



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PERFORACIÓN DE UN  
POZO DE TRES SECCIONES DEL CAMPO PROSPERINA”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN PETRÓLEOS**

Presentada por:

Walter Enrique Barberán Macías

Hugo Agustín Quevedo Matamoros

Guayaquil – Ecuador

2015

## **AGRADECIMIENTO**

Muy especial a los ingenieros: Alex Guevara, Alberto Galarza y Xavier Vargas quienes brindaron todo su apoyo y esmero, guiándonos para la culminación del presente trabajo.

También a todos los profesores y personas que día a día con sus enseñanzas nos permitieron avanzar en nuestra vida universitaria para llegar a ser excelentes profesionales.

## **DEDICATORIA**

### **ENRIQUE**

A mi familia que durante toda mi etapa universitaria, me brindaron todo su amor, apoyo, confianza y más, para alcanzar esta meta tan importante en mi vida. Por esto, a ellos les dedico este trabajo y la obtención de mi título.

## **HUGO**

A mi familia que siempre estuvo alentándome a seguir, inspirándome para no claudicar en mis ideales y no rendirme hasta alcanzar mis metas. A ellos, por eso y todo el amor que me han brindado, les dedico todo mi esfuerzo en la culminación de este trabajo y obtención de mi título como ingeniero.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

MSc. Francisco Miranda

PROFESOR DELEGADO

---

Ing. Xavier Vargas

DIRECTOR DE PROYECTO

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Enrique Barberán Macías

---

Hugo Quevedo Matamoros

## RESUMEN

El siguiente trabajo diseña la perforación de un pozo de tres secciones en todas sus etapas en el CAMPO PROSPERINA, basándose en análisis técnicos y costos operativos para obtener una eficiente operación.

Para desarrollar el análisis, se realiza un reconocimiento de las características geológicas que atravesará la perforación de un pozo de tres secciones (POZO ESPOL 15) dentro del campo. Luego se analiza desde un punto de vista técnico, la calidad de las operaciones dentro del pozo, para estimar los costos que conllevaron estas actividades hasta su culminación.

Finalmente se evalúan las características obtenidas técnica y económicamente, para determinar la eficiencia de las actividades planificadas.

## ÍNDICE GENERAL

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>RESUMEN</b>            | <b>VI</b>  |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b>     | <b>VII</b> |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>   | <b>IX</b>  |
| <b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> | <b>XI</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>  | <b>XII</b> |
| <b>ABREVIATURAS</b>       | <b>VI</b>  |
| <b>SIMBOLOGÍA</b>         | <b>XV</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>       | <b>XVI</b> |

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES DEL PROYECTO

|              |                                     |          |
|--------------|-------------------------------------|----------|
| <b>1.1</b>   | <b>Introducción</b>                 | <b>1</b> |
| <b>1.2</b>   | <b>Justificación del proyecto</b>   | <b>3</b> |
| <b>1.3</b>   | <b>Metodología de investigación</b> | <b>4</b> |
| <b>1.4</b>   | <b>Objetivos</b>                    | <b>5</b> |
| <b>1.4.1</b> | <b>Objetivo general</b>             | <b>5</b> |
| <b>1.4.2</b> | <b>Objetivos específicos</b>        | <b>5</b> |

### CAPÍTULO II

#### GEOLOGÍA GENERAL DE LA CUENCA ORIENTE

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>2.1</b> | <b>Geología del campo</b>                                     | <b>7</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Registros eléctricos</b>                                   | <b>12</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Aspectos estratigráficos de las formaciones de interés</b> | <b>14</b> |



**CAPÍTULO III****ANÁLISIS TÉCNICO**

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>3.1</b>   | <b>Plan de perforación</b> _____                        | <b>17</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Brocas</b> _____                                     | <b>28</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Lodos de perforación</b> _____                       | <b>35</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Diseño de revestidores</b> _____                     | <b>42</b> |
| <b>3.4.1</b> | <b>Factores y criterios de diseño</b> _____             | <b>45</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>Programa de cementación</b> _____                    | <b>54</b> |
| <b>3.6</b>   | <b>Hidráulica</b> _____                                 | <b>58</b> |
| <b>3.7</b>   | <b>Tiempo de ejecución de la perforación</b> _____      | <b>66</b> |
| <b>3.7.1</b> | <b>Problemas operativos que generarían NPT's.</b> _____ | <b>68</b> |
| <b>3.8</b>   | <b>Costos operativos</b> _____                          | <b>71</b> |

**CAPÍTULO IV****CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|            |                              |           |
|------------|------------------------------|-----------|
| <b>4.1</b> | <b>Conclusiones</b> _____    | <b>78</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Recomendaciones</b> _____ | <b>83</b> |

**BIBLIOGRAFÍA**

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla I: Topes en MD. y TVD. de formaciones en pozo ESPOL 15</i>               | 13 |
| <i>Tabla II: Características generales del Perfil Direccional del pozo</i>        | 19 |
| <i>Tabla III: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 26"</i> | 22 |
| <i>Tabla IV: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 16"</i>  | 24 |
| <i>Tabla V: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 12 ¼"</i> | 26 |
| <i>Tabla VI: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 8 ½"</i> | 28 |
| <i>Tabla VII: Broca Hidráulica – Hoyo 26"</i>                                     | 30 |
| <i>Tabla VIII: Brocas Hidráulicas – Hoyo 16"</i>                                  | 32 |
| <i>Tabla IX: Broca Hidráulica – Hoyo 12 ¼"</i>                                    | 33 |
| <i>Tabla X: Broca Hidráulica – Hoyo 8 ½"</i>                                      | 35 |
| <i>Tabla XI: Sistemas de Fluidos de Perforación del pozo ESPOL 15</i>             | 36 |
| <i>Tabla XII: Características de fluido "Nativo"</i>                              | 37 |
| <i>Tabla XIII: Características de fluido "Nativo Disperso"</i>                    | 38 |
| <i>Tabla XIV: Características de fluido "KLA SHIELD"</i>                          | 40 |
| <i>Tabla XV: Características de fluido "KLA SHIELD – Última sección"</i>          | 41 |
| <i>Tabla XVI: Características de los Revestidores a utilizar</i>                  | 44 |
| <i>Tabla XVII: Presiones que deben soportar los revestidores por cada sección</i> | 51 |
| <i>Tabla XVIII: Presiones de Prueba de diferentes secciones</i>                   | 52 |
| <i>Tabla XIX: Características del Cemento y Lechadas a utilizar</i>               | 55 |
| <i>Tabla XX: Topes de Cemento</i>   | 55 |
| <i>Tabla XXI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 16"</i>        | 59 |
| <i>Tabla XXII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 16"</i>          | 60 |
| <i>Tabla XXIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 16"</i>                 | 60 |
| <i>Tabla XXIV: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 16"</i>                 | 60 |
| <i>Tabla XXV: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 16"</i>              | 61 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla XXVI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 12 ¼”</b> | <b>61</b> |
| <b>Tabla XXVII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 12 ¼”</b>   | <b>62</b> |
| <b>Tabla XXVIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 12 ¼”</b>          | <b>62</b> |
| <b>Tabla XXIX: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 12 ¼”</b>           | <b>63</b> |
| <b>Tabla XXX: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 12 ¼”</b>        | <b>63</b> |
| <b>Tabla XXXI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 8 ½”</b>  | <b>64</b> |
| <b>Tabla XXXII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 8 ½”</b>    | <b>64</b> |
| <b>Tabla XXXIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 8 ½”</b>           | <b>65</b> |
| <b>Tabla XXXIV: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 8 ½”</b>           | <b>65</b> |
| <b>Tabla XXXV: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 8 ½”</b>        | <b>66</b> |
| <b>Tabla XXXVI: Costos estimados para perforar el pozo ESPOL 15</b>           | <b>76</b> |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Gráfico 3.1: Esquema planificado (Profundidad vs. Desplazamiento) Pozo Direccional Tipo "S"</b> | <b>20</b> |
| <b>Gráfico 3.2: Profundidad vs. Peso del lodo</b>  | <b>42</b> |
| <b>Gráfico 3.3: Profundidad vs. Tiempo para pozo ESPOL 15</b>                                      | <b>67</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1.1: Localización de la Cuenca Oriente</b>  | <b>2</b>  |
| <b>Figura 2.1: Litología y Edad Geológica de formaciones de la Cuenca Oriente</b>           | <b>11</b> |
| <b>Figura 2.2: Tope Arena "U" Inferior</b>  | <b>15</b> |
| <b>Figura 2.3: Tope Arena "T" Inferior</b>  | <b>16</b> |
| <b>Figura 3.1: Ensamble de Fondo para Hoyo de 26"</b>                                       | <b>21</b> |
| <b>Figura 3.2: Ensamble de Fondo para Hoyo de 16"</b>                                       | <b>23</b> |
| <b>Figura 3.3: Ensamble de Fondo para Hoyo de 12 ¼"</b>                                     | <b>25</b> |
| <b>Figura 3.4: Ensamble de Fondo para Hoyo de 8 ½"</b>                                      | <b>27</b> |
| <b>Figura 3.5: Simulación de Factor de Diseño para Revestidores</b>                         | <b>53</b> |
| <b>Figura 3.6: Diseño Mecánico del pozo ESPOL 15 – Ubicación de Revestidores Cementados</b> | <b>57</b> |

## ABREVIATURAS

|       |  |
|-------|--|
| API   | American Petroleum Institute                     |
| Az    | Azimut   |
| Bbl   | Barriles   |
| BHA   | Bottom Hole Assambly                             |
| BUR   | Build Up Ratio                                   |
| Ca    | Calcio   |
| CSG   | Caising  |
| DLS   | Dog Leg Severity                                 |
| DOR   | Down Off Ratio                                   |
| ECD   | Densidad equivalente de circulación              |
| FM    | Formación  |
| GPM   | Galones por minuto                               |
| hhp   | Hidraulic Horse Power                            |
| HSI   | Horse Square Inch                                |
| ID    | Diámetro Interior                                |
| IADC  | International Association of Drilling Contractor |
| KOP   | Kick Off Point                                   |
| MD    | Messured Depth                                   |
| NPT   | Not Productive Time                              |
| OD    | Diámetro Exterior                                |
| Perf. | Perforación                                      |
| PV    | Viscosidad Plástica                              |
| RPM   | Revoluciones por Minuto                          |
| ROP   | Tasa de Penetración                              |
| TFA   | Turbulence Fluid Average                         |

|     |                     |
|-----|---------------------|
| TVD | True Vertical Depth |
| WOB | Peso Sobre la Broca |
| YP  | Yield Point         |

## SIMBOLOGÍA

|                 |   |                            |
|-----------------|---|----------------------------|
| cm <sup>3</sup> | = | Centímetros al cubo        |
| cP              | = | Centi-poise                |
| ft              | = | Feet                       |
| h               | = | Hora                       |
| in              | = | Pulgadas                   |
| km <sup>2</sup> | = | Kilómetros Cuadrados       |
| lbf             | = | Libras fuerza              |
| lpg             | = | Libra por Galón            |
| mg/L            | = | Miligramos sobre litro     |
| min             | = | Minutos                    |
| mm              | = | Milímetros                 |
| psi             | = | Libra por pulgada cuadrada |
| s               | = | Segundos                   |
| ppg             | = | Libra por Galón            |
| °               | = | Grados                     |
| '               | = | Pies                       |



## INTRODUCCIÓN

Los proyectos en la industria petrolera representan una inversión elevada y de alto riesgo para llevarlos a cabo, es por esto que la optimización y análisis de sus procesos tanto técnicos como económicos son de vital importancia, para así mejorar la calidad de los mismos y utilidades que estos puedan generar.

Resulta trascendental la mejora continua tanto de las herramientas, procesos, formación del personal y tecnologías utilizadas en la industria hidrocarburífera, ya que de esta manera recortaremos tiempos de perforación, cementación y por ende reduciremos costos para poner a producir un pozo.

Cabe recalcar que la industria trabaja en función al costo del barril de petróleo; por lo tanto, si éste bajara, operaciones de perforación, cementación y posterior completación de pozos se verían afectadas o pararían, es así, que reducir costos operativos es primordial y la única manera de realizarlo es haciendo un análisis técnico óptimo de las operaciones diarias; proceso que el presente trabajo desarrolla.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **1.1 Introducción**

El pozo **ESPOL 15** se planificó para ser un pozo productor direccional tipo “S” del CAMPO PROSPERINA de la Cuenca Oriente, al nororiente del Ecuador.



*Figura 1.1: Localización de la Cuenca Oriente*

*Fuente: Informe Interno de Petroproducción – 2003*

Este pozo fue diseñado telescópicamente con diámetros de 26", 16", 12 ¼", 8 ½" y con revestimientos para cada una de estas secciones respectivamente.

El revestimiento conductor de 20" nos servirá para direccionar la perforación y aislar aguas superficiales, de esta actividad. Se dice que este pozo es de tres secciones, ya que al revestidor conductor por default no lo consideramos

para definir las secciones; esto se debe a que todo pozo debe contar este, para llevar a cabo cualquier actividad dentro del mismo.

El revestimiento Superficial de 13  $\frac{3}{8}$ " será asentado dentro de la formación Chalcana a 4500 pies, el revestimiento intermedio de 9  $\frac{5}{8}$ " será asentado dentro de la formación Tena, por sobre el tope de Basal Tena a 8980 pies de profundidad, la sección de las arenas Basal Tena, U, T y Hollín serán revestidas utilizando un Liner de 7" asentado a 10570 pies (profundidad final), para la posterior completación y producción de las areniscas "U Inferior, T principal".

## **1.2 Justificación del proyecto**

Debido a los altos costos operativos en la perforación de un pozo; optimizar el tiempo de trabajo, minimizar los NPT's (Not Productive Time) y utilizar las herramientas adecuadas resultan primordiales para las operaciones en campo.

