Diseño de Pozo Direccional ESG-3 y Selección del Taladro de Perforación

Eddie Norberto Abarca Moran[(1)], Carlos Alberto Santos Savala[(2)], Diego Omar Vasquez Munoz[(3)], Ing. Rafael Rodríguez[(4)] *
Facultad en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
nabarca@espol.edu.ec[(1)], ovasquez@espol.edu.ec[(2)], csantos@espol.edu.ec
* Director de Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniero en Petróleo,
rafael_rodriguez100@hotmail.com

Resumen

En el desarrollo de este trabajo presentaremos la información del diseño de un pozo direccional, para lo cual nos basamos en la coordenadas del objetivo que nos ha sido asignado y las del contrapozo que han sido dadas desde una plataforma; se tendrán muy en cuenta aspectos de anticolisión para la sección del contrapozo indicado, seguridades técnicas, costos mínimos, utilidades y seguridades ambientales y se realizara los cálculos necesarios para la selección del cellar.

La decisión sobre el tipo de perfil esta hecho en base al análisis de información de pozos de correlación, se elaboro un stick chart en el que consta la recopilación y ordenamiento de información obtenida como son: la localización de los pozos, tipo de perfil de los pozos, el tipo de broca, BHAs, características del lodo de perforación, tipos de casing, junto con los diferentes problemas que se han producido en la operación de los mismos, lo cual nos ayuda a poder realizar un mejor diseño del pozo.

Con lo que finalmente se realizara una selección optima del numero de sartas de revestimiento, los ensamblajes a utilizar de acuerdo al perfil del pozo, la estimación de los parámetros del lodo de perforación, el cálculo de las hidráulicas, diseño de las lechadas de cemento, estimación de costos y tiempo y poder recomendar el equipo de perforación, según el diseño requerido.

Palabras Claves: *Cellar, objetivo primario, taladro de perforación, diseño del pozo.*

Abstract

This paper shows the design process of a directional well, which is based on given coordinates of the target and the cellar that has been selected to drill this well. It will be very much in mind aspects of anti-collision for the section of the indicated cellar, technical security, minimal costs, utilities and environmental safety and carried out the calculations required for the selection of the cellar.

The decision on the type of profile is made based on the analysis of correlation of wells, a stick chart showing the collection and management information such as: the location of wells, type of profile of wells, the type of bits, BHA's, characteristics of the drilling mud, casing types, along with different problems that have occurred in the same operation, which helps us make a better design of the well.

Finally, it will be an optimum selection of the number of casings, assemblies used according to the profile of the well, the estimation of the parameters of drilling mud, hydraulic calculus, design of cementing, cost-time estimation and selection of the rig, according to the design required.

Key words: *Cellar, primary target, drill drilling, well desing.*

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es el diseño de la perforación direccional del pozo ESG-3 en el campo ESG del oriente ecuatoriano y su alcance es el diseño de la **trayectoria** de perforación, sin ahondar en muchas operaciones que se presentan durante la perforación de un pozo direccional, como son la utilización de registros eléctricos, hidráulica, cementación, los lodos de perforación, etc.
El estudio que realizaremos se va a centrar en el diseño de la trayectoria con el respaldo de la correlación de pozos aledaños al target de interés, ya que contamos con la información de 4 pozos: el ESG 5, ESG 6, ESG 7 y ESG 10, de la descripción de las brocas, casing, BHAs, las formaciones que han atravesado, y los diferentes problemas que hubieran tenido los mismos, con los informes de los departamentos de Yacimientos, Geológicos y de Perforación.
Para el diseño del pozo nos basamos en la coordenadas del objetivo que nos ha sido asignado y las del contrapozo que han sido dadas desde una plataforma; se tendrán muy en cuenta aspectos de anticolisión para la sección del contrapozo indicado y se realizara los cálculos necesarios para la selección del cellar, la decisión sobre el tipo de perfil, el numero de sartas de revestimiento, los ensamblajes a utilizar de acuerdo al perfil del pozo, la estimación de los parámetros del lodo de perforación, el cálculo de las hidráulicas, diseño de las lechadas de cemento, estimación de costos y tiempo. Todo en base al análisis de información de pozos de correlación.

