ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

DISEÑO DE REVESTIDORES Y CEMENTACIÓN DE POZOS EN EL ORIENTE ECUATORIANO: POZO ESPOL X1-D

Luis Arturo Fernández Arias (1)
Karen Amelia Aguirre Marrett (2)
Xavier Ernesto Vargas Gutiérrez (3)
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (1)(2)(3)
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo Velasco, km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador (1)(2)(3)
arturo_fernandez_84@hotmail.com (1)
karenagui_9@hotmail.com (2)
xavier_vargas@hotmail.com (3)

Resumen

El presente trabajo trata de una alternativa al diseño de revestidor actual del pozo ESPOL X1-D. Teniendo como principal objetivo diseñar un modelo en donde se pueda disminuir costos de casing y cemento, pero priorizando siempre la seguridad del pozo.

En el capítulo 1 se presenta las coordenadas y características del pozo, así como su producción actual e información de las arenas productoras. En el capítulo 2 se plantea brevemente el programa de perforación empleado en el pozo ESPOL X1-D indicado el diámetro de broca y profundidad en cada una de las secciones.En el capítulo 3 se muestran los resultados obtenidos en el nuevo diseño de revestidores para nuestro pozo empleando método de punto neutro para la realización de los cálculos y condiciones generales que se presentan en el Oriente Ecuatoriano. En el capítulo 4 se muestran los resultados de la cantidad de sacos de cemento, barriles de lechada y volúmenes de desplazamiento necesarios para la cementación en cada una de las secciones.

Finalmente, se presenta de forma grafica el nuevo diseño. Así mismo, se realiza una comparación en costos del diseño actual y la alternativa presentada en este informe.

Palabras Claves: Revestidores, Cementación.

Abstract

The present work deals with an alternative to ESPOL X1-D well present casing design. Having like main objective to design a model where it will be possible to decrease casing and cement costs, but always prioritizing well´s security .

Chapter 1 shows the well´s coordinates and characteristics, as well as their actual production and information of sands producers. In chapter 2 briefly considers the drilling program used in well ESPOL X1-D indicating the bit diameter and depth in each one of the sections. Chapter 3 shows the results obtained in the new casing design for our well using the point neutral method for the accomplishment of the calculations and conditions that appear on Amazonia Ecuadorian. Chapter 4 shows the results of the amount of cement, mixing barrels and necessary displacement volumes for cementation in each one of the sections.

Finally, it shows the new casing design on a graphic. Also, a comparison is realized in costs of the actual and the alternative casing design displayed on this report.

Introducción

La construcción y operación de un pozo petrolífero consta de cinco etapas:

- Exploración
- Perforación
- Completación
- Producción
- Abandono

En este informe se enfoca específicamente en la etapa de perforación en donde se incluye diseño de revestidores, programas de perforación y cementación, así como los cálculos respectivos para llegar a la alternativa de diseño de pozo final.

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

Todo el proceso se basa en una torre de perforación que contiene todo el equipamiento necesario para bombear el fluido de perforación, bajar y elevar la línea, controlar las presiones bajo tierra, extraer las rocas del fluido, y generar in situ la energía necesaria para la operación.

Luego de completada la perforación, se procede a introducir la tubería de revestimiento. La tubería de revestimiento son tuberías especiales que se introducen en el hoyo perforado y que luego son cementadas para lograr la protección de las paredes y permitir posteriormente el flujo de fluidos desde el yacimiento hasta superficie.

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.

El objetivo es diseñar un programa de revestidores que sea confiable, sencillo y económico.

La razón primaria de colocar una tubería de revestimiento en un pozo, es proporcionar protección al hoyo en una forma segura, confiable y económica.

Las diferentes sartas de revestimiento que se pueden colocar en un pozo son:

- ✓ Revestidor Conductor.
- ✓ Revestidor Superficial.
- ✓ Revestidor Intermedio.
- ✓ Revestidor de Producción.
- ✓ Liner

Las condiciones de cargas que son encontradas en la práctica normal son: colapso, estallido y tensión. Cargas de compresión son también encontradas en algunos casos y deben ser considerados.

