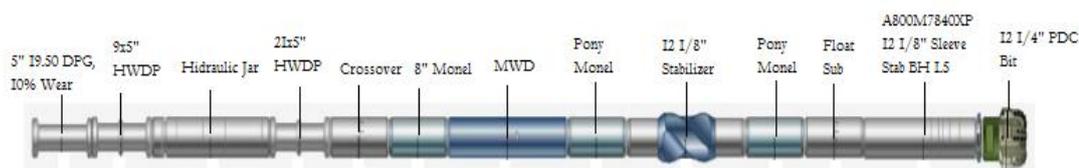


Figura 3.3 Configuración de BHA # 2 para Hoyo de 12-1/4"

Fuente: Catálogo Schlumberger

Se coloca un estabilizador de 12 1/8" en la camisa del motor y un estabilizador de 12 1/8" en la parte de arriba para la reducción de vibraciones. El BH del motor será de 1.5 deg. El flujo con el que recomienda trabajar es de 850 gpm para evitar lavar prematuramente la sección de los bearings lo cual puede llevar a introducir vibraciones laterales incontrolables.

El martillo del BHA tiene conexiones de 4 1/2" eliminando los crossover que se debieran colocar arriba y abajo del martillo.

Diámetro de 12 1/4"			
Descripción del componente	OD (in)	ID (in)	Longitud (ft)
PDC	12.25	3.25	1.28
Motor	8.25	6.25	27.60
Float Sub	8.25	2.78	2.72
Pony Monel	8	2.81	8
12 1/8" Estabilizador	8.375	2.625	7.73
Pony Monel	8	2.81	8
MWD	8.25	5.9	27.65
8" Monel	8	2.81	29.72
Crossover	7.75	2.88	3.16
21x5" HWDP	5	3	651
Hydraulic Jar	6.5	2.75	32.01
9x5" HWDP	5	3	279
5" 19.50 DPG, 10% Wear	4.928	4.276	0.01

Tabla VIII Descripción de BHA # 2 para Hoyo de 12-1/4"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

La segunda configuración de BHA (*figura 3.4*) para esta sección está diseñado para perforar desde los 4100ft MD donde comienza el DROP con un DLS de 1.2°/100ft, con una dirección constante a 131.73° en Azimuth hasta alcanzar 0° de inclinación a 6071 ft MD y de allí mantener vertical hasta punto de casing de 9 5/8" a 6870ft MD.

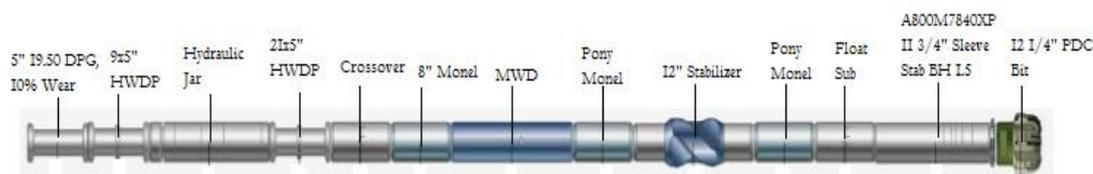


Figura 3.4 Descripción de BHA # 3 para Hoyo de 12-1/4"
Fuente: Catálogo Schlumberger

Diámetro de 12 ¼"			
Descripción del componente	OD (in)	ID (in)	Longitud (ft)
PDC	12.25	3.25	1.28
Motor	8.25	6.25	27.60
Float Sub	8.25	2.78	2.72
Pony Monel	8	2.81	15
12" Estabilizador	8.375	2.625	7.73
Pony Monel	8	2.81	8
MWD	8.25	5.9	27.65
8" Monel	8	2.81	29.72
Crossover	7.75	2.88	3.16
21x5" HWDP	5	3	651
Hydraulic Jar	6.5	2.75	32.01
9x5" HWDP	5	3	279
5" 19.50 DPG, 10% Wear	4.928	4.276	0.01

Tabla IX Descripción de BHA #3 para Hoyo de 12-1/4"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

Se coloca un estabilizador de 11 ¾" en la camisa del motor, un pony y un estabilizador de 12" en la parte de arriba para precautelar reducción de vibraciones. El BH del motor es de 1.5 deg. El flujo a trabajar recomendado es de 820 gpm para evitar lavar prematuramente la sección de los bearings lo cual puede llevar a introducir vibraciones laterales incontrolables.

El martillo del BHA tiene conexiones de 4 ½" eliminando los crossover que se debieran colocar arriba y abajo del martillo.

3.2.3 Hoyo de 8 1/2"

En esta sección se utiliza la primera configuración de BHA tal como se muestra en la *figura 3.5* el mismo que está diseñado para perforar desde los 6870ft manteniendo verticalidad hasta los 8400ft MD donde se saca para cambio de broca.

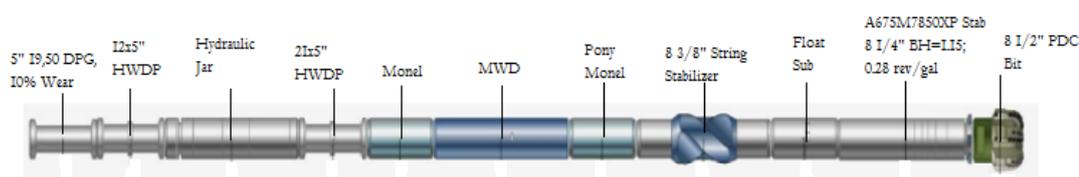


Figura 3.5 Configuración de BHA # 4 para Hoyo de 8-1/2"

Fuente: Catálogo Schlumberger

Se colocara un estabilizador de 8 1/4" en la camisa del motor y un estabilizador de 8 3/8" en la parte de arriba para la reducción de vibraciones. Esta configuración de BH del motor es de 1.15 deg. El flujo a trabajar recomendado es de 550 gpm para evitar lavar prematuramente la sección de los bearings lo cual puede llevar a introducir vibraciones laterales incontrolables.

El martillo del BHA tiene conexiones de 4 1/2" eliminando los crossover que se debieran colocar arriba y abajo del martillo.

Diámetro de 8 1/2"			
Descripción del componente	OD (in)	ID (in)	Longitud (ft)
PDC	8.5	2.25	0.60
Motor	6.75	5.5	27
Float Sub	6.75	2.75	2.67
8 1/4" EcoScope Stabilizer	6.75	2	25.20
MWD	6.75	5.125	27.71
Monel	6.56	2.81	31.58
21x5" HWDP	5	3	642.98
Hydraulic Jar	6.5	2.75	32.42
9x5" HWDP	5	3	273.75
5" 19.50 DPG, 10% Wear	4.928	4.276	0.00

Tabla X Descripción de BHA # 4 para Hoyo de 8-1/2"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

El segundo ensamblaje de fondo (*figura 3.6*) para esta sección está diseñado para perforar desde los 8400ft manteniendo verticalidad hasta los 9590ft MD.

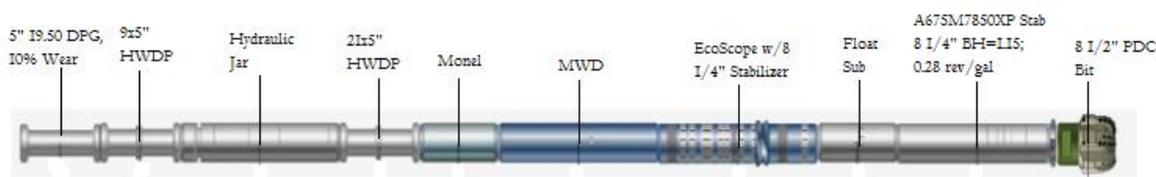


Figura 3.6 Configuración de BHA # 5 para Hoyo de 8-1/2"

Fuente: Catálogo Schlumberger

El BH del motor es de 1.15 deg. El flujo recomendado es de 400 gpm para evitar vibraciones laterales incontrolables. El martillo del BHA tiene conexiones de 4 1/2" eliminando los crossover que se debieran colocar arriba y abajo del martillo.

Diámetro de 8 1/2"			
Descripción del componente	OD (in)	ID (in)	Longitud (ft)
PDC	8.5	2.25	0.60
Motor	6.75	5.5	27
Float Sub	6.75	2.75	2.67
8 3/8" String Stabilizer	6.59	2.84	5.76
Pony Monel	6.56	2.81	8
MWD	6.75	5.125	27.71
Monel	6.56	2.81	31.58
21x5" HWDP	5	3	642.98
Hydraulic Jar	6.5	2.75	32.42
12x5" HWDP	5	3	365
5" 19.50 DPG, 10% Wear	4.928	4.276	0.00

*Tabla XI Descripción de BHA # 5 para Hoyo de 8-1/2"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto*

3.3 Programa de Brocas

La correcta selección de las brocas dependerá de la litología del pozo donde se perfora, en base a esto se escogen los parámetros y características que debe cumplir la broca para perforar cada sección.

3.3.1 Hoyo de 26"

Se utilizó una broca Tricónica del tipo 26" XR de conos de dientes largos con código IADC: 115, para los primeros 400 ft con la finalidad de perforar los piedrones superficiales y mantener la sección vertical hasta punto de casing.

La broca usó un BHA convencional rotario para atravesar este intervalo, se incrementó rpm del top drive de forma paulatina desde los 60-70 rpm hasta llegar a valores entre 100-120 rpm; para aplicar peso sobre la broca, teniendo especial cuidado con la litología que se atraviesa (especialmente con las arcillas); para evitar fracturar la formación se debe mantener bajos los valores del flujo de los fluidos.



Figura 3.7 Broca Tricónica para perforar hasta 400 ft de profundidad

Fuente: Catálogo Schlumberger

3.3.2 Hoyo de 12 ¼"

En esta sección el diseño de la broca permite mejorar el rendimiento de la misma en la formación arcillosa de Terciario hasta el intervalo de lutitas de la formación Orteguaza @ 6071 ft a pocos pies de arcilla de Tiyuyacu hasta el punto de casing @ 6870, en este intervalo se puede hacer las reducciones de tiempo.

Se usó una broca PDC del tipo 12 1/4" MDi519MSHBPX, es una broca de cuerpo de matriz, de 5 aletas y cortadores de 19 mm. Esta broca tiene amplia experiencia en el Oriente Ecuatoriano en especial en las formaciones arcillosas como el Terciario y Tena.

La broca posee 31 cortadores de 19mm y 4 cortadores de 16mm en el cono, 7 boquillas intercambiables, 2 aletas primarias, un área de desalajo de cortes de 45.8 in², un calibre de 2 in.