2. Tecnología de la perforación rotaria

2.1. Conceptos básicos

La perforación direccional controlada es la ciencia que se ocupa de la desviación de un hoyo a lo largo de un rumbo planificado, hacia un objetivo subterráneo localizado a una distancia horizontal dada desde un punto directamente debajo del centro de la mesa rotatoria de un taladro de perforación.
Para planificar la perforación de un pozo direccional es indispensable tener los datos siguientes proporcionados generalmente por el departamento geológico de la compañía operadora:

- La posición inicial del pozo en la superficie
- La posición final del pozo en el subsuelo (objetivo)
- La profundidad vertical total con respecto al punto inicial, llamada TD (Total depth) o TVD (True Vertical Depth)
- El alcance horizontal total con respecto al punto inicial, llamado Hs (Horizontal section)

2.2. Equipos de perforación

Los equipos de perforación se emplean en tierra firme y en mar adentro. Algunos son grandes y otros son pequeños. En la industria del petróleo se clasifican los equipos de perforación en 6 tipos básicos.

- Land o taladro para tierra firme
- Jackup o equipo de perforación en el mar con bases retráctiles
- Platform o plataforma
- Submersible o sumergible
- Semisubmersible o semisumergible
- Drill Ship o barco de perforación

2.4. Componentes del taladro para una perforación direccional

La función principal del taladro es hacer hoyo, lo más económicamente posible. Hoyo cuya terminación representa un punto de drenaje eficaz del yacimiento
Los componentes del taladro son:

- Corona (Crown).
- Cable de Perforación (Drilling Line).
- Encuelladero (Monkeyboard).
- Bloque Viajero (Travelling Block).
- Top Drive.
- Torre ó Mástil (Mast).
- Tubería de Perforación (Drill Pipe).
- Casa del Perro (Dog House).
- Preventora Anular (Blowout Preventer).
- Tanque de Agua (Water Tank).
- Generadores (Engine Generators Sets).
- Tanques de Combustible (Fuel Tanks).
- Electric House.
- Bombas de Lodo (Mud Pumps).
- Tanques de Lodo (Mud Pits).
- Zaranda (Shale Shaker).
- Choke Manifold.
- Rampa de Tubería (Pipe Ramp)
- Malacate (Drawworks).
- Consola del Perforador (Drillers Console).
- Mesa Rotaria (Rotary Table).

2.5. Características del Taladro de perforación disponible

Tabla 1. Tabla de las características del Taladro

Características del ZJ70DB		
Profundidad	15000	Fts
Capacidad Cabria	1000	Mlbs

Potencia del Malacate	2000	Hp
Potencia de las Bombas	1600	Hp
Capacidad de Tanques	1989	Bbls
Múltiple de Estranguladores	5000	Psi

3. Analisis y desarrollo de informacion de pozos de correlacion.

El análisis de correlación que se va a realizar en este capítulo está basado en la información que se tiene de los pozos ESG-5, ESG-6, ESG-7, ESG-10 que se encuentran muy cerca al pozo que deseamos perforar ESG-3.

Con el objetivo que sirva como referencia, se elaboro un stick chart en el que consta información de estos pozos el cual está basado en la recopilación y ordenamiento de información obtenida como son: la localización de los pozos, tipo de perfil de los pozos, el tipo de broca, BHAs, características del lodo de perforación, tipos de casing, junto con los diferentes problemas que se han producido en la operación de los mismos, los cuales son de gran ayuda por que dejan una gran enseñanza para evitar los problemas que surgieron durante la perforación de estos.

4. Diseño del pozo Esg-03

El tema central de la tesis es el diseño es la trayectoria del pozo ESG-03 según las coordenadas obtenidas, y el análisis de la información obtenida en el capítulo 2 según los datos definidos por el departamento de geología y de yacimientos.

