



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Diseño De Revestimiento Y Cementación De Pozos en el
Oriente Ecuatoriano”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACION

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETROLEO

Presentado por:

LISSETTE LITUMA M.

WILLIAM MORAN P.

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2009**

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos dado la vida y el talento para culminar esta etapa de estudios, a nuestros padres por el esfuerzo en educarnos, por hacernos personas productivas, y a nuestros hermanos por su comprensión y ayuda.

A los profesores que nos guiaron y sobre todo a los catedráticos de la materia de graduación, Ingenieros Xavier Vargas G. y Daniel Tapia F. quienes dieron sus conocimientos y esfuerzo personal para que este trabajo culminara con éxito.

DEDICATORIA

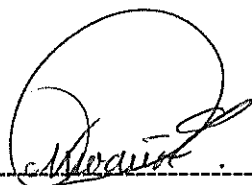
A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida estudiantil.

Lissette Lituma M.

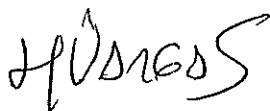
Dedico este trabajo a mi padre William que desde el cielo guía mi vida, a mi madre María Esther y a mis queridos hermanos Gabriel y Gabriela.

William Morán P.

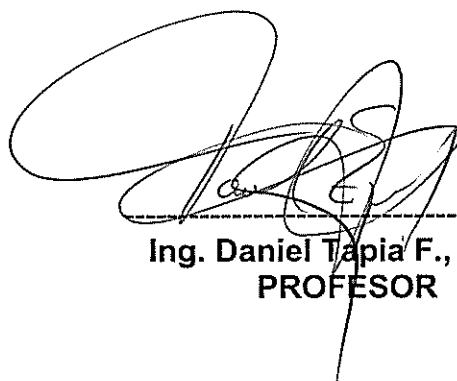
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Gastón Proaño
SUBDECANO FICT
PRESIDENTE

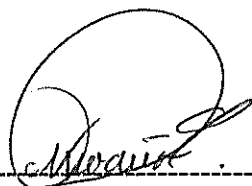


Ing. Xavier Vargas G., M.Sc.
PROFESOR

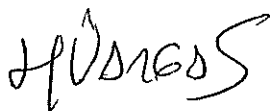


Ing. Daniel Tapia F., M.Sc.
PROFESOR

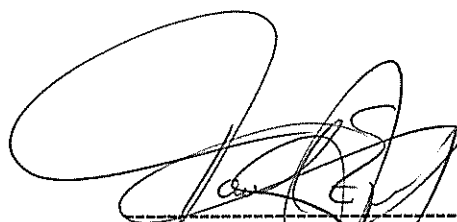
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Gastón Proaño
SUBDECANO FICT
PRESIDENTE



Ing. Xavier Vargas G., M.Sc.
PROFESOR



Ing. Daniel Tapia F., M.Sc.
PROFESOR

RESUMEN

El presente trabajo demuestra una alternativa al diseño actual del Revestimiento y Cementación del pozo ESPOLE X6-D, ubicado en el oriente ecuatoriano.

Se resalta la historia del pozo, describiendo la ubicación del campo donde fue perforado, características litológicas y propiedades petrofísicas del mismo junto con el programa de perforación aplicado. Se describen además conceptos básicos sobre revestimiento y cementación de pozos, los métodos y herramientas utilizadas en estos procesos para luego proceder a realizar el rediseño del revestidor y el volumen de lechada a utilizarse en la cementación de éstos.

Finalmente se compara de forma cuantitativa el diseño realizado con el diseño actual y se define si se pudo o no lograr la optimización del mismo.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGIA.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. INFORMACION GENERAL.....	2
CAPITULO 2	
2. PROGRAMA DE PREFORACIÓN.....	4
CAPITULO 3	
3. DISEÑO DE REVESTIMIENTO.....	6
3.1 Diseño Revestimiento Superficial.....	7
3.2 Diseño Revestimiento Intermedio.....	10
3.3 Diseño Revestimiento de Producción.....	12
3.4 Programas de Revestimiento.....	15

3.5 Comparación Económica de los Diseños de Revestimiento Alterno y Actual del Pozo ESPOL X6-D.....	15
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPITULO 4

4. CEMENTACIÓN.....	17
4.1 Cementación Revestimiento Superficial.....	17
4.1.1 Secuencia Operativo.....	19
4.2 Cementación Revestimiento Intermedio.....	20
4.2.1 Secuencia Operativa.....	22
4.3 Cementación Revestimiento de Producción.....	23
4.3.1 Secuencia Operativa.....	25
4.4 Comparación Económica de los Programas de Cementación Alterno y Actual del Pozo ESPOL X6-D.....	27