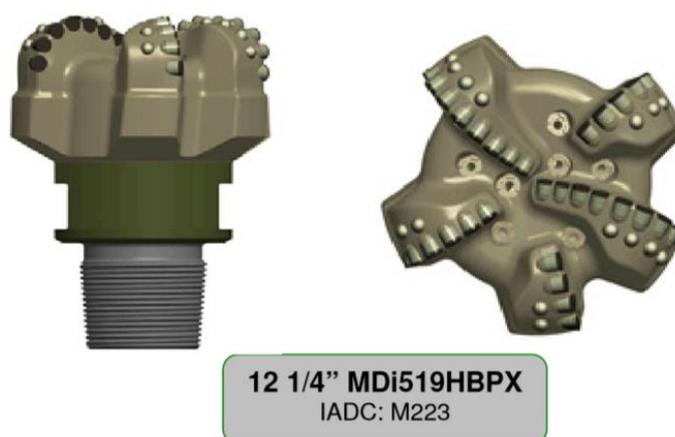


Figura 3.8 Broca PDC para perforar desde 400 ft hasta 6870 ft de profundidad

Fuente: Catálogo Schlumberger

3.3.3 Hoyo de 8 1/2"

Para esta sección el objetivo es atravesar la formación Tiyuyacu (intervalos conglomeráticos) con broca del tipo PDC 8 1/2" MSi519HUPX y mantener la

verticalidad del pozo durante toda la sección hasta llegar al objetivo @ 9590", es una broca de 5 aletas de cuerpo de matriz que posee 34 cortadores de 19mm y 10 cortadores de respaldo de 16mm ubicados en las aletas secundarias, broca provista de 7 boquillas intercambiables y una longitud de calibre de 2.0 pulgadas con un área de desalajo de cortes de 12.48.



8 1/2" MSi519HUPX
IADC: M223

Figura 3.9 Broca PDC para perforar desde 400 ft hasta 9590 ft de profundidad

Fuente: Catálogo Schlumberger

3.4 Programa de Hidráulica

La hidráulica incrementa la tasa de penetración derivada de la efectiva limpieza del fondo del pozo, disminuyendo la erosión de las paredes del agujero, sin provocar derrumbes, además controla las pérdidas de presión en el sistema de circulación para evitar variaciones de presión en el agujero y controlar la presión disponible en la broca.

3.4.1 Hoyo de 12 ¼" BHA # 2

Esta hidráulica está calculada desde los 400 ft hasta los 4100 ft MD de la sección de 12 ¼", con flujo 850gpm, MW: 9.8 ppg, mostrando una pérdida total en el sistema de 3068 psi, 663 psi de caída en la broca y HSI de 2.6 hp/in².

3.4.2 Hoyo de 12 ¼" BHA # 3

Esta hidráulica está calculada desde los 4100 ft hasta 6870 ft MD de la sección 12 ¼", flujo 820 gpm, MW: 10.2 ppg, mostrando una pérdida total en el sistema de 3353 psi, 642 psi de caída en la broca y HSI de 2.5 hp/in².

3.4.3 Hoyo de 8 ½" BHA # 4

Esta hidráulica está calculada desde los 6870 ft hasta 8400 ft MD de la sección 8 ½", flujo 550 gpm, MW: 10.1 ppg, mostrando una pérdida total en el sistema de 2677 psi, 554 psi de caída en la broca y HSI de 3.0 hp/in².

3.4.4 Hoyo de 8 ½" BHA # 5

Esta hidráulica está calculada desde los 8400 ft hasta 9590 ft MD de la sección 8 ½", flujo 400 gpm, MW: 10.4 ppg, mostrando una pérdida total en el sistema de 1813 psi, 302 psi de caída en la broca y HSI de 1.2 hp/in².

3.5 Programa de Fluidos de perforación

Los fluidos de perforación cumplen un papel fundamental en la perforación de un pozo ya que sus propiedades ayudan a mantener la estabilidad del pozo, controlar la presión de las formaciones atravesadas, remueven los recortes, transmiten la energía hidráulica a las herramientas de fondo, lubrican y enfrían la broca.

El diseño del programa de fluidos de perforación depende principalmente de las características y profundidades de las formaciones que vayamos a atravesar, así como también la desviación y el tipo de pozo a perforar. La densidad, viscosidad, son propiedades fundamentales del fluido que nos ayudaran a evitar posibles problemas en el transcurso de la perforación como embolamiento de la broca, hinchamiento de arcillas, perdidas de fluido, estabilización de lutitas.

3.5.1 Hoyo de 26”

La perforación de esta sección tuvo una profundidad de 400ft con una inclinación de 0° grados en la cual encontramos sedimentos cuaternarios (Conglomerados – “Boulder”, Arenas y Arcillas), se utilizó un lodo NATIVO (Bentonita Extendida) con una densidad inicial de 8.4 lb/gal, aumentando gradualmente el peso a 9.0 lb/gal hasta alcanzar la profundidad deseada.

Propiedades recomendadas:

Densidad (lpg)	8.4 – 9.0	Ph	7.0 – 8.0
Viscosidad (sec/qt)	35 – 48	Filtrado API (cm ³ /30min)	N/C
PV (cP)	Tan baja posible	Solidos de Perf. (% por Vol.)	10% máx.
YP (lb/100 ft ²)	8 – 22	MBT (lb/bbl equiva)	N/C

Tabla XII Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 26"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

Estimación de volúmenes requeridos:

Diámetro: 26 Pulg TD:400ft	263 bbl
15% Washout	26 bbl
Volumen en superficie	150 bbl
Dilución y Consumo (1 bbl/bbl)	116 bbl
TOTAL	555 bbl
	Consumo 1.39 bbl/ft

Tabla XIII Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 26"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.5.2 Hoyo de 12 ¼"

Esta sección inició a partir de los 400ft hasta alcanzar una profundidad de 6870ft donde fue asentado el revestidor de 9-5/8", se atravesó las formaciones

Chalcana, Ortegua y Tiyuyacu donde se encontró Conglomerados, Arenas y Arcillas. Se inició la perforación con un ángulo de 0°, aumentando hasta 23° y disminuyendo hasta 0° como se indica en el plan direccional.

El fluido que se utilizó fue el mismo de la sección anterior con una pre mezcla de agua fresca con dispersantes, se obtuvo un lodo NATIVO DISPERSO con una densidad inicial de 8.5 lb/gal que aumentara hasta 10.2 lb/gal a los 6870ft. En base a la información de pozos perforados en la cercanía se puede encontrar material arcilloso de alta plasticidad lo que puede provocar embolamiento de la broca y taponar la línea de flujo, esto se puede evitar con una rápida dilución del fluido o incorporando dispersantes.

Propiedades recomendadas:

Densidad (lpg)	8.5 – 10.2	Ph	7.0 – 8.0
Viscosidad (sec/qt)	27 – 33	Filtrado API (cm ³ /30 min.)	N/C – 17
PV (cP)	Lo más baja posible	Sólidos de Perf. (% por Vol.)	15% max.
YP (lb/100 ft ²)	6 – 16	MBT (lb/bbl equiv.)	<35
Ca ⁺⁺ (mg/L)	< 200		

Tabla XIV Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 12-1/4"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

Estimación de volúmenes requeridos:

Diametro:12.25 pulg TD:6870 ft		1001 bbl
15% washout		150 bbl
Volumen en superficie		500 bbl
Dilución y consumo (1 bbl/bbl)		1267 bbl
TOTAL		2919 bbl
		Consumo 0,42 bbl/ft

*Tabla XV Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 12-1/4"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto*

3.5.3 Hoyo de 8 1/2"

La última sección del pozo fue perforada con un lodo KLA-SHIELD NT, iniciando la perforación a 6870 ft con una densidad de 9.7 lpg, aumentando hasta 10.6 lpg a una profundidad de 9590. Las formaciones a atravesar son Tiyuyacu, Tena, Napo y Hollín, las cuales están compuestas principalmente por arcillas hidratables, ilitas y esmecticas, se perforó con un sistema bajo contenido de solidos el cual inhibirá las arcillas presentes en la formación Tiyuyacu y Tena. Al entrar en la formación Napo se realizó un refrescamiento

del lodo con el objetivo de evitar daño de formación en potenciales arenas productoras “M1”, “U”, “T”.

Propiedades recomendadas:

Densidad (lpg)	9.7 – 10.6	pH	9.5 – 10.5
Viscosidad (sec/qt)	36 - 55	Filtrado API (cm ³ /30 min)	14 < 6
PV (cP)	11 – 24	Solidos de Perf. (% by Vol.)	9% Máx.
YP (lb/100pie ²)	12 – 32	MBT (lb/bbl equiv.)	25.0 – 10,5
Ca ⁺⁺ (mg/L)	200 Máx.		

Tabla XVI Propiedades del fluido de perforación para Hoyo de 8-1/2"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

Estimación de volúmenes requeridos:

Diámetro: 8.681 Pulg TD:6870ft	503 bbl
Broca 8-1/2 pulg ; desde 6780ft hasta 9590ft	191 bbl
15% Washout	29 bbl
Volumen en superficie	500 bbl
Dilución y consumo (1 bbl/bbl)	220 bbl
TOTAL	1442 bbl
	Consumo: 0.15 bbl

Tabla XVII Volúmenes estimados de fluido de perforación para Hoyo de 8-1/2"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.5.4 Curva de densidades del lodo de perforación