El proyecto diseña y analiza las características técnicas de un pozo de tres secciones para obtener una mayor eficiencia operativa, considerando

posibles tiempos muertos de trabajo y tomando en cuenta, por ejemplo: el tipo de tubería a utilizar, revestimiento de tuberías, presiones que estas deben soportar, problemas operacionales, entre otros.

### **1.3 Metodología de investigación**

El presente proyecto se basa en estándares de investigación establecidos, tomando como eje el diseño de investigación no experimental de tipo transaccional de correlación causal, el cual se basa en la toma de datos en un periodo de tiempo para poder determinar y describir la incidencia de estos en las operaciones realizadas y a su vez sirven para determinar cómo estas pueden mejorar si hacemos pequeños o importantes cambios.

Esta investigación recopila los reportes diarios de perforación de pozos vecinos, datos geológicos de las formaciones atravesadas, características técnicas de los revestidores y su cementación, así como costos operacionales, para diseñar una perforación y cementación eficientes, para llevar a cabo el pozo ESPOL 15.

Cabe recalcar que datos técnicos y económicos en general de la industria petrolera, fueron también obtenidos de fuentes bibliográficas como libros, manuales, papers, tesis, enciclopedias, diccionarios y demás.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar la perforación de un pozo, en base a análisis de características técnicas y económicas de pozos vecinos al pozo ESPOL 15 de tres secciones, para llevarlo a cabo de una manera eficiente, reduciendo tiempos no operativos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Definir datos y operaciones importantes de pozos vecinos, como referencias.
- Describir las características geológicas y perfiles del pozo.
- Analizar las características de perforación del pozo.

- Diseñar la perforación del pozo ESPOL 15.
- Dimensionar y determinar las presiones que las tuberías deben soportar, para la tensión, colapso y estallido.
- Definir problemas que pueden causar tiempos muertos de trabajos.
- Detallar posibles soluciones para hacer una operación más eficiente.
- Determinar gastos operativos durante la operación a realizar.

# **CAPÍTULO II**

## **GEOLOGÍA GENERAL DE LA CUENCA ORIENTE**

### **2.1 Geología del campo**

El Campo Prosperina está ubicado en el nororiente ecuatoriano. Este sector cuenta con la Cuenca Oriente que cubre aproximadamente 100.000  $Km^2$  y está localizada entre La Cordillera de Los Andes al occidente y El Escudo Guyanes al oriente.



La Cuenca Oriente tiene formaciones características como son: Chalcana, Orteguzza, Tiyuyacu, Tena, Napo y Hollín.

Cada una se distingue por aspectos litológicos específicos, como son:

- **Chalcana:** Es una formación que pertenece al Oligoceno Inferior-Mioceno Medio y está constituida de una secuencia de arcillas rojizas abigarradas con yeso.
- **Orteguzza:** Es una formación que pertenece al Eoceno Medio-Oligoceno y está compuesta por areniscas grises y verduzcas, lutitas grises-verdosas a negras. Su potencia es aproximadamente de 165 pies.
- **Tiyuyacu:** Es una formación que pertenece al Eoceno Inferior-Eoceno Medio y está subdividida en:

**Tiyuyacu Inferior:** Consiste en conglomerados, areniscas y arcillas. Tiene un espesor que varía entre 330 y 1640 pies. Las arcillas son por lo general rojo-verde en la parte inferior y rojo-café-azul-amarillento en la parte superior.

Los conglomerados presentan clastos de 6 a 7 centímetros, sub-redondeados a redondeados, compuestos principalmente de cherts y cuarzo lechoso y en menor porción de rocas metamórficas.

**Tiyuyacu Superior:** Compuesta por areniscas, arcillas y conglomerados esencialmente de cuarzo lechoso, traslucidos y poco chert, con tamaño de clastos de 2 a 3 centímetros. Su potencia varía de 330 a 660 pies.

- **Tena:** Es una formación que pertenece al Mastrichtiano Inferior-Paleoceno y está compuesta por arcillolita intercalada con limolita y ocasionalmente caliza y arenisca hacia la base. Ésta discordancia desaparece progresivamente hacia el este.

- **Napo:** Es una formación que pertenece al Albiano Superior-Campaniano. Consiste en alrededor de 1150 pies de lutitas y calizas con intercalaciones de areniscas marino marginales.
- **Hollín:** Esta formación pertenece al Aptiano–Albiano. Está constituida por areniscas cuarzosas blancas de grano medio grueso, masivas con estratificación cruzada. Se caracteriza también por la presencia de capas guijarrosas delgadas e intercalaciones de lutitas, limolitas y arenas negras impregnadas de asfalto. Su potencia varía entre 100 y 500 pies.

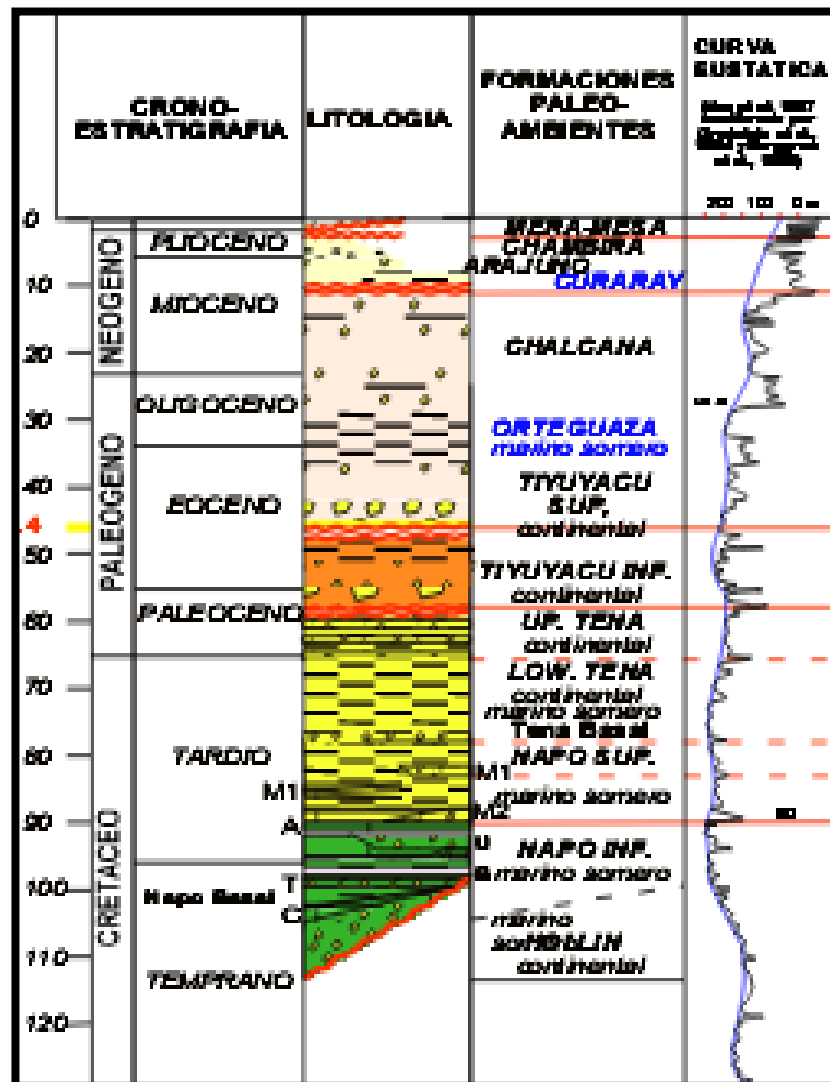


Figura 2.1: Litología y Edad Geológica de formaciones de la Cuenca Oriente

Fuente: Baby P. - 1997

Resulta importante conocer las características litológicas y los topes geológicos de las formaciones en nuestro pozo, para de esta manera determinar y diseñar de manera óptima el programa de perforación, diseño de casing, asentamiento del casing y densidades de los fluidos para soportar

las presiones anormales; sólo así aseguramos la calidad de nuestro proyecto.

La obtención de características geofísicas y petrofísicas a detalle, fueron proporcionadas gracias a registros eléctricos.

## **2.2 Registros eléctricos**

Los registros eléctricos que nos proporcionaron las características litológicas y topes de formaciones fueron realizados en dos corridas en todos los pozos vecinos, de la misma manera lo planificamos para el pozo ESPOL 15, de la siguiente forma:

### **Corrida 1**

Durante la primera toma de registros, se tomaron datos de: Inducción, Micro resistividad, Densidad, Neutrón Compensado, Gamma Ray, Potencial Espontáneo y Resonancia Magnética.

**Corrida 2:**

Durante la segunda toma de registros, se tomaron datos de: Sónico Dipolar e Imágenes Micro Resistivas. Entre los datos obtenidos gracias a estos registros, tenemos la Tabla I., la Figura 2.2 y la Figura 2.3.

|                      | <b>MD</b> | <b>TVD</b> |
|----------------------|-----------|------------|
| <b>Orteguaza</b>     | 5744.36   | 5614.00    |
| <b>Tiyuyacu</b>      | 6306.36   | 6176.00    |
| <b>Tena</b>          | 7883.36   | 7753.00    |
| <b>Napo</b>          | 9053.36   | 8923.00    |
| <b>Lutita Napo</b>   | 9074.36   | 8944.00    |
| <b>M-1 LS</b>        | 9376.36   | 9246.00    |
| <b>M-2 LS</b>        | 9605.36   | 9475.00    |
| <b>A LS</b>          | 9683.36   | 9553.00    |
| <b>U Superior SS</b> | 9730.36   | 9600.00    |
| <b>U Inferior SS</b> | 9802.36   | 9672.00    |
| <b>B LS</b>          | 9883.36   | 9753.00    |
| <b>T</b>             | 9950.36   | 9820.00    |
| <b>T Principal</b>   | 10010.36  | 9880.00    |
| <b>Basal Napo</b>    | 10042.36  | 9912.00    |
| <b>Hollin</b>        | 10153.36  | 10023.00   |
| <b>Pre Hollin</b>    | 10412.36  | 10282.00   |
| <b>TD</b>            | 10570.36  | 10440.00   |

*Tabla I: Topes en MD. y TVD. de formaciones en pozo ESPOL 15*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo*

### 2.3 Aspectos estratigráficos de las formaciones de interés

Las formaciones objetivos para la producción del pozo ESPOL 15 son: las areniscas “U Inferior, T principal”.

1. **U inferior:** Es una arenisca de cuarzo transparente- translúcido, cuya forma de grano se encuentra entre sub-redondeado a sub-angular, con un tamaño entre fino y medio con intercalaciones de lutitas.

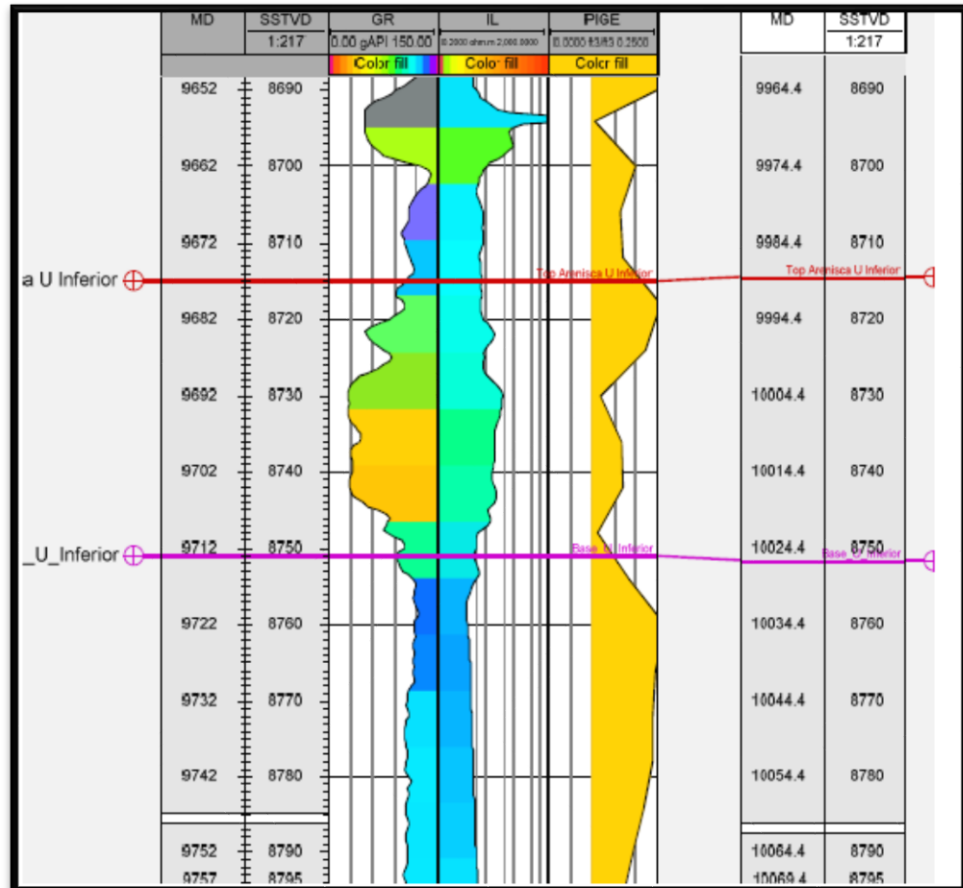


Figura 2.2: Tope Arena "U" Inferior

Fuente: Registro Eléctrico Sección 8 ½", tomada en visita técnica por Enrique Barberán y Hugo Quevedo

Es una zona de color gris a gris oscuro, que representa uno de los principales reservorios de la Cuenca Oriente.



