ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Diseño de Pozo Direccional ESG-4 y Selección del Taladro de Perforación

Jimmy Daniel Vélez Vera[1], Juan Leonardo Parrales Reyna[2] , Ing. Rafael Rodríguez[3] *
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
jvelez@espol.edu.ec[1], lparrale@espol.edu.ec[2]
* Director de Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniero en Petróleo,
rafael_rodriguez100@hotmail.com

Resumen

Este trabajo presenta la información del diseño de un pozo direccional, desde un cellar escogido en superficie hasta un objetivo primario en subsuelo y a partir de este diseño la debida selección del taladro de perforación, cumpliendo con las seguridades técnica, costos mínimos, utilidades y seguridades ambientales.

Para ello, se realizó la recopilación de información de pozos de correlación, perforados anteriormente en la locación; información útil, como los surveys, brocas utilizadas en dichas perforaciones, diseños de sus casings, profundidades de los topes de cada una de las formaciones atravesadas, propiedades reológicas e hidráulicas, ensamblajes de fondo y perfiles direccionales de dichos pozos; para al final tener un resumen de todos los problemas que ocasionaron un retraso o pérdidas económicas en la perforación, de esta manera, como una base para realizar los diseños del pozo direccional, siendo esta recopilación una guía o una prevención para futuros errores.

Finalmente se diseñará y seleccionara, el perfil direccional, las sartas de revestimientos, las hidráulicas, ensamblajes de fondo, volúmenes de cementación, la solicitud de fondos para perforar el pozo y una breve estimación de costos y tiempo de operación, con el fin de poder realizar un análisis técnico del taladro de perforación disponible, y si este se ajusta a las necesidades del pozo, en caso contrario, recomendar el equipo de perforación según el diseño requerido.

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

Abstract

This paper presents the design of a directional well, from a cellar chosen in surface to subsurface primary target and from this design the proper selection of drill drilling, compliance with technical security, minimal costs, utilities and environmental security.

For this, was gathering information from wells correlation previously drilled at the location; useful information, such as surveys, drilling bits used in these, casings designs, depths of tops of each one of the formations crossed, rheological and hydraulic properties, bottom hole assemblies and directional profiles of these wells; to have at the end a summary of all the problems that caused a delay or financial loss in the drilling, this way, as a basis to make the directional wells design, being this compilation, a guide or a prevention for future errors.

Finally, be designed and be selected, the directional profile, the casings, the hydraulics, bottom hole assemblies, volumes of cement, the application for funds to drill the well and a brief estimate of costs and operation time, in order to perform a technical analysis of the available drill drilling, and if this meets the needs of the well, otherwise, recommend the drilling equipment according to the required design.

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

1. Introducción

El diseño del pozo tiene como objetivo principal el desarrollar la planificación completa, de un pozo; tal como, tipo de brocas, fluidos de perforación, volúmenes de cementación, tipos de tuberías de revestimiento, diseño de sartas de perforación, estimación del tiempo y costo de las operaciones, la solicitud de requerimiento de fondos y luego seleccionar el equipo necesario para dar marcha al proyecto.

Previamente, estudiando los datos históricos de pozos ubicados cerca de la locación donde se va a perforar, con el fin de obtener la mayor cantidad de sucesos ocurridos en particulares situaciones a través del desarrollo de las operaciones de los pozos perforados anteriormente; todo esto, para tener una idea general, de lo que se podría aplicar y prevenir, para obtener los resultados más eficientes, que se transforman en tiempo y por ende en dinero. Este documento contiene las principales etapas de planeación para la perforación de un pozo direccional, sostenidas por experiencias de campos y por prácticas recomendadas, el cual servirá como una guía para futuros diseños.

2. Tecnología de la perforación rotaria

2.1. Introducción

La única manera de saber realmente si existen hidrocarburos en el sitio donde la investigación geológica propone que se podría localizar un depósito, es mediante la perforación de un hoyo o pozo. El hoyo es perforado por la acción de rotar una broca, a la cual se le aplica cierta cantidad de fuerza sobre la misma; en ciertos casos, la broca funciona rotando toda la sarta de perforación, utilizando una mesa rotativa en superficie o Top drive, la misma, aplicada sobre la broca, se logra utilizando elementos tales como tubería pesada (Heavy Weight Drill Pipe) en la sarta, que se encuentran por encima de la broca.