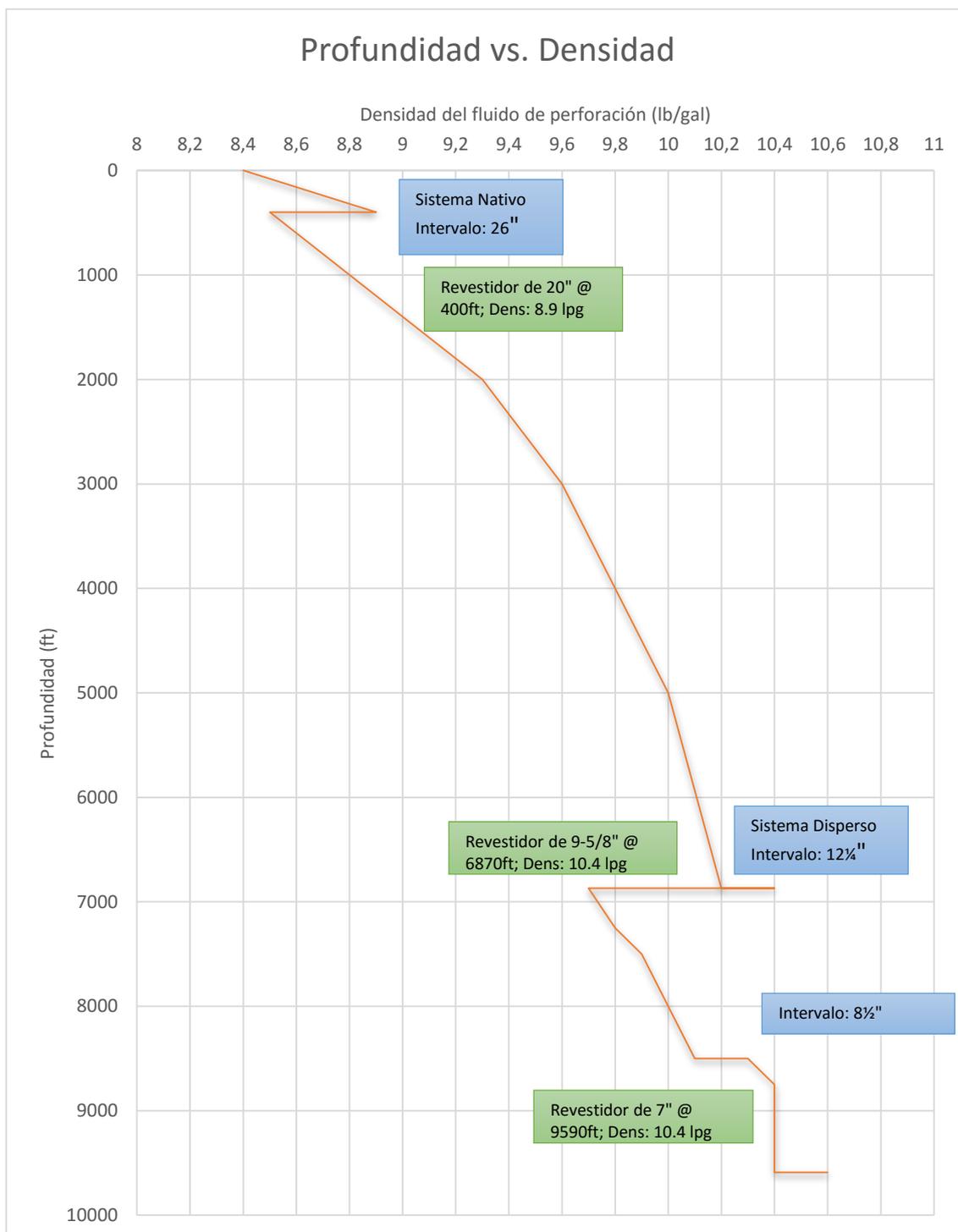


Gráfico 3.1 Curva de densidades del Fluido de Perforación del pozo ESPOL
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.6 Programa de Casing

El proceso de revestimiento de un pozo de petróleo es de suma importancia, dado que una incorrecta selección y fallas en los cálculos traerían drásticas consecuencias; tales como incremento de los costos, riesgo de pérdida del pozo, riesgo hacia el ambiente y a la seguridad. El óptimo diseño de un revestidor asegura una selección adecuada y la economía del proyecto, así como su duración y capacidad de resistencia a las condiciones a encontrar durante la perforación y vida útil del pozo.

Las funciones elementales de la tubería de revestimiento son:

- a) Prevenir la contaminación de zonas perforadas entre sí
- b) Aislar el agua de las formaciones productoras
- c) Proveer los medios para controlar presiones del pozos
- d) Servir de conducto para los fluidos producidos
- e) Permitir la instalación de equipos para el levantamiento artificial de los fluidos productivos

Para un diseño de dos sartas los revestidores se los clasifica como conductor, superficial y de producción.

3.6.1 Factores de Diseño

En el diseño del revestimiento intervienen parámetros como: Conocimiento de los esfuerzos a los que son sometidas las tuberías y las diferentes características del tipo de tubería a usarse.

Al introducir una tubería en el hueco, estará sometida de manera simultánea a tres esfuerzos principales, los cuales son:

3.6.1.1 Esfuerzo de colapso

Originado por la presión de la columna hidrostática ejercida hacia la tubería.

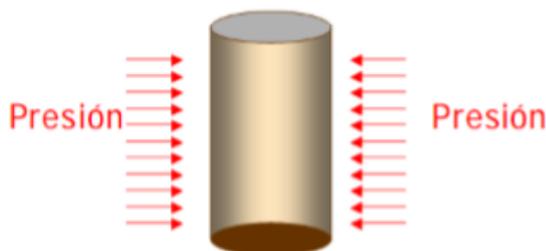


Figura 3.10 Presión de colapso en una tubería

Fuente: Tesina: Parámetros de Diseño para Perforar y Revestir un Pozo Horizontal. Correa, Jara & Quicaliquin. (2010).

3.6.1.1.1 Determinación del Esfuerzo de Colapso

Para determinar el esfuerzo al colapso el procedimiento es el siguiente:

1) Calcular la Presión Hidrostática (P_H), psi

$$P_{H_{zapata}} = 0.052 * \rho_{lodo} * D(TVD)_{zapata}$$

Ecuación 3.1 Presión Hidrostática

Donde:

- $D(TVD)_{zapata}$ = Profundidad de Zapata Guía, ft
- ρ_{lodo} = Densidad del fluido de perforación, (lb/gal)

2) Calcular Presión de Colapso (P_c), psi

$$P_{c(zapata)} = P_{H_{zapata}} * FS_{colapso}$$

Ecuación 3.2 Presión de Colapso

Donde:

- $FS_{colapso}$ = Factor de Seguridad al Colapso

3.6.1.2 Esfuerzo al Estallido

Originada por la presión del fluido en el interior de la tubería.



Figura 3.11 Presión de estallido en la tubería

Fuente: Tesina: Parámetros de Diseño para Perforar y Revestir un Pozo Horizontal. Correa, Jara & Quicaliquin. (2010).

3.6.1.2.1 Determinación del Esfuerzo de Estallido

Para determinar el esfuerzo al estallido el procedimiento es el siguiente:

- 1) Calcular la Presión Formación (P_f), psi

$$P_f = G_f * D(TVD)_{\text{asentamiento}}$$

Ecuación 3.3 Presión de Formación

Donde:

- $D(TVD)_{\text{asentamiento}}$ = Profundidad vertical al punto de asentamiento, ft
- G_f = Gradiente de formación, (psi/ft)

2) Calcular Presión de Estallido (P_e), psi

$$P_e = P_f * FS_{\text{estallido}}$$

Ecuación 3.4 Presión de Estallido

Donde:

- $FS_{\text{estallido}}$ = Factor de Seguridad al Estallido

3.6.1.3 Esfuerzo de Tensión

Originado por el peso que ejerce la sarta.

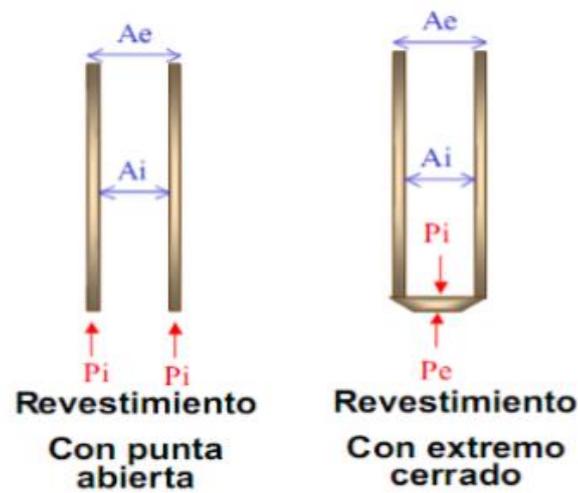


Figura 3.12 Esfuerzo de tensión en la tubería

Fuente: Tesina: Parámetros de Diseño para Perforar y Revestir un Pozo Horizontal. Correa, Jara & Quicaliquin. (2010).

3.6.1.3.1 Determinación de la Resistencia Permissible a la Tensión

Para determinar la resistencia a la tensión el procedimiento es el siguiente:

- 1) Determinar la Distancia del Punto Neutro a Superficie (DPN), ft

$$DPN = MD * [1 - (0.015 * \rho_{lodo})]$$

Ecuación 3.5 Distancia del Punto Neutro

Donde:

- MD = Longitud de tubería a utilizarse, ft
- ρ_{lodo} = Densidad del fluido de perforación, (lb/gal)

2) Determinar el peso total del revestimiento (W_t), lb

$$W_t = DPN * \text{Peso nominal}$$

Ecuación 3.6 Peso total de la sarta

Donde:

- Peso nominal= Peso específico de la tubería, (lb/ft)

3) Calcular resistencia permisible a la Tensión (R_a), psi

$$R_a = \frac{R_t}{FS_{tensión}}$$

Ecuación 3.7 Resistencia permisible a la Tensión

Si $W_t < R_a \rightarrow$ casing resiste al análisis por tensión

3.6.1.4 Factor de seguridad

El factor de seguridad varía según el área y el criterio del diseñador. El rango de valores usados en la industria como factores de diseño para que el mismo sea seguro es:

- Para tensión de 1.6 a 2.0
- Para colapso 1.1 a 1.33
- Para estallido de 1.0 a 1.25