4.1 Información del plan direccional del pozo.

Para realizar el plan direccional del pozo ESG-3 se requieren los siguientes datos:

- Objetivo del pozo (coordenadas UTM)
- Datos de: elevación de la mesa rotaria, elevación del nivel del suelo, profundidad total.
- Información del petróleo a producir.

4.2. Selección del cellar de perforación

La selección de los cellars y los targets se la realizó, en base a los criterios de anticolisión.

Tabla 2. Tabla de cellars y targets seleccioados

	Cellar (ft)	Target (ft)
	9	3
E	994559,774	993918,72
N	32532142,72	32530131,44

4.3. Diseño del perfil direccional del pozo Esg-03

Para el diseño del perfil, analizamos el desplazamiento del pozo, También según el vertical sección que hemos obtenido de 2111,51 ft nos da para realizar un pozo en J ya que se ha demostrado que para secciones verticales mayores a 2000 ft se lo realiza en J y menores de 2000 ft en S; por lo que se procedió a realizar los cálculos con un diseño de forma de J.

Después de identificar qué tipo de perfil tendrá el pozo, proseguimos a hacer el cálculo direccional

Tabla 3. Tabla de cálculo direccional del pozo

KOP (ft) =	5000
Prof. Vertical Verdadera (ft)	10603,313
Sección Vertical (ft) =	2111,5099
BUR (º/100ft) =	2
Radio de Curvatura (ft) =	2864,79
Linea D2 (ft) =	2111,5099
Linea DC (ft) =	753,28002
V3 (ft) =	10603,313
V1 (ft) =	5000
Linea DO (ft) =	5603,3132
Angulo DOC (º) =	7,6566387
Linea OC (ft) =	5653,7199
Angulo BOC (º) =	59,555143
Angulo BOD (º) =	67,211782
Máximo angulo (º) =	22,788217
EOB TVD (ft) =	6109,6076
EOB MD (ft) =	6139,4108
EOB desplazamiento (ft) =D1	223,61741
TD MD al objetivo (ft) =	11013,580

Una vez calculado el perfil el siguiente paso es graficarlo para así tener una idea grafica de cómo será el pozo ESG-03.

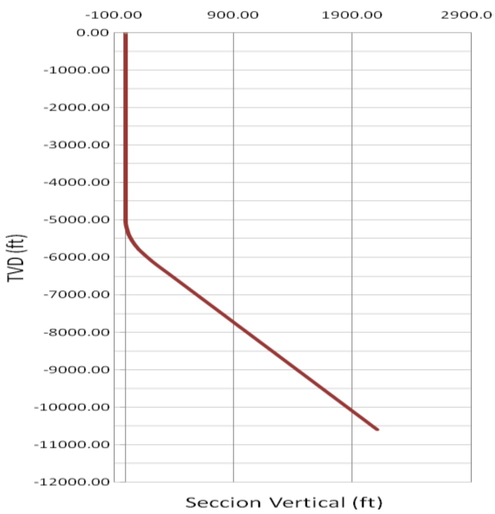

Grafico 1. Grafico del perfil direccional

4.4. Selección de las tuberías de revestimiento

Se define diseñarlo en base a tres secciones, basados en las prácticas recomendadas de diseño de la compañía Exxon considerando factores de seguridad, y calculando presiones de colapso y estallido así como la máxima tensión de la tubería.

Tabla 4. Tabla de los casings de las tres secciones

Weight	Grade	ID	OD	MD
55.5	N-80	9,76	10,75	6143
29	N-80	6,184	7	11663

4.5. Selección de los ensamblajes de perforación (BHA)

El objetivo del diseño de sartas es dar a conocer los diferentes tipos de sartas de perforación, programados durante las etapas de perforación y terminación de un pozo. A continuacion los ensamblajes que escogimos para el pozo ESG-03:

Tabla 5. Tabla del BHA del conductor

Hole	BHA info			
	Descripción	OD	ID	Length
26.0	Roller Cone Steel	26.000	3.000	2.050
	Bit sub	9.125	3.000	4.020
	2x 8" Spiral Drill collar	8.000	3.000	60.520
	Cross Over Sub	6.750	2.875	3.770
	1x 5" HWDP	5.000	3.000	30.730
	Total BHA			**101.09**

