# Diseño de Revestidores y Cementación del Pozo X5-D del Oriente Ecuatoriano

Vilma Leonela Salas Hurtado (1), Jackeline Alexandra Rosado Sánchez (2), Ing. Xavier Vargas (3) *, Ing. Daniel Tapia (4) *
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil - Ecuador
vsalas@espol.edu.ec (1), jaalrosa@espol.edu.ec (2)
* Directores de Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniero en Petróleo
xvargas@espol.edu.ec (3), dtapia@espol.edu.ec (4)

## Resumen

*En este trabajo se presenta una alternativa para el diseño de revestimiento y el cálculo de volúmenes en el programa de cementación del pozo ESPOL X5-D, comparando costos entre el diseño de referencia y el propuesto.*

*Se describe el proceso para la selección adecuada de la tubería de revestimiento en cada sección del pozo, tomando en cuenta los respectivos factores de seguridad y los esfuerzos de colapso, tensión y estallido presentes en la sarta de revestimiento, además se estima el costo del diseño presentado en este informe que resultó menor al costo del diseño de revestimiento que corrieron en el pozo ESPOL X5-D al momento de su construcción.*

*Consideramos el método para diseño de Revestidores denominado "Punto Neutro", que considera el factor de flotación.*

*Igualmente, se muestra un programa alternativo de cementación primaria de una sola etapa, utilizando cemento A y G, y el cálculo de volúmenes de cemento con sus respectivos costos.*

Palabras claves*: Diseño revestidores, Cementación primaria.*

## Abstract

*This work presents an alternative to casing design and volumes calculate in the ESPOL X5-D well cementation program, making a comparison between current design and suggested design.*

*The process for a suitable casing selection is been described in each well section, considering the security factors and collapse, tension and the burst stress presents at the casing, also, the present report estimates the casing design cost which result to be lower than the current running casing design at the ESPOL X5-D .*

*The methodology applied is called The Neutral Point method which considers the buoyancy.*

*Likewise, it presents an alternative program for one stage primary cementation, using cement A and G, and the calculated costs of volumes.*

Keywords: *casing design, primary cementation.*

## 1. Introducción

El presente trabajo “Diseño de Revestidores y Cementación en el pozo ESPOL X5-D perteneciente al área Auca del Oriente Ecuatoriano” es enfocado a optimizar el diseño actual, considerando condiciones de pozo, normas de seguridad y que además, sea económicamente justificable.

Un buen diseño de la sarta de revestimiento es la que puede soportar presiones internas y externas, así como esfuerzos que aparecen por el propio peso de la tubería a condiciones de pozo.

Por otro lado, la cementación de pozos petroleros es un proceso mediante el cual se bombea una lechada de cemento al fondo del pozo a través de la tubería de revestimiento, con el propósito de obtener una buena adherencia entre las fases formación-cemento-tubería y asegurar el sello efectivo que aísle las capas geológicas y soporte la tubería, además, la cementación del pozo en conjunto con el revestidor deben soportar las paredes del pozo y prevenir el colapso de formaciones.

