



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

### **“DISEÑO DE REVESTIDORES Y CEMENTACIÓN DE POZOS EN EL ORIENTE ECUATORIANO”**

#### **INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

#### **INGENIERO EN PETROLEO**

*Presentado por:*

Luis Arturo Fernández Arias

Karen Amelia Aguirre Marrett

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2009**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de investigación y en especial a los profesores: Msc. Xavier Vargas y Msc. Daniel Tapia por el apoyo brindado para la culminación del mismo.

## **DEDICATORIA**

### **Luis Fernández**

A mi madre por todo el apoyo brindado este tiempo y poder gracias a Ella terminar con éxito mi carrera universitaria. Le agradezco su paciencia, su comprensión y su mano amiga que estuvo para mí cada vez que la necesite. A ti madre te dedico lo que soy. Dios te bendiga siempre

### **Karen Aguirre**

A Dios por su eterna y bondadosa ayuda, a mis padres por todo su apoyo e infinita motivación y en especial agradezco a un ser que hoy no está junto a nosotros, mi querida abuelita por su dedicación en todo momento. Ellos fueron mi inspiración.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este informe de graduación, nos corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

*(Reglamento de Graduación de la ESPOL)*

---

**Luis Arturo Fernández Arias**

---

**Karen Amelia Aguirre Marrett**

## 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 cálculos hechos en la implementación del nuevo diseño de revestidores para nuestro pozo. Se emplea el método de ensayo y error con punto neutro para la realización de los cálculos y condiciones generales que se presentan en el Oriente Ecuatoriano.

En el capítulo 4 se explica los cálculos que se realizaron para obtener 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 gráfica el nuevo diseño. Así mismo, se realiza una comparación en costos del diseño actual y la alternativa presentada en este informe.

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
INDICE GENERAL.....	iii
SIMBOLOGIA .....	v
ABREVIATURAS .....	vii
GLOSARIO .....	viii
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPITULO I.....	1
INFORMACION GENERAL DEL POZO ESPOL X1-D .....	1
CAPITULO II.....	2
PROGRAMA DE PERFORACIÓN .....	2
CAPITULO III.....	3
DISEÑO DE REVESTIMIENTO .....	3
3.1 DESARROLLO.....	4
3.1.1 CÁLCULOS PARA CASING 20'' .....	4
3.1.2 CÁLCULOS PARA CASING 9 5/8'' .....	4
3.1.3 CÁLCULOS PARA LINER 7'' .....	7
3.2 COSTOS DE DISEÑO DE REVESTIDOR.....	11
CAPITULO IV.....	13
CEMENTACIÓN.....	13
4.1 CEMENTACIÓN CASING 9 5/8 .....	14
4.1.1 VOLUMENES A UTILIZAR PARA CASING 9 5/8'' .....	15
4.1.2 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO .....	16
4.1.3 SECUENCIA OPERACIONAL CASING 9 5/8.....	16
4.2 CEMENTACIÓN LINER 7'' .....	17
4.2.1 VOLUMENES A UTILIZAR PARA CASING 7'' .....	20
4.2.2 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO .....	21

4.2.3 SECUENCIA OPERACIONAL CEMENTACION LINER 7'' .....	22
4.3 COSTOS CEMENTO .....	23
4.4 COMPARACIÓN DEL DISEÑO FINAL DEL POZO ESPOL X1-D .....	24
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	

## SIMBOLOGIA

'	Pies
''	Pulgadas
#	Grado de casing
°	Grados
$\rho_{fp}$	Densidad del fluido de perforación
$\rho_{fc}$	Densidad del fluido de completación
$V_{EA}$	Volumen del espacio anular
$V_{desplazamiento}$	Volumen de desplazamiento
$P_h$	Presión Hidrostática
$P_s$	Presión de Superficie
$P_f$	Presión de Formación
$P_c$	Presión de Colapso
$P_E$	Presión de Estallido
$R_C$	Resistencia al Colapso
$R_E$	Resistencia al Estallido
$R_T$	Resistencia a la Tensión
$G_{RC}$	Gradiente de resistencia al Colapso
$D_t$	Profundidad Total
$W_{csg}$	Peso del Revestidor
$D_{agujero}$	Diámetro del agujero

