ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CCENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Diseño de Tubería de Revestimiento y Cementación de un Pozo en el Oriente Ecuatoriano

Pedro Peñafiel A
Mónica Sánchez S.
Msc. Xavier Vargas
Msc. Daniel Tapia F.
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
ppenafi@espol.edu.ec
mondesan@espol.edu.ec
xvargas@espol.edu.ec
dtapia@espol.edu.ec

Resumen

Este documento tiene como objetivo mostrar de manera clara y organizada una alternativa para el diseño de tubería de revestimiento y cementación actual de un pozo petrolero del Oriente Ecuatoriano, así como el mejoramiento de la calidad en servicios técnicos y operaciones de perforación en la industria petrolera. En la primera parte presentamos un resumen del programa de perforación realizado en dicho pozo. Luego se realiza una síntesis de los procedimientos básicos más importantes para el diseño de revestidores explicándolos fácil y ordenadamente, estableciendo una metodología de diseño en el que se identifican cargas mínimas a considerarse, factores mínimos y cargas de diseño establecida por la A.P.I (estallido, colapso y tensión), aplicando el método de ensayo y error. Además se presenta los costos para realizar dicho proceso. En la segunda parte del documento se presenta el proceso de cementación del pozo y los cálculos para determinar los volúmenes y numero de sacos correspondientes para optimizar el proceso tanto técnica como económicamente. También se presenta los costos para realizar dicha actividad. Es muy importante resaltar que este tipo de procedimientos está en constante evaluación y que los mismos pueden variar de acuerdo a causas o estudios debidamente soportados que impliquen una optimización del proceso.

Palabras Claves: *Diseño de Tubería de Revestimiento, Cementación, Perforación.*

Abstract

This document aims to show clearly and organized an alternative for the design of casing and current cementing of an oil well of eastern Ecuador, and the improvement of quality in technical services and drilling operations in the oil industry. The first part is a summary of the drilling program conducted in this well. Later comes a summary of the most important basic procedures which are explained easily and neatly, establishing a design methodology that identifies the minimum loads to be considered, factors and design loads minimum established by the API (explosion, collapse and tension), applying the method of trial and error. In addition, presents the costs for such process. In the second part of the document presents the process of cementing the well and the calculations to determine the volumes and number of bags corresponding to optimize the process technically and economically. It also presents the costs for that activity. It is very important to note that this type of procedure is under constant evaluation and that these may vary due to causes or supported studies involving process optimization.

1. Introducción

El objetivo general del presente trabajo es realizar el diseño de las diferentes tubería de revestimiento y cementación del pozo ESPOL X2-D siguiendo todas las especificaciones técnicas y económicas utilizadas en el área petrolera para este tipo de procesos, y a su vez presentarlo como una alternativa al diseño actual.

La selección apropiada de las tuberías de revestimiento es uno de los aspectos más importantes en la programación, planificación y operaciones de perforación de pozos.

La capacidad de la sarta de revestimiento seleccionada para soportar las presiones y cargas para una serie dada de condiciones de operación, es un factor importante en la seguridad y economía del proceso de perforación y en la futura vida productiva del pozo.

Se proporciona una metodología práctica para diseñar y ejecutar cementaciones primarias de tuberías de revestimiento que reduzcan tiempos y costos en los cambios de etapa de perforación, por lo que este documento servirá como guía para conocer los diferentes cálculos y consideraciones que se deben tener presentes en pozos del Oriente Ecuatoriano.

2. Perforación

La perforación tiene por objetivo construir un pozo útil, es decir un conducto desde el yacimiento hasta la superficie que permita su explotación racional en forma segura y al menor costo posible. El programa de perforación del pozo ESPOL X2-D fue el siguiente:

2.1 Programa de Perforación

EL Programa se desarrolla como sigue:

- El revestimiento de 13 3/8" se sentará 202'MD dentro de la formación Orteguaza.
- En la Sección de 12 1/4", la trayectoria continuará vertical hasta sentar el revestimiento de 9 5/8" a 9,638'MD, 100'MD arriba del tope de Napo.
- Por último, La Sección de 8 1/2" se mantendrá vertical atravesando los objetivos U Inferior, T Inferior y Hollín Inferior en las mismas coordenadas. La profundidad total propuesta es de 11102 MD.

3. Diseño de la Tubería de Revestimiento

Para diseñar la tubería de revestimiento se considera los esfuerzos a la cual estará sometida y las diferentes características del tipo de tubería a usarse, como son:

a) Esfuerzo a la Tensión
a) Esfuerzo al Colapso
b) Esfuerzo al Estallido

A continuación se presenta el diseño actual del pozo y las formulas utilizadas para los diferentes cálculos en el diseño de todas las secciones de tuberías de revestimiento aplicando el método de ensayo y error, el cual consiste en establecer los diferentes esfuerzos que soportan las tuberías en el pozo (Tensión, Colapso y Estallido) y determinar qué tipo de tubería soporta las mismas en cada sección de revestimiento. Primero se realiza el análisis tomando en cuenta la presión de Colapso, luego se procede a diseñar por Tensión y finalmente por Estallido.