2. **T principal:** Es una arenisca de cuarzo transparente- translucido limpia, de grano fino a medio con forma entre sub-angular a sub-redondeado que tiene básicamente secuencias de arenas y lutitas.

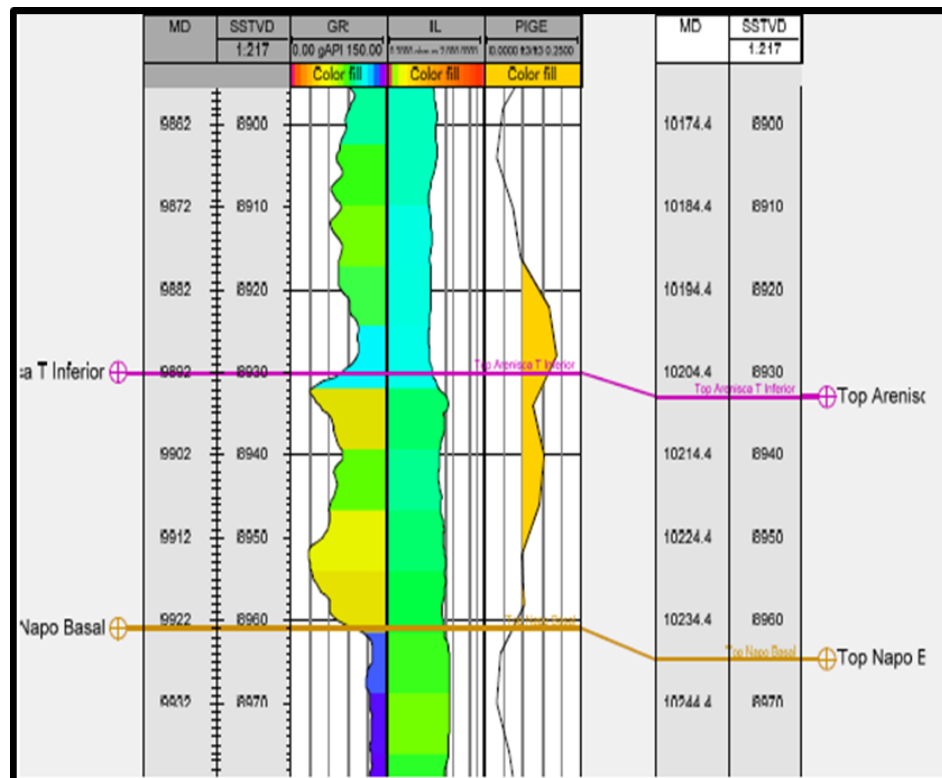


Figura 2.3: Topo Arena "T" Inferior

Fuente: Registro Eléctrico Sección 8 ½", tomada en visita técnica por Enrique Barberán y Hugo Quevedo

# **CAPÍTULO III**

## **ANÁLISIS TÉCNICO**

### **3.1 Plan de perforación**

El pozo ESPOL 15 fue diseñado para ser un pozo productor Direccional Tipo “S”, con una profundidad final de 10570 pies MD. y un Target con una tolerancia de 100 pies de diámetro.

Se realizó un escaneo Anticolisión con todos los pozos existentes en el campo y se determinó que existe un pozo vecino al que se le debe prestar atención, ya que de centro a centro se encontraba a 200 pies en superficie y la distancia más cercana en un punto a profundidad de 1600 pies de centro a centro de los pozos era de 120 pies.

Se procedió a realizar un SURVEY TRACKING, el cual nos permitió realizar el perfil direccional del pozo que se detalla en la Tabla II.

|  | <b>Características del Perfil Direccional</b>  |
|--|--|
| <b>Sección Vertical</b>                                    | <b>Sección de 26"</b><br>Se perfora la sección hasta los 600 ft MD.  |
| <b>Punto de KOP</b>  | <b>Sección de 16"</b><br>El KOP empieza a los 600 ft MD con una dirección de 191.6° Az.  |
| <b>BUR,<br/>Pendiente(Tangente),<br/>DOR</b>               | <b>Sección de 16"</b><br>Empieza construyendo con DLS de 1.4°/100ft en dirección de 191.66° hasta alcanzar 1957 ft MD y 19° de inclinación, mantenemos tangente hasta los 3366 ft MD y comienza a tumbar a razón de 1.2°/100ft hasta alcanzar 5.39° de inclinación a 4500ft MD. Donde se asentará casing de 13 3/8". |
| <b>Pendiente(Tangente),<br/>Drop, Sección<br/>Vertical</b> | <b>Sección de 12 1/4"</b><br>Empieza tumbando hasta 0° de inclinación a 4949 ft MD, luego mantiene vertical hasta punto de casing de 9 5/8" @ 8980 ft MD.  |
| <b>Sección Vertical</b>                                    | <b>Sección de 8 1/2"</b><br>Continuar con la sección de 8 1/2" manteniendo vertical hasta alcanzar TD del pozo a los 10570ft MD.   |

*Tabla II: Características generales del Perfil Direccional del pozo*

Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir del SURVEY

### TRACKING

Una vez realizado el esquema direccional, nuestro pozo fue planificado para un tiempo de 23 días. Este tiempo puede extenderse debido a tiempos muertos de trabajo (NPT's) que se detallarán posteriormente, con el correspondiente lapso permitido de actividad no operativa, en base a las perforaciones realizadas en pozos vecinos.

La profundidad del pozo con respecto al desplazamiento se planificó según el Gráfico 3.1, para el pozo ESPOL 15. Cabe recalcar que una vez hecha la perforación, la curva real puede tener pequeñas diferencias.

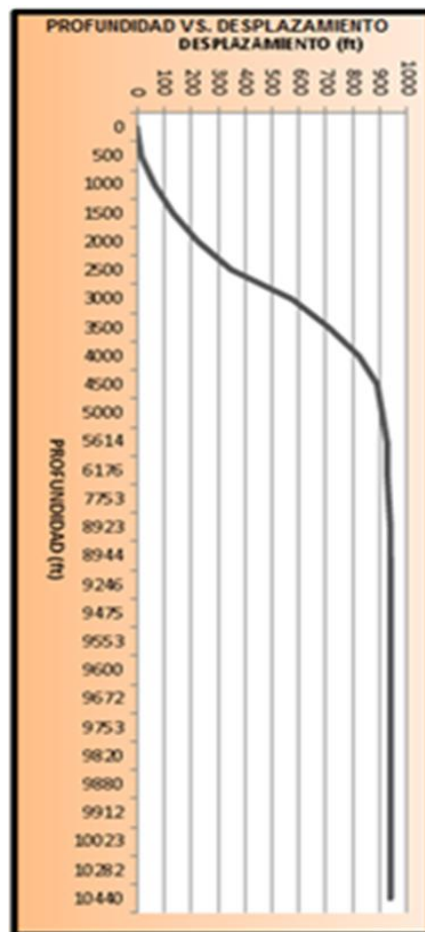


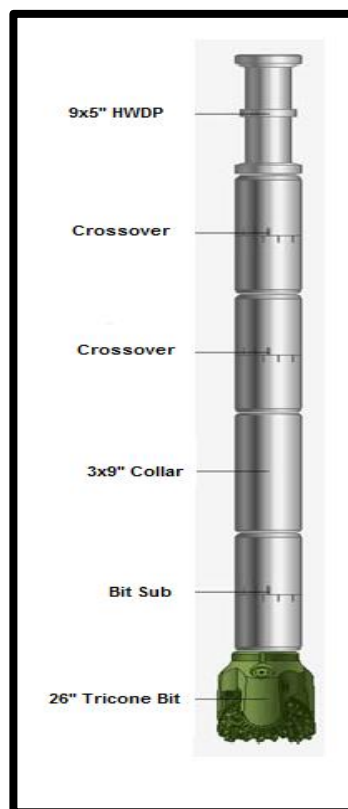
Gráfico 3.1: Esquema planificado (Profundidad vs. Desplazamiento) Pozo Direccional Tipo "S"

Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo

Para conseguir esta curva del pozo direccional tipo “S”, se prepararon BHA's para cada diámetro de hoyo.

En base a las características de cada formación, se analizó y concluyó que las mejores opciones de ensamble de fondo para cada etapa son:

### Hoyo de 26”



*Figura 3.1: Ensamble de Fondo para Hoyo de 26”*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

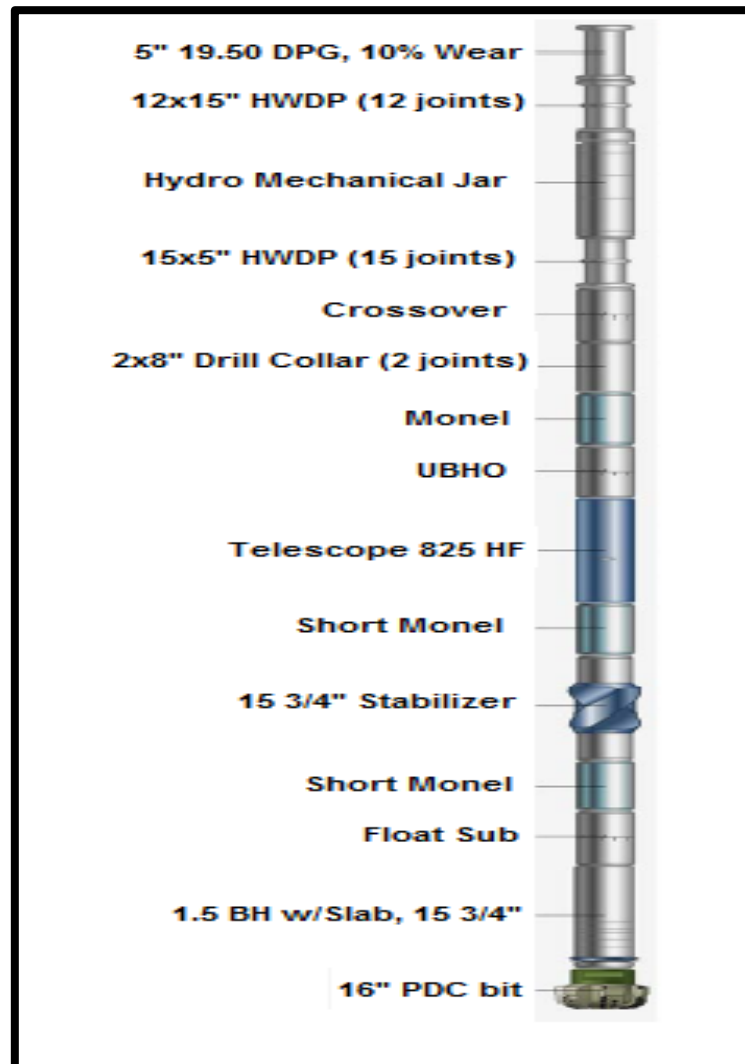
Las características de las herramientas utilizadas en este ensamble, son:

| <b>Herramientas</b> | <b>OD (in)</b> | <b>ID (in)</b> | <b>Longitud (ft)</b> | <b>Peso (lb)</b> |
|---------------------|----------------|----------------|----------------------|------------------|
| Broca Tricónica 26" | 26             | 3.75           | 2.60                 | 2600             |
| Bit Sub             | 8              | 2.813          | 2.28                 | 300              |
| 3x9" Collar         | 9              | 2.813          | 30                   | 5900             |
| Crossover           | 7.75           | 2.88           | 2.26                 | 300              |
| Crossover           | 7.75           | 2.88           | 2.26                 | 300              |
| 9x5" HWDP           | 6.5            | 3              | 273.23               | 13800            |

*Tabla III: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 26"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

## Hoyo de 16"



*Figura 3.2: Ensamble de Fondo para Hoyo de 16"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

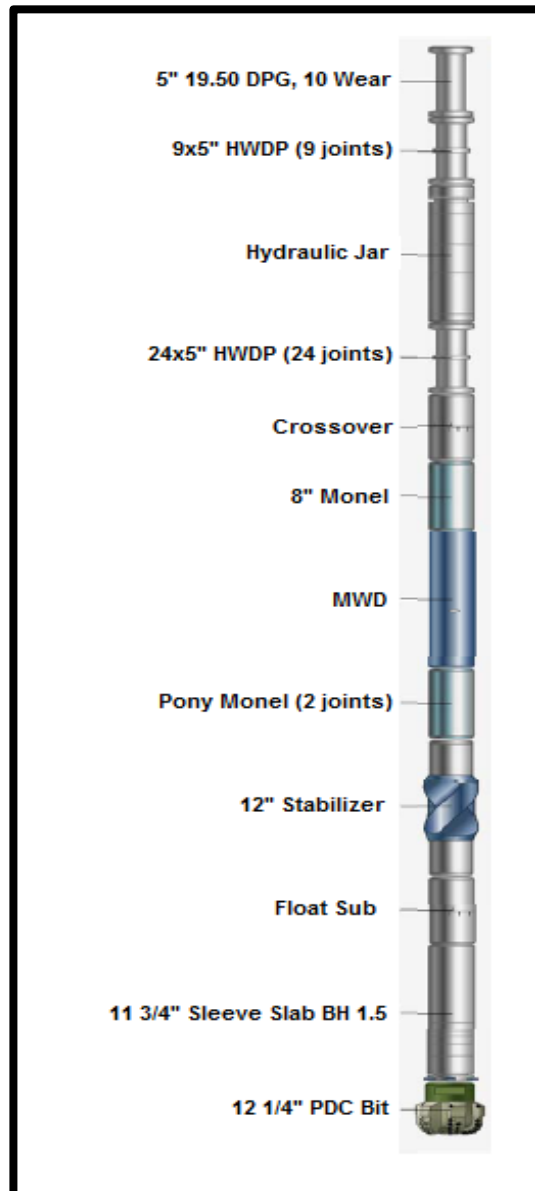


Las características de las herramientas utilizadas en este ensamble, son:

| Herramientas                 | OD (IN) | ID (IN) | Longitud (ft) | Peso (lb) |
|------------------------------|---------|---------|---------------|-----------|
| 16" PDC Bit                  | 16      | 3.75    | 1.1           | 500       |
| 1.5 BH w/Slab, 15 ¾"         | 13.357  | 7.880   | 30.48         | 6100      |
| Float Sub                    | 8       | 2.5     | 5             | 800       |
| Short Monel                  | 8.344   | 2.875   | 8             | 1300      |
| 15 ¾" Stabilizer             | 1.575   | 3.06    | 5.4           | 900       |
| Short Monel                  | 8.344   | 2.875   | 8             | 1300      |
| Telescope 825 HF             | 8.41    | 5.9     | 24.69         | 3100      |
| UBHO                         | 8       | 2.813   | 5             | 700       |
| Monel                        | 7.75    | 2.75    | 28.01         | 3900      |
| 2x8" Drill Collar (2 joints) | 8.25    | 3       | 58.86         | 9400      |
| Crossover                    | 8       | 2.5     | 5             | 800       |
| 15x5" HWDP (15 joints)       | 6.5     | 3       | 475.06        | 23900     |
| Hydro Mechanical Jar         | 6.5     | 3.125   | 17            | 1000      |
| 12x5" HWDP (12 joints)       | 6.5     | 3       | 369.78        | 18700     |
| 5" 19.50 DPG, 10% Wear       | 6.625   | 4.276   | 0.01          | 0         |