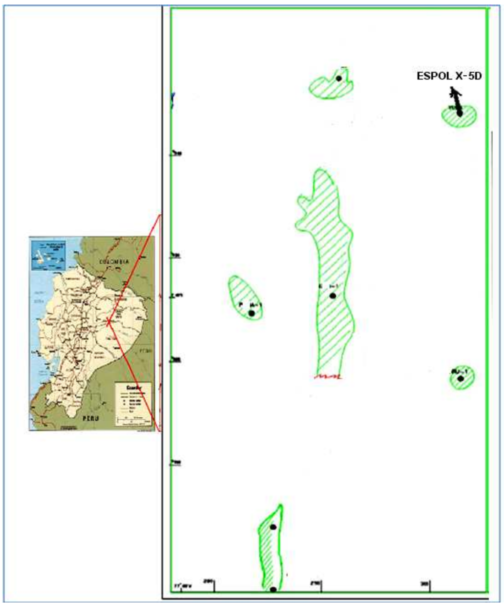


**Gráfico 1.** Ubicación Pozo Espol X5-D.

## 2. Historia del pozo

**Tabla 1.** Datos del pozo Espol X5-D

| | |
|---|---|
| **Nombre del pozo** | ESPOL X5-D |
| **Tipo** | Direccional/Desarrollo |
| **Cuenca** | Oriental del Ecuador |
| **Profundidad Vertical al Objetivo** | 9,985’ (TVD) |
| **Profundidad total** | 10,457’ (MD) 10,120’ (TVD) |

El pozo ESPOL X5-D está ubicado en la Zona UTM:

- Norte 9,946,578.80 N
- Este 303,000.40 E
- Latitud 00º 28’ 59.09” S
- Longitud 076º 46’ 12.34” W

**Tabla 2.** Prognosis Geológica Pozo Espol X5-D

| Marcadores/ Formación | Profundidad MD (ft) |
|---|---|
| Indiferenciado | 0.00 |
| Orteguaza | 5,797.86 |
| Tiyuyacu | 6,460.91 |
| Tope Cong Tiyuyacu Inferior | 7,922.91 |
| Tena | 8,432.91 |
| Tope Zona Arenisca Basal Tena | 9,061.91 |
| Napo | 9,095.91 |
| Tope Caliza- M1 | 9,363.91 |
| Tope Caliza M-2 | 9,584.91 |
| Tope Caliza A | 9,739.91 |
| Tope Zona Arenisca U superior | 9,808.91 |
| Tope Zona Arenisca U Inferior | 9,906.91 |
| Base Zona Arenisca U Inferior | 10,010.91 |
| Tope Caliza B | 10,052.91 |
| Tope Zona Arenisca T Superior | 10,092.91 |
| Tope Zona Arenisca T Inferior | 10,161.91 |
| Base Zona Arenisca T Inferior | 10,242.91 |
| Tope Hollín Superior | 10,321.91 |
| Tope Hollín Inferior | 10,362.91 |

## 3. Programa de Perforación

El pozo ESPOL X-5D es un pozo direccional tipo "S", con un desplazamiento de 1,669 pies, a los objetivos principales que son la Arena U Superior, Arena T Superior y Hollín Superior.

El pozo se perforará en tres secciones:

- Sección de 16", donde se realizará el Kick Off a 500'MD y se construirá la curva a razón de 2.0°/100' hasta tener 28.3° de inclinación en una dirección de 237.8°. Luego el objetivo es mantener una sección tangencial de 1462'MD y después tumbar inclinación con una severidad de 1.08°/100' hasta lograr verticalidad.
El revestimiento de 13 3/8" se sentará 200'MD dentro de la formación Orteguaza a 5998'MD.

- Sección de 12 1/4", tiene como objetivo mantener vertical atravesando las formaciones Tiyuyacu, Conglomerado y Tena. Se tiene programado para esta sección 3 ensamblajes, uno con broca tricónica para perforar el conglomerado. El revestimiento de 9 5/8" se sentará a 8,996'MD, 100'TVD sobre el tope de Napo.

- Sección de 8 1/2", donde se mantendrá vertical atravesando los objetivos U, T y Hollín. La profundidad total propuesta es de 10,457'MD.