Tabla 6. Tabla del BHA del intermedio

Hole	BHA info			
	Description	OD	ID	Length
10,75	PDC	14,75	4	1,45
	Sperry Drill lobe ¾ - 6.0 stg	9,625	6,219	28,9
	Cross over Sub	7,938	2,938	3,65
	Integral blad Stabilizer	8,012	3,25	6,54
	8" HOC	7,688	3,313	31,1
	2x8" Spiral Drill Collar	8	2,81	60,88
	Cross over sub	7,813	2,75	3,48
	3 x HWDP	5	3	90,75
	Drilling Jar	6,563	2,5	32,27
	17 x HWDP	5	3	513,1
	Total BHA			**772,12**

Tabla 7. Tabla del BHA del productor

Hole	BHA info			
	Description	OD	ID	Length
7	8 1/2" PDC FM3651 (6x15)	8,5	3	0,75
	6-3/4" SperryDrill 6/7L 5stg (.78)	6,79	4,498	25,2
	8 1/8" Integral Blade Stabilizer	6,75	2,75	4,84
	6-3/4" DWD 650 System (HOC)	6,8	2,87	32,55
	3x 6 1/2""Spiral Drill collar	6,5	2,813	90,96
	3 x 5" HWDP	5	3	90,63
	6.5" Drilling Jar	6,5	2,75	32,37
	17 x 5"HWDP	5	3	510,98
	Total BHA			**788,28**

4.5. Diseño hidráulico del pozo

El objetivo principal de la optimización de la hidráulica es lograr un equilibrio entre el control del pozo, la limpieza del pozo, la presión de bombeo, la densidad equivalente de circulación (ECD) y la caída de presión a través de la barrena.

4.6. Diseño de las lechadas de cemento

El cálculo del volumen de cemento se realizó por secciones, en cada una de las mismas se bombearon dos tipos de lechadas, la primera llamada cola o tail y segunda llamada lechada líder o lead.

Tabla 8. Tabla de las lechadas de cemento por secciones

Primera sección (superficie)		
Volumen de lechada de tail =	49.55	Bbls
Volumen de lechada de lead =	567.59	Bbls
Segunda sección (producción)		
Volumen de lechada de tail =	39.79	Bbls

Volumen de lechada de lead =	148.27	Bbls

4.7. Estimación de tiempo y costos de operación

4.7.1. Estimación de Tiempo. Para la realización de la estimación de la curva de tiempo, seleccionamos un ROP de 90 para la sección de superficie de 10 3/4“ y un ROP de 25 para la sección de producción de 7” según el análisis y desarrollo de información de pozos de correlación. A continuacion un detalle de las operaciones y la duracion de cada una de ellas.

Tabla 9. Tabla de estimación del tiempo de las operaciones

OPERACIÓN	DIAS ACUMULADOS
Mover taladro 150 Km.	15
Perforando sección de superficie 10 ¾”	3,56
Cementacion de la sección 10 ¾”	2,29
Perforando sección de producción 7”	9,48
Cementacion de la seccion 7”	2,42

4.7.2. Estimación de costos. Los costos, son uno de los rubros más importantes a la hora de toma de decisiones, con los detalles del costo de operación de perforación.

Tabla 10. Tabla de estimación del costo de las operaciones

DESCRIPCION	TOTAL	%
Movilizacion del Taladro	450000,00	15,17
Operacion del Taladro	624900,00	21,07
Brocas	60000,00	2,02
1 Martillo	6849,00	0,23
Perforacion Direccional	342450,00	11,55
Lodo de Perforacion	132156,00	4,46
Rergistro de lodos	22830,00	0,77
Control de Solidos	165195,00	5,57
Wire Line	60000,00	2,02
Cuttins disposal	132156,00	4,46
Casing Superficie 10-3/4" & Ac.	368.580,00	12,43
Linner de Produccion 7" & Accesorios	268.550,00	9,06
Corrida de Casings	30.000,00	1,01
Colgador	60.000,00	2,02
Intermedio 10-3/4" Tail	792,80	0,03
Intermedio10-3/4" Lead	7.946,26	0,27
Produccion 7" Tail	1.191,61	0,04
Produccion 7" Lead	3.706,72	0,12
Company Man	31.245,00	1,05
Ingeniero de Lodos	22.830,00	0,77
Seguridad	18.000,00	0,61
Comunicaciones	3.124,50	0,11
Transporte	15.622,50	0,53
Combustible	104.150,00	3,51
Servicio de Comida	23.289,50	0,79
DNH	10.000,00	0,34
TOTAL	$2.965.564,88	100,00