*Tabla IV: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 16"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

**Hoyo de 12 1/4"**

*Figura 3.3: Ensemble de Fondo para Hoyo de 12 1/4"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

Las características de las herramientas utilizadas en este ensamble, son:

| <b>Herramientas</b>        | <b>OD<br/>(IN)</b> | <b>ID<br/>(IN)</b> | <b>Longitud<br/>(ft)</b> | <b>Peso<br/>(lb)</b> |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 12 1/4" PDC Bit            | 12.25              | 3.25               | 1.28                     | 200                  |
| 11 3/4" Sleeve Slab BH 1.5 | 11.75              | 6.25               | 27.60                    | 4000                 |
| Float Sub                  | 8.25               | 2.78               | 2.72                     | 400                  |
| 12" Stabilizer             | 12                 | 2.625              | 7.73                     | 1300                 |
| Pony monel (2 joints)      | 8.28               | 2.81               | 15                       | 2200                 |
| MWD                        | 8.41               | 5.9                | 27.65                    | 3500                 |
| 8" Monel                   | 8                  | 2.81               | 29.72                    | 4400                 |
| Crossover                  | 7.75               | 2.88               | 3.16                     | 400                  |
| 24x5" HWDP (24 joints)     | 6.5                | 3                  | 744                      | 37500                |
| Hydraulic Jar              | 6.63               | 2.75               | 32.01                    | 2300                 |
| 9x5" HWDP (9 joints)       | 6.5                | 3                  | 279                      | 14100                |
| 5" 19.50 DPG, 10 Wear      | 6.625              | 4.276              | 0.01                     | 0                    |

*Tabla V: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 12 1/4"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

## Hoyo de 8 1/2"

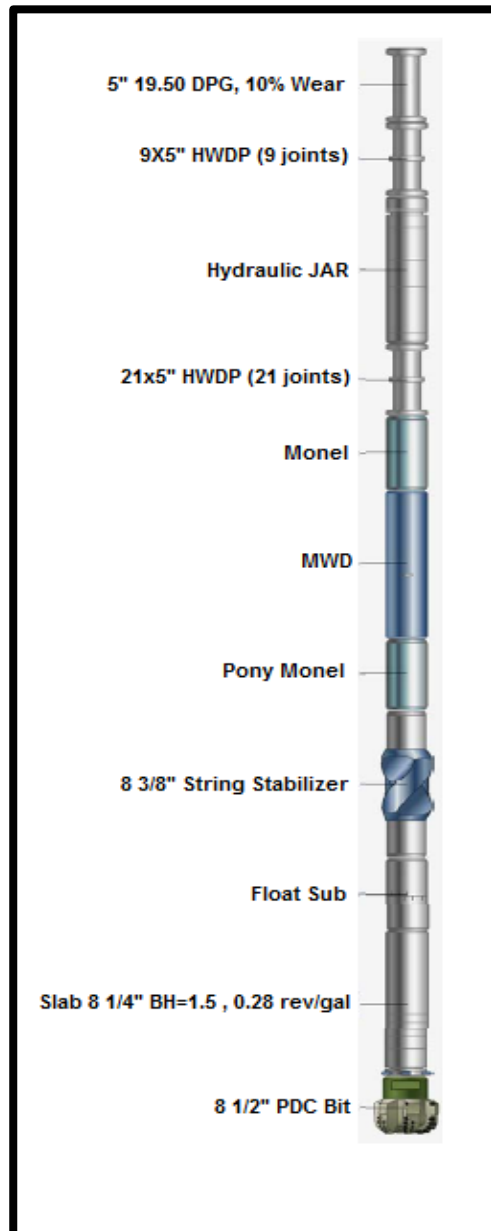


Figura 3.4: Ensamble de Fondo para Hoyo de 8 1/2"

Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School

Las características de las herramientas utilizadas en este ensamble, son:

| Herramientas           | OD (IN) | ID (IN) | Longitud (ft) | Peso (lb.) |
|------------------------|---------|---------|---------------|------------|
| 8 ½" PDC Bit           | 8.5     | 2.25    | 0.60          | 100        |
| Slab 8 ¼" BH=1.15;     | 8.25    | 5.5     | 27            | 2400       |
| Float Sub              | 6.75    | 2.75    | 2.67          | 300        |
| 8 ⅜" String Stabilizer | 6.69    | 2.84    | 5.76          | 600        |
| Pony Monel             | 6.75    | 2.81    | 8             | 700        |
| MWD                    | 6.89    | 5.125   | 27.71         | 2400       |
| Monel                  | 6.75    | 2.81    | 31.58         | 2900       |
| 21x5" HWDP (21 joints) | 6.5     | 3       | 642.98        | 32400      |
| Hydraulic JAR          | 6.5     | 2.75    | 32.42         | 1900       |
| 9x5" HWDP (9 joints)   | 6.5     | 3       | 273.75        | 13800      |
| 5" 19.50 DPG, 10 Wear  | 6.625   | 4.276   | 0             | 0          |

*Tabla VI: Características herramientas Ensamble de fondo para hoyo de 8 ½"*

*Fuente: Manual de Schlumberger – Drilling School*

### 3.2 Brocas

Para la perforación de este pozo, en base a las características litológicas se hizo un estudio de brocas a utilizar por cada etapa, buscando el mejor y más eficiente rendimiento de las herramientas según su material y forma adecuada para cada formación.

Se clasificó y optó por las brocas dependiendo de cada diámetro, como tenemos a continuación:

### **Hoyo de 26”**

Esta sección va desde 0 pies en superficie hasta una profundidad de 500 pies y la litología a atravesar está compuesta por arcillas, areniscas y pedrones superficiales.

La broca que se escogió tiene como finalidad mantener la verticalidad del pozo hasta el punto de casing.

La broca para esta sección, por su funcionalidad, fue la XR+ con código IADC: 115, cuyas características se detallan en la Tabla VII.


| DIAM | BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA | IADC | INTERVALO          | FM          | LITOL                          | CARCATERISTICAS  | ESQUEMA  | JUSTIFICACION  | PARAMETROS / OBSERVACIONES  |
|------|-------------------------------|------|--------------------|-------------|--------------------------------|--|--|--|---|
| 26"  | XR+CPS                        | 115  | 475'<br>(25'-500') | SUPERFICIAL | Pedrones,<br>arena,<br>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 TUNGSTENO DE PROTECCIÓN EN LAS PERNAS |  | BROCA CON AMPLIA EXPERIENCIA EN EL ORIENTE ECUATORIANO | WOB: 5-22 kibs<br>RPM: 60 -120<br>GPM: 300-600<br>TFA: 0.601 (4x14) |

Tabla VII: Broca Hidráulica – Hoyo 26”

Fuente: Catálogo de Brocas de “SMITH BITS”


## **Hoyo de 16"**

Esta sección va desde 500 pies hasta una profundidad de 4500 pies y la litología a atravesar está compuesta por arcilla, limolita, lutita, arena y areniscas en menor grado.

La broca que se escogió tiene como finalidad construir hasta 19<sup>0</sup> a razón de 1.4<sup>0</sup>/100' hasta 1957 pies, mantener tangente hasta 3366 pies e iniciar a tumbar la inclinación a razón de 1.2<sup>0</sup>/100' hasta 5.39<sup>0</sup> a 4500 pies, punto de revestidor de 13 3/8".

La broca para esta sección, por su funcionalidad, fue la SDi519MHPX con código IADC: S123, cuyas características se detallan en la Tabla VIII.



| DIAM | BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA | IADC | INTERVALO               | FM | LITOL                  | CARCATERISTICAS  | ESQUEMA  | JUSTIFICACION  | PARAMETROS / OBSERVACIONES   |
|------|-------------------------------|------|-------------------------|----|------------------------|--|--|--|--|
| 16"  | SDI519HPX                     | S123 | 4,000'<br>(500'- 4500') |    | SUPERFICIAL-TERCIA RIO | Pedrones:<br>arena,<br>arcilla<br><br>CUERPO DE ACERO,<br>PDC STANDARD,<br>5 ALETAS, CORTADORES:<br>44<br>JSA : 97.54pg2,<br>8 BOQUILLAS |  | BROCA CON<br>AMPLIA<br>EXPERIENCIA EN<br>EL ORIENTE<br>ECUATORIANO | WOB: 5-20 kilbs<br>RPM: 80-150<br>GPM: 600-1000<br>TFA: 1,202 (8x14) |

*Tabla VIII: Brocas Hidráulicas – Hoyo 16”*

*Fuente: Catálogo de Brocas de “SMITH BITS”*

### Hoyo de 12 ¼”

Esta sección va desde 4500 pies hasta una profundidad de 8980 pies y la litología a atravesar está compuesta por arcillas, limolitas, areniscas y conglomerado.

La broca que se escogió tiene como finalidad tumbar la inclinación a razón de 1.2°/100' hasta lograr la verticalidad a 4949 pies en Chalcaná y mantener la misma hasta punto de casing a 8980 pies.

La broca para esta sección, por su funcionalidad, fue la MSi519LMHSBPXX con código IADC: M223, cuyas características se detallan en la Tabla IX.


| DIAM   | BROCA PRINCIPAL | IADC | INTERVALO               | FM                    | LITOL   | CARCATERISTICAS   | ESQUEMA   | JUSTIFICACION   | PARAMETROS / OBSERVACIONES   |
|--------|-----------------|------|-------------------------|-----------------------|---|---|---|---|--|
| 12.25" | MSi519LMHSBPXX  | M223 | 4,480<br>(4,500- 8,980) | . ORTEGUAZA, TIYUYACU | Arcillita,<br>arenisca,<br>lutita,<br>limolita,<br>conglomerado,<br>anhidrita | CUERPO DE MATRIZ,<br>PDC NUEVA TECNOLOGÍA<br>SERIE DIRECCIONAL*<br>5 ALETAS, CORTADORES:<br>31 x 19 mm + 4 x 16 mm<br>TOTAL: 35,<br>JSA: 45.8 plg2, LONG<br>CALIBRE 2 in<br>7 BOQUILLAS |  | NUEVA<br>TECNOLOGÍA,<br>DISEÑO<br>AGRESIVO PARA<br>APLICACIONES<br>ARCILLOSAS CON<br>LA DURABILIDAD<br>NECESARIA PARA<br>ATRAVESAR EL<br>CONGLOMERADO<br>SUPERIOR | WOB: 5-30 klbs<br>RPM: 40 -150<br>GPM: 650-880<br>TFA: 1.05 (7x14) |

Tabla IX: Broca Hidráulica – Hoyo 12 ¼"


Fuente: Catálogo de Brocas de "SMITH BITS"

**Hoyo de 8 ½”**

Esta sección va desde Napo a 8980 pies, hasta Pre-Hollín a 10570 pies y la litología a atravesar está compuesta por arcillas, limolitas, areniscas, conglomerados, chert, lutitas y calizas.

La broca que se escogido tiene como finalidad mantener la verticalidad del pozo durante toda la sección.

La broca para esta sección, por su funcionalidad, fue la MSi519HUPX con código IADC: M223, cuyas características se detallan en la Tabla X.

| DIAM | BROCA PRINCIPAL / ALTERNATIVA | IADC | INTERV                   | FM                  | LITOL                 | CARCATERISTICAS  | ESQUEMA  | JUSTIFICACION   | PARAMETROS / OBSERVACIONES   |
|------|-------------------------------|------|--------------------------|---------------------|-----------------------|--|--|---|--|
| 8.5" | MSI519HUPX                    | M223 | 1,590<br>(8,980- 10,570) | TENA, NAPO Y HOLLÍN | Arenisca,<br>Arcilla, | CUERPO DE MATRIZ<br>PDC , 5 ALETAS,<br>CORTADORES: 27 x<br>19mm<br>+ 7 x 16 mm TOTAL:<br>34.<br>JSA: 12.48 plg2 ,<br>7 BOQUILLAS |  | LAS 5 ALETAS<br>COMBINADO CON<br>CORTADORES DE<br>19 mm y<br>CORTADORES DE<br>RESPALDO<br>PROVEERAN<br>SUFICIENTE<br>DURABILIDAD A LA<br>BROCA EN<br>LITOLOGIAS<br>ABRASNAS | SE DEBERAN<br>CONTROLAR LOS<br>PARAMETROS<br>PREVIO AL<br>INGRESO DE LOS<br>CONGLOMERADOS,<br>WOB: 10-20 klbs<br>RPM: 40 -120<br>GPM: 400-580<br><b>TFA: 0.65 (7x11)</b> |

*Tabla X: Broca Hidráulica – Hoyo 8 ½”*

*Fuente: Catálogo de Brocas de “SMITH BITS”*

### 3.3 Lodos de perforación

El sistema de lodos de perforación para el pozo ESPOL 15 fue diseñado, basándose en:

- Plan de Perforación pozo ESPOL 15.
- Asegurarse de las correctas propiedades inhibidoras del sistema y mantener buena limpieza del agujero, según el diseño del pozo.