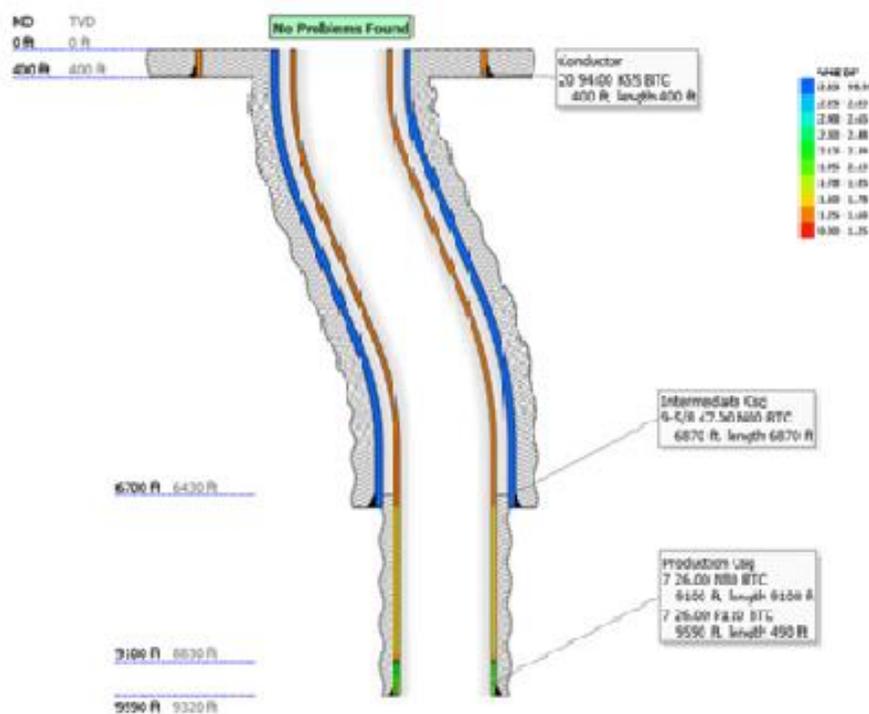


Figura 3.13 Factores de Diseño
Fuente: Correlación con pozos vecinos

3.6.2 Análisis de la tubería de revestimiento en pozo dos secciones

3.6.2.1 Hoyo de 26" @ casing de 20"

Datos:

Profundidad de asentamiento = 400 ft TVD / 400 ft MD

Diámetro externo = 20 in

Densidad del lodo de perforación = 8.5 lb/gal

Factores de seguridad:

FS _{colapso}	1.10
FS _{estallido}	1.25
FS _{tensión}	1.89

3.6.2.1.1 Cálculo de Presión al Colapso

- *Presión Hidrostática*

$$P_H = 0.052 * \rho_{\text{lodo}} * D(\text{TVD})$$

$$P_H = (0.052) * (8.5 \text{ lb/gal}) * (400 \text{ ft})$$

$$P_H = 176.8 \text{ psi}$$

- *Presión de Colapso*

$$P_c = P_H * FS_{\text{colapso}}$$

$$P_c = (176.8 \text{ psi}) * (1.10)$$

$$P_c = 194.48 \text{ psi}$$

3.6.2.1.2 Cálculo de Presión al Estallido

- *Presión de formación*

$$P_f = G_f * D(\text{TVD})$$

$$P_f = (0.48 \text{ psi/ft}) * (400 \text{ ft})$$

$$P_f = 192 \text{ psi}$$

- *Presión de Estallido*

$$P_e = P_f * FS_{\text{estallido}}$$

$$P_e = (192 \text{ psi}) * (1.25)$$

$$P_e = 240 \text{ psi}$$

3.6.2.1.3 Cálculo de la Distancia del Punto Neutro (DPN)

$$DPN = MD * [1 - (0.015 * \rho_{lodo})]$$

$$DPN = (400 \text{ ft}) * [1 - (0.015 * 8.5 \text{ lb/gal})]$$

$$DPN = 349 \text{ ft}$$

3.6.2.1.4 Selección del casing

Se selecciona casing de 20", K-55, 94 lb/ft

OD (in)	ID (in)	R _c (psi)	R _e (psi)	R _t (x 1000 lbs)
20"	19.124	520	2110	1479

Tabla XVIII Selección de casing en Hoyo de 26"
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.6.2.1.5 Cálculo de la Resistencia Permisible a la Tensión

- *Peso total de la sarta*

$$W_t = DPN * \text{Peso nominal}$$

$$W_t = (349 \text{ ft}) * (94 \text{ lb/ft})$$

$$W_t = 32806 \text{ lb}$$

- *Resistencia Permisible a la Tensión*

$$R_a = \frac{R_t}{FS_{\text{tensión}}}$$

$$R_a = \frac{1479000 \text{ lbs}}{1.89}$$

$$R_a = 782539.68 \text{ lbs}$$

$W_t < R_a \rightarrow$ *casing resiste al análisis por tensión*

3.6.2.1.6 Cálculo del número de tubos

Para el cálculo del número de tubos a utilizar se considera una longitud de 30

$$ft / \text{tubos}$$

$$\# \text{ Tubos} = \frac{MD}{\text{longitud } f^t / \text{tubo}}$$

$$\# \text{ Tubos} = \frac{400 \text{ } f^t}{30 \text{ } f^t / \text{tubos}}$$

$$\# \text{ Tubos} = 13.3 \approx 14 \text{ tubos}$$

3.6.2.2 Hoyo de 12 1/4" @ casing de 9 5/8"

Datos:

Profundidad de asentamiento = 6600 ft TVD / 6870 ft MD

Diámetro externo = 9.625 in

Densidad del lodo de perforación = 9.9 lb/gal

Factores de seguridad:

FS _{colapso}	1.10
FS _{estallido}	1.25
FS _{tensión}	1.89

3.6.2.2.1 Cálculo de Presión al Colapso

- *Presión Hidrostática*

$$P_H = 0.052 * \rho_{\text{lodo}} * D(\text{TVD})$$

$$P_H = (0.052) * (9.9 \text{ lb/gal}) * (6600 \text{ ft})$$

$$P_H = 3397.68 \text{ psi}$$

- *Presión de Colapso*

$$P_c = P_H * FS_{\text{colapso}}$$

$$P_c = (3397.68 \text{ psi}) * (1.10)$$

$$P_c = 3737.45 \text{ psi}$$

3.6.2.2.2 Cálculo de Presión al Estallido

- *Presión de formación*

$$P_f = G_f * D(\text{TVD})$$

$$P_f = (0.48 \text{ psi/ft}) * (6600 \text{ ft})$$

$$P_f = 3168 \text{ psi}$$

- *Presión de Estallido*

$$P_e = P_f * FS_{\text{estallido}}$$

$$P_e = (3168 \text{ psi}) * (1.25)$$

$$P_e = 3960 \text{ psi}$$

3.6.2.2.3 Cálculo de la Distancia del Punto Neutro (DPN)

$$DPN = MD * [1 - (0.015 * \rho_{lodo})]$$

$$DPN = (6870 \text{ ft}) * [1 - (0.015 * 9.9 \text{ lb/gal})]$$

$$DPN = 5849.81 \text{ ft}$$

3.6.2.2.4 Selección del casing

Se selecciona casing de 9 5/8", N-80, 47 lb/ft

OD (in)	ID (in)	R _c (psi)	R _e (psi)	R _t (x 1000 lbs)
9 5/8"	8.681	4760	6870	1161

Tabla XIX Selección de casing en Hoyo de 12-1/4"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.6.2.2.5 Cálculo de la Resistencia Permisible a la Tensión

- *Peso total de la sarta*

$$W_t = DPN * \text{Peso nominal}$$

$$W_t = (5849.81 \text{ } \text{ft}) * (47 \text{ lb/ft})$$

$$W_t = 274940.84 \text{ lb}$$

- Resistencia Permisible a la Tensión

$$R_a = \frac{R_t}{FS_{\text{tensión}}}$$

$$R_a = \frac{1161000 \text{ lbs}}{1.89}$$

$$R_a = 614285.71 \text{ lbs}$$

$W_t < R_a \rightarrow$ casing resiste al análisis por tensión

3.6.2.2.6 Cálculo del número de tubos

Para el cálculo del número de tubos a utilizar se considera una longitud de 30

f^t / tubos

$$\# \text{ Tubos} = \frac{MD}{\text{longitud } f^t / \text{tubo}}$$

$$\# \text{ Tubos} = \frac{6870 \text{ } \text{ft}}{30 \text{ } \text{ft} / \text{tubos}}$$

Tubos = 229 *tubos*

3.6.2.3 Hoyo de 8 ½" @ casing de 7"

Datos:

Profundidad de asentamiento = 9320 ft TVD / 9590 ft MD

Diámetro externo = 7 in

Densidad del lodo de perforación = 10.4 lb/gal

Factores de seguridad:

FS _{colapso}	1.10
FS _{estallido}	1.25
FS _{tensión}	1.89

3.6.2.3.1 Cálculo de Presión al Colapso

- *Presión Hidrostática*

$$P_H = 0.052 * \rho_{lodo} * D(TVD)$$

$$P_H = (0.052) * (10.4 \text{ lb/gal}) * (9320 \text{ ft})$$

$$P_H = 5040.26 \text{ psi}$$

- *Presión de Colapso*

$$P_c = P_H * FS_{\text{colapso}}$$

$$P_c = (5040.26 \text{ psi}) * (1.10)$$

$$P_c = 5544.28 \text{ psi}$$

3.6.2.3.2 Cálculo de Presión al Estallido

- *Presión de formación*

$$P_f = G_f * D(\text{TVD})$$

$$P_f = (0.48 \text{ psi/ft}) * (9320 \text{ ft})$$

$$P_f = 4473.6 \text{ psi}$$

- *Presión de Estallido*

$$P_e = P_f * FS_{\text{estallido}}$$

$$P_e = (4473.6 \text{ psi}) * (1.25)$$

$$P_e = 5592 \text{ psi}$$

3.6.2.3.3 Cálculo de la Distancia del Punto Neutro (DPN)

$$DPN = MD * [1 - (0.015 * \rho_{lodo})]$$

$$DPN = (9590 \text{ ft}) * [1 - (0.015 * 10.4 \text{ lb/gal})]$$

$$DPN = 8093,96 \text{ ft}$$

3.6.2.3.4 Selección del casing

Se selecciona casing de 7", P-110, 26 lb/ft

OD (in)	ID (in)	R _c (psi)	R _e (psi)	R _t (x 1000 lbs)
7"	6.276	6230	9960	898

Tabla XX Selección de casing en Hoyo de 8-1/2"

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.6.2.3.5 Cálculo de la Resistencia Permisible a la Tensión

- *Peso total de la sarta*

$$W_t = DPN * \text{Peso nominal}$$

$$W_t = (8093,96 \text{ ft}) * (26 \text{ lb/ft})$$

$$W_t = 210442,96 \text{ lb}$$

- Resistencia Permisible a la Tensión

$$R_a = \frac{R_t}{FS_{tensión}}$$

$$R_a = \frac{898000 \text{ lbs}}{1.89}$$

$$R_a = 475132.28 \text{ lbs}$$

$W_t < R_a \rightarrow$ casing resiste al análisis por tensión

3.6.2.3.6 Cálculo del número de tubos

Para el cálculo del número de tubos a utilizar se considera una longitud de 30

$ft/tubos$

$$\# \text{ Tubos} = \frac{MD}{longitud \text{ } ft/tubo}$$

$$\# \text{ Tubos} = \frac{9599 \text{ } ft}{30 \text{ } ft/tubos}$$

$$\# \text{ Tubos} = 319.97 \approx 320 \text{ tubos}$$

3.6.2.4 Hoyo de 8 1/2" @ casing de 7" (8829 ft TVD / 9100 ft MD)

Datos:

Profundidad de asentamiento = 8829 ft TVD / 9100 ft MD

Diámetro externo = 7 in

Densidad del lodo de perforación = 10.4 lb/gal

Factores de seguridad:

FS _{colapso}	1.10
FS _{estallido}	1.25
FS _{tensión}	1.89

3.6.2.4.1 Cálculo de Presión al Colapso @ 8829 ft TVD / 9100 ft MD

- *Presión Hidrostática*

$$P_H = 0.052 * \rho_{lodo} * D(TVD)$$

$$P_H = (0.052) * (10.4 \text{ lb/gal}) * (8829 \text{ ft})$$

$$P_H = 4774.72 \text{ psi}$$

- *Presión de Colapso*

$$P_c = P_H * FS_{colapso}$$

$$P_c = (4774.72 \text{ psi}) * (1.10)$$

$$P_c = 5252.20 \text{ psi}$$

3.6.2.4.2 Cálculo de Presión al Estallido @ 8829 ft TVD / 9100 ft

MD

- *Presión de formación*

$$P_f = G_f * D(TVD)$$

$$P_f = (0.48 \text{ psi/ft}) * (8829 \text{ ft})$$

$$P_f = 4237.92 \text{ psi}$$

- *Presión de Estallido*

$$P_e = P_f * FS_{estallido}$$

$$P_e = (4237.92 \text{ psi}) * (1.25)$$

$$P_e = 5297.4 \text{ psi}$$

3.6.2.4.3 Cálculo de la Distancia del Punto Neutro (DPN) @ 8829 ft TVD / 9100 ft MD

$$DPN = MD * [1 - (0.015 * \rho_{lodo})]$$

$$DPN = (9100 \text{ ft}) * \left[1 - \left(0.015 * 10.4 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \right) \right]$$

$$DPN = 7680.4 \text{ ft}$$

3.6.2.4.4 Selección del casing

Se selecciona casing de 7", N-80, 26 lb/ft

OD (in)	ID (in)	R _c (psi)	R _e (psi)	R _t (x 1000 lbs)
7"	6276	5410	7240	667

Tabla XXI Selección de casing en Hoyo de 8-1/2" @ 8829 ft TVD / 9590 ft MD

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.6.2.4.5 Cálculo de la Resistencia Permisible a la Tensión @

8829 ft TVD / 9100 ft MD

- *Peso total de la sarta*

$$W_t = DPN * \text{Peso nominal}$$

$$W_t = (7680.4 \text{ } f\text{t}) * (26 \text{ lb}/f\text{t})$$

$$W_t = 199690.4 \text{ lb}$$

- *Resistencia Permisible a la Tensión*

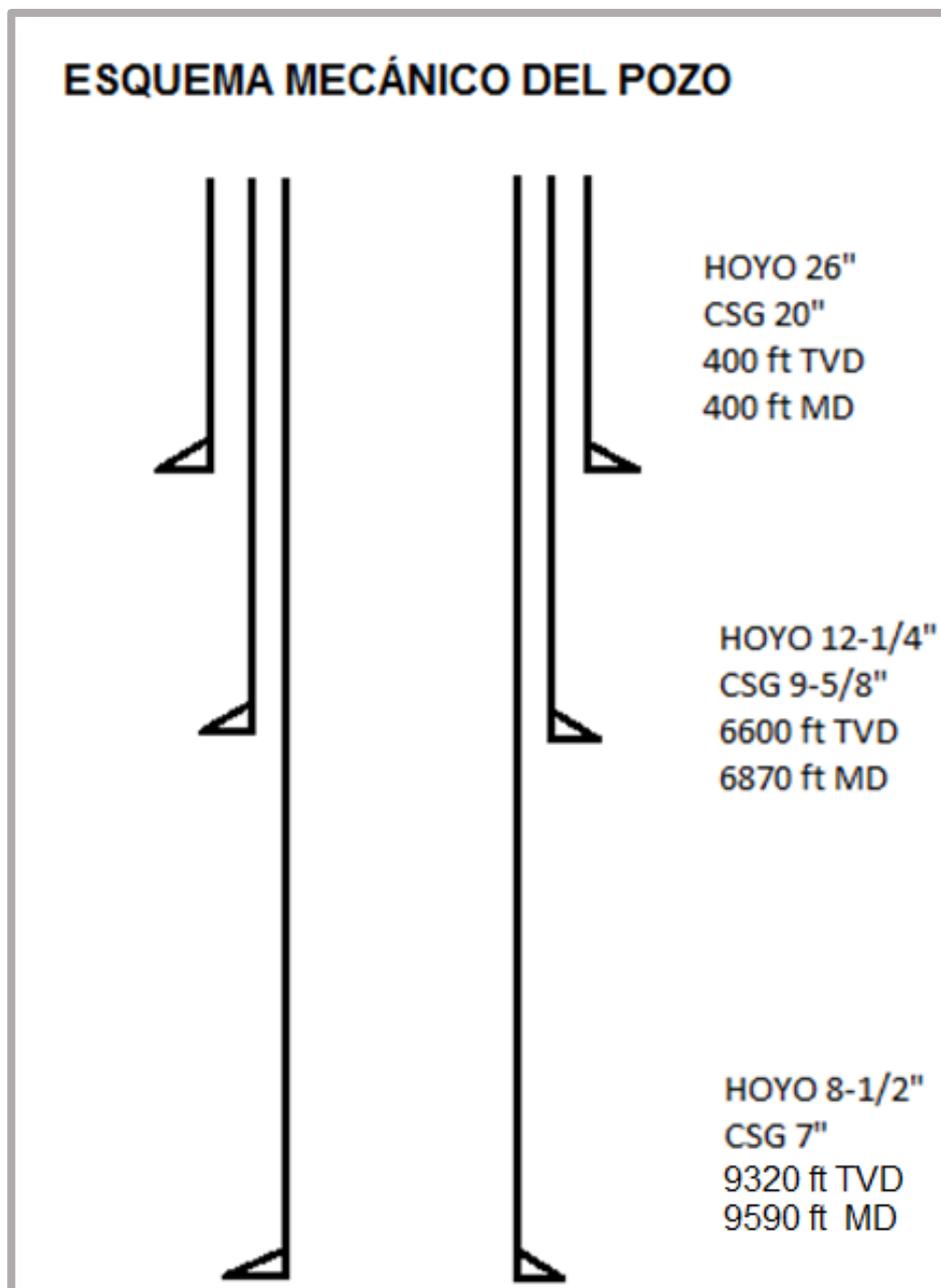
$$R_a = \frac{R_t}{FS_{tensión}}$$

$$R_a = \frac{667000 \text{ lbs}}{1.89}$$

$$R_a = 352910.053 \text{ lbs}$$

$W_t < R_a \rightarrow$ *casing resiste al análisis por tensión*

3.6.3 Diagrama mecánico del Pozo



*Gráficos 3.2 Esquema mecánico del pozo
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto*

3.7 Programa de cementación

La cementación constituye un papel fundamental en la vida del pozo, esta operación consiste en elaborar una lechada de cemento con características específicas (previamente diseñada por especialistas), bombearla al pozo a través del revestimiento y colocarla en el espacio anular formado entre la pared del pozo y el casing.

Una buena cementación protege y asegura el casing en el hoyo, ayuda a tener una buena completación, repara fugas en el casing, protege al hoyo del colapso, aísla zonas de agua y evita la contaminación de las mismas.

3.7.1 Hoyo de 26" @ casing de 20"

Esta sección se perforó con una broca de 26" hasta 400ft que es el punto de asentamiento del casing de 20", el diámetro de hoyo estimado fue de 28.53 in, considerando un 50% de exceso sobre el volumen anular dado por el diámetro de la broca y el casing. Se usaron 3 centralizadores, uno cada tres tubos y colocados en la mitad de las juntas.

Se utilizó 10 bbl de espaciador con una densidad de 11.0 lpg, se bombeo 148 bbl de una sola lechada de cemento tipo "A", densidad de 15.2 lpg y una

secuencias de bombeo de 3 bpm hasta obtener 5 bbl de lechada pura en superficie.

3.7.2 Hoyo de 12 ¼" @ casing de 9 5/8"

Esta sección fue perforada con una broca de 12 ¼ hasta los 6870 ft donde se asentó el casing de 9-5/8, el diámetro estimado del hoyo fue de 12.71 in, considerando un 20% de exceso sobre el volumen dado entre el diámetro de la broca y el casing.

Se utilizó 60 bbl de espaciador con una densidad de 12.2 lpg y una lechada de cemento tipo "G"; 392 bbl con densidad de 13.5 lpg y 40 bbl de densidad 15.8 lpg bombeados a una secuencia de 5 bpm.

3.7.3 Hoyo de 8 ½" @ casing de 7"

El diámetro promedio de esta sección se obtuvo de registros de caliper con LWD y se consideró un exceso del 50% por lo que el diámetro promedio obtenido fue de 9,673 in. Se utilizaron 28 centralizadores, enfocados principalmente en las arenas de interés. Se utilizó 30 bbl de lavador químico con carácter ácido y densidad 8.54 lpg, 30 bbl de píldora de silicato con una densidad de 9.58 lpg como lavador químico para mejorar la adherencia del cemento y 70 bbl de espaciador con una densidad de 12.4 lpg. Se bombearon

122 bbl de cemento tipo "G"; 72 bbl de lechada Lead con densidad 15.8 lpg y 50 bbl de Lechada Tail con densidad de 17.0 lpg a una secuencia de 5 bpm.

3.8 Análisis del tiempo real de perforación del pozo ESPOL

SECCIÓN	TIEMPO PRODUCTIVO (DÍAS)	TIEMPO NO PRODUCTIVO (DÍAS)	TOTAL (DÍAS)
26"	2.5	0	2.5
12 ¼"	8.94	0.31	9.25
8 ½"	9.41	0.09	9.5
TOTAL	20.85	0.40	21.25

Tabla XXII Análisis de Tiempo productivo y Tiempo No Productivo

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.8.1 Sección de 26" @ Casing 20"

En la curva de profundidad vs. Tiempo (*grafico 3.2*) no se hayan inconvenientes en esta sección y todo fluye con normalidad, el equipo se tarda 1 día en perforar hasta 400 ft, 1.5 días en bajar el casing conductor de 20" y cementar, tomándose 2.5 días en terminar esta sección (*ver tabla 3.16*) cuando

el tiempo estimado era de aproximadamente 2.8 días, es decir, que hubo un ahorro de tiempo de 0.3 días (7.2 horas).