De acuerdo con la profundidad proyectada del pozo, las formaciones que se van a atravesar y las condiciones propias del subsuelo, se selecciona el equipo de perforación más indicado.

2.2. Perforación direccional

La perforación direccional es el proceso de dirigir el pozo a lo largo de una trayectoria hacia un objetivo predeterminado, ubicado a determinada distancia lateral de la localización superficial del equipo de perforación.

2.3. 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. Partes principales de un taladro de perforación

- 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. Desarrollo y análisis de información de pozos de correlación

Con el objetivo que sirva como referencia, se elaboro un stick chart, en el cual se recopila información pertinente a brocas, sartas de revestimiento, topes geológicos, propiedades reológicas, ensamblajes de fondo y problemas operacionales así como el diseño direccional de cada pozo, cada una con características vitales al momento de la toma de decisiones, si serán estos valores una guía o una prevención para evitar futuros problemas.

Información más puntual y detallada es que debemos tomar más en consideración al momento del análisis de los pozos de correlación, por ejemplo las condiciones de salida (Dullgrade) de las brocas para saber si la broca que se utilizo en una sección específica, fue o no una buena estrategia, presiones máximas de operación en superficie, tasas de penetración (ROP) para las distintas brocas y formaciones, tanto de deslizamiento como de rotación, valores máximos por secciones de la reología, ensamblajes típicos de revestimiento, información que será clave, para llegar a la eficiencia en las operaciones, lo cual reduce el tiempo de operación que se traduce en ahorro de dinero.

4. Diseño del pozo Esg-04

El diseño del pozo tiene muchas etapas estas van en secuencia lógica, las cuales tienen el siguiente orden

4.1. 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)
	2	2
E	994556,7092	987814,64
N	32532192,22	32535612,32
	11	1
E	994558,0163	987781,84
N	32532167,46	32533145,76
	10	4
E	994558,9721	989510,4
N	32532155,09	32531778
	9	3
E	994559,774	993918,72
N	32532142,72	32530131,44

4.2. Diseño del perfil direccional del pozo Esg-04

Para el diseño del perfil, analizamos el desplazamiento del pozo, si este valor se encuentra en un rango entre 2000 y 3000 pies, será tipo S. Para nuestro caso el ESG-04 tiene un desplazamiento de 5063 pies así que evidentemente será tipo 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) =	1000
Prof. Vertical Verdadera (ft)	10168,31
Sección Vertical (ft) =	5063,93
BUR (°/100ft) =	2,50
Radio de Curvatura (ft) =	2291,83
Linea D2 (ft) =	5063,93
Linea DC (ft) =	2772,10
V3 (ft) =	10168,31
V1 (ft) =	1000,00
Linea DO (ft) =	9168,31
Angulo DOC (°) =	16,82
Linea OC (ft) =	9578,23
Angulo BOC (°) =	76,16
Angulo BOD (°) =	59,33
Máximo angulo (°) =	30,67
EOB TVD (ft) =	2168,94
EOB MD (ft) =	2226,67
EOB desplazamiento (ft) =D1	320,52
TD MD al objetivo (ft) =	11526,67

Una vez calculado el perfil el siguiente paso es graficarlo para así tener una idea grafica de cómo será el pozo ESG-4.

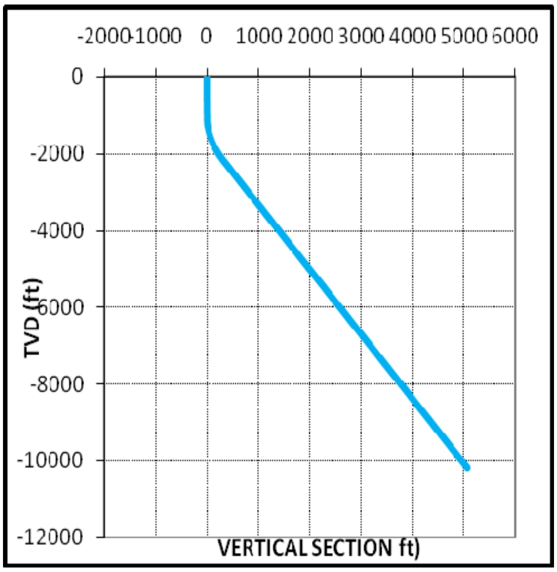

Grafico 1. Grafico del perfil direccional

4.3. 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
68	N-80	12,415	13,375	4517
47	P-110	8,681	9,625	10224
29	N-80	6,184	7	11526