$D_{OD \text{ casing}}$	Diámetro exterior del revestidor
$D_{ID \text{ casing}}$	Diámetro interior del revestidor
$D_x$	Profundidad a la que se puede bajar tubería por estallido

## ABREVIATURAS

TVD	Profundidad Vertical Verdadera
MBLS	Millones de Barriles
BPPD	Barriles de Petróleo por día
MD	Profundidad Medida
FSC	Factor de seguridad de Colapso
FSE	Factor de seguridad de Estallido
FST	Factor de seguridad de Tensión
lbs.	Libras
gal.	Galones
H	Profundidad
sx	sacos de cemento
lpc	Libras por pulgada cuadrada
FF	Factor de Flotación
ft.	Pies
plg.	Pulgadas
ID	Diámetro interior
OD	Diámetro Exterior
BLS	Barriles
psi	libras por pulgadas cuadradas
ft <sup>3</sup>	Pies cúbicos

## GLOSARIO

**API.-** Instituto de Petróleo Americano.

**Back Flow.-** Contra flujo.

**In situ.-** En el sitio.

**Kick Off.-** Profundidad a la cual llega la sección vertical del pozo.

**Lechada.-** Fluido obtenido de la mezcla de cemento, agua y aditivos.

**Líneas.-** Tuberías.

**Liner.-** Revestidor Colgado.

**Pozo direccional.-** Pozo petrolero que presenta un ángulo de desviación.

**Revestidor Conductor.-** Sección del revestidor que provee una elevación suficiente en la instalación de una línea de flujo para así permitir el retorno del lodo y permite la instalación de un sistema desviador.

**Revestidor de Producción.-** Sección de casing que es colocada a través de la zona productiva y provee un respaldo para las secciones de tubing durante operaciones de producción.

**Revestidor Intermedio.-** Sección de casing que provee integridad al pozo durante las operaciones de perforaciones subsiguientes.

**Revestidor Superficie.-** Sección del casing que protege formaciones cercanas a superficie de las condiciones de perforación más profundas.

**Stock.-** Bodega.

**Target.-** Objetivo en subsuelo al cual se llega mediante la perforación.

## 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 sarta 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.

## CAPITULO I

### INFORMACION 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 ESPOL X1-D

<b>COORDENADAS DE SUPERFICIE (UTM)</b>	
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
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>ARENA U INFERIOR</b>	
TVD	9701.972' TVD
NORTE	9'922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio
<b>ARENA T INFERIOR</b>	
TVD	9961.9721 TVD
NORTE	9'922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio
<b>ARENA HOLLÍN SUPERIOR</b>	
TVD	10157.972' TVD
NORTE	9'922,138.18 m
ESTE	291,565.78 m
TOLERANCIA DEL OBJETIVO	50 pies de radio

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

## **CAPITULO 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 1/2" 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.

## CAPITULO 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 <sup>3</sup>/<sub>8</sub> 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 <sup>5</sup>/<sub>8</sub> 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)
- $\rho_{\text{fluido perforación}} = 10.2 \text{ lbs. /gal.}$
- $\rho_{\text{fluido completación}} = 8.5 \text{ lbs. /gal.}$
- FSC= 1.125
- FSE=1.05

- FST=1.8

### 3.1 DESARROLLO

#### 3.1.1 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  $R_c = 520$  lpc,  $R_e = 2110$  lpc y  $R_t = 907000$  lpc.