3.8.2 Sección de 12 ¼" @ Casing 9 5/8"

En esta sección se presenta una falla del sistema eléctrico del taladro y daño en el Stand Pipe realizando un viaje de calibración adicional el cual duró 7 horas, tiempo que se recupera con el ahorro de horas de la sección ya perforada (hoyo de 26"), esto ocurre en el cuarto día de perforación a 2400 ft de profundidad aproximadamente. Luego del NPT (tiempo no productivo) se mantiene la perforación como se había previsto para esta sección hasta 6870 ft de profundidad. Esta sección tardó 3.82 días en ser perforada, 0.73 días en realizar el viaje a superficie para cambio de BHA y 4.70 días en bajar casing de 9 5/8" y cementar, tomándose 9.25 días en total (*ver tabla 3.16*) cumpliendo con el tiempo estimado.

3.8.3 Sección de 8 ½" @ Casing 7"

En la sección de 8 ½" se presenta un NPT de 2 horas por influjo a 8600 ft, se perfora hasta 9590 ft durante 3.96 días, 1.04 días en realizar el viaje a superficie para cambio de BHA y 4.50 días en bajar casing de 7" y cementar,

tomándose 9.50 días en total sobrepasando el tiempo estimado por 0.25 días
(ver *tabla3.16*).

3.8.4 Tiempo real de perforación del pozo ESPOL

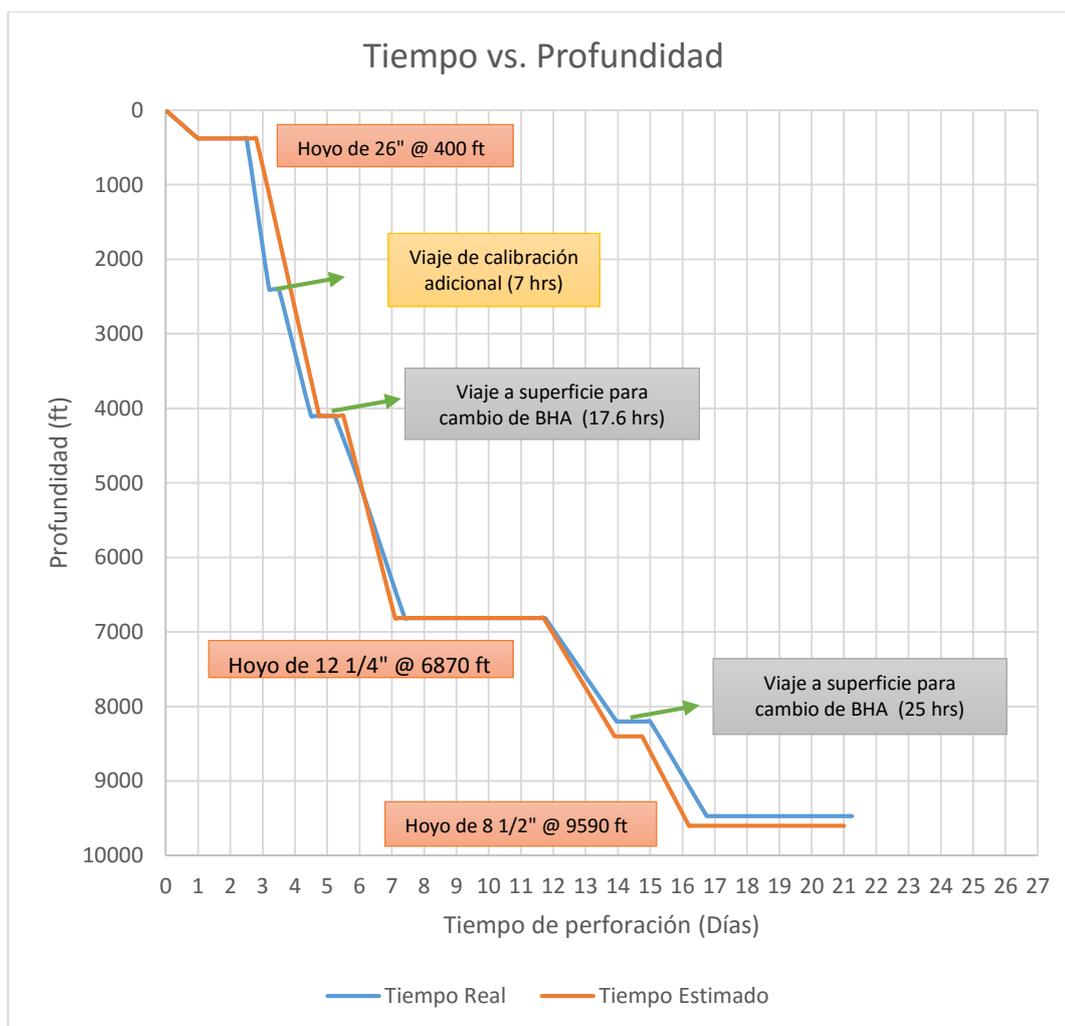


Gráfico 3.3 Curvas comparativas del tiempo (real y estimado) empleado en la perforación del pozo ESPOL de dos secciones

Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.8.5 Distribución del tiempo total de perforación



Gráfico 3.4 Distribución de tiempo total de perforación
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

3.9 Costos Operacionales

Para llevar a cabo la perforación un pozo se requiere el financiamiento de factores importantes tales como: Soporte técnico, profundidad e inclinación del pozo, litología, brocas, tuberías y equipos; de las cuales dependerán los costos operacionales, la mayor parte de ellos dependen del tiempo en que se tarde un pozo en ser perforado.

3.9.1 Análisis de Costos Operacionales

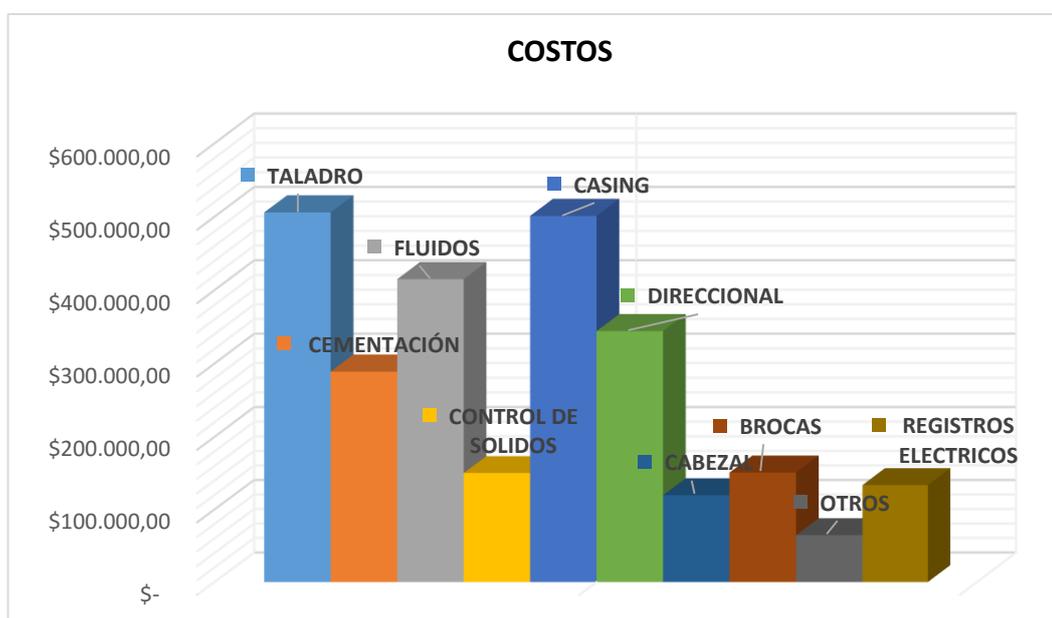
DESCRIPCIÓN	TOTAL \$ DEL POZO ESPOL
Taladro Perforación	\$506.000,00
Servicios de Direccional	\$344.237,14
Servicios de Fluidos	\$415.000,00
Servicio de Control de Sólidos	\$150.300,00
Adquisición, inspección y corrida de Tubería de Revestimiento	\$501.204,54
Servicios de Cementación	\$289.076,47
Cabezal	\$119.791,76
Brocas	\$151.000,00
Registros Eléctricos	\$133.613,94
Otros (Catering, Combustible)	\$64.695,69
TOTAL	\$2.674.919,54

*Tabla XXIII Descripción de Costos Operacionales del pozo ESPOL
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto*

El tiempo de perforación está directamente relacionado con los costos operacionales del pozo, por lo tanto en cada uno de los factores presentados

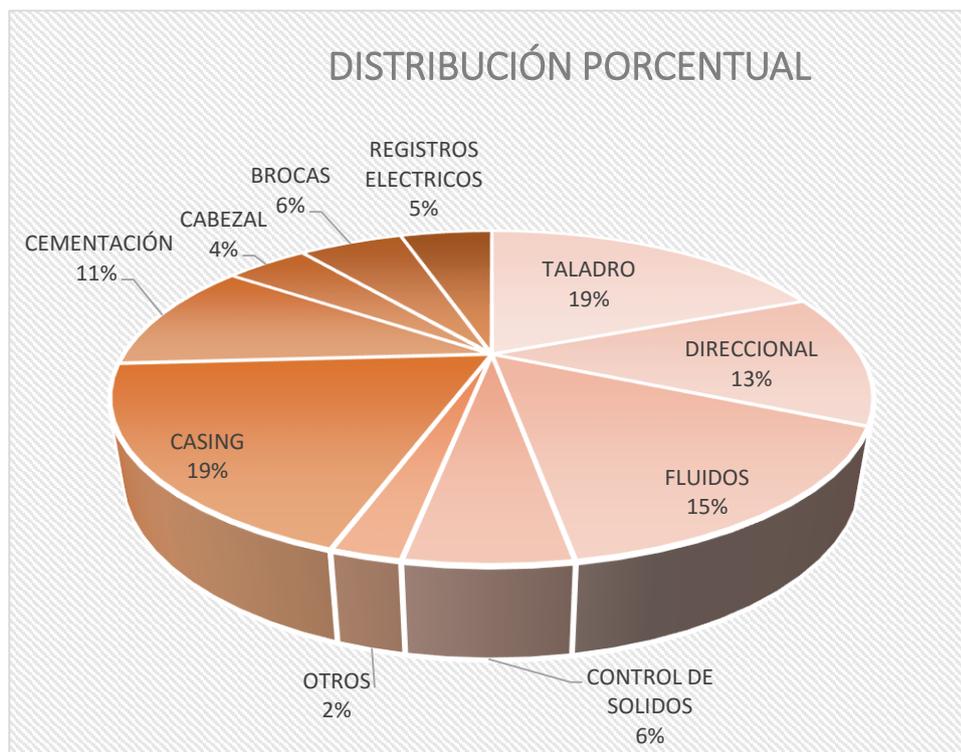
en la tabla 3.17 se ha incluido el acumulado de los costos diarios de los servicios prestados, el costo de brocas, tuberías de revestimiento, entre otros.