Luego de perforado el pozo y colocado la tubería de revestimiento dentro de este, se procede a la cementación del pozo. La unidad de cementación mezcla repetidamente agua, cemento seco, aditivos especiales. Una unidad de bombeo de cemento a alta presión desplaza la lechada hacia el fondo del pozo a través del revestidor.

Dependiendo de las condiciones del pozo y del tipo de cemento usado, la lechada de cemento se fragua entre 12 y 24 horas.

I. Información general del pozo ESPOL X1-D

El pozo ESPOL X1-D es un pozo direccional tipo "S", con un desplazamiento de 1374.242' a los objetivos, Arena U Inferior, Arena T Inferior y Hollín Inferior.

Tabla 1. Información del pozo

COORDENADAS DE SUPERFICIE (UTM)	
NORTE	9´921,858.684 m
ESTE	291146.911 m
ELEVACIÓN KELLY BUSHING	932.972´sobre el nivel mar
ELEVACIÓN KELLY BUSHING	36´sobre el terreno
OBJETIVOS	
ARENA U INFERIOR	
TVD	9701.972´TVD
NORTE	9´922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio
ARENA T INFERIOR	
TVD	9961.9721 TVD
NORTE	9´922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio
ARENA HOLLÍN SUPERIOR	
TVD	10157.972´TVD
NORTE	9´922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio

II. Programa de Perforación

El pozo se perforará en dos secciones:

- Sección de 12 1/4", donde se realizará el Kick Off a 800'MD y se construirá la curva a razón de 1.70°/100' hasta tener 25.529° de inclinación en una dirección de 56.286°. Luego el objetivo es mantener una sección tangencial de 1216' y tumbar inclinación con una severidad de 0.7°/100' hasta asentar el revestimiento de 9 5/8.
- Sección de 8 ½" donde se seguirá tumbando inclinación con una severidad de 0.7°/100' hasta alcanzar verticalidad, y continuar la trayectoria vertical atravesando los objetivos U inferior, T inferior y Hollín Inferior. La profundidad total propuesta es de 10,613.363'MD.

III. Diseño de Revestimiento

Tomando la mayor información posible encontrada del pozo se procede a realizar el diseño de revestimiento para ESPOL X1-D. Se usará el método de ensayo y error con punto neutro para la realización del diseño.

Como no se ha utilizado tubería de 13 $^{3}/_{8}$ en el diseño de revestimiento anterior, se asume que no se contaba con ese diámetro de tubería en stock, por lo que en el diseño se trabajará con esta limitante. Por lo que se cuenta solo con tubería de 20, 9 $^{5}/_{8}$ y 7 plg.

Para los factores de seguridad de las fuerzas de tensión, compresión y estallido se usará los mismos que son usados por Petroecuador en el oriente ecuatoriano.

Así los datos quedan:

- Profundidad:= 10326 ft (TVD)/ 10613.63 ft. (MD)
- $\rho_{\text{fluido perforación}}$ = 10.2 lbs. /gal.
- $\rho_{\text{fluido completación}}$ = 8.5 lbs. /gal.

3.1. Cálculos para casing 20´´

Se usa una tubería de 20 plg. para el casing conductor. Se lo introduce 40 ft mediante martilleo. A esta profundidad no representa ningún problema las fuerzas de tensión, colapso y estallido. Así que se opta por usar el casing de grado J-55 de 94 lbs./ft. con Rc= 520 lpc, Re= 2110 lpc y Rt= 907000 lpc.

3.2. Cálculos para Casing 9 $^{5}/_{8}$´´

Se debe correr casing de 9 $^{5}/_{8}$ desde superficie. Y se decide bajar este casing hasta 8000 ft. (MD

Se analiza mediante tablas del boletín API 5C2, que tipo de casing me soportan una Pc= 4775 lpc. Se observa en la tabla los valores de resistencia al colapso de todas las tuberías de diámetro 9 5/8 y esta indica que la tubería de revestimiento mas económica y que soporta esta presión de colapso es la C-95 de 47 lb./ft. con una Rc= 5080 lpc. Así que se usará este grado de tubería.