#### 3.1.2 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). Así que los cálculos a esta profundidad quedan:

$$P_f = 0.052 \cdot \rho_{fp} \cdot h$$

$$= 0.052 \cdot 10.2 \cdot 8000 \text{ pies} = 4244 \text{ lpc}$$

Se asume  $P_h = P_s = P_f$

$$P_c = P_h \cdot FSC$$

$$= 4244 \cdot 1.125 = 4775 \text{ lpc}$$

$$P_e = P_s \cdot FSE$$

$$= 4244 \cdot 1.05 = 4457 \text{ lpc}$$

$$G_{rc} = \frac{P_c}{\text{Profundidad}} = 4775/8000 = 0.597 \text{ lpc/pie}$$

$$\begin{aligned} FF &= 1 - 0.015 * \rho_{fp} \\ &= 1 - 0.015(10.2) = 0.847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DPN} &= Dt * FF \\ &= 8000 * 0.847 = 6776 \text{ ft.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DX &= \frac{P_s - \frac{Re}{FSE}}{0.052 * (\rho_{fp} - \rho_{fc})} \\ &= \frac{4244 - \frac{Re}{1.05}}{0.0884} \end{aligned}$$

Se analiza mediante tablas del boletín API 5C2, que tipo de casing me soportan una  $P_c = 4775$  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  $R_c = 5080$  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 3.1

## CALCULO DEL PESO DE TUBERIA 9 5/8

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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

$$R_t(C - 95, 47\#) = \frac{R_{t(C-95,47\#)}}{FST}$$

$$= \frac{1040000}{1.8}$$

$$R_t(C - 95, 47\#) = 577777 \text{ lpc}$$

$$R_t \gg Wcsg$$

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 usará 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  $Re = 8150 \text{ lpc}$ . Así se tiene:

$$Dx = \frac{4244 - \frac{Re}{1.05}}{0.0884}$$

$$= \frac{4244 - \frac{8150}{1.05}}{0.0884}$$

$$D_x = -39785 \text{ ft.}$$

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.

### 3.1.3 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.

$$10613.363 - 7800 = 2813.36 \text{ ft.}$$

Así los cálculos quedan:

$$P_f = 0.052 * \rho_{fp} * \text{Profundidad}$$

$$= 0.052 * 10.2 * 10613.33 \text{ pies} = 5630 \text{ lpc}$$

$$P_h = P_f$$

$$P_s = 0.052 * \rho_{fp} * \text{Profundidad Superficie}$$

$$=0.052*10.2*7800= 4138 \text{ lpc}$$

$$P_c = P_h * FSC$$

$$= 5630 * 1.125 = 6334 \text{ lpc}$$

$$P_e = P_s * FSE$$

$$= 4138 * 1.05 = 4345 \text{ lpc}$$

$$G_{rc} = \frac{P_c}{\text{Profundidad}} = 6334 / 10613.363 = 0.596 \text{ lpc/pie}$$

$$FF = 1 - 0.015 * \rho_{fp}$$

$$= 1 - 0.015(10.2) = 0.847$$

$$DPN = Dt * FF$$

$$= 10613.363 * 0.847 = 8989 \text{ ft.}$$

$$DX = \frac{P_s - \frac{Re}{FSE}}{0.052 * (\rho_{fp} - \rho_{fc})}$$

$$= \frac{4138 - \frac{Re}{1.05}}{0.0884}$$

Se analiza mediante tablas API que tipo de revestidor me soportan una  $P_c = 6334$  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 3.2**

**CALCULO DEL PESO DE TUBERIA 7**

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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

$$R_t(C - 75,29\#) = \frac{R_{t(C-75,29\#)}}{FST}$$

$$= \frac{5620000}{1.8}$$

$$R_t(C - 75,29\#) = 312222 \text{ lpc}$$

$$R_t \gg Wcsg$$

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. Así se tiene:

$$Dx = \frac{4138 - \frac{Re}{1.05}}{0.0884}$$

$$= \frac{4138 - \frac{7650}{1.05}}{0.0884}$$

$$Dx = -35599 \text{ ft.}$$

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

## PROGRAMA DE REVESTIMIENTO

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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