3.8.2 Distribución de Costos Operacionales



Gráficos 3.5 Distribución de costos operacionales del pozo ESPOL
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto

En el gráfico 3.4 se muestra los factores que mayor incidencia tienen en el costo final de este proyecto. Uno de los factores más importantes que son las tuberías de revestimiento representa el 19% del total de los costos operacionales (gráfico 3.5) ya que al ser un diseño de dos secciones los costos disminuyen.



*Gráficos 3.6 Distribución de costos porcentuales
Elaborado por: Adán Fernández y Michelle Bazurto*

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. El pozo tipo "S" ESPOL, se perforó en base a la trayectoria planificada siguiendo el plan direccional manteniendo las tasas óptimas de perforación y alcanzando sin problemas operacionales el objetivo a una profundidad de 9320@TVD y 9590@MD.
2. Las brocas utilizadas en el pozo ESPOL cumplieron con el programa establecido y tuvieron un desempeño óptimo en la perforación, éstas fueron seleccionadas en base

al análisis técnico de las mismas y tomando en cuenta su buen desempeño en pozos vecinos con similares características litológicas.

3. El lodo de perforación utilizado cumplió con los objetivos establecidos en el programa de perforación, se utilizó lodo NATIVO, NATIVO DISPERSO y KLA-SHIELD NT respectivamente variando su densidad desde 8.4 lpg hasta 10.6 lpg a los 9590 ft de profundidad.
4. El análisis de las tuberías de revestimiento de la sección de 9 5/8" y sección de 7" incluyendo la tubería conductora, demuestra que resisten perfectamente a los esfuerzos sometidos, especialmente a la presión de colapso la cual determina las propiedades de las tuberías a utilizar.
5. La curva de tiempo estimada comparada con la curva de tiempo real posee unas pequeñas variaciones a favor y otras en contra, en la sección de 26" se ganó aproximadamente 7 horas en la perforación, las mismas que fueron ocupadas para verificar el sistema eléctrico del taladro que fallo en el cuarto día de perforación generando un viaje de calibración adicional, al final de la perforación se observa que las curvas son similares y hay solo pequeñas variaciones que se encuentran en el rango de aceptación.
6. Al ser un diseño de dos secciones se disminuye el tiempo de perforación, por lo tanto disminuyen los costos diarios de operaciones, los mismos que dependerán de la profundidad del pozo, su litología entre otros factores.

7. Los costos operacionales planteados en este proyecto están basados en costos estimados y no muestran un valor real de cada operación mencionada, además se ha considerado solo las operaciones más comunes en la perforación y no se ha tomado en cuenta la completación del pozo ni costos adicionales por posibles problemas como operaciones de pesca o sidetrack.

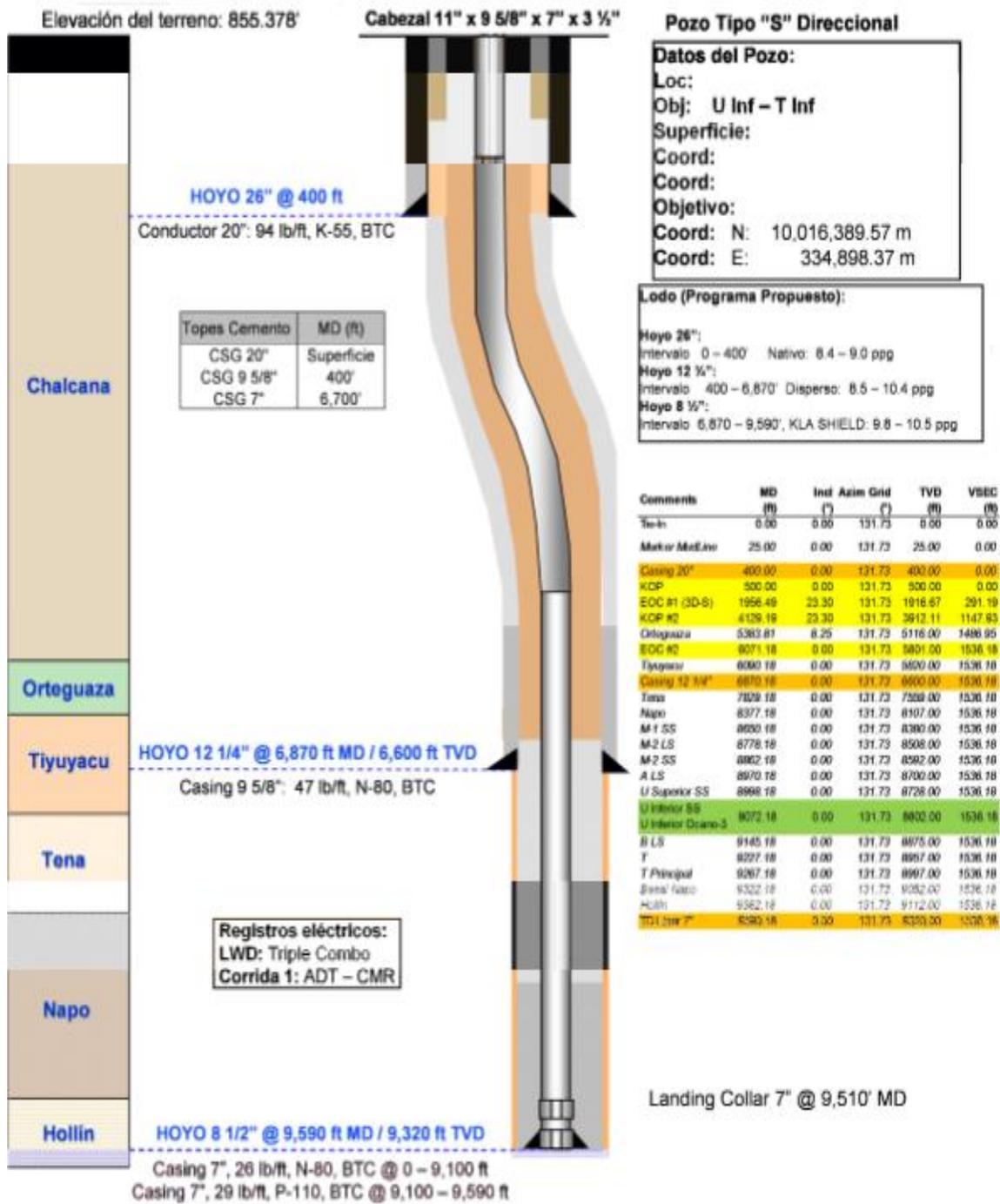
4.2 Recomendaciones

1. Es recomendable la utilización de por lo menos dos BHA para cada sección debido a que en el diseño de pozo direccional de dos secciones se corre el riesgo de derrumbes en la sección tangencial, es sumamente importante mantener limpieza de ripios durante la perforación.
2. Se recomienda realizar un reporte de interferencia magnética externa (monitoreo del survey de cada pozo cercano) en la que se espera saber si existe o no interferencia magnética provenientes de los pozos vecinos.
3. Se recomienda realizar un análisis más detallado de los costos operacionales tomando en cuenta los valores reales de las distintas operaciones de perforación brindadas por las compañías de servicio.

ANEXOS

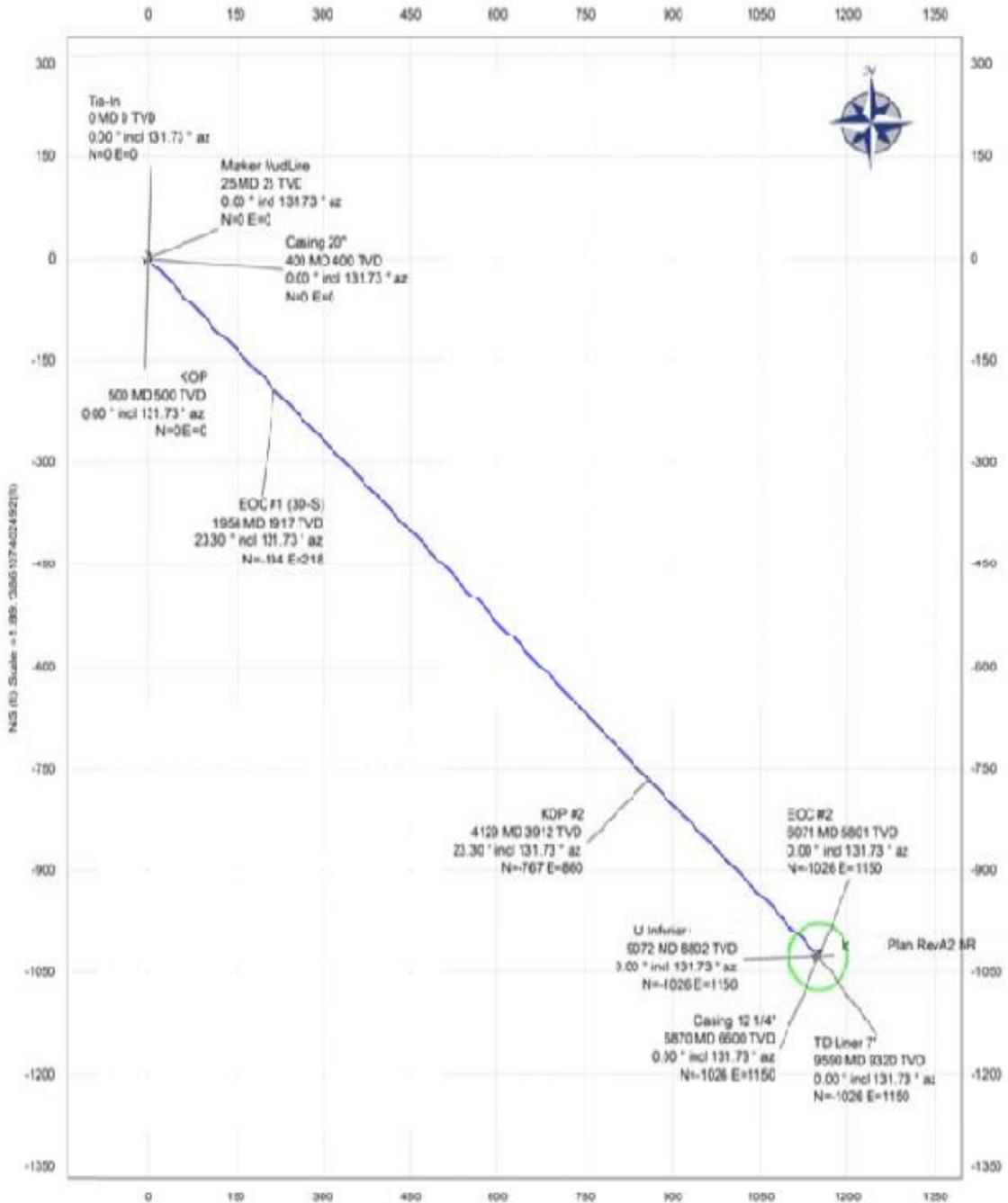
ANEXO I

ESQUEMA MECANICO DEL POZO "ESPOL"