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BHA	Ensamblaje de fondo
BPM	Barriles por minuto
bbl/ft	Barriles por pie
bbl/sx	Barriles por saco
Cto.	Cemento
FST	Factor de seguridad de tensión
FSE	Factor de seguridad de estallido
FSC	Factor de seguridad de colapso
ft	Pie
ft ³	Pie cúbico
ft ³ /bbl	Pie cúbico por barril
ft ³ /sx	Pie cúbico por saco
gal/sx	Galón por saco
ID	Diámetro interno
lb.	Libra
lb/gal – lpg	Libra por galón
lb/ft	Libra por pie
m.	Metro
MD	Profundidad medida
min.	Minuto
OD	Diámetro externo
psi.	Libras por pulgada cuadrada
psi/ft	Libras por pulgada cuadrada por pie
pulg.	Pulgada
tk	Tanque
TR	Tubería de Revestimiento
TVD	Profundidad verdadera
USD	Dólares americanos
USD/ft	Dólares americanos por pie
USD/sx	Dólares americanos por saco

SIMBOLOGIA

A	Área plana
C	Capacidad
D	Profundidad
D_x	Profundidad de resistencia al estallido
L_{xi}	Longitud de resistencia al colapso
P_b	Presión de burbuja
P_s	Presión de superficie
SG_{oil}	Gravedad específica del petróleo
S_w	Saturación de agua
Sx	Sacos de cemento
T	Temperatura
V	Volumen
V_{agua}	Volumen de agua
V_r	Volumen de lechada de relleno
V_c	Volumen de lechada de cola
V_d	Volumen de desplazamiento
ρ	Densidad
ϕ	Porosidad
β_o	Factor volumétrico de formación del petróleo

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Características Casing 13 3/8" C-95, 72 lb/ft.....	8
Tabla 3.2	Características Casing 9 5/8" N-80, 53.5 lb/ft.....	11
Tabla 3.3	Características Casing 7" N-80, 29 lb/ft.....	14
Tabla 3.4	Programa de Revestimiento actual.....	15
Tabla 3.5	Programa de Revestimiento Alterno.....	15
Tabla 3.6	Comparación Económica de Diseños.....	16
Tabla 4.1	Características Cemento Casing 13 3/8".....	17
Tabla 4.2	Características Cemento Casing 9 5/8".....	20
Tabla 4.3	Características Cemento Casing 7".....	23
Tabla 4.4	Comparación Económica de Programas de Cementación.....	27

INTRODUCCIÓN

La selección apropiada de las tuberías de revestimiento es un aspecto importante en la programación, planificación y operaciones de un pozo petrolero, y de igual forma la cementación tiene una gran importancia en la vida del pozo, ya que los trabajos de una buena completación dependen directamente de una buena cementación.

El diseño óptimo de un revestidor se asegura en la selección adecuada y económica de tuberías revestidoras, así como su duración y capacidad de resistencia a las condiciones a encontrar durante la perforación y vida útil del pozo, para lo cual se dan a conocer los conceptos básicos del diseño de revestidores junto con la aplicación del Método de Ensayo y Error con Punto Neutro como parte fundamental en el desarrollo de este trabajo.

Mientras que el programa de cementación debe diseñarse para obtener una buena cementación primaria. El trabajo debe aislar y prevenir la comunicación entre las formaciones cementadas y entre el hoyo abierto y las formaciones superficiales detrás del revestidor. Debe considerarse el no fracturar alrededor de la zapata del conductor o de la sarta de superficie durante las subsiguientes operaciones de perforación o cuando se corren las otras sargas de revestimiento.

CAPITULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL POZO

Coordenadas de Superficie (UTM):

Norte: 9'948,774.962 m

Este: 301,967.340 m

Objetivos:

- * Arena U Inferior Principal
 - TVD: 9540.817 ft.TVD
 - Norte: 9'949,830.00 m
 - Este: 301,960.250 m
 - Tolerancia del Objetivo: 50 pies de radio

Objetivos secundarios:

- * Arena T Inferior

- TVD: 9819.817'TVD
- Norte: 9'949,850.664 m
- Este: 301,959.358 m
- Tolerancia del Objetivo: 50 pies de radio

* Arena Hollín Inferior

- TVD: 10054.817'TVD
- Norte: 9'949,864.622 m
- Este: 301,958.756 m
- Tolerancia del Objetivo: 50 pies de radio

CAPITULO 2

2. PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El pozo ESPOL X6-D es un pozo direccional tipo "J" modificado, con un desplazamiento de 3,461.486 pies al objetivo principal Arena U Inferior, 3,529.303 pies y 3,575.112 pies a los objetivos secundarios Arena T Inferior y Hollín Inferior respectivamente.