## 3.2 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

## 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
		<b>Total</b>	<b>\$ 428399</b>

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

**TABLA 3.5**  
**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
		<b>Total</b>	<b>\$ 612819</b>

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

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

## CAPITULO 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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

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	MAX. PROFUNDIDAD DE TRABAJO (ft.)	RENDIMIENTO (ft <sup>3</sup> /sx)
A	6000	2.014
G	6000-8000	1.351

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

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:

$$\begin{aligned} V_{EA} &= 0.00319 * (D_{\text{Agujero}}^2 - D_{\text{OD casing}}^2) * H \\ &= 0.00319 * (12.250^2 - 9.625^2) * 8040 \\ &= 1472.73 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Número de sacos} &= \frac{V_{EA}}{\text{Rendimiento Saco}} \\ &= \frac{1472.73}{1.351} \end{aligned}$$

$$\text{Número de Sacos} = 1091 \text{ sxs}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Número de Sacos} &= 1091 + 25\%(\text{exceso de seguridad}) \\ &= 1091 + 273 \end{aligned}$$

$$\text{Número de Sacos} = 1364 \text{ sxs}$$

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

#### 4.1.1 VOLUMENES A UTILIZAR PARA CASING 9 5/8''

##### 4.1.1.1 Lechada de relleno. 13.6 lbm/gal.

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

Este valor se lo lleva a barriles

$$\begin{aligned} & 1832.88 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/\text{BL} \\ & = 327 \text{ BLS} \end{aligned}$$

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

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

Llevando este valor a barriles

$$\begin{aligned} & 9698.99 \text{ gal.} / 42 \text{ gal./BL} \\ & = 243 \text{ BLS DE AGUA REQUERIDOS} \end{aligned}$$

#### 4.1.1.2 Lechada de cola. 15.6 lbm/gal.

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

Este valor se lo lleva a barriles

$$\begin{aligned} & 322.14 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/\text{BL} \\ & = 58 \text{ BLS} \end{aligned}$$

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

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

Llevando este valor a barriles

$$\begin{aligned} & 1422.33 \text{ gal.} / 42 \text{ gal./BL} \\ & = 34 \text{ BLS DE AGUA REQUERIDOS} \end{aligned}$$

#### 4.1.2 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO

$$\begin{aligned} V_{\text{Desplazamiento}} &= \frac{ID^2}{1029.4} * h \\ &= \frac{8.681^2}{1029.4} * 8040 \end{aligned}$$

$$V_{\text{Desplazamiento}} = 589 \text{ BLS}$$

#### 4.1.3 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, reciprocarse 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

#### **4.2 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:

- $V_1$ =Sección de 200 ft. por encima del colgador (ID de 9 5/8'' y OD del drill pipe de 5'')
- $V_2$ = Sección de 200 ft. por debajo del colgador (ID de 9 5/8'' y OD del liner de 7'')
- $V_3$ = Sección desde el asentamiento de la tubería 9 5/8 hasta el TD
- $V_4$ = 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:

$$\begin{aligned} V_1 &= 0.00319*(D_{ID\ 9\ 5/8}^2 - D_{OD\ drill\ pipe\ 5''}^2)*H \\ &= 0.00319*(8.681^2 - 5^2)*200 \\ &= 32.12\ ft^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 0.00319*(D_{ID\ 9\ 5/8}^2 - D_{OD\ 7''}^2)*H \\ &= 0.00319*(8.681^2 - 7^2)*200 \\ &= 16.82\ ft^3 \end{aligned}$$

$$V_3 = 0.00319*(D_{Open\ Hole\ 8.5''}^2 - D_{OD\ 7''}^2)*H$$

$$=0.00319*(8.5^2-7^2)*10613.33$$

$$=787.16 \text{ ft}^3$$

$$V_4 = 0.00319*(D_{\text{Open Hole } 8.5}^2)*H$$

$$=0.00319*(8.5^2)*40$$

$$=9.22 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{TOTAL}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$= 32.12 + 16.82 + 787.16 + 9.22$$