4.4. 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. Estas sartas nos ayudaran a construir la seccion donde desviarenmos el pozo asi como tambien a mantener angulo o a disminuirlo. A continuacion los ensamblajes que escogimos para el pozo ESG-4:

Tabla 5. Tabla del BHA del conductor

Hole	BHA info			
	Descripción	OD	ID	Length
26.00	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 superficial

Hole	BHA info			
	Description	OD	ID	Length
17.50	PDC	17.500	3.000	1.330
	SperryDrill Lobe 3/4-6.0 stg (Motor)	9.625	6.219	29.750
	Cross Over Sub	8.270	3.000	3.880
	15 15/16" Integral Bl Stabilizer	8.000	3.000	6.420
	8" DWD 1200 System (HOC)	8.125	3.937	32.210
	2x 8"Spiral Drill collar	8.000	3.000	60.520
	Cross Over Sub	6.750	3.000	3.770
	3x 5" HWDP	5.000	3.000	89.810
	6.5" Drilling Jar	6.500	2.750	32.370
	17x 5"HWDP	5.000	3.000	510.98
	Total BHA			**771.04**

Tabla 7. Tabla del BHA del intermedio

Hole	BHA info			
	Description	OD	ID	Length
12.25	12 1/4 PDC Bit	12.25		1.150
	A800M7840XP (1,15 deg)	8.250	6.25	27.040
	8" Pony Monel	7.750	2.88	4.960
	11 7/8" Stabilizer	8.310	2.75	7.560
	8" Pony Monel	8.000	2.88	10.110
	Power Pulse (MWD)	8.250	5.90	28.230
	8" Monel	8.000	2.81	30.720
	2 x 8" Collar	8.000	3.00	60.010
	Cross Over Sub	7.750	2.88	3.650
	3 x 5" HWDP	5.000	3.00	91.160
	Hidraulic Jar	6.500	2.88	32.550
	17 x 5" HWDP	5.000	3.00	515.800
	Total BHA			**812.94**

Tabla 8. Tabla del BHA del productor

Hole	BHA info			
	Description	OD	ID	Length
8.5	8 1/2" PDC	8.500	2.25	1.000
	A675M7850XP (1,15 deg)	6.690	5.50	25.180
	8"Stabilizer	6.620	2.81	5.880
	6 3/4" Pony Collar	6.750	2.75	10.310
	Power Pulse	6.320	3.38	28.160
	6 3/4" Monel	6.750	2.88	31.100
	2 x 6 1/2" Collar (2 joints)	6.500	2.88	60.740
	3 x 5" HWDP	5.000	3.00	91.160
	Hidraulic Jar	6.500	2.88	32.550
	17 x 5" HWDP	5.000	3.00	515.80

	Total BHA			801.88

4.5. Diseño hidráulico del pozo

Los objetivos principales en el diseño del programa hidráulico son:

- Mantener una apropiada velocidad de penetración, derivada de la efectiva limpieza en el fondo del agujero.
- Evitar o disminuir la erosión excesiva de las paredes del agujero y no provocar derrumbes o deslaves.
- Control en las pérdidas de presión en el sistema de circulación

4.5.1. Primera Sección, Hoyo 17 1/2''. Pérdida total de presión en esta sección 2742.92 psi.

4.5.2. Segunda Sección, Hoyo 12 1/4''. Pérdida total de presión en esta sección 3202.74

4.5.3. Tercera Sección, Hoyo 8 1/2''. Pérdida total de presión en esta sección 2742,92

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 9. Tabla de las lechadas de cemento por secciones

Primera sección (superficie)		
Volumen de lechada de tail =	69,12	Bbls
Volumen de lechada de lead =	429,79	Bbls
Segunda sección (intermedia)		
Volumen de lechada de tail =	50,00	Bbls
Volumen de lechada de lead =	382,22	Bbls
Tercera sección (producción)		
Volumen de lechada de tail =	50,00	Bbls

4.7. Estimación de tiempo y costos de operación

4.7.1. Estimación de Tiempo. La estimación de tiempo se la hace en base a las tasa de penetración promedio por cada sección, y a la profundidad de las mismas. El tiempo final del pozo es de 21,23 dias. A continuacion un detalle de las operaciones y la duracion de cada una de ellas.