- Asegurar una adecuada limpieza de hoyo y estabilidad al perforar las formaciones Orteguzza, Tiyuyacu, Tena, Basal Tena y Napo.

Para la optimización del sistema de lodos, este fue clasificado por las secciones a perforar, de la siguiente manera:

| <b>Profundidad<br/>Medida TVD (ft.)</b> | <b>Broca<br/>(pulg.)</b> | <b>Sistema</b>           | <b>Densidad</b>          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 500                                     | 26                       | Fluido Nativo            | 8.4 - 9.0 ppg            |
| 500 – 4500                              | 16                       | Disperso                 | 8.4 - 9.8 - 10.3<br>ppg  |
| 4500 – 8980                             | 12.5                     | Disperso / KLA<br>SHIELD | 9.5 - 10.1 - 10.3<br>ppg |
| 8980 – 10570                            | 8.5                      | KLA SHIELD               | 9.7 - 9.9 - 10.1<br>ppg  |

*Tabla XI: Sistemas de Fluidos de Perforación del pozo ESPOL 15*

*Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos*

Para cada sección se estableció un tipo de fluido a utilizar, con un rango de densidades y características específicas, que detallaremos a continuación:

### Fluido Nativo – Hoyo de 26”

Por las características litológicas que conforman esta sección, se utilizará Fluido Nativo (Bentonita extendida – pre hidratada), ya que así incrementa el punto cedente y los esfuerzos de gel, contribuyendo al acarreo de cortes y a la estabilización de las paredes del hoyo.

Este fluido está compuesto por: extendedor de bentonita, viscosificante, densificante, agente acarreador (gel) y dispersante (Ca<sup>++</sup>). Ya que la longitud de esta sección es de 500 pies, se espera utilizar 1.47 bbl/ft, con las siguientes propiedades:

| <b>Propiedades Recomendadas</b>              |                  |
|--|------------------|
| <b>Densidad (lpg)</b>                        | 8.4 - 9.0        |
| <b>Viscosidad (sec/qt)</b>                   | 35 - 48          |
| <b>PV (cP)</b>                               | Tan Baja Posible |
| <b>YP (lb/100 pie<sup>2</sup>)</b>           | 8 - 22           |
| <b>pH</b>                                    | 7.0 - 8.0        |
| <b>Filtrado API (cm<sup>3</sup>/30 min.)</b> | N/C              |
| <b>Sólidos de Perf. (% by Vol.)</b>          | 10% máx.         |
| <b>MBT (lb/bbl equiv.)</b>                   | N/C              |

*Tabla XII: Características de fluido “Nativo”*

*Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos*

### Fluido Nativo Disperso - Hoyo de 16"

Por las características litológicas que conforman esta sección, se utilizará Fluido Nativo Disperso, ya que se espera que haya hinchamiento de arcillas y embolamiento de broca.

Este fluido está compuesto por: extendedor de bentonita, surfactante (mejora ROP), píldoras de barrido (sweep pills), viscosificante, densificante, antiespumante y dispersante (Ca<sup>++</sup>). Ya que la longitud de esta sección es de 4500 pies, se espera utilizar 0.6 bbl/ft, con las siguientes propiedades:

| <b>Propiedades Recomendadas</b>              |                     |
|--|---------------------|
| <b>Densidad (lpg)</b>                        | 8.4 - 9.8/10.0      |
| <b>Viscosidad (sec/qt)</b>                   | 27 - 32             |
| <b>PV (cP)</b>                               | Lo más bajo posible |
| <b>YP (lb/100 pie<sup>2</sup>)</b>           | 6 - 13              |
| <b>Ca<sup>**</sup> (mg/L)</b>                | < 200.              |
| <b>pH</b>                                    | 7.0 - 8.0           |
| <b>Filtrado API (cm<sup>3</sup>/30 min.)</b> | N/C                 |
| <b>Sólidos de Perf. (% by Vol.)</b>          | 15% máx.            |
| <b>MBT (lb/bbl equiv.)</b>                   | < 35                |

*Tabla XIII: Características de fluido "Nativo Disperso"*

*Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos*

### **Fluido Nativo Disperso/Kla Shield - Hoyo de 12 ¼”**

Por las características litológicas que conforman esta sección, se utilizará primero Fluido Nativo Disperso desde los 4500 hasta los 7100 pies y luego Fluido KLASHIELD desde los 7100 hasta los 8980 pies, para aislar las formaciones Chalcana, Orteguaza, Tiyuyacu, Tena.

Es necesario poner surfactantes para prevenir embolamiento de broca y reductores de filtrado para minimizar la invasión y mantener la estabilidad del hueco.

El fluido KLASHIELD está compuesto por: inhibidor de arcillas, densificante (barita), agente acarreador (gel), antiespumante, lubricante, surfactante (mejora ROP), controladores de pérdida de fluidos, soda caustica, controladores de pH (ácido cítrico), píldoras de barrido (sweep pills) y dispersante (Ca<sup>++</sup>). Ya que la longitud de esta sección es de 4650 pies, se espera utilizar 0.29 bbl/ft, con las siguientes propiedades:



| <b>Propiedades Recomendadas</b>              |                   |
|--|-------------------|
| <b>Densidad (lpg)</b>                        | 9.7 - 10.1 - 10.3 |
| <b>PV (cP)</b>                               | 12 - 22           |
| <b>YP (lb/100 pie<sup>2</sup>)</b>           | 12 - 18           |
| <b>Filtrado API (cm<sup>3</sup>/30 min.)</b> | 16.0 - 12.0       |
| <b>MBT (lb/bbl equiv.)</b>                   | < 25              |
| <b>pH</b>                                    | 10.5 - 9.5        |
| <b>Sólidos de Perf. (% by Vol.)</b>          | < 10.0            |
| <b>Ca** (mg/l)</b>                           | 200 máx.          |

*Tabla XIV: Características de fluido "KLA SHIELD"*

*Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos*

### **Fluido Kla Shield - Hoyo de 8 ½"**

Por las características litológicas que conforman esta sección, se utilizará Fluido KLASHIELD para aislar las potenciales arenas productoras: "U" y "T". Se buscará minimizar el factor de daño de la formación y aumentar el retorno de permeabilidad.

El fluido KLASHIELD está compuesto por: inhibidor de arcillas, densificante (barita), agente acarreador (gel), antiespumante, lubricante, surfactante (mejora ROP), controladores de pérdida de fluidos, soda caustica, controladores de pH (ácido cítrico), píldoras de barrido (sweep pills) y

dispersante (Ca<sup>++</sup>). Ya que la longitud de esta sección es de 4650 pies, se esperó utilizar 0.29 bbl/ft, con las siguientes propiedades:

| <b>Propiedades Recomendadas</b>              |                     |
|--|---------------------|
| <b>Densidad (lpg)</b>                        | 9.7 - 9.9<br>(10.1) |
| <b>PV (cP)</b>                               | 14 - 25             |
| <b>YP (lb/100 pie<sup>2</sup>)</b>           | 22 - 30             |
| <b>Filtrado API (cm<sup>3</sup>/30 min.)</b> | < 6.0               |
| <b>MBT (lb/bbl equiv.)</b>                   | < 10                |
| <b>pH</b>                                    | 10.5 - 9.5          |
| <b>Sólidos de Perf. (% by Vol.)</b>          | <10                 |
| <b>Ca<sup>**</sup> (mg/l)</b>                | 100 Máx.            |

*Tabla XV: Características de fluido "KLA SHIELD – Última sección"*

*Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos*

Una vez realizado el análisis detallado de los fluidos de perforación utilizados en el pozo ESPOL 15, es importante conocer a detalle como variarán las densidades de los mismos, conforme avanzábamos en profundidad.

Esta variación Profundidad vs. Peso del lodo, la podemos observar en el Gráfico 3.2.



Gráfico 3.2: Profundidad vs. Peso del lodo

Fuente: Datos de Sistemas de Fluidos de pozos vecinos

### 3.4 Diseño de revestidores

Una de las actividades de mayor importancia en la perforación de un pozo petrolero, es la protección y aislamiento de las paredes del mismo; para evitar derrumbes, influjos o infiltraciones de fluidos, contaminaciones y problemas mecánicos u operacionales que estos puedan generar en la ejecución de la actividad.

Es así que resulta indispensable hacer un diseño de revestidores de calidad y apropiados, para resistir características físicas como presiones a soportar de las formaciones a aislar.

No solo es importante la calidad al momento del diseño de revestidores, sino también los costos tanto operacionales como de planificación que estos pueden generar, por lo que se debe encontrar el punto de equilibrio entre calidad y costo.

Para las secciones que atravesará nuestra perforación, hemos hecho un diseño en base a las presiones y características que deben soportar nuestros revestidores. Esto es: las presiones que por cada sección se deben soportar, las formaciones que se aislarán, las profundidades a las que se encontrarán nuestros revestidores y los factores y criterios de diseño para esta ejecución.

La tubería de revestimiento seleccionada debe resistir presiones en los procesos de perforación, terminación, reparación o vida productiva del pozo; es por ello que el diseño se lo ha hecho en base al “Estándar Para el Diseño de Tuberías de Revestimiento y Producción IPM-WCI-CSG-ST-002”.

Las características del acero que se utilizará para los revestidores, diámetro, peso y la profundidad a la que serán asentados dentro de las formaciones, se detallan en la Tabla XVI.

| <b>Casing</b> | <b>OD (in)</b> | <b>Peso (lb/ft)</b> | <b>Asentamiento</b>                               | <b>Profundidad Asentamiento MD (ft)</b> | <b>Propiedades</b> |
|---------------|----------------|---------------------|---|---|--------------------|
| Conductor     | 20"            | 94                  | Formación arcillosa después de atravesar Boulders | +/- 500'                                | K-55, BTC          |
| Superficie    | 13 3/8"        | 68                  | Chalcana  | +/- 4500'                               | K-55, BTC          |
| Producción    | 9 5/8"         | 47                  | Tena  | +/- 8980'                               | N-80 BTC           |
| Producción    | 7"             | 26                  | TD para cubrir zonas productoras Hollín           | +/- 10570'                              | N-80/P-110, BTC    |

*Tabla XVI: Características de los Revestidores a utilizar*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo*

### 3.4.1 Factores y criterios de diseño

Los revestimientos que se utilizan para aislar las formaciones de las paredes del pozo, están sometidos a tres fuerzas que se aplican sobre ellos, es decir a tres tipos de presiones, las cuales son:

- **Colapso.-** Esta presión se da por las fuerzas externas que actúan sobre el revestidor; que se generan por:
  - Presión hidrostática de los fluidos más densos que se dejarán atrás del revestidor.
  - Presión generada por cemento (en estado líquido, ya que se considera que no fragua por factores de diseño).
  - Interior de la tubería completamente vacía (se considera).
  
- **Estallido.-** Esta presión se da por las fuerzas internas que actúan sobre el revestidor; que se generan por:
  - Presión de Inyección.

- Presión de cierre en superficie.
- Presión hidrostática de la columna de fluido, que es la presión más baja detrás del revestidor.
- **Tensión y compresión.**- Esta presión se da por las fuerzas axiales que actúan sobre la tubería, que se generan por:
  - Peso de la tubería.
  - Overpull (tensionamiento para sacar tubería).
  - Fuerzas de flotación que ejercen los fluidos sobre la tubería.

Una vez que sabemos las diferentes presiones que soportan nuestras tuberías de revestimiento y qué las generan, procedemos a utilizar las siguientes ecuaciones para determinar los valores de los tres tipos de presiones que soportará nuestra tubería por cada sección:

## Colapso

- Presión hidrostática en superficie

$$P_s = 0 \text{ psi}$$

- Cálculo de la presión hidrostática del lodo

$$P_h = 0,052 * \rho_{lodo} * TVD$$

Factor de seguridad 12%

Este factor se toma en base a la norma mencionada

$$P_{hfs} = P_h * 1,12$$

- Cálculo de la presión hidrostática de la lechada LEAD @ profundidad

$$P_{LEAD} = 0,052 * \rho_{LEAD} * TVD$$

Factor de seguridad 12%

Este factor se toma en base a la norma mencionada

$$P_{LEADfs} = P_{LEAD} * 1,12$$

- Cálculo de la presión hidrostática de la lechada TAIL @ profundidad

$$P_{TAIL} = 0,052 * \rho_{TAIL} * TVD_{TAIL} + P_{LEAD}$$



Factor de seguridad 12%

Este factor se toma en base a la norma mencionada

$$P_{TAILfs} = P_{TAIL} * 1,12$$

## Estallido

### - CARGAS POR DENTRO DEL REVESTIDOR

Cálculo de la presión de inyección  
superficie

$$P_i = (F_G + SF)(0,052 * TVD)$$

Cálculo de la presión de cierre en

$$P_s = P_i - (\rho g * 0,052)TVD$$

### - CARGAS DETRÁS DEL REVESTIDOR

Presión de respaldo en superficie  
profundidad

$$P_s = 0 \text{ psi}$$

Cálculo de la presión de respaldo a

$$P_R = \text{Gradiente del agua} * TVD$$

### - PRESIÓN RESULTANTE

Cálculo de la resultante en superficie

$$R_s = \text{Presión de inyección} - \text{Presión de respaldo en superficie}$$

Cálculo de la resultante a profundidad

$$R_{TVD} = \text{Presión de cierre en superficie} - \text{Presión de cierre a profundidad}$$

#### - CÁLCULO DEL DISEÑO FINAL POR ESTALLIDO

Factor de Seguridad (10%)

Este factor de seguridad se lo toma, en base a la norma antes mencionada

$$R = R_s * 1,1$$

$$R =$$

$$R_{TVD} * 1,1$$

### Tensión y Compresión

- Cálculo de la fuerza de flotación por peso de la tubería

$$A = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2)$$

$$F_b = 0,052 * A * \rho_{lodo} * TVD$$

$$F_{resultante} = W_{casing} - F_b$$

- Cálculo por overpull

Tensión que aplique el operador (recomendable no exceder 100000 Lbs.).