$$= 845.32 \text{ ft}^3$$

$$\text{Números de sacos} = \frac{V_{\text{TOTAL}}}{\text{Rendimiento Saco}}$$

$$= \frac{845.32}{1.351}$$

$$\text{Número de Sacos} = 626 \text{ sx}$$

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

$$\text{Número de Sacos} = 626 + 10\%(\text{exceso de seguridad})$$

$$= 626 + 63$$

$$\text{Número de Sacos} = 689 \text{ sxs}$$

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

#### 4.2.1 VOLUMENES A UTILIZAR PARA CASING 7''

##### 4.2.1.1 Lechada de relleno. 13.6 lbm/gal.

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

Este valor se lo lleva a barriles

$$\begin{aligned} & 927.36 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/\text{BL} \\ & = 166 \text{ BLS} \end{aligned}$$

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

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

Llevando este valor a barriles

$$\begin{aligned} & 4907.28 \text{ gal.} / 42 \text{ gal./BL} \\ & = 117 \text{ BLS DE AGUA REQUERIDOS} \end{aligned}$$

##### 4.2.1.2 Lechada de cola. 15.6 lbm/gal.

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

Este valor se lo lleva a barriles

$$\begin{aligned} & 161.66 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/\text{BL} \\ & = 29 \text{ BLS} \end{aligned}$$

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

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

Llevando este valor a barriles

$$\begin{aligned} & 713.77 \text{ gal.} / 42 \text{ gal./BL} \\ & = 17 \text{ BLS DE AGUA REQUERIDOS} \end{aligned}$$

#### 4.2.2 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:

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} V_{\text{Desplazamiento total}} &= V_{\text{Desp.drill pipe 5''}} + V_{\text{Desp.liner 7''}} \\ &= 139 + 105 \\ &= 244 \text{ BLS de lodo} \end{aligned}$$

#### 4.2.3 SECUENCIA OPERACIONAL CEMENTACION LINER 7''

- 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, recíprocamente 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

### 4.3 COSTOS CEMENTO

**TABLA 4.3**

**COSTO DEL CEMENTO DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO**

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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