Se chequea si la C-95 de 47 lb./ft. soporta por tensión hasta superficie. Como se esta trabajando con factor de flotación solo se toma en cuenta el peso de tubería por encima del punto neutro (6776 ft.). Así se tiene:

Tabla 3.2. Calculo del peso de tubería de 9 5/8"

Tubería	Longitud (ft.)	Peso Nominal (lbs./pie)	Wcsg (lbs.)
C-95	6776	47	318472

Por lo que con este resultado se concluye que la resistencia a la tensión es mucho mayor al peso de toda la tubería requerida. Así no se usara el factor de flotación para realizar los cálculos, se llegaría perfecto hasta superficie por tensión. Ya que el Wcsg con 8000 ft. de tubería sería 376000 lbs.

Se comprueba ahora si se puede llegar a superficie con esta tubería por estallido. La tubería C-95 de 47# posee una Re= 8150 lpc. Se obtuvo un valor negativo, es decir que la C-95 de 47# resiste perfectamente por estallido hasta superficie.

Por lo que comprobado que la C-95 de 47# soporta las fuerzas de tensión, colapso y estallido, se podrá correr desde superficie hasta la profundidad indicada anteriormente.

3.3 Cálculos para Liner 7´´

Para este diseño se decide usar un colgador (liner hanger) para llegar al target (10613.363). Se corre liner de 7´´ desde 7800 ft. hasta el target.

Se analiza mediante tablas API que tipo de revestidor me soportan una Pc= 6334 lpc. Se observa en la tabla los valores de resistencia al colapso de todas las tuberías de diámetro 7´´ y esta indica que la tubería de revestimiento mas económica y que soporta esta presión de colapso es la C-75 de 29 lb./ft. con una Rc= 6760 lpc. Así que se usará este grado de tubería.

Se chequea si la C-75 de 29 lb./ft. soporta por tensión hasta los 7800 ft. Como se esta trabajando con factor de flotación solo se toma en cuenta el peso de tubería por encima del punto neutro (8989 ft.). Así se tiene:

Tabla 3.3.1. Calculo del peso de tubería 7"

Tubería	Longitud (ft.)	Peso Nominal (lbs./pie)	Wcsg (lbs.)
C-75	1189	29	34481

Por lo que con este resultado se concluye que la resistencia a la tensión es mucho mayor al peso de toda la tubería requerida. Así no se usara el factor de flotación para realizar los cálculos, llegaríamos perfecto hasta superficie por tensión. Ya que el Wcsg con 2813.36 ft. de tubería sería 81587 lbs.

Se comprueba ahora si se puede llegar a superficie con esta tubería por estallido. La tubería C-75 de 29# posee una Re= 7650 lpc. Se obtuvo un valor negativo, es decir que la C-75 de 29# resiste perfectamente por estallido hasta 7800 ft.

Por lo que comprobado que la C-75 de 29# soporta las fuerzas de tensión, colapso y estallido, se podrá correr este liner hasta el target indicado.

Por lo que el diseño finalmente queda de la siguiente forma:

Tabla 3.3.2. Programa de revestimiento

Intervalo	Grado	Peso (lb/ft)	Longitud Sección (ft)	Peso Sección (lbs.)	Tubos
0-40´	J-55	94	40	3760	1
0-8000´	C-95	47	8000	376000	200
7800´-10613.33´	C-75	29	2813.36	81588	71

3.4 Costos de diseño de revestidor

A continuación se procede a comparar los costos entre la alternativa de diseño y el que se encuentra actualmente en subsuelo.

Tabla 3.4.1. Costo de alternativa de diseño

Casing (plg.)	Costo/pie (USD)	Longitud (ft.)	Costo Total
9 5/8	42.11	8000	336880
7	32.53	2813.36	91518
		Total	$ 428399

Tabla 3.4.2. Costo de diseño actual

Casing (plg.)	Costo/pie (USD)	Longitud (ft.)	Costo Total
9 5/8	42.11	6354	267566
7	32.53	10613.363	345253
		Total	$ 612819

Se observa que se obtiene un ahorro de $ 184420 USD.