El pozo fue perforado en tres secciones:

- **Sección de 16":** En esta sección se utilizó el BHA direccional # 1, donde se realizó el Nudge @ 350', se construyó curva a razón de 1.75°/100' hasta alcanzar 6° de inclinación en una dirección de 75°, se continuó construyendo curva hasta alcanzar los 12° de inclinación en una dirección de 30°, para luego terminar de construir curva a razón de 1.5°/100' hasta alcanzar los 23.3° inclinación en una dirección de

357.529° y mantener tangente de 7323.508' hasta asentar el revestimiento de 13 3/8", @ 6036.448' MD/5669.506' TVD.

· **Sección de 12 1/4"**: Se inició esta sección con el BHA direccional #2, se continuó manteniendo tangente, fue necesario se usar el BHA direccional # 3 para perforar el Conglomerado de Tiyuyacu, luego se utilizó el BHA # 4 para perforar Tena hasta el asentar el revestimiento de 9 5/8" @ 9315.318'MD/8680.972' TVD.

· **Sección de 8 1/2"**: Utilizamos el BHA direccional # 5, para perforar hasta el tope de Napo manteniendo tangente, a partir del cual se siguió la tendencia natural a tumbar de las formaciones hasta interceptar los objetivos arena U Inferior Principal, T Inferior y Hollín Inferior.

CAPITULO 3

3. DISEÑO DE REVESTIMIENTO

Al momento de diseñar el revestimiento del pozo ESPOL X6-D debemos tomar en cuenta que la tubería estará sometida a tres esfuerzos:

- a) **Esfuerzo a la Tensión**, originado por el peso que ejerce la sarta.

- b) **Esfuerzo al Colapso**, originado por la presión de la columna hidrostática ejercida hacia la tubería.

- c) **Esfuerzo al Estallido**, originada por la presión del fluido en el interior de la tubería.

Todos estos esfuerzos son considerados en el “**Método de ensayo y error con punto neutro**”, el cual se aplica para el diseño del pozo y que compuesto de tres secciones de revestidores: superficial, intermedia y de

producción (liner). Los datos a utilizar fueron obtenidos del diseño actual y de datos de campo.

Los datos del pozo son:

$$\mathbf{Gf} = 0.48\text{psi/ft}$$

$$\mathbf{FST} = 2.0$$

$$\mathbf{FSC} = 1.125$$

$$\mathbf{FSE} = 1.0$$

Limitaciones: Usar un solo grado de tubería y un solo peso nominal para cada sección.

3.1 Diseño Revestimiento Superficial

Datos:

Diámetro externo = 13 3/8"

Densidad del fluido = 10.2 lpg

Ps = Ph

1. Calculamos los factores que intervienen en el diseño:

a) Cálculo de Presión de formación

$$P_f = G_f \times D(TVD)$$

$$P_f = 0.48 \frac{\text{psi}}{\text{ft}} \times 5627 \text{ ft} = 2700.96 \text{ psi}$$

b) Cálculo de Presión hidrostática

$$P_h = 0.052 \times \rho \times D(TVD)$$

$$P_h = 0.052 \times 10.2 \text{ lb/gal} \times 5627 \text{ ft} = 2984.56 \text{ psi}$$

c) Cálculo de Presión de Colapso

$$P_c = P_h * FSC$$

$$P_c = 2984.56 \text{ psi} * 1.125 = 3357.63 \text{ psi}$$

d) Cálculo de Presión de Estallido

$$P_e = P_f \times FSE$$

$$P_e = 2700.96 \text{ psi} \times 1.0 = 2700.96 \text{ psi}$$

e) Cálculo de Profundidad del punto neutro

$$DPN = D(MD) \times [1 - (0.015 \times \rho)]$$

$$DPN = 5990 \text{ ft} \times [1 - 0.015 \times (10.2 \text{ lb/gal})] = 5073.56 \text{ ft} \approx 5074 \text{ ft}$$

2. Buscamos el tipo de tubería que resiste la presión de colapso obtenida.

Tabla 3.1 Características Casing 13 3/8" C-95, 72 lb/ft

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

OD (pulg.)	ID (pulg.)	Rc (psi)	Re (psi)	Rt (x1000lb.)
13.375	12.347	2820	6390	1893

La tubería C-95, 72 lb/ft. resiste una presión al colapso de 2820 psi. Como vemos la presión al colapso obtenida en los cálculos es mayor a la que esta tubería resiste pero siendo la C-95 de 72 lb/ft la de mayor presión al colapso en comparación con las demás

tuberías usadas para un revestimiento de 13 3/8" y que además consta con la aprobación del API, escogemos esta tubería como la apropiada para el caso. Por otro lado, por ser un revestimiento superficial, el efecto de colapso no afectará de sobremanera el diseño a esta profundidad.