## 4. Diseño de Revestimiento

### 4.1. Revestimiento Superficial

**Tabla 3.** Datos Revestimiento Superficial

| DATOS | |
|---|---|
| Densidad Lodo ($\rho_{fp}$) | 10.3 |
| Profundidad (D) | 5,998' |
| FSC | 1.125 |
| FST | 2.0 |
| FSE | 1.0 |

**Tabla 4.** Características de la tubería de Revestimiento Superficial

| Tubería | Grado | Peso (lbs/pie) | OD (pulg) | ID (pulg) |
|---|---|---|---|---|
| 13 3/8 | C-95 | 72 | 13.375 | 12.347 |

### 4.2. Revestimiento Intermedio

**Tabla 5.** Datos Revestimiento Intermedio

| DATOS | |
|---|---|
| Densidad Lodo ($\rho_{fp}$) | 10.3 |
| Profundidad (D) | 8,996' |
| FSC | 1.125 |
| FST | 2.0 |
| FSE | 1.0 |

**Tabla 6.** Características de la tubería de Revestimiento Intermedio

| Tubería | Grado | Peso (lbs/pie) | OD (pulg) | ID (pulg) | Rc (psi) |
|---|---|---|---|---|---|
| 9 5/8 | C-75 | 53.5 | 9.625 | 8.535 | 6380 |

### 4.3. Liner de Producción

**Tabla 7.** Datos Liner de Producción

| DATOS | |
|---|---|
| Densidad Lodo ($\rho_{fp}$) | 10.3 |
| Profundidad (D) | 10,457'(MD) |
| Prof. Asentamiento | 8,796' (MD) |
| FSC | 1.125 |
| FST | 2.0 |
| FSE | 1.0 |

**Tabla 8.** Características del Liner de Producción

| Tubería | Grado | Peso (lbs/pie) | OD (pulg) | ID (pulg) |
|---|---|---|---|---|
| 7" | C-75 | 29 | 7 | 6.184 |

## 4.4. Esquemas Diseño de Tubería de Revestimiento

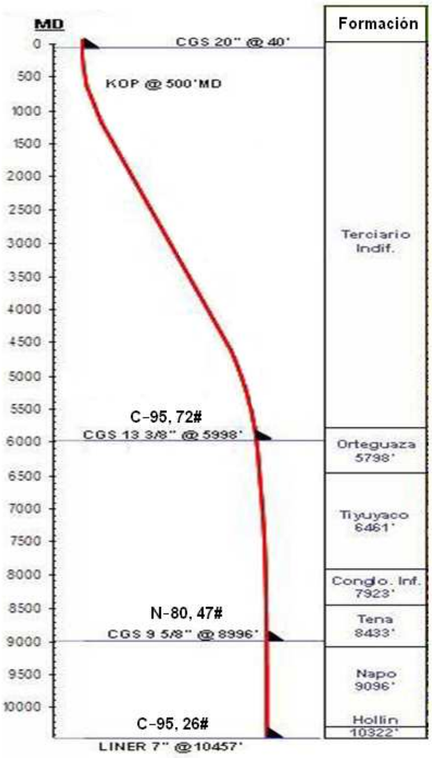


**Gráfico 2.** Diseño Actual o de referencia

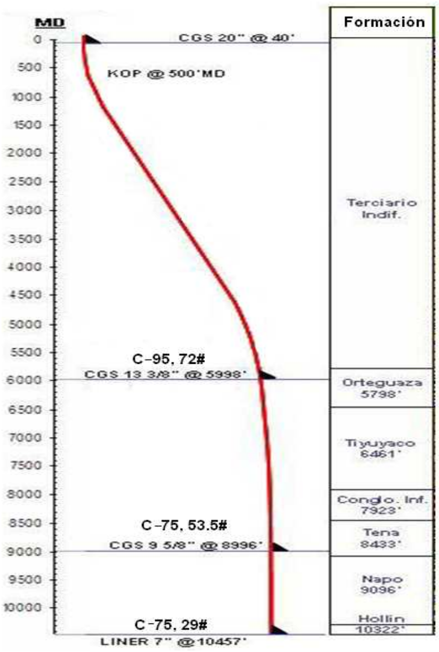


**Gráfico 3.** Diseño propuesto

## 5. Cementación

**Tabla 9.** Datos Cementación Revestimiento Superficial (Lechada de cabeza)

| LECHADA DE CABEZA (A) | | |
|---|---|---|
| **Densidad (lpg)** | **Rendimiento** ( | **Tope (pie)** |
| 13.5 | 1.68 | 0 |
| **Requerimiento de agua en (gal/sks)** | | |
| 8.87 | | |