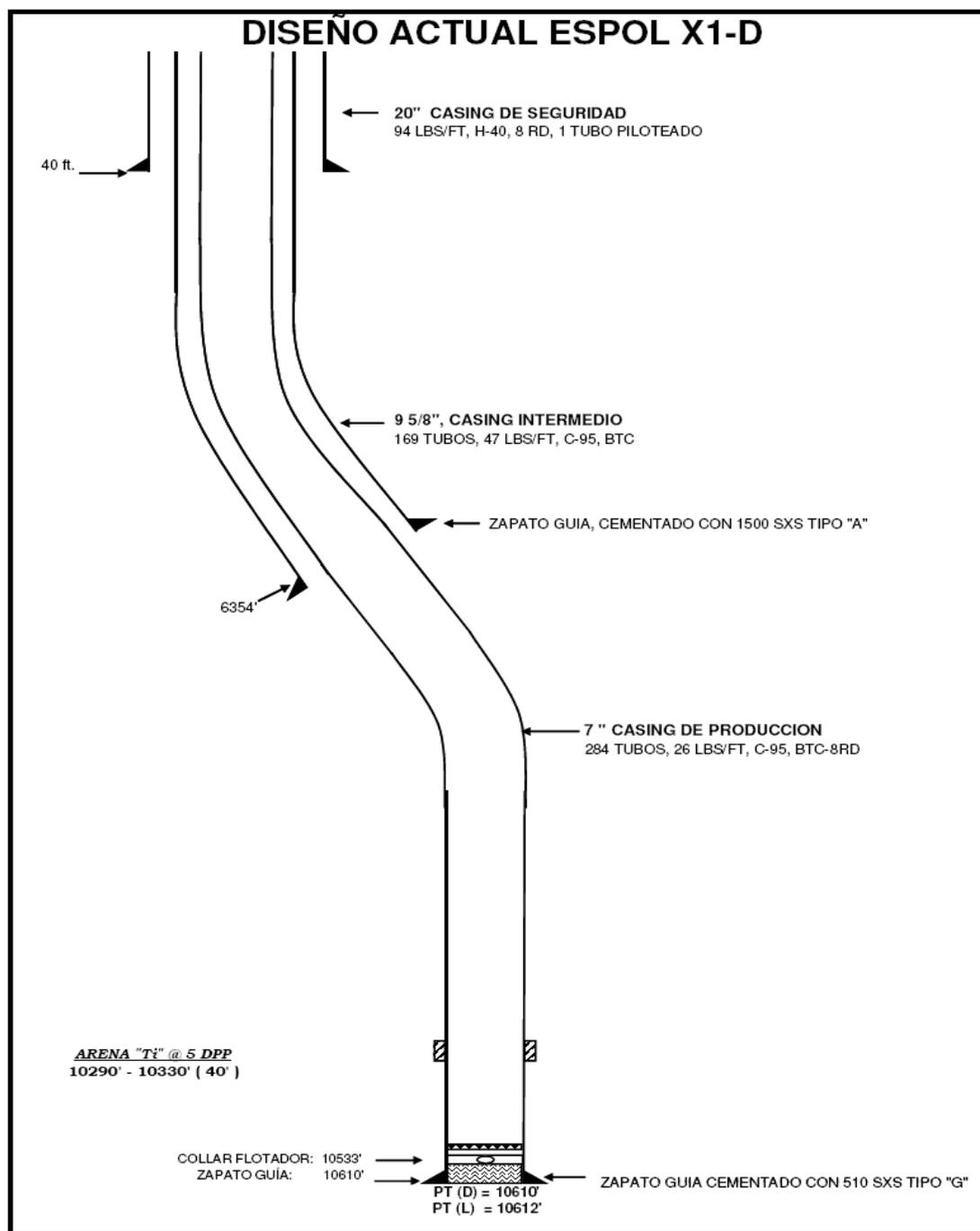
**TABLA 4.4**

**COSTO DEL CEMENTO DISEÑO ACTUAL**

CASING (pulg.)	TIPO DE CEMENTO	COSTO/SACO(USD)	SACOS	TOTAL
9 5/8	A	9	1500	13500
7	G	16.6	510	8466
			<b>TOTAL</b>	<b>\$21966</b>