3. Determinar el peso total del revestimiento superficial de 13 3/8" si se corre hasta superficie:

$$W_{tr} = DPN \times \text{peso nominal}$$

$$W_{tr} = 5074 \text{ ft} \times 72 \text{ lb/ft} = 365328 \text{ lb}$$

Ahora comparamos el valor del peso total obtenido con el valor de la resistencia a la tensión de la tubería escogida para determinar si ésta resiste el peso de la sarta:

$$\frac{R_t}{FST} = \frac{1893000 \text{ lb}}{2.0} = 946500 \text{ lb}$$

Como el valor de $\frac{R_t}{FST}$ es mayor que el de W_{tr} entonces la tubería resiste por tensión y puede ser corrida sin problema hasta superficie.

4. Determinar la Resistencia al estallido de la tubería C-95, 72 lb/ft.

De acuerdo a la tabla 3.1 la resistencia al estallido de la tubería es 6390 psi. y la presión al estallido calculada es 2700.96 psi., por lo tanto la tubería resiste por estallido.

5. Determinar la cantidad de tubos utilizados en esta sección:

$$\#tubos = \frac{5990\text{ft}}{40\text{ft}} = 149.75 \approx 150$$

3.2 Diseño Revestimiento Intermedio:

Datos:

Diámetro externo = 9 5/8"

Densidad del fluido = 10.3 lpg

Ps = Ph

1. Calculamos los factores que intervienen en el diseño:

a) Cálculo de Presión de formación

$$P_f = G_f \times D(TVD)$$

$$P_f = 0.48 \frac{\text{psi}}{\text{ft}} \times 8093\text{ft} = 3884.64\text{psi}$$

b) Cálculo de Presión hidrostática

$$P_h = 0.052 \times \rho \times D(TVD)$$

$$P_h = 0.052 \times 10.3 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 8093\text{ft} = 4334.6\text{psi}$$

c) Cálculo de Presión de Colapso

$$P_c = P_h \times FSC$$

$$P_c = 4334.6 \text{ psi} \times 1.125 = 4876.4 \text{ psi}$$

d) Cálculo de Presión de Estallido

$$P_e = P_f \times FSE$$

$$P_e = 3884.64 \text{ psi} \times 1.0 = 3884.64 \text{ psi}$$

e) Cálculo de Profundidad del punto neutro

$$DPN = D(MD) \times [1 - (0.015\rho)]$$

$$DPN = 8675 \text{ ft} \times [1 - 0.015 \times (10.3 \text{ lb/gal})] = 7334.5 \text{ ft} \approx 7335 \text{ ft}$$

2. Buscamos el tipo de tubería que resiste la presión de colapso obtenida.

Tabla 3.2 Características Casing 9 5/8" N-80, 53.5 lb/ft

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

OD (pulg.)	ID (pulg.)	Rc (psi)	Re (psi)	Rt (x1000lb.)
9.625	8.535	6620	7930	1329

La tubería N-80, 53.5 lb/ft. resiste una presión al colapso de 6620 psi. por lo consiguiente, sirve para soportar la presión de colapso calculada.

3. Determinar el peso total del revestimiento intermedio de 9 5/8" si se corre hasta superficie:

$$W_{tr} = DPN \times \text{peso nominal}$$

$$W_{tr} = 7335 \text{ ft} \times 53.5 \text{ lb/ft} = 392422.5 \text{ lb}$$

Ahora comparamos el valor del peso total obtenido con el valor de la resistencia a la tensión de la tubería escogida para determinar si ésta resiste por tensión:

$$\frac{R_t}{FST} = \frac{1329000lb}{2.0} = 664500lb$$

Como el valor de $\frac{R_t}{FST}$ es mayor que el de W_{tr} entonces la tubería resiste por tensión y puede ser corrida sin problema hasta superficie.

4. Determinar la Resistencia al estallido de la tubería N-80, 53.5 lb/ft.

De acuerdo a la tabla 3.2 la resistencia al estallido de la tubería es 7930 psi. y la presión al estallido calculada es 3884.64 psi., por lo tanto la tubería resiste por estallido.