*Exceso de cemento: 25%

**Tabla 10.** Datos Cementación Revestimiento Superficial (Lechada de cola)

| LECHADA DE COLA (A) | | |
|---|---|---|
| **Densidad (lpg)** | **Rendimiento** ( | **Tope (pie)** |
| 15.6 | 1.18 | 5498 |
| **Requerimiento de agua en (gal/sks)** | | |
| 5.21 | | |

*Exceso de cemento: 25%

**Tabla 11.** Resultados Cementación Revestimiento Superficial

| | Volumen (bls) | Número de Sacos de Cemento A | Requer. Total de Agua (bls) |
|---|---|---|---|
| **Lechada de Cabeza** | **515** | **1722** | **364** |
| **Lechada de Cola** | **53** | **253** | **32** |
| **Fluido de Desplazamiento** | **883** | ** | ** |

**Tabla 12.** Datos Cementación Revestimiento Intermedio (Lechada de cabeza)

| LECHADA DE CABEZA (A) | | |
|---|---|---|
| Densidad (lpg) | Rendimiento ( | Tope (pie) |
| 13.5 | 1.68 | 0 |
| Requerimiento de agua en (gal/sks) | | |
| 8.89 | | |

*Exceso de cemento: 25%

**Tabla 13.** Datos Cementación Revestimiento Intermedio (Lechada de cola)

| LECHADA DE COLA (A) | | |
|---|---|---|
| Densidad (lpg) | Rendimiento ( | Tope (pie) |
| 15.8 | 1.16 | 7996 |
| Requerimiento de agua en (gal/sks) | | |
| 5.05 | | |

*Exceso de cemento: 25%

**Tabla 14.** Resultados Cementación Revestimiento Intermedio

| | Volumen (bls) | Número de Sacos de Cemento A | Requer. total de Agua (bls) |
|---|---|---|---|
| Lechada de Cabeza | 576 | 1925 | 408 |
| Lechada de Cola | 73 | 354 | 43 |
| Fluido de Desplazamiento | 634 | ** | ** |

**Tabla 15.** Datos Cementación Liner de Producción (Lechada de cabeza)

| LECHADA DE CABEZA (G) | | |
|---|---|---|
| Densidad (lpg) | Rendimiento ( | Tope (pie) |
| 16 | 1.19 | 8596 |
| Requerimiento de agua en (gal/sks) | | |
| 4.76 | | |

*Exceso de cemento: 10%

**Tabla 16.** Datos Cementación Liner de Producción (Lechada de cola)

| LECHADA DE COLA (G) | | |
|---|---|---|
| Densidad (lpg) | Rendimiento ( | Tope (pie) |
| 16.5 | 1.12 | 9196 |
| Requerimiento de agua en (gal/sks) | | |
| 4.64 | | |

*Exceso de cemento: 10%

**Tabla 17.** Resultados Cementación de Liner de Producción

| | Volumen (bls) | Número de Sacos de Cement o G | Requer. Total de Agua (bls) |
|---|---|---|---|
| Lechada de Cabeza | 21 | 100 | 12 |
| Lechada de Cola | 34 | 171 | 19 |
| Fluido de Desplazamiento | 218 | ** | ** |

## 6. Análisis Comparativo de Costos

### 6.1. Costos del Diseño de Revestimiento

**Tabla 18.** Costo Tubería de Revestimiento (Diseño Propuesto)

| Tubería | Grado | Peso (lbs/pie) | Sección (pies) | Costo (USD) |
|---|---|---|---|---|
| **13 3/8** | C-95 | 72 | 5998 | 739,313.48 |
| **9 5/8** | C-75 | 53.5 | 8996 | 528,065.20 |
| **7** | C-75 | 29 | 1661 | 53,152.00 |
| | | | | **Total ($) 1’320,530.68** |