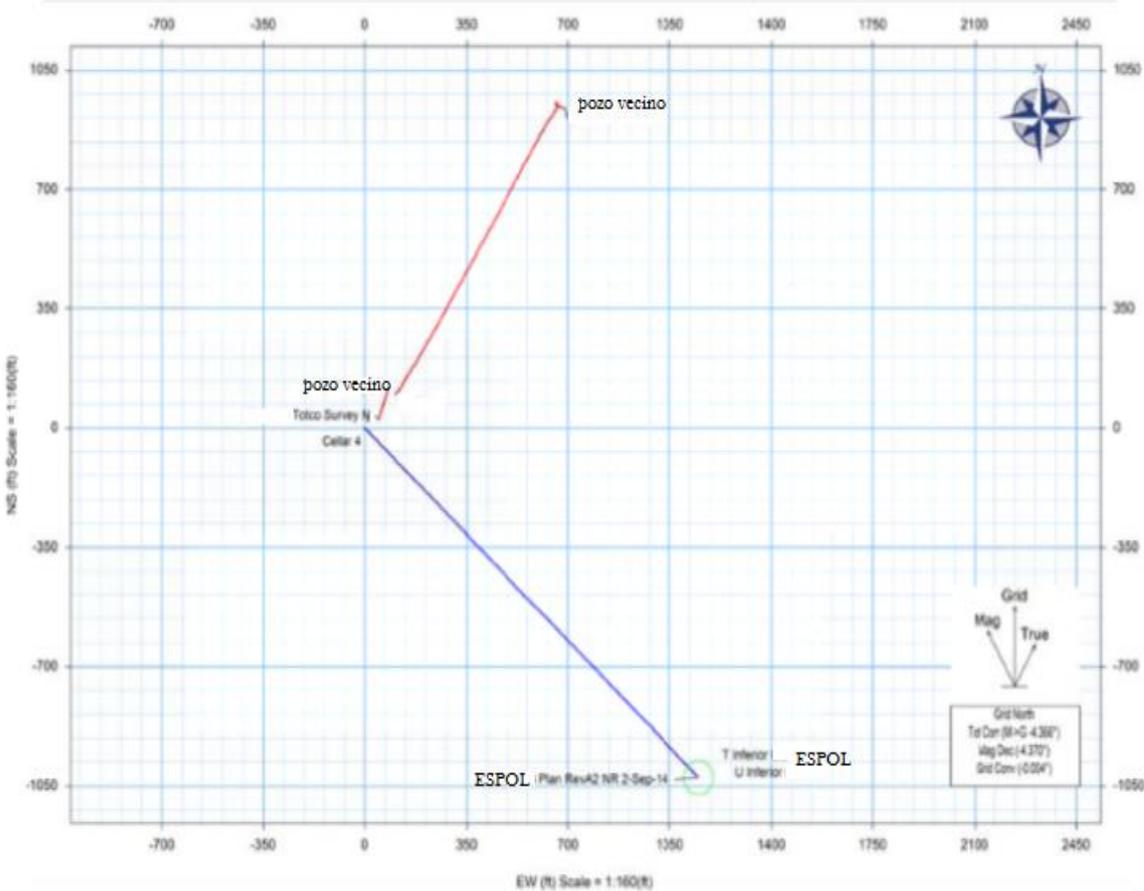
ANEXO II

VISTA EN PLANTA DE POZO DIRECCIONAL ESPOL



ANEXO III

PLOT DE POZOS VECINOS



ANEXO IV

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

OD (in)	Nominal Weight Threads and Coupling (lbm/ft)	Grade	Wall Thickness (in)	ID (in)	Threaded and Coupled			Extreme Line		Collapse Resistance (psi)	Pipe-Body Yield Strength (1000 lbf)
					Drift Diameter (in)	OD of Coupling (in)	OD of Coupling (in)	Drift Diameter (in)	OD of Box Powertight (in)		
7	23.00	N-80	0.317	6.366	6.241	7.656	7.375	6.151	7.390	3830	532
	26.00	N-80	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	5410	604
	29.00	N-80	0.408	6.184	6.059	7.656	7.375	6.059	7.390	7020	676
	32.00	N-80	0.453	6.094	5.959	7.656	7.375	5.969	7.390	8610	745
	35.00	N-80	0.498	6.004	5.879	7.656	7.375	5.879	7.530	10180	814
	38.00	N-80	0.540	5.920	5.795	7.656	7.375	5.795	7.530	11390	877
	26.00	P-110	0.362	6.276	6.151	7.656	7.375	6.151	7.390	6230	830
	29.00	P-110	0.408	6.184	6.059	7.656	7.375	6.059	7.390	8530	929
	32.00	P-110	0.453	6.094	5.969	7.656	7.375	5.969	7.390	10780	1025
	35.00	P-110	0.498	6.004	5.879	7.656	7.375	5.879	7.530	13020	1119
38.00	P-110	0.540	5.920	5.795	7.656	7.375	5.795	7.530	15140	1205	
9 5/8	40.00	N-80	0.395	8.835	8.679	10.625	10.125	8.599	10.100	3090	916
	43.50	N-80	0.435	8.755	8.599	10.625	10.125	8.599	10.100	3810	1005
	47.00	N-80	0.472	8.681	8.525	10.625	10.125	8.525	10.100	4760	1086
	53.50	N-80	0.545	8.535	8.379	10.625	10.125	8.379	10.100	6620	1244
20	94.00	K-55	0.438	19.124	18.936	21.000	-	-	-	520	1480
	106.50	K-55	0.500	19.000	18.812	21.000	-	-	-	770	1685
	133.00	K-55	0.635	18.730	18.542	21.000	-	-	-	1500	2125

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

Internal Pressure Resistance (psi)							Joint Strength (1000 lbf)							
Plain End or Extreme Line	Round Thread		Buttress Thread				Round Thread		Threaded and Coupled				Extreme Line	
			Special Clearance Coupling		Special Clearance Coupling				Regular Coupling	Regular Coupling Higher Grade	Special Clearance Coupling	Special Clearance Coupling Higher Grade		
	Same Grade	Higher Grade	Same Grade	Higher Grade	Short	Long	Standard Joint	Optional Joint						
	Short	Long												
6340	-	6.340	6.340	6.340	5.740	6.340	-	442	588	588	561	588	666	666
7240	-	7.240	7.240	7.240	5.740	7.240	-	519	667	667	561	667	675	675
8160	-	8.160	8.160	8.160	5.740	7.890	-	597	746	746	561	702	721	709
9060	-	9.060	8.460	9.060	5.740	7.890	-	672	823	823	561	702	801	709
9960	-	9.240	8.460	9.960	5.740	7.890	-	746	876	898	561	702	895	801
10800	-	9.240	8.460	10.800	5.740	7.890	-	814	876	968	561	702	965	801
9960	-	9.520	9.960	9.960	7.480	7.480	-	693	853	853	702	853	844	844
11220	-	9.520	11.220	11.220	7.480	7.480	-	797	955	955	702	898	902	886
9960	-	9.520	11.640	11.790	7.480	7.480	-	897	1.053	1.053	702	898	1.002	886
12460	-	9.520	11.640	11.790	7.480	7.480	-	996	1.096	1.150	702	898	1.118	1.002
14850	-	9.520	11.640	11.790	7.480	7.480	-	1.087	1.096	1.239	702	898	1.207	1.002
5750	-	5.750	5.750	5.750	5.140	5.140	-	737	979	979	979	979	1.027	1.027
6330	-	6.330	6.330	6.330	5.140	5.140	-	825	1.074	1.074	983	1.074	1.027	1.027
6870	-	6.870	6.870	6.870	5.140	5.140	-	905	1.161	1.161	983	1.161	1.086	1.086
7930	-	7.930	7.930	7.930	5.140	5.140	-	1.062	1.329	1.329	983	1.229	1.235	1.109
2110	2.110	2.110	2.110	2.110	-	-	824	955	1.479	1.479	-	-	-	-
2410	2.410	2.400	2.320	2.320	-	-	960	1.113	1.683	1.683	-	-	-	-
3060	2.400	2.400	2.320	2.320	-	-	1.253	1.453	2.123	2.123	-	-	-	-

BIBLIOGRAFÍA

1. Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Patrónleo*. Lima: Travaux de l'Institut Français d'Études Andines.
2. Correa Reyes, W. A., Jara Cepeda, C. A., & Quicaliquin Meléndez, A. A. (2010). *Parámetros de Diseño para Perforar y Revestir un Pozo Horizontal*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Tesina. ESPOL.
3. Duque, P. (2000). *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: UCP PRODEMINCA Proyecto MEM BIRF 3655EC.
4. Moran Palacios, W., & Lituma Mandujano, L. (2009). *Diseño de Revestimiento y Cementación de Pozos en el Oriente Ecuatoriano*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Tesina. ESPOL.
5. Villarreal Zambrano, B. L. (2012). *Cambio de diseño de tres a dos secciones para pozos petroleros con desplazamiento mayor a 4000 pies en el Bloque Tarapoa, operado por Andes Petroleum Ecuador LTD*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Tesis. ESPOL.