IV. Cementación

Para la cementación se necesita conocer diámetros internos (ID), externos (OD) y longitud total del casing empleado, así como el diámetro de la broca. Así se tiene:

Tabla 4.1. Información de tubería de revestimiento

CASING (plg.)	OD (plg.)	ID (plg)	LONGITUD (ft.)	BROCA (plg.)
20	20	19.124	40	---------
9 5/8	9.625	8.681	8000	12.25
7	7	6.184	2813.36	8.5

Para este diseño se cuenta con cemento de clase A y G. Así se tiene:

Tabla 4.2. Información de los tipos de cemento

CEMENTO	MAXIMA PROFUNDIDAD DE TRABAJO (ft.)	RENDIMIENTO (ft3/sx)
A	6000	2.014
G	6000-8000	1.351

Y para las lechadas de relleno y cola o principal se usará 13.5 lbm/gal. Y 15.6 lbm/gal. respectivamente.

4.1 Cementación casing 9 5/8"

Como se ha corrido casing de 9 5/8 a una profundidad mayor a los 6000 pies, se requiere usar el cemento tipo G para cementar esta sección. Así los cálculos para los números de sacos y los barriles de lechada a emplear quedan de la siguiente manera:

$$\forall_{EA} = 0.00319*(D_{Agujero}^2 - D_{OD\ casing}^2)*H$$
$$= 0.00319*(12.250^2 - 9.625^2)*8040$$
$$= 1472.73\ ft^3$$

$$\text{Número de sacos} = \frac{\forall_{EA}}{\text{Rendimiento Saco}}$$
$$= \frac{1472.73}{1.351}$$

Número de Sacos= 1091 sxs

Se usará un exceso de 25% en los sacos por motivos de seguridad. Así se tiene:

Número de Sacos= 1091 + 25%(exceso de seguridad)
= 1091 + 273
Número de Sacos= 1364 sxs

Por criterio personal se usará una relación 80/20 para la distribución de sacos en la lechada. Para la lechada de relleno se empleará el 80% de los sacos, mientras que para la lechada principal se utilizará el 20% restante.

80% lechada relleno → 1091 sxs
20% lechada principal → 273 sxs

4.2. Volúmenes a utilizar para casing 9 5/8´´

4.2.1. Lechada de relleno. 13.6 lbm/gal.

$$1091\ sxs*1.68\ \frac{ft^3}{sx} = 1832.88\ ft^3$$

Este valor se lo lleva a barriles

$$1832.88\ ft^3 / 5.615\ ft^3/BL$$
$$= 327\ BLS$$

Se calcula ahora los barriles de agua que se emplearan en esta lechada:

$$1091\ sxs*8.89\ \frac{gal.}{sx} = 9698.99\ gal.$$

Llevando este valor a barriles

$$9698.99\ gal./\ 42\ gal./BL$$
=243 BLS DE AGUA REQUERIDOS

4.2.2. Lechada de cola. 15.6 lbm/gal.

$$273\ sxs*1.18\ \frac{ft^3}{sx} = 322.14\ ft^3$$

Este valor se lo lleva a barriles

$$322.14\ ft^3 / 5.615\ ft^3/BL$$
$$= 58\ BLS$$

Se calcula ahora los barriles de agua que se emplearan en esta lechada:

$$273\ sxs*5.21\ \frac{gal.}{sx} = 1422.33\ gal.$$

Llevando este valor a barriles

$$1422.33\ gal./\ 42\ gal./BL$$
=34 BLS DE AGUA REQUERIDOS

4.3. Volumen de desplazamiento

$$\forall_{Desplazamiento} = \frac{ID^2}{1029.4} * h$$
$$= \frac{8.681^2}{1029.4} * 8040$$
$$\forall_{Desplazamiento} = 589\ BLS$$