Tabla 10. Tabla de estimación del tiempo de las operaciones

Operación	Días acumulados
Traslado (skid)	0,25
Perfora 1° sección	2,97
Bajar csg y cementar 1° sección	4,32
Bajar ensamblaje	4,53
Perfora cemento	4,61
Perfora 2° sección	14,49
Bajar csg y cementar 2° sección	17,56
Bajar ensamblaje	17,77
Perfora cemento	17,85
Perfora 3° sección	20,22
Bajar liner y cementar 3° sección	20,61
Registros	21,23

4.7.2. Estimación de costos. Los costos, son uno de los rubros más importantes a la hora de toma de decisiones a continuación la tabla 3.6.3 con los detalles del costo de operación de perforación. El costo final del pozo es de 2797627,99. A continuacion un detalle de las operaciones y el costo de cada una de ellas.

Tabla 11. Tabla de estimación del costo de las operaciones

Descripción	Total	%
Taladro	637046,75	22,77
Perforación direccional	348523,37	12,46
Lodos de perforación	138320,04	4,94
Lodos ingeniería	23234,89	0,83
Brocas	100000,00	3,57
Revestimiento 13 3/8"	271036,20	9,69
Revestimiento 9 5/8"	460105,65	16,45
Revestimiento 7"	75105,00	2,68
Cementación superficie lead	4297,87	0,15
Cementación superficie tail	829,46	0,03
Cementación intermedia lead	5351,03	0,19
Cementación intermedia tail	800,00	0,03
Cementación producción tail	1500,00	0,05
Control de sólidos	172900,05	6,18

Eliminación de sólidos	138320,04	4,94
Registros de lodos	23234,89	0,83
Registro con tubing conveyed	85000,00	3,04
Corrida de casing 13 3/8"	15000,00	0,54
Corrida de casing 9 5/8"	15000,00	0,54
Corrida de liner 7"	15000,00	0,54
Colgador	60000,00	2,14
Martillos	6970,47	0,25
Company man	31852,34	1,14
Comunicaciones	3185,23	0,11
Transporte	15926,17	0,57
Seguridad	19111,40	0,68
Catering	13802,68	0,49
Fuel	106174,46	3,80
DNH	10000,00	0,36
Total	2797627,99	100,00

5. Selección del taladro de perforación

Tabla 12. Tabla de necesidades del taladro para perforar el pozo

Necesidades de taladro		
Profundidad	11527	Fts
Capacidad cabria	448.61	Mlbs
Potencia del malacate	873.72	Hp
Potencia de las bombas	1267	Hp
Capacidad de tanques	1350	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] Anadrill, Directional Drilling Training Manual.
[2] API, Rheology and Hydraulics
[3] Baker Hughes, Fixed and Roller cone dull grading.
[4] Nájera Romero Salvador I. Ing., Curso de Perforación de Pozos.
[5] Rafael U. Rodríguez Ing, *Casing & tubing design module* basado en *Casing & tubing design workbook from the Production Department Training of Exxon Co. USA.*
[6] Rodríguez Rafael Ing, Basic Well Planning.
[7] Schlumberger, Software i-Handbook.
[8] Weatherford, Curso básico de Perforación.
[9] CASING & TUBING DESIGN WORKBOOK, Production Department Training of Exxon Co. USA.

8. Conclusiones

1. La recopilación de los datos de los diseños de los pozos ya perforados fueron una guía para la toma de decisiones al momento de diseñar nuestro pozo.
2. El taladro disponible puede perforar el pozo diseñado.
3. Las tuberías de revestimiento fueron escogidas guardando los factores de seguridad de estallido, colapso y punto de cedencia de los materiales según las normas recomendadas.

9. Recomendaciones

1. Establecer cuidadosamente el perfil del pozo, según su desplazamiento podría ser desarrollado en tipo J, S u horizontal. Para esto se recomienda establecer el mínimo valor del ángulo máximo, esta acción nos resultara en facilidades de construcción del perfil.
2. Es muy importante mantener el HSI en un rango entre 2 y 3,5 para evitar posibles embolamiento en el caso de valores menores a 2, y lavar las paredes de pozo y la broca cuando este sea mayor a 3,5.
3. Siempre tener en cuenta que al momento de hacer los cálculos direccionales se debe tener una buena combinación del kop y del bur es decir mi profundidad donde empezare a construir ángulo y los grados de desviación cada 100 pies para con esta combinación obtener un máximo ángulo donde no tenga problemas operacionales.