- Cálculo de la fuerza de flotación por esfuerzos biaxiales

$$A_i = \frac{\pi}{4} (ID^2)$$

$$A_o = \frac{4}{\pi} (OD^2)$$

$$F_{out} = 0,052 * A_o * (\rho_{LEAD} * TVD_{LEAD} + \rho_{TAIL} * TVD_{TAIL})$$

$$F_{in} = A_i * (P_T + 0.052 * \rho_{lodo} * TVD)$$

$$T = W_{casing} - F_{OUT} + F_{in}$$

- Resultante

$$Resultante = F_{resultante} + Overpull + T$$

Aplicando las ecuaciones anteriores por cada sección y para cada tipo de presión, se calcularon los valores de la Tabla XVII.

| Revestidor                 | Estallido | Colapso | Tensión | Compresión |
|----------------------------|-----------|---------|---------|------------|
|                            | Psi       | psi     | psi     | psi        |
| 20" Conductor              | 1250      | 2030    | 4920    | 21430      |
| 13 3/8" Superficial<br>Csg | 2190      | 1230    | 4320    | 3880       |
| 9 5/8" Intermedio Csg      | 3720      | 2130    | 3120    | 3490       |
| 7" Productor Csg           | 1560      | 1100    | 3260    | 3450       |

*Tabla XVII: Presiones que deben soportar los revestidores por cada sección  
Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo*

Una vez diseñado el tipo de revestidor según la sección, resulta importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Probar la tubería para asegurar la calidad del diseño de los revestimientos.
- Considerar la máxima carga estática que soportarán los casing.
- Ordenar y medir los revestidores, realizando el Casing Tally. De esta manera sabremos con precisión el número de tuberías que estamos utilizando y bajando, así como la longitud y peso acumulado.

Tomadas ya estas consideraciones, se debe proceder a realizar pruebas a los revestidores, para asegurar su integridad y calidad. Estas pruebas son:

- Prueba visual.
- Prueba hidrostática (alta y baja presión).
- Prueba electromagnética.

Estas pruebas obedecen y se guían en base a los lineamientos establecidos en el “Estándar Sobre Pruebas de Presión de Tubería de Revestimiento, Producción y Liner IPM-WCI-CSG-ST-001”.

Las presiones de prueba para cada revestidor, se establecen a continuación:

| <b>Sección</b>                   | <b>Casing</b>                    | <b>Resistencia de Colapso (psi)</b> | <b>Presión Interna de Rendimiento</b> | <b>Presión Máxima de prueba de preventores (psi)</b> | <b>Prueba de Casing (psi)</b> |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| 26"                              | 20"                              | 520                                 | 2110                                  | -  | 400                           |
| 16"                              | 13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " | 1950                                | 3450                                  | 2400   | 500                           |
| 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " | 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "  | 4750                                | 6870                                  | 4000   | 500                           |
| 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "  | 7"                               | 5410<br>6230                        | 7240<br>9960                          | 4000   | 900                           |

*Tabla XVIII: Presiones de Prueba de diferentes secciones*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo*

Haciendo uso de un programa mecánico de simulación, podemos observar la simulación de las presiones que soportarán nuestros revestidores, conforme aumenta la profundidad, tal como se detalla en la Figura 3.5.

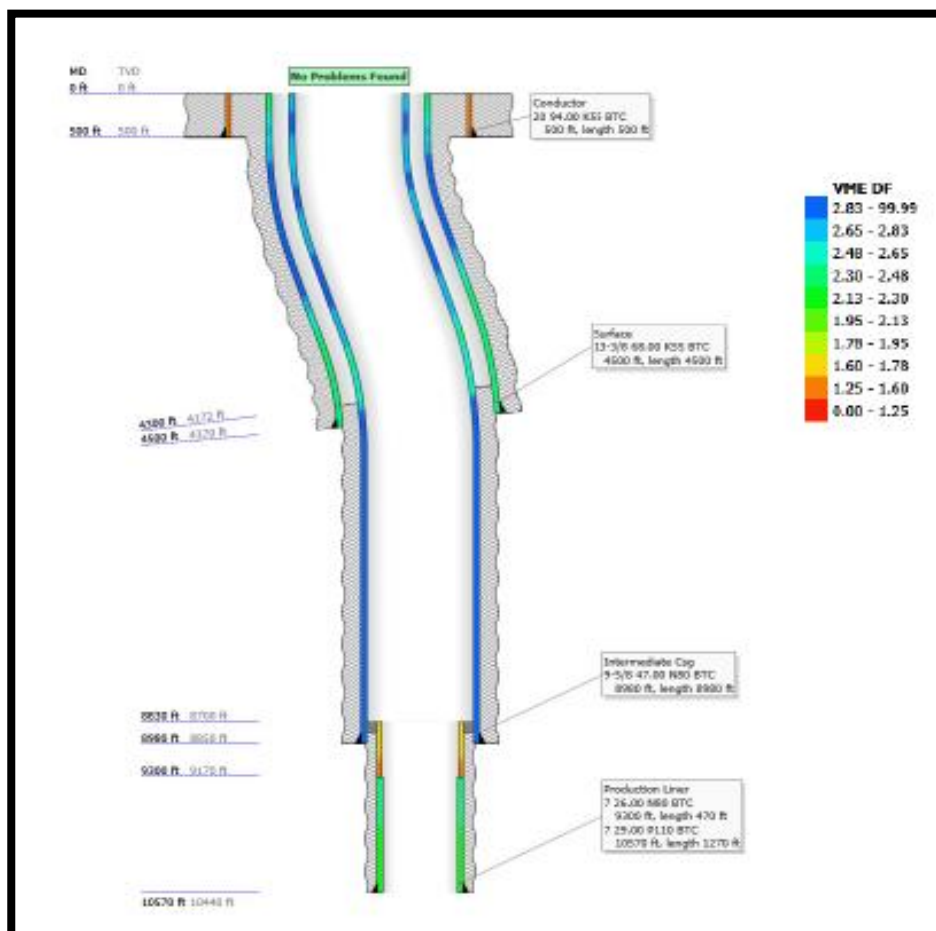


Figura 3.5: Simulación de Factor de Diseño para Revestidores  
Fuente: Elaborado por Enrique Barberán y Hugo Quevedo

### **3.5 Programa de cementación**

Para la cementación de cada sección se utilizarán cemento clase “A” y clase “G”, cuyas características se detallan en la Tabla XIX.

Con estos cementos, se emplearán lechadas TAIL y LEAD respectivamente en los topes programados.

Se debe tomar en cuenta que el hoyo no conserva su tamaño teórico, además el cemento se filtra hacia las formaciones, por lo que se planificó utilizar un exceso de volumen de estas lechadas. Este porcentaje de exceso en la cementación de cada revestidor se lo determinó en base a las características litológicas que presenta nuestro hoyo y a los programas utilizados en pozos vecinos.

| Casing                           | Cemento              | Tail Top            | Cemento              | Lead Top              | Exceso Planeado |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| 20"                              | 15.2 ppg<br>Tipo "A" | Superficie          | -                    | -                     | 50%             |
| 13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " | 15.6 ppg<br>Tipo "A" | 510 de altura       | 13.5 ppg<br>Tipo "A" | Superficie            | 10%             |
| 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "  | 15.8 ppg<br>Tipo "A" | 502 pies de altura  | 13.5 ppg<br>Tipo "A" | 4300 pies (4141 pies) | 20%             |
| 7"                               | 17.0 ppg<br>Tipo "G" | 1423 pies de altura | 15.8 ppg<br>Tipo "G" | 8807 pies (339 pies)  | 40%             |

*Tabla XIX: Características del Cemento y Lechadas a utilizar*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| Topes Cemento MD (ft)                |            |
|--------------------------------------|------------|
| CSG 20"                              | Superficie |
| CSG 13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " | Superficie |
| CSG 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "  | 4300'      |
| Liner 7"                             | 8807'      |

*Tabla XX: Topes de Cemento*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

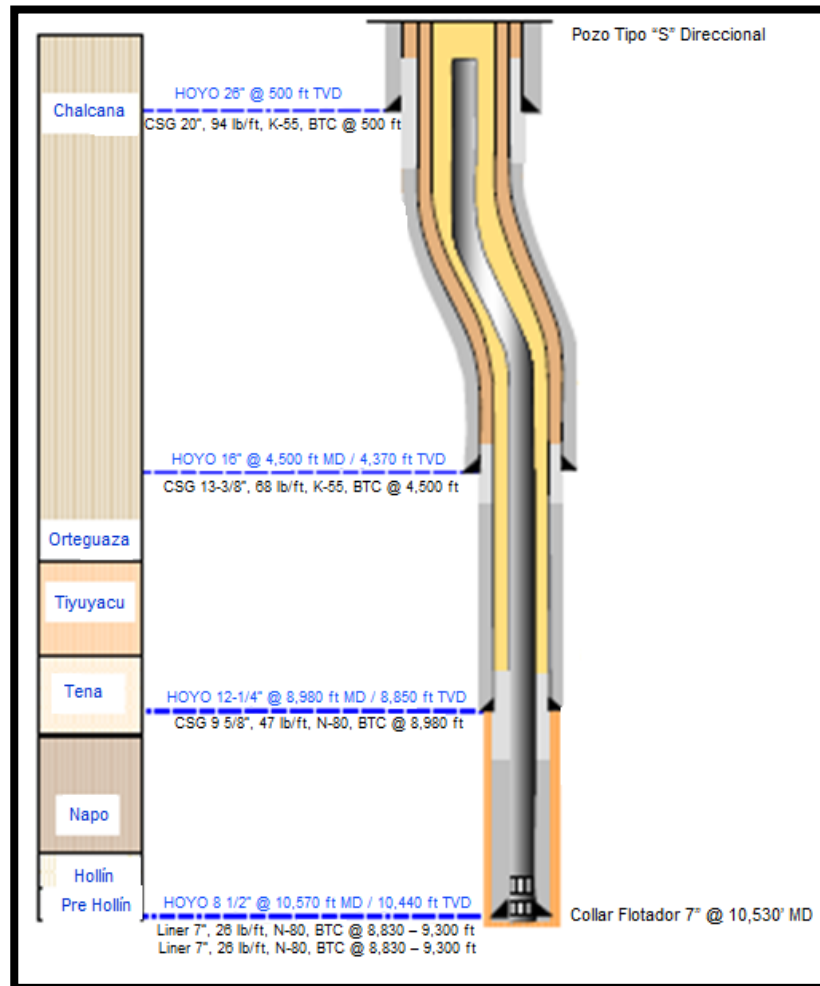
Con los toques de cemento dados, en base al rendimiento, filtración y fraguado que se dio de estos cementos en pozos vecinos (características litológicas similares), podemos determinar que se necesitarán 300 sacos de cemento para la lechada TAIL y 1500 sacos para la lechada LEAD (incluye exceso planificado).



Es importante tener las siguientes consideraciones para una óptima operación de cementación:

- Controlar la densidad, reología y calidad de las lechadas a utilizar.
- Realizar las pruebas API a las lechadas para controlar parámetros, como: tiempo de fraguado, propiedades físicas y químicas, adherencia, resistencia del cemento, entre otros.
- Controlar filtraciones de lechada hacia las formaciones.
- Controlar la Densidad Equivalente de Circulación (ECD), la tasa de bombeo y el tiempo total de bombeo, sea este continuo o por hesitación.

A continuación se presenta el esquema de asentamiento de revestidores del pozo ESPOLE 15, según la profundidad y sección:



*Figura 3.6: Diseño Mecánico del pozo ESPOL 15 – Ubicación de Revestidores Cementados*

*Fuente: Pozos vecinos del Campo Prosperina*

### **3.6 Hidráulica**

Hacer un estudio de las características hidráulicas que se dan en la perforación de un pozo resulta importante para obtener un ROP (tasa de penetración) óptimo, de tal manera que el hoyo se encuentre en buen estado y poder avanzar sin dificultades hacia nuestro target.

Las características reológicas del fluido de perforación a utilizar son importantes para los cálculos de la hidráulica, así como para determinar las velocidades con las que se trabaja y las caídas de presiones que cada herramienta del BHA genera en cada sección.

Se ha hecho un cálculo por sección, para determinar todas las variables antes mencionadas, dando los siguientes resultados:

## Hoyo de 26"

Para esta sección no se necesita cálculos precisos de la Hidráulica, ya que comprende los primeros 500 pies perforados, cercanos a superficie. Es por esto que los problemas que se pueden presentar son mínimos o no tan graves, para controlar en esta etapa las tasas de flujo, tasas de penetración, potencia hidráulica, entre otros.