4.4. Secuencia operacional casing 9 5/8"

a) Probar líneas de superficie con 3000 psi por 10 min
b) Colocar Tapón de fondo (rojo) y Tapón de desplazamiento (negro) en cabezal cementación
c) Bombear 5 Bls. agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) por línea inferior
d) Bombear 15 Bls. agua por línea inferior a +/- 5 BPM
e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 5 BPM por línea inferior (1091 Sx Cemento a 13.5 lb/gal ---- 327 Bls.)
f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inferior (273 Sx Cemento a 15.6 lb/gal ----- 58 Bls.)
g) Soltar Tapón de desplazamiento (quitar seguro). Cerrar línea inferior y abrir línea superior
h) Desplazar con 586 Bls. de lodo (por línea superior) a +/- 15 BPM
i) Asentar Tapón de desplazamiento con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda
j) Mientras se desplaza, reciprocar la tubería de revestimiento lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contra flujo)
k) Finaliza operaciones. Observar Bls. retornados por zaranda y Bls. reversados en tanques de camión (back flow)
l) Esperar fraguado por 12 horas

4.5. Cementación liner 7´´

Como se ha corrido liner de 7´´ a una profundidad mayor a los 6000 pies, se requiere usar el cemento tipo G para cementar esta sección. Para estos cálculos se considerará cuatro volúmenes para cementar el liner. Siendo los volúmenes a considerar los siguientes:

- $\forall_1$=Sección de 200 ft. por encima del colgador (ID de 9 5/8´´ y OD del drill pipe de 5´´)
- $\forall_2$= Sección de 200 ft. por debajo del colgador (ID de 9 5/8´´ y OD del liner de 7´´)
- $\forall_3$= Sección desde el asentamiento de la tubería 9 5/8 hasta el TD
- $\forall_4$= Sección de 40 ft. del bolsillo para circular cemento

Así los cálculos para los números de sacos y los barriles de lechada a emplear quedan de la siguiente manera:

$$\forall_1 = 0.00319*(D_{ID\ 9\ 5/8}{}^2 - D_{OD\ drill\ pipe\ 5''}{}^2)*H$$
$$=0.00319*(8.681^2-5^2)*200$$
$$=32.12\ ft^3$$

$$\forall_2 = 0.00319*(D_{ID\ 9\ 5/8}{}^2 - D_{OD\ 7''}{}^2)*H$$
$$=0.00319*(8.681^2-7^2)*200$$
$$=16.82\ ft^3$$

$$\forall_3 = 0.00319*(D_{Open\ Hole\ 8.5''}{}^2 - D_{OD\ 7''}{}^2)*H$$
$$=0.00319*(8.5^2-7^2)*10613.33$$
$$=787.16\ ft^3$$

$$\forall_4 = 0.00319*(D_{Open\ Hole\ 8.5''}{}^2)*H$$
$$=0.00319*(8.5^2)*40$$
$$=9.22\ ft^3$$

$$\forall_{TOTAL} = \forall_1+\forall_2+\forall_3+\forall_4$$
$$= 32.12+16.82+787.16+9.22$$
$$= 845.32\ ft^3$$

$$\text{Números de sacos} = \frac{\forall_{TOTAL}}{\text{Rendimiento Saco}}$$
$$= \frac{845.32}{1.351}$$

Número de Sacos= 626 sx

Se usará un exceso de 10% en los sacos por motivos de seguridad. Así se tiene:

Número de Sacos= 626 + 10%(exceso de seguridad)
= 626 + 63
Número de Sacos= 689 sxs

Por criterio personal se usará una distribución 80/20 para la distribución de sacos en la lechada. Para la lechada de relleno se empleará el 80% de los sacos, mientras que para la lechada principal se utilizará el 20% restante.

80% lechada relleno → 552 sxs
20% lechada principal → 137 sxs

4.6. Volúmenes a utilizar para casing 7´´

4.6.1 Lechada de relleno. 13.6 lbm/gal.

$$552 \text{ sxs}*1.68 \frac{ft^3}{sx} = 927.36\ ft^3$$

Este valor se lo lleva a barriles

$$927.36\ ft^3 / 5.615\ ft^3/BL$$
$$= 166 \text{ BLS}$$

Se calcula ahora los barriles de agua que se emplearan en esta lechada:

$$552 \text{ sxs}*8.89 \frac{gal.}{sx} = 4907.28 \text{ gal.}$$

Llevando este valor a barriles

4907.28 gal./ 42 gal./BL
=117 BLS DE AGUA REQUERIDOS

4.6.2 Lechada de cola. 15.6 lbm/gal.

$$137 \text{ sxs}*1.18 \frac{ft^3}{sx} = 161.66\ ft^3$$

Este valor se lo lleva a barriles

$$161.66\ ft^3 / 5.615\ ft^3/BL$$
$$= 29 \text{ BLS}$$

Se calcula ahora los barriles de agua que se emplearan en esta lechada:

$$137 \text{ sxs}*5.21 \frac{gal.}{sx} = 713.77 \text{ gal.}$$

Llevando este valor a barriles

713.77 gal./ 42 gal./BL
=17 BLS DE AGUA REQUERIDOS

4.7. Volumen de desplazamiento

El volumen de desplazamiento será igual al volumen que se encuentra dentro del drill pipe de 5´´ más el volumen del interior del liner de 7´´. Así se tiene:

$$\forall_{\text{Desplazamiento total}} = \forall_{\text{Desp.drill pipe 5''}} + \forall_{\text{Desp.liner 7''}}$$

$$\forall_{\text{Desplazamiento drill pipe 5''}} = \frac{ID^2}{1029.4} * h$$

$$= \frac{4.276^2}{1029.4} * 7800$$

$$\forall_{\text{Desplazamiento}} = 139 \text{ BLS}$$

$$\forall_{\text{Desplazamiento liner 7''}} = \frac{ID^2}{1029.4} * h$$

$$= \frac{6.184^2}{1029.4} * 2813.33$$

$$\forall_{\text{Desplazamiento}} = 105 \text{ BLS}$$

$$\forall_{\text{Desplazamiento total}} = \forall_{\text{Desp.drill pipe 5''}} + \forall_{\text{Desp.liner 7''}}$$
$$= 139 + 105$$
$$= 244 \text{ BLS de lodo}$$

4.8. Secuencia Operacional Cementación liner7´´

a) Probar líneas de superficie con 3000 psi por 10 min
b) Colocar Tapón de fondo (rojo) y Tapón de desplazamiento (negro) en cabezal cementación
c) Bombear 5 Bls. agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) por línea inferior
d) Bombear 15 Bls. agua por línea inferior a +/- 5 BPM
e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 5 BPM por línea inferior (552 Sx Cemento a 13.5 lb/gal ---- 166 Bls.)
f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inferior (137 Sx Cemento a 15.6 lb/gal ----- 29 Bls.)
g) Soltar Tapón de desplazamiento (quitar seguro). Cerrar línea inferior y abrir línea superior
h) Desplazar con 139 Bls. de lodo (por línea superior) a +/- 15 BPM
i) Asentar Tapón de desplazamiento con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda
j) Mientras se desplaza, reciprocar la tubería de revestimiento lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contra flujo)
k) Finaliza operaciones. Observar Bls. retornados por zaranda y Bls. reversados en tanques de camión (back flow)
l) Esperar fraguado por 12 horas

4.9 Costos Cemento

Tabla 4.9.1. Costo del cemento de la alternativa de diseño

CASING (plg.)	TIPO DE CEMENTO	COSTO DE SACO (USD)	SACOS	TOTAL
9 5/8	G	16.6	1364	22642.4
7	G	16.6	626	10391.6
			TOTAL	$33034

Tabla 4.9.2. Costo del cemento diseño actual

CASING (plg.)	TIPO DE CEMENTO	COSTO DE SACO (USD)	SACOS	TOTAL
9 5/8	**A**	**9**	**1500**	**13500**
7	**G**	**16.6**	**510**	**8466**
			TOTAL	**$21966**