Tabla 1. Diseño Actual del Pozo

Tipo de Revestidor	Grado	Peso (lb/ft)	Rosca	Profundidad de Asentamiento (ft) (MD)
Superficial	C-95	72	Butress	6685
Intermedio	C-95	47	Butress	9638
Liner	c-95	26	Butress	11102

Los datos del pozo necesarios para realizar el diseño son los siguientes:

- Profundidad de asentamiento del revestidor
- Densidad del lodo de perforación en cada sección (ρf)
- Densidad del lodo de completación en cada sección (ρc)
- Diámetro del revestidor
- Factores de seguridad (Tensión, Colapso y Estallido)
- Rosca Utilizada
- Presión de superficie (Ps)

Con estos datos se procedió a determinar los factores que intervienen en el diseño de cada sección:

a) Presión hidrostática al fondo:
Ph = 0.052 x densidad del lodo de perforación x Profundidad
b) Presión al colapso:
Pc = Ph x Factor de seguridad al colapso (FSC)
c) Resistencia a la Tensión:
Valor de la tabla correspondiente/FST
d) Resistencia al Estallido:
Valor de la tabla correspondiente/FSE
e) Profundidad de asentamiento por Estallido:

$$\mathrm{Dx} = \frac{\mathrm{Ps} - \frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{FSE}}}{0.052(\rho f - \rho c)}$$

Luego se determino que tipo de tubería resiste la Presión de Colapso calculada anteriormente. Posteriormente con la tubería encontrada verificamos si esta resiste por Tensión, para lo cual calculamos el peso de la tubería si estuviera instalada hasta superficie:
Wtr = Profundidad de asentamiento x Peso de la tubería

Este valor lo comparamos con el de Resistencia al estallido y si es menor entonces pasa por Estallido.

Finalmente calculamos la profundidad de asentamiento por Estallido lo que nos da un valor negativo lo que nos indica que se puede instalar hasta superficie la tubería seleccionada. Así realizamos el diseño para todos los tipos de revestimiento presentes en el pozo.

Los resultados del diseño propuesto en este trabajo fueron:

Tabla 2. Alternativa al diseño actual

Tipo de Revestidor	Grado	Peso (lb/ft)	Rosca	Profundidad de asentamiento (ft) (MD)
Superficial	C-95	72	Butress	6685
Intermedio	C-75	53.5	Butress	9100
Liner	N-80	29	Butress	11102

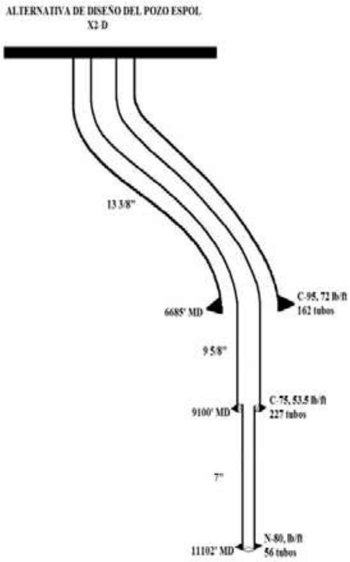

Figura 1. Figura de la alternativa presentada para el diseño del pozo. Autores.

4. Cementación

Este método consiste en mezclar una lechada de cemento y agua para bombearla al fondo del pozo a través de la tubería de revestimiento. Esta operación conocida como cementación primaria, requiere una adecuada planeación para seleccionar los sistemas de cemento y fluidos lavadores y espaciadores que deberán emplearse, así como para definir las condiciones de desplazamiento de estos sistemas para obtener una buena adherencia entre las fases formación-cemento-tubería y asegurar un sello efectivo que aislé las diferentes capas geológicas y que soporte las tuberías.

Los principales parámetros que se consideran para este tipo de procesos son el diámetro del hueco, diámetro externo e interno, longitud a cementar y tipo de cemento que se va a utilizar en cada sección de revestimiento.

A continuación presentamos los cálculos de volúmenes de lechada y cola, numero de sacos de cemento y volúmenes de desplazamiento para el diseño de cementación de cada sección de revestimiento:

4.1. Revestidor 13$^{3/8}$"

Los datos de cada sección que se necesitan en este tipo de diseño son:

- Diámetro del hueco (Φa)
- Diámetro externo de la tubería (Φext)
- Diámetro interno de la tubería (Φint)
- Diámetro interno de la tubería anterior (Φint int)
- Diámetro externo del drill pipe (Φext drill)
- Diámetro interno del drill pipe (Φint drill)
- Longitud de la tubería
- Distancia entre el zapato guía y collar flotador
- Densidad del cemento
- Rendimiento por saco de cemento
- Requerimiento de agua

