



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



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

Eddie Norberto Abarca Moran<sup>(1)</sup>, Carlos Alberto Santos Savala<sup>(2)</sup>, Diego Omar Vasquez Munoz<sup>(3)</sup>,

Ing. Rafael Rodríguez<sup>(4)</sup> \*

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<sup>(1)</sup>, ovasquez@espol.edu.ec<sup>(2)</sup>, 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 anticollisión 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 anticollisión 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 |



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



|                             |      |      |
|-----------------------------|------|------|
| 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 seleccionados

|   | 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

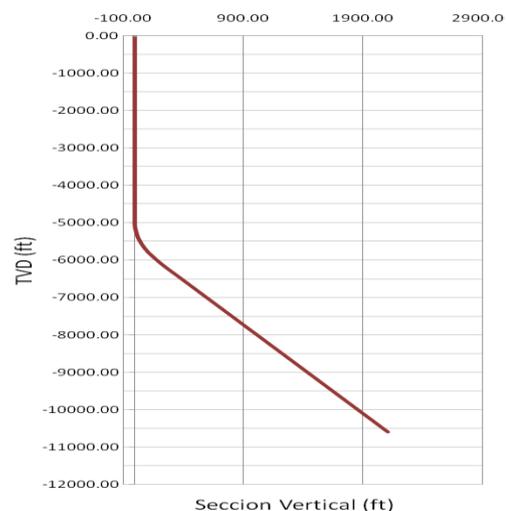
Para el diseño del perfil, analizamos el desplazamiento del pozo, También según el vertical sección que hemos obtenido de 2111,51 ft nos da para realizar un pozo en J ya que se ha demostrado que para secciones verticales mayores a 2000 ft se lo realiza en J y menores de 2000 ft en S; por lo que se procedió 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 (°/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 (°) =              | 7,6566387 |
| Linea OC (ft) =               | 5653,7199 |
| Angulo BOC (°) =              | 59,555143 |
| Angulo BOD (°) =              | 67,211782 |
| Máximo angulo (°) =           | 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.



**Gráfico 1.** Gráfico 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 continuación 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        |
|      | <b>Total BHA</b>          |        |       | <b>101.09</b> |

**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         |
| <b>Total BHA</b> |       |     | <b>772,12</b> |

**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        |
|      | <b>Total BHA</b>                   |      |       | <b>788,28</b> |

#### 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 |



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



|                              |        |      |
|------------------------------|--------|------|
| 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 continuación un detalle de las operaciones y la duración 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 3/4" | 3,56            |
| Cementación de la sección 10 3/4"        | 2,29            |
| Perforando sección de producción 7"      | 9,48            |
| Cementación de la sección 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      | %     |
|-------------------------------------|------------|-------|
| Movilización del Taladro            | 450000,00  | 15,17 |
| Operación del Taladro               | 624900,00  | 21,07 |
| Brocas                              | 60000,00   | 2,02  |
| 1 Martillo                          | 6849,00    | 0,23  |
| Perforación Direccional             | 342450,00  | 11,55 |
| Lodo de Perforación                 | 132156,00  | 4,46  |
| Registro de lodos                   | 22830,00   | 0,77  |
| Control de Sólidos                  | 165195,00  | 5,57  |
| Wire Line                           | 60000,00   | 2,02  |
| Cuttings disposal                   | 132156,00  | 4,46  |
| Casing Superficie 10-3/4" & Ac.     | 368.580,00 | 12,43 |
| Línea de Producción 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   |
| Intermedio 10-3/4" Lead | 7.946,26       | 0,27   |
| Producción 7" Tail      | 1.191,61       | 0,04   |
| Producción 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.



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- [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 anticolidión 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  $W=55.51\text{lb/ft}$ ,  $W=291\text{lb/ft}$ , 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  $151\text{lb/ft}^2$ , obtendríamos una excelente cementación.