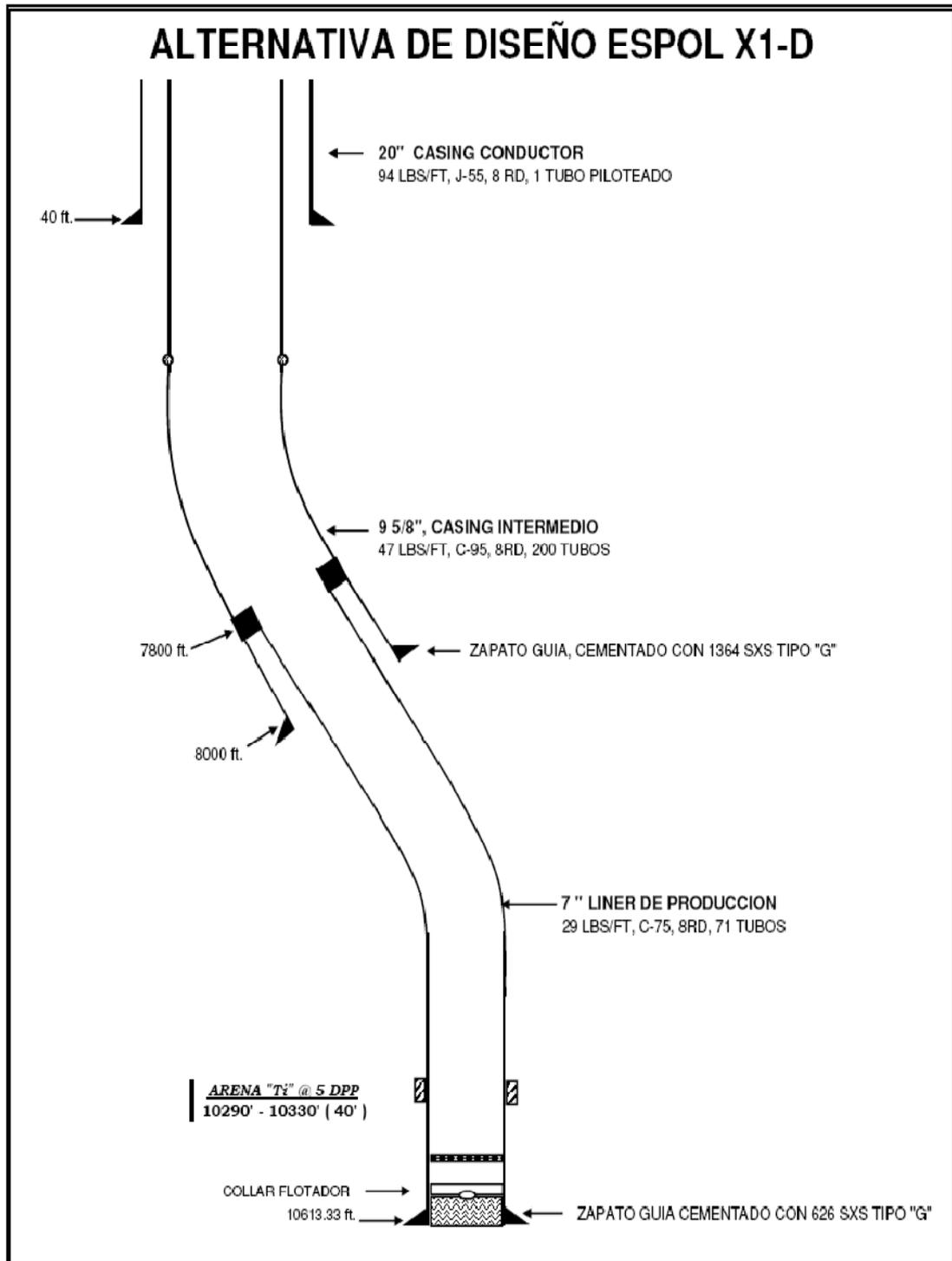
*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre, Sept. 2009*

#### 4.4 COMPARACIÓN DEL DISEÑO FINAL DEL POZO ESPOL X1-D



**Gráfico 1. Diseño Actual del pozo ESPOL X1-D.**

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre. Septiembre 2009*



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

*Elaborado por Luis Fernández/Karen Aguirre. Septiembre 2009*

## 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.
- Usar el método de punto neutro para disminuir costos en tubería, pero siempre priorizando los factores de seguridad.
- 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Practical Casing Design, Halliburton Company, 1976
- Apuntes del Ing. Xavier Vargas, Profesor de la Materia de Graduación.  
2009
- Boletín API. 5C2. Boletín de Características y propiedades de la tubería de revestimiento.
- Boletín API 5C3. Bulletin on Formulas and Calculations for Casing, Tubing, Drill Pipe and Line Pipe Properties. API Production Department. 5ta Edición. 1989.
- Technical Data Handbook. Weatherford
- [www.monografias.com/trabajos11/pope/pope.shtml?monosearch](http://www.monografias.com/trabajos11/pope/pope.shtml?monosearch).  
Información tomada el día 9 de Septiembre del 2009.