## Hoyo de 16"

| <b>Propiedades del lodo</b>        |      |
|------------------------------------|------|
| Peso del Lodo (lbm/gal)            | 9.8  |
| PV (cp)                            | 15.0 |
| YP (lbf/100ft <sup>2</sup> )       | 22.0 |
| Fann 3 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 8.7  |
| Fann 6 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 9.8  |
| Fann 100 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 22.7 |
| Fann 200 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 30.6 |
| Fann 300 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 37.0 |
| Fann 600 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 52.0 |

*Tabla XXI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 16"*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Flow rate(gal/min) | 880.0 |
| ROP (ft/h)         | 100.0 |
| RPM                | 80.0  |

*Tabla XXII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 16”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Caídas de Presión</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Equipo de superficie (psi) | 111  |
| Indide Drillstr. (psi)     | 1251 |
| Tools (psi)                | 274  |
| Motor (psi)                | 607  |
| RSS / Turbine (psi)        | 0    |
| Flow Restrictor (psi)      | 0    |
| Bit Nozzles (psi)          | 544  |
| Annulus* (psi)             | 67   |
| Chokeline (psi)            | 0    |
| Hyd. Imbalance (psi)       | -32  |
| Ann. Back-Pres (psi)       | 0    |
| TOTAL                      | 2822 |
| Toll Joint % (length)      | 7    |

*Tabla XXIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 16”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>ECD</b>              |         |
|-------------------------|---------|
| ECD at Bit (lbm/gal)    | 10.0374 |
| ECD at Shoe (lbm/gal)   | 9.5572  |
| ECD at 4500ft (lbm/gal) | 10.0374 |

*Tabla XXIV: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 16”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Bit</b>                        |         |
|-----------------------------------|---------|
| Bit Flowrate (gal/min)            | 827.20  |
| Jet Velocity (ft/s)               | 255.93  |
| Actual HSI (hp/in <sup>2</sup> )  | 1.32    |
| Actual Jet Impact Force (lbf)     | 1084.04 |
| Hydraulic Power at Bit (hhp)      | 262.50  |
| Max Bit HSI (hp/in <sup>2</sup> ) | 1.09    |
| Max Jet Impact Force (lbf)        | 2030.14 |

*Tabla XXV: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 16”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

#### **Hoyo de 12 ¼”**

| <b>Propiedades del lodo</b>        |      |
|------------------------------------|------|
| Peso del Lodo (lbm/gal)            | 10.1 |
| PV (cp)                            | 15.0 |
| YP (lbf/100ft <sup>2</sup> )       | 22.0 |
| Fann 3 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 8.7  |
| Fann 6 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 9.8  |
| Fann 100 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 22.7 |
| Fann 200 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 30.6 |
| Fann 300 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 37.0 |
| Fann 600 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 52.0 |

*Tabla XXVI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 12 ¼”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Flow rate(gal/min) | 880.0 |
| ROP (ft/h)         | 80.0  |
| RPM                | 80.0  |

*Tabla XXVII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 12 ¼”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Caídas de Presión</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Equipo de superficie (psi) | 98   |
| Indide Drillstr. (psi)     | 1720 |
| Tools (psi)                | 251  |
| Motor (psi)                | 952  |
| RSS / Turbine (psi)        | 0    |
| Flow Restrictor (psi)      | 0    |
| Bit Nozzles (psi)          | 448  |
| Annulus* (psi)             | 103  |
| Chokeline (psi)            | 0    |
| Hyd. Imbalance (psi)       | -70  |
| Ann. Back-Pres (psi)       | 0    |
| TOTAL                      | 3504 |
| Toll Joint %(length)       | 7    |

*Tabla XXVIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 12 ¼”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>ECD</b>              |         |
|-------------------------|---------|
| ECD at Bit (lbm/gal)    | 10.2546 |
| ECD at Shoe (lbm/gal)   | 10.2362 |
| ECD at 8980ft (lbm/gal) | 10.2546 |

*Tabla XXIX: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 12 ¼”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Bit</b>                        |         |
|-----------------------------------|---------|
| Bit Flowrate (gal/min)            | 752.0   |
| Jet Velocity (ft/s)               | 229.27  |
| Actual HSI (hp/in <sup>2</sup> )  | 1.68    |
| Actual Jet Impact Force (lbf)     | 905.70  |
| Hydraulic Power at Bit (hhp)      | 196.47  |
| Max Bit HSI (hp/in <sup>2</sup> ) | 0.92    |
| Max Jet Impact Force (lbf)        | 1361.52 |

*Tabla XXX: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 12 ¼”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*



## Hoyo de 8 ½"

| <b>Propiedades del lodo</b>        |      |
|------------------------------------|------|
| Peso del Lodo (lbm/gal)            | 9.9  |
| PV (cp)                            | 9.0  |
| YP (lbf/100ft <sup>2</sup> )       | 13.0 |
| Fann 3 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 5.1  |
| Fann 6 (lbf/100ft <sup>2</sup> )   | 5,8  |
| Fann 100 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 13.4 |
| Fann 200 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 18.2 |
| Fann 300 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 22.0 |
| Fann 600 (lbf/100ft <sup>2</sup> ) | 31.0 |

*Tabla XXXI: Propiedades del lodo obtenidas en laboratorio – Hoyo 8 ½"*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Flow rate(gal/min) | 440.0 |
| ROP (ft/h)         | 60.0  |
| RPM                | 80.0  |

*Tabla XXXII: Tasas de flujo, penetración y revoluciones – Hoyo 8 ½"*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Caídas de Presión</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Equipo de superficie (psi) | 26   |
| Indide Drillstr. (psi)     | 493  |
| Tools (psi)                | 106  |
| Motor (psi)                | 597  |
| RSS / Turbine (psi)        | 0    |
| Flow Restrictor (psi)      | 0    |
| Bit Nozzles (psi)          | 286  |
| Annulus* (psi)             | 163  |
| Chokeline (psi)            | 0    |
| Hyd. Imbalance (psi)       | -53  |
| Ann. Back-Pres (psi)       | 0    |
| TOTAL                      | 1618 |
| Toll Joint %(length)       | 7    |

*Tabla XXXIII: Caídas de presiones adicionales - Hoyo de 8 ½"*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>ECD</b>               |         |
|--------------------------|---------|
| ECD at Bit (lbm/gal)     | 10.1237 |
| ECD at Shoe (lbm/gal)    | 10.1239 |
| ECD at 10570ft (lbm/gal) | 10.1237 |

*Tabla XXXIV: Densidad Equivalente de Circulación – Hoyo 8 ½"*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

| <b>Bit</b>                        |         |
|-----------------------------------|---------|
| Bit Flowrate (gal/min)            | 376.0   |
| Jet Velocity (ft/s)               | 185.69  |
| Actual HSI (hp/in <sup>2</sup> )  | 1.12    |
| Actual Jet Impact Force (lbf)     | 357.36  |
| Hydraulic Power at Bit (hhp)      | 62.79   |
| Max Bit HSI (hp/in <sup>2</sup> ) | 2.73    |
| Max Jet Impact Force (lbf)        | 1159.65 |

*Tabla XXXV: Características Hidráulicas de la Broca – Hoyo 8 ½”*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos*

### **3.7 Tiempo de ejecución de la perforación**

En base a las curvas de profundidad versus tiempo y demás datos de pozos vecinos, hemos trabajado la correlación de información, elaboración del plan de perforación y cementación, buscando la mayor eficiencia en estas actividades, ya que se han tomado los aciertos y corregido posibles errores que se presentaron en los pozos aledaños.

Para el pozo ESPOL 15 se ha planificado una ejecución completa en 23 días. Con la correlación de datos se diseñó la curva de “Profundidad vs. Tiempo” deseada.

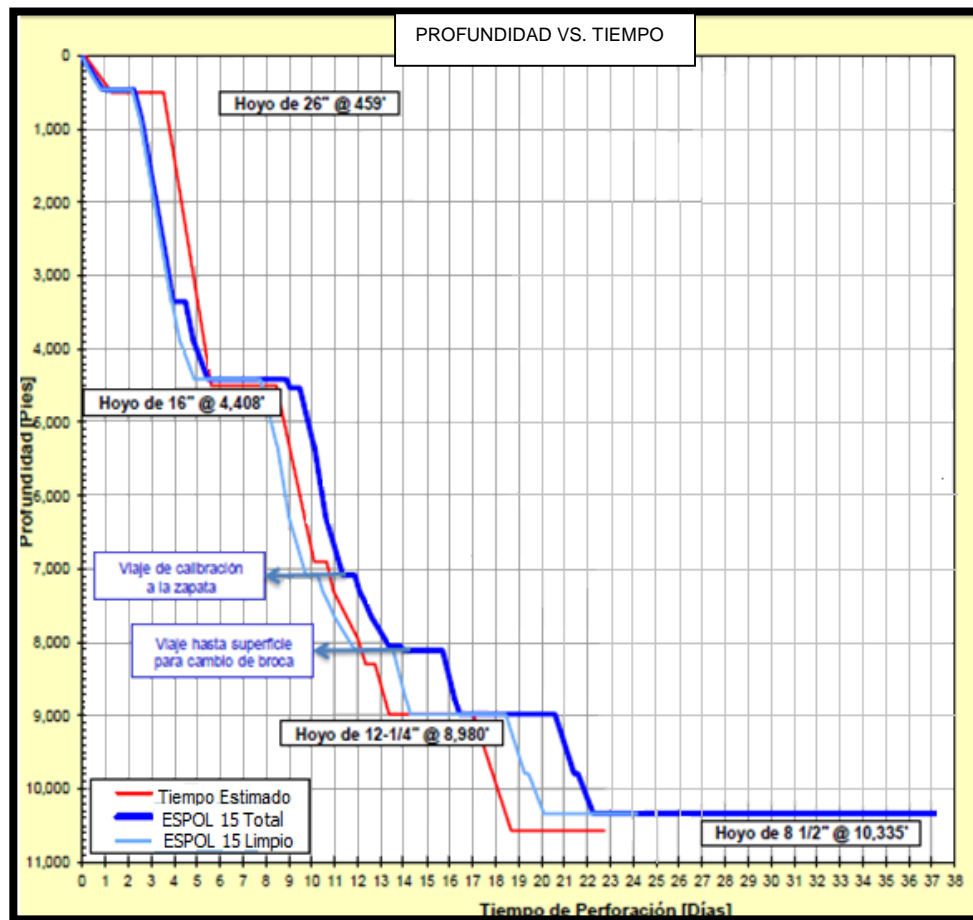


Gráfico 3.3: Profundidad vs. Tiempo para pozo ESPOL 15

Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de pozos vecinos

Como se puede observar en el Gráfico 3.3 se ha considerado en la curva azul, el tiempo total de ejecución y una extensión en el tiempo de la operación. Esto se ha hecho para tomar en cuenta los tiempos muertos (NPT'S) generados por actividades no planificadas, que se observaron en pozos vecinos.

Cabe recalcar que esta planificación espera no tener mayores contratiempos, pero todo el proyecto debe tomar en cuenta qué actividades pueden salir de lo programado, así como el tiempo y gastos que estas puedan generar.

Es por ello que consideramos prudente un lapso de 15 días extras para poder solucionar problemas operativos que se puedan generar. Estos posibles problemas observados en pozos vecinos, los mencionaremos a continuación.

### **3.7.1 Problemas operativos que generarían NPT's.**

En base a la recopilación de datos de la industria petrolera y en específico de los demás pozos perforados en el "CAMPO PROSPERINA", se han considerado que nuestro pozo podría tener los siguientes problemas, debido a las características litológicas y operativas:

- Viajes de limpieza del hoyo no programadas, en cualquier sección.
- El tipo del lodo a utilizar según la litología que se atravesase, debe asegurar que no se generará inhibición del mismo, ya que

esto podría afectar el tamaño del hueco, forma y tamaño de los cortes.

- Pérdidas de circulación, debido a mal desempeño y características no adecuadas del lodo.
- Viajes de calibración no planificados.
- Desperfecto mecánico de alguna herramienta en superficie.
- Pegas diferenciales, debido a: altas densidades de fluidos, muchos ripios en el hoyo (mala limpieza), alto Dog Leg Severity (DLG), interrupción de circulación, entre otros.
- Procedimientos de pesca
- Mal fraguado de la lechada o presiones de inyección inadecuadas.
- Fallas operativas humanas.

Las posibles soluciones que consideramos para los problemas antes mencionados las citamos a continuación. Entre ciertas soluciones tenemos:

- Controlar los ROP y las RPM adecuadas, para no tener problemas posteriores de calibración, efecto zanahoria, pegas y demás.
- Controlar los caudales de circulación.
- Mantener una limpieza adecuada y constante del hoyo.
- No dejar el hueco sin fluido nunca.
- No dejar inmóvil la tubería de perforación.
- Mantener siempre la circulación en el pozo.
- Controlar la reología de los fluidos de perforación y cementación.
- Planificar y supervisar siempre las actividades que está haciendo todo el equipo que trabaja en el taladro.
- Trabajar con la mayor predisposición y cuidado durante toda la operación.

Cabe recalcar que estas soluciones no son las únicas, ni tampoco pueden ser las más precisas para todos los problemas operativos que ocurran en la perforación y cementación de un pozo, es decir que un pozo puede ser

parecido a otro, pero su rendimiento, problemas y características, serán resueltos de maneras un tanto distintas.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, en cada pozo hay que operar con eficiencia, profesionalismo y dedicación, para observar todas las características y alertas que estos nos generen.

### **3.8 Costos operativos**

La perforación y todas las actividades realizadas para poner a producir un pozo, pueden ser planificadas para llevarse a cabo de la manera más tecnológica, vanguardista y con las mejores herramientas posibles, pero todo esto representa mayores costos a las operaciones de estas actividades. Es por ello que es importante que la planificación técnica, vaya de la mano de una planificación económica que analice los costos operativos que se harán en un proyecto de este calado.

Los costos de las actividades antes mencionadas, dependen de varios factores, lo importante es encontrar el punto de equilibrio óptimo técnico y económico.