5. Selección del taladro de perforación

Tabla 11. Tabla de necesidades del taladro para perforar el pozo

Necesidades de taladro		
Profundidad	11013,58	Fts
Capacidad cabria	2289,56	Mlbs
Potencia del malacate	1200	Hp
Potencia de las bombas	462.71	Hp
Capacidad de tanques	1308.93	Bbls
Múltiple de estranguladores	3000	Psi

Haciendo un análisis técnico de las necesidades de nuestro pozo con las características del taladro disponible podemos ver que todas las necesidades las cubre el taladro disponible por lo que podemos concluir que el taladro disponible puede perforar el pozo diseñado.

6. Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional, al Ing. Rafael Rodríguez por guiarnos en este proyecto hasta su culminación, a mi compañero de tesis a mis profesores y amigos.

7. Referencias

[1] API, Rheology and Hydraulics
[2] Anadrill, Directional Drilling Training Manual Baker Hughes, Fixed and Roller cone dull grading.
[3] Nájera Romero Salvador I. Ing., Curso de Perforación de Pozos.
[4] Rodríguez Rafael Ing, Basic Well Planning.

[5] Schlumberger, Software i-Handbook.
[6] Weatherford, Curso básico de Perforación.
[7] CASING & TUBING DESIGN WORKBOOK, Production Department Training of Exxon Co. USA.

8. Conclusiones

1. Se ha perforado el pozo ESG-03 seleccionando el cellar # 9 con coordenadas, 994559,774 pie Este y 32532142,72 pie Norte, debido que con este se evitaba cualquier problema de anticolisión o problema alguno con otro pozo aledaño.
2. El diseño final debe de ser en forma de "J" debido que el vertical sección es mayor de 2000 pies y cumple con los requerimientos de desarrollo del campo y perforación del pozo según los datos obtenidos del análisis y desarrollo de los pozos de correlación que se los presenta en el stick char.
3. El pozo ESG-03 se definio diseñarlo con dos secciones, los cuales con ayuda de los pozos de correlación y experiencias de campo se tiene una mayor información sobre la selección de las tuberías de revestimiento, para cada una de las secciones, también se le realizo un análisis de la tubería de revestimiento, es decir sus propiedades físicas, tales como presión de estallido y colapso, analizándolas en las condiciones más hostiles de operación.

9. Recomendaciones

1. Se recomienda utilizar, tanto para la primera como para la segunda sección una sarta de revestimiento de grado N-80 y de peso W=55.5lb/ft, W=29lb/ft, respectivamente debido a que cumple con los requerimientos de dicho pozo, en especial con la presión de colapso de cada una de las secciones mencionadas, que es el parámetro más importante que debemos tener en cuenta con su respectivo factor de seguridad.
2. Es recomendable mantener una buena limpieza del pozo con nuestro lodo de perforación, evitando las caídas bruscas de presión, de tal manera que podemos manejarlas adecuando el diámetro de las boquillas de la broca de tal forma que tendremos que mantener un HSI, entre un intervalo (2-3), que es nuestro indicador de una buena limpieza del pozo.
3. Se busca una combinación tal, que el casing de superficie quede dentro de la de la formación, ORTEGUAZA SHALE, ya que la arcilla no produce filtración de fluidos, y manteniendo nuestro YIELD POINT en un numero de 15lb/$\boldsymbol{ft^2}$, obtendríamos una excelente cementación.