**Tabla19.** Costo Tubería Revestimiento (Diseño Actual)

| Tubería | Grado | Peso (lbs/pie) | Longitud Sección (pies) | Costo ($) |
|---|---|---|---|---|
| **13 3/8** | C-95 | 72 | 5998 | 739,313.48 |
| **9 5/8** | N-80 | 47 | 8996 | 566,748.00 |
| **7** | C-95 | 26 | 1661 | 76,389.39 |
| | | | | **Total ($) 1’382,450.87** |

### 6.2. Costos Cementación

**Tabla 20.** Costo de Cementación (Diseño Propuesto)

| Tubería | Tipo Cemento | No. Sks L. Cabeza | No. Sks L. Cola | No. Sks Totales | Costo ($) |
|---|---|---|---|---|---|
| **13 3/8** | A | 1722 | 253 | 1975 | 17,775 |
| **9 5/8** | A | 1925 | 354 | 2279 | 20,511 |
| **7** | G | 100 | 171 | 271 | 4,498.6 |
| | | | | **Total ($)** | **42,784.6** |

**Tabla 21.** Costo de Cementación (Diseño Actual)

| Tubería | Tipo Cemento | No. Sks L. Cabeza | No. Sks L. Cola | No. Sks Totales | Costo ($) |
|---|---|---|---|---|---|
| **13 3/8** | A | 2074 | 324 | 2398 | 21,582 |
| **9 5/8** | A | 524* | 379 | 903 | 8,127 |
| **7** | G | 125 | 230 | 355 | 5,893 |
| | | | | **Total ($)** | **35,602** |

*El revestidor intermedio se cementó sólo 200 pies arriba del zapato anterior.

## 7. Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional, al Ing. Xavier Vargas y al Ing. Daniel Tapia por guiarnos en este proyecto hasta su culminación, al Ing. Héctor Román por su constante contribución, a mi compañera de tesis, a mis profesores y amigos.

## 8. Referencias

[1] CASING & TUBING DESIGN WORKBOOK, Production Department Training of Exxon Co. USA.
[2] Ing, Xavier Vargas, Apuntes Diseño de Revestimiento y Cementación.
[3] Schlumberger, Revestimiento y Cementación de Pozos.

## 9. Conclusiones

Tanto en la superficie como en el fondo del pozo se necesita tubería de revestimiento de buena calidad, que resista los diferentes esfuerzos al que son sometidas.

Para optimizar costos de revestimiento, se debe utilizar más de un tipo de tubería en todo el pozo, en lugar de utilizar un solo tipo de tubería, debido a que aumenta considerablemente el costo del revestimiento.

El costo del revestimiento en el presente informe es menor al costo del diseño de revestimiento que corrieron en el pozo al momento de su construcción, siendo los valores 1’320,530.68 USD y 1’382,450.87 USD respectivamente.

El costo de cementación del diseño presentado en este informe (42,784.6 USD) es mayor al del diseño anterior (35,602 USD) debido a que en éste el revestimiento intermedio no fue cementado hasta superficie.

## 10. Recomendaciones

En cuanto al diseño de revestidores, a pesar de escoger el diseño más económico, no se debe comprometer la seguridad de la operación.

Se debe tener en cuenta que, las tuberías de revestimiento escogidas en el diseño, tienen que ser tuberías de revestimiento aprobadas por la norma API.

Se recomienda un solo tipo de tubería en cada sección, para evitar problemas operacionales en la completación de pozo, debido a la variación del drift.

Es recomendable utilizar dos tipos de lechada en la cementación, una lechada de cola que es de mayor peso y una lechada de cabeza de menor peso.

Se recomienda utilizar un exceso de cemento del 25% para la cementación de la tubería Revestimiento Superficial e Intermedio y un 10% para el Liner.