4.10. Comparación del diseño final del pozo ESPOL X1-D

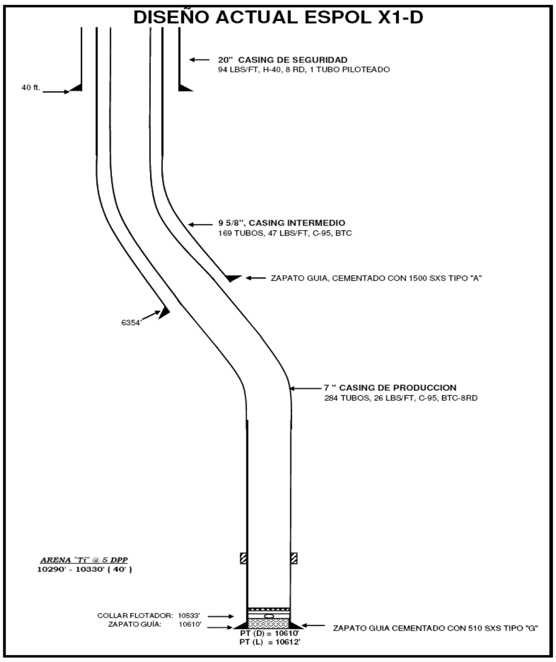

Grafico 1. Diseño Actual del pozo ESPOL X1-D.

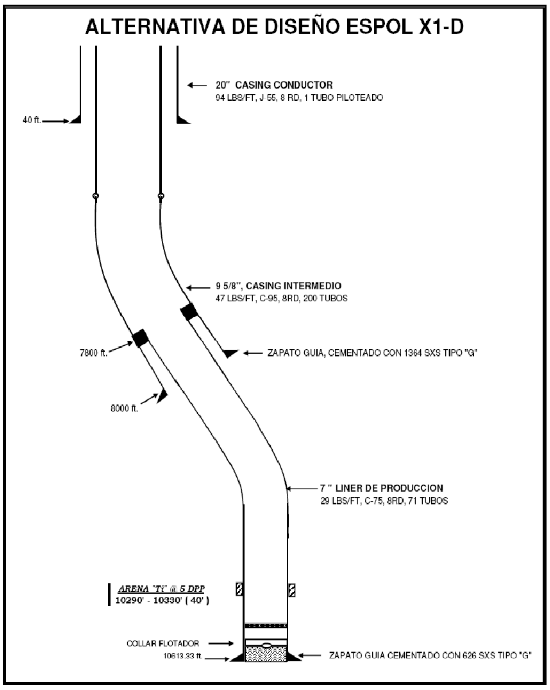

Grafico 2. Alternativa de Diseño para el pozo ESPOL X1-D.

Conclusiones

- Se implemento un liner de 7 plg. en el diseño del pozo ESPOL X1-D.
- Con el nuevo diseño expuesto en este informe se consiguió un ahorro de $184420 USD en tubería de revestimiento.
- El costo de cemento se incremento aproximadamente $ 11 mil UDS, pero esto es compensado con el ahorro en tubería por motivo de la inclusión de un liner.
- Se uso solamente cemento tipo G debido a que ambos casing sobrepasan los 6 mil pies en sus respectivos asentamientos.
- Se omite el uso de tubería de 13 3/8 debido a que en el diseño anterior de este pozo tampoco es utilizada, dando a entender que no se tenía en stock dicha tubería.
- Se asume que debido a informaciones de pozos vecinos se demostró que las formaciones en subsuelo del pozo ESPOL X1-D, no representa mayor riesgo de sobrepresión o derrumbes, por lo que no es indispensable el uso del casing 13 3/8

Recomendaciones

- Usar como referencia los factores de seguridad para tensión, compresión y estallido utilizados en Petroecuador para realizar los diseños de pozos en el Oriente Ecuatoriano, al menos que se especifique lo contrario.
- Tomar en cuenta 200 pies por encima de la profundidad de revestimiento del casing intermedio (9 5/8) por motivos de costos en cemento y casing.
- Usar un exceso de seguridad entre 20-25 % en sacos de cementos en los casing y un 10% en liners. Al menos que se especifique lo contrario.
- Usar una relación 80/20 para la distribución de sacos para las lechadas. 80% para lechada de relleno y 20% lechada de cola. Al menos que se especifique lo contrario.

Referencias

[1] Practical Casing Design, Halliburton Company, 1976
[2] Apuntes del Ing. Xavier Vargas, Profesor de la Materia de Graduación. 2009
[3] Boletín API. 5C2. Boletín de Características y propiedades de la tubería de revestimiento.
[4] Boletín API 5C3. Bulletin on Formulas and Calculations for Casing, Tubing, Drill Pipe and Line Pipe Properties. API Production Department. 5ta Edición. 1989.