Los cálculos respectivos se presentan a continuación:

- $\text{Volumen de la lechada} = \dfrac{(\Phi a^2 - \Phi ext^2)}{1029.4} \text{ x } 5.615 \text{ x Longitud de la tubería}$
- Numero de sacos total = Volumen de la lechada/rendimiento por saco
- Numero de sacos para lechada de relleno = numero de sacos total x 0.80
- Numero de sacos para lechada de cola = numero de sacos total x 0.20
- Volumen de lechada de relleno = numero de sacos para lechada de relleno x rendimiento por saco
- Volumen de agua requerida para lechada de relleno = numero de sacos para lechada de relleno x requerimiento de agua
- Volumen de lechada de cola = numero de sacos para lechada de cola x rendimiento por saco
- Volumen de agua requerida para lechada de cola = numero de sacos para lechada de cola x requerimiento de agua
- Volumen de desplazamiento = (Φint^2/1029.4) x 5.615 x (Longitud de la tubería – Distancia entre el zapato guía y el collar flotador)

4.2 Revestidor 9$^{5/8}$"

Los cálculos respectivos para esta sección se presentan a continuación:

- $\text{Volumen de la lechada 1} = \dfrac{(\Phi int\ sup^2 - \Phi ext^2)}{1029.4} \text{ x } 5.615 \text{ x Longitud de la tubería}$

- $\text{Volumen de la lechada 2} = \frac{(\Phi a^2 - \Phi ext^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$
- Volumen de lechada total = Volumen de lechada 1 + Volumen de lechada 2
- Las demás determinaciones se realizan de la misma manera del revestidor anterior

4.3 Liner 7"

Los cálculos respectivos para esta sección se presentan a continuación:

- $\text{Volumen de la lechada 1} = \frac{(\Phi int\ inter^2 - \Phi ext\ drill^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$
- $\text{Volumen de la lechada 2} = \frac{(\Phi int\ inter^2 - \Phi ext^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$
- $\text{Volumen de la lechada 3} = \frac{(\Phi a^2 - \Phi ext^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$
- Volumen de la lechada total = Volumen de la lechada 1 + Volumen de la lechada 2 + Volumen de la lechada 3
- Volumen de desplazamiento 1= (Φint drill^2/1029.4) x 5.615 x Longitud del drill pipe
- Volumen de desplazamiento 2= (Φint^2/1029.4) x 5.615 x (Longitud de la tubería – Distancia entre el zapato guía y el collar flotador)
- Volumen de desplazamiento total = Volumen de desplazamiento 1 + Volumen de desplazamiento 2
- Las demás determinaciones se realizan de la misma manera del primer revestidor

Tabla 3. Cementación de la alternativa presentada

Tipo de Revestidor	Numero de sacos para lechada de relleno	Numero de sacos para la lechada de cola	Total de sacos
Superficial 13 3/8"	1616	404	2020
Intermedio 9 5/8"	1691	422	2113
Liner 7"	257	64	321

5. Conclusiones

- El diseño de las Tuberías de Revestimiento propuesto en este trabajo cumple con todas las condiciones técnicas requeridas en cuanto a Esfuerzos que se presentan en el pozo, lo que lo convierte en un proyecto técnicamente viable.
- La alternativa de diseño presentada en este trabajo muestra una diferencia en cuanto a los tipos y grados de tubería utilizados en el Revestidor Intermedio y en el Liner de 7" lo que nos permite reducir los costos en un 16% que equivale a $270412.44 en relación al diseño actual de revestidores del pozo ESPOL X2-D.
- Para el cálculo inicial de volumen de lechada hemos utilizado por criterio el 80% para la lechada de relleno y el 20% para la lechada de cola.

6. Recomendaciones

- Se debe considerar los problemas durante la perforación, condiciones del pozo, profundidades de asentamiento, la temperatura y presión al diseñar una lechada de cemento.
- Para realizar el diseño de las Tuberías de Revestimiento de un pozo se debe tomar en cuenta los factores limitantes que presenta la compañía operadora como stock de tubería y costos por lo que es necesario realizar un diseño que no solo cumpla con las exigencias técnicas requeridas sino con las condiciones de la Empresa interesada.

7. Agradecimientos

A los Ingenieros Xavier Vargas y Daniel Tapia por su colaboración en el desarrollo de este trabajo, y a todos los profesores de ESPOL que han en nosotros respeto y dedicación.

8. Referencias

[1] Gatlin c. Petroleum engineering: drilling and well completions, pretice-hall inc.,usa, 1965,pp.269-307.

[2] Prof. Nelson E. Cardozo N. Cementación de pozos petroleros, pp. 18,27.

[3] Gándara S. Diseño de tubería de revestimiento, tesis de grado, Espol, 1990, pp. 12-16.

[4] Dimensions and strengths of casing, proporcionadas por el Profesor.