Entre los factores que darán el valor de los costos operativos, tenemos:

- Cantidad y calidad de datos geológicos y sísmicos exploratorios con los que se cuente.
- Litología de las formaciones a perforar.
- Profundidad del pozo.
- Costo de equipos de superficie a utilizar.
- Costo y cantidad de tuberías, brocas y herramientas del BHA a utilizar.
- Costo del taladro a utilizar.
- Costo diario del personal y equipo de trabajo.
- Tipo de contrato entre contratista y operadora.
- Precio del barril del petróleo.
- Políticas económicas y petroleras de la actualidad.
- Problemas o actividades extras no planificadas.

Es importante tener en cuenta, que mientras más nos demoremos y mientras más problemas se generan durante la operación de perforación y cementación, irán incrementando los costos operativos.

Es por ello que una buena planificación de las herramientas a utilizar, actividades a realizar y objetivos a alcanzar en la ejecución de las obras, nos ayudarán a minimizar costos.

Entre los costos que una inversión presenta, se tienen los costos:

- **Fijos**

Los costos fijos se refieren a valores que sabemos que vamos a pagar independientemente del tiempo o calidad de la actividad (a veces única) durante la operación, sin que este costo varíe.

Entre los factores de nuestra inversión que pueden ser considerados como costos fijos, tenemos: el cabezal, los revestidores para cada sección, colgadores, brocas.

- **Variables**

Los costos variables se refieren a valores que pagaremos por los equipos, herramientas o personal a utilizar, dependiendo del tiempo que estos estén presentes en la operación.

Entre los factores de nuestra inversión que pueden ser considerados como costos variables, tenemos: tarifa diaria por alquiler del taladro y movilización, tarifa diaria del personal por prestación de servicios, gastos en luz, agua, alimentación y hospedaje de personal, combustible, servicios técnicos (registros eléctricos, lodos, cementación, direccional, pesca, demás).

En base a una recopilación de datos de la perforación de un pozo en la industria petrolera ecuatoriana, se han estimado los costos fijos y variables para la perforación del pozo ESPOL 15, tal como se muestra en la Tabla XXXVI.

| <b>COSTOS ESTIMADOS DE PERFORACIÓN (AFE)</b>                       |              |
|--|--------------|
| SERVICIO TALADRO PERFORACION                                       | \$700.000,00 |
| SERVICIO DE GERENCIAMIENTO PERFORACION                             | \$16.000,00  |
| SERVICIO DE DIRECCIONAL  | \$300.000,00 |
| SERVICIO LODOS PERFORACION   | \$190.700,00 |
| SERVICIO DE CONTROL DE SOLIDOS PERFORACION                         | \$140.000,00 |
| SERVICIO DE MUD LOGGING PERFORACION                                | \$32.000,00  |
| SERVICIO DE GYRO   | \$22.000,00  |
| SERVICIO DE CATERING PERFORACION                                   | \$30.300,00  |
| SERVICIO INSPECCION DE TUBULARES PERFORACION                       | \$16.500,00  |
| SERVICIO DE CORRIDA DE TUBULARES PERFORACION                       | \$55.000,00  |
| SERVICIO CEMENTACION PERFORACION (INC EQU FLOTACION)               | \$313.000,00 |
| SERVICIO DE INSTALACION DE CABEZAL Y CORTE FRIO DE CASING          | \$8.200,00   |
| SERVICIO DE REDUCTORES DE TORQUE                                   | \$0,00       |
| SERVICIO DE REG. ELECTRICOS A HOYO ABIERTO WIRELINE                | \$105.000,00 |
| SERVICIO DE LINER HANGER   | \$95.000,00  |
| SERVICIO LUMP SUM BROCAS PERFORACION                               | \$150.000,00 |
| SERVICIO EQUIPO PESADO PERFORACION                                 | \$45.500,00  |
| SERVICIO LIMPIEZA Y ACONDICION, DE POZO (QUIMICA Y MECANICA) (DRL) | \$0,00       |
| SERVICIO DE COILED TUBING (DRL)                                    | \$0,00       |
| SERVICIO DE SLICKLINE (DRL)  | \$0,00       |
| SERVICIO LWD   | \$0,00       |
| MATERIALES CABEZAL DE POZO PERFORACION                             | \$42.800,00  |
| COMBUSTIBLES PERFORACION   | \$49.400,00  |
| TUBERIA DE REVESTIMIENTO   | \$392.400,00 |
| ACEITES Y GRASAS PERFORACION                                       | \$5.000,00   |
| BROCAS BODEGA  | \$0,00       |
| TIEMPO EN ESPERA TALADRO   | \$0,00       |
| SERVICIO DE TRANSPORTE DE PERSONAL                                 | \$2.000,00   |
| ASISTENCIA COMUNITARIA   | \$0,00       |
| SERVICIO DE CAMION VACCUM  | \$15.000,00  |
| PERMISOS DNH   | \$28.000,00  |
| SERVICIO DE ING GEOLOGIA   | \$3.200,00   |
| MEDIO AMBIENTE   | \$5.200,00   |
| SERVICIO TOMA DE NUCLEOS Y ANALISIS (GEOMECANICA)                  | \$0,00       |
| MANTENIMIENTO DE LOCACIONES Y CARRETERAS                           | \$17.400,00  |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| SERVICIO DE BASE PERMANENTE OBREROS Y GUARDIAS | \$5.200,00            |
| MATERIALES GENERALES DE LA OPERACIÓN           | \$11.200,00           |
| FISHING  | \$0,00                |
| LOST IN HOLE                                   | \$0,00                |
| COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES SERVICIOS GENERALES | \$0,00                |
| REEMBOLSABLES                                  | \$0,00                |
| COMUNICACIONES                                 | \$1.000,00            |
| INSPECCION DE TORRES                           | \$0,00                |
| NOMINA   | \$0,00                |
| SERVICIO MOVILIZACION DE TALADRO               | \$100.000,00          |
| SERVICIO TRANSPORTES TRASTEIO TALADRO          | \$50.000,00           |
| SERVICIO DE CATERING MOVILIZACION              | \$16.500,00           |
| CONTROL DE SOLIDOS EN MOVILIZACION             | \$11.200,00           |
| RENTA DE EQUIPOS DE MOVILIZACION               | \$1.200,00            |
| COMBUSTIBLES MOVILIZACION                      | \$6.700,00            |
| <b>TOTAL:</b>                                  | <b>\$2.982.600,00</b> |

*Tabla XXXVI: Costos estimados para perforar el pozo ESPOL 15*

*Elaborado por: Enrique Barberán y Hugo Quevedo, a partir de datos de la industria petrolera ecuatoriana*

Esta estimación de costos operativos se ha hecho para una actividad con duración de 23 días, tiempo planificado para el pozo ESPOL 15, dando como resultado un total de \$ 2.982.600,00.

Los valores citados en la Tabla 3.35 pueden variar, dependiendo de la empresa que preste los servicios, localización del taladro para su transportación, duración de la operación, problemas o actividades extras no

planificadas, tipo de contrato firmado, leyes o políticas económicas como petroleras de la actualidad y demás factores.

# **CAPÍTULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

1. Se definieron datos importantes de pozos vecinos, para utilizarlos como referencias en la ejecución de la operación en el pozo ESPOL15.

Resulta esencial evaluar las operaciones, datos, herramientas y problemas que se generaron en pozos vecinos, ya que de esta manera se podrá planificar con mayor eficiencia las operaciones de perforación, cementación y en general de un nuevo pozo para minimizar costos operacionales.

En este caso, los datos de pozos vecinos fueron de vital ayuda, para poder definir: características litológicas de las formaciones, tipos de registros a correr, plan de perforación, tipos de herramientas y BHA's a utilizar, programa de lodos, topes de cementación, calidad y tipo de cemento a utilizar, posibles presiones que soportará nuestra tubería, diseño de casing, problemas que podrían generar NPT's, entre otros.

2. Se describió la litología del pozo ESPOL 15 desde superficie hasta 10440 pies TVD, siendo importantes para la producción de este pozo las formaciones: "U inferior y T principal" a 9672 y 9880 pies TVD respectivamente.

Ambas formaciones se caracterizan por estar compuestas por areniscas cuarzosas transparentes con grano de fino a medio y con forma sub-angular y sub-redondeada.



3. Se analizó que el pozo debe ser un pozo direccional Tipo "S", debido a las características litológicas que presentan las formaciones a atravesar.

Resultó primordial realizar un escaneo Anticolisión, para poder efectuar un SURVEY TRACKING y de esa manera evitar una posible catástrofe al momento de realizar la perforación.

4. Se diseñó un pozo de forma telescópica con hoyos de 26", 16", 12 ¼" y 8 ½" que llegue hasta TD, con un BHA diseñado exclusivamente para cada sección, con brocas y lodos de perforación que atiendan perfectamente las características de las formaciones a atravesar.
5. Se determinaron las presiones que pueden afectar nuestras tuberías, tanto en la tensión, colapso y estallido.

De esta manera se determinó que la tubería en la sección de 26", con revestidor conductor, será la que soportará los mayores valores de tensión y compresión, que van de 5000 a 21500 psi respectivamente.

Las presiones de colapso serán mayores en el revestidor de 9  $\frac{5}{8}$ ", encontrado en la sección de 12  $\frac{1}{4}$ ", en comparación con los revestidores de 13  $\frac{3}{8}$ " y 7", con un valor 2130 psi aproximadamente.

La presión de estallido se encuentra afectando más al revestidor de 9  $\frac{5}{8}$ " con un valor de 3720 psi.

6. Se definieron posibles problemas para el pozo ESPOL 15 en base a la litología y características similares de pozos vecinos que presentaron problemas operacionales dados por el hoyo. Entre estos, fueron: pegas diferenciales, tiempos perdidos debido a calibración del hoyo, por viajes de limpieza, tiempos perdidos para solucionar problemas dados por valores inadecuados de ROP – RPM y torque, entre otros.
  
7. Se detallaron posibles soluciones a problemas operativos para realizar una actividad más eficiente, entre ellos, tenemos: controlar las características reológicas de los fluidos, controlar las tasas de circulación, los RPM – ROP y torques, mantener la limpieza del pozo, trabajar con predisposición y estar atentos a cualquier variación que nos muestre el pozo, entre otros.

Como dato importante se pudo percatar, que los problemas que un pozo puede generar, son muy distintos a otros, así se encuentren a metros de distancia y las soluciones a ellos, de igual manera. Es por ello, que es muy importante tomar en cuenta las características y comportamientos en tiempo real, que nos da el pozo que se está perforando.

8. Se determinaron los costos fijos y variables que se presentan para la perforación del pozo ESPOL 15, dando un total de \$ 2.982.600,00 para la realización de dicha actividad.

En base a la información recopilada, se pudo notar que las perforaciones ON SHORE de la industria petrolera ecuatoriana, necesitan de una inversión de \$ 2.000.000 hasta aproximadamente \$ 3.000.000, considerando tiempos prudentes y actividades eficientes.

También se evidenció que los rubros que más costos generan, son: la tarifa de alquiler del taladro y los servicios técnicos que se puedan necesitar (registros, lodos, cementación, entre otros).

Por lo tanto es importante encontrar la manera más eficientemente técnica y más económica para realizar una perforación.

## **4.2 Recomendaciones**

1. Mantener la estabilidad del pozo, resulta una tarea primordial para evitar problemas en la perforación, que traerán altos costos adicionales.

Esto ocurrió en pozos vecinos, causando retrasos en sus operaciones y mostrando que la estabilidad es primordial.

2. Para evitar viajes adicionales por cambio de broca, es importante controlar el flujo (GPM.) del fluido de perforación, las RPM's y estar atentos a los cambios de ROP-TORQUE, para poder tomar medidas preventivas a tiempo.
3. Realizar viajes de limpieza cada 35 – 40 horas o cada 1500 – 2000 pies perforados.

4. Embolamientos del BHA pueden ser evitados con un diseño adecuado de hidráulica (efectivo HSI), pero no está demás considerar también barridos de píldoras dispersas.
  
5. Para minimizar problemas relacionados con viajes en hueco abierto, se recomiendan valores reológicos bajos y HSI altos, con el fin de incrementar el lavado de las paredes del pozo durante la perforación.
  
6. Controlar y prevenir pérdidas de circulación debido a las características del lodo y la litología, ya que esto aumentaría costos del lodo y puede producir problemas como: inestabilidad del pozo, pega de tubería y demás.
  
7. Al momento de la cementación, asegurar la calidad de la lecha que se utilizará y proceder a realizar la operación de una manera eficiente, sin retrasos, ya que podría fraguar el cemento antes de que nuestra actividad esté concluida.

8. Es importante mantener reuniones operacionales diarias con todas las empresas involucradas y con todo el personal operativo, para asegurar el éxito en las actividades.
  
9. Planificar de manera óptima la operación de perforación de un pozo, encontrando el mejor rendimiento de la parte técnica y mayor ahorro de la parte económica, es importante para realizar una inversión de tan alto costo.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Villareal Zambrano Byron, “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.” Tesis de Grado, ESPOL, Facultad de Ingenierías en Cencias de la Tierra, Guayaquil-Ecuador, 2012.
2. Baby P., “Modelo Estructural de la Parte Norte de la Cuenca Oriente Ecuatoriana” Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCIÓN, Informe Interno, Quito-Ecuador, 1997.
3. Hernández Sampieri, “Metodología de la investigación” 5ta. Edición, Mc. Graw Hill, Perú, 2011.
4. Guevara Alex, “Informes de Prestación de Servicios Técnicos”, Quito-Ecuador, 2014.
5. Smith Bits, “Catálogo de Brocas”, PDF, 2014.
6. Mi Swaco, Drilling Fluids Engineering, “Catálogo de Productos”, 2012.
7. Manual de Schlumberger, Drilling School, PDF, 2012.