5. Determinar la cantidad de tubos utilizados en esta sección:

$$\#tubos = \frac{8675ft}{40ft} = 216.9 \approx 217$$

3.3 Diseño Revestimiento de Producción (Liner):

Datos:

Diámetro externo = 7"

Densidad del fluido = 10.3 lpg

$P_s = P_h$

1. Calculamos los factores que intervienen en el diseño:

a) Cálculo de Presión de formación

$$P_f = G_f \times D(TVD)$$

$$P_f = 0.48 \frac{psi}{ft} \times 10173 ft = 4883.04 psi$$

b) Cálculo de Presión hidrostática

$$P_h = 0.052 \times \rho \times D(TVD)$$

$$P_h = 0.052 \times 10.3 \frac{lb}{gal} \times 10173 ft = 5448.7 psi$$

c) Cálculo de Presión de Colapso

$$P_c = P_h \times FSC$$

$$P_c = 5448.7 psi \times 1.125 = 6129.78 psi$$

d) Cálculo de Presión de Estallido

$$P_e = P_f \times FSE$$

$$P_e = 4883.04 psi \times 1.0 = 4883.04 psi$$

e) Cálculo de Profundidad del punto neutro

$$DPN = D(MD) \times [1 - (0.015 \rho)]$$

$$DPN = 2400 ft \times [1 - 0.015 \times (10.3 \frac{lb}{gal})] = 2029.2 ft \approx 2030 ft$$

2. Buscamos el tipo de tubería que resiste la presión de colapso obtenida.

Tabla 3.3 Características Casing 7" N-80, 29 lb/ft*Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009*

OD (pulg.)	ID (pulg.)	Rc (psi)	Re (psi)	Rt (x1000lb.)
7	6.184	7020	8160	746

La tubería N-80, 29 lb/ft. Resiste una presión al colapso de 7020 psi. por lo consiguiente, sirve para resistir la presión de colapso calculada.

3. Determinar el peso total del revestimiento de producción (liner) de 7" si se corre hasta superficie:

$$W_{tr} = DPN \times \text{peso nominal}$$

$$W_{tr} = 2030 \text{ ft} \times 29 \text{ lb/ft} = 58870 \text{ lb}$$

Ahora comparamos el valor del peso total obtenido con el valor de la resistencia a la tensión de la tubería escogida para determinar si ésta resiste por tensión:

$$\frac{R_t}{FST} = \frac{746000 \text{ lb}}{2.0} = 373000 \text{ lb}$$

Como el valor de $\frac{R_t}{FST}$ es mayor que el de W_{tr} entonces la tubería resiste por tensión y puede ser corrida sin problema hasta superficie.

4. Determinar la Resistencia al estallido de la tubería N-80, 29 lb/ft.

De acuerdo a la tabla 3.3 la resistencia al estallido de la tubería es 8160 psi. y la presión al estallido calculada es 4883.04 psi., por lo tanto la tubería resiste por estallido.

5. Determinar la cantidad de tubos utilizados en esta sección:

$$\#tubos = \frac{2400\text{ft}}{40\text{ft}} = 60$$

3.4 Programas de Revestimiento

Tabla 3.4 Programa de Revestimiento Actual

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

	Intervalo (ft)	Grado	Peso (lb/ft)	Número de tubos	Longitud (ft)
Superficial	0 – 5990	C-95	72	150	5990
Intermedio	0 – 9315	C-95	47	233	9315
Liner	9014 – 10875	C-95	26	47	1861

Tabla 3.5 Programa de Revestimiento Alternativo

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

	Intervalo (ft)	Grado	Peso (lb/ft)	Número de tubos	Longitud (ft)
Superficial	0 – 5990	C-95	72	150	5990
Intermedio	0 – 8675	N-80	53.5	217	8675
Liner	8475 – 10875	N-80	29	60	2400

3.5 Comparación económica de los diseños de revestimiento alternativo y actual

Una vez realizado los cálculos para cada diseño, se presentan los siguientes resultados:

Tabla 3.6 Comparación Económica de Diseños

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

Casing	Precio (USD/ft)	Longitud actual (ft)	Longitud alterna (ft)	Costo Diseño actual (USD)	Costo Diseño alterno (USD)
13 3/8"	78.32	5 990	5 990	469 136.8	469 136.8
9 5/8"	42.11	9 315	8 675	392 254.7	365 304.3
7"	32.53	1 860	2 400	60 505.8	78 072
TOTAL(USD)				921 897.3	912 513.1

CAPITULO 4

4. CEMENTACIÓN

Para el programa de cementación se tomaron datos usados en el diseño actual y datos de campo.

4.1 Cementación Revestimiento Superficial

Tabla 4.1 Características Cemento Casing 13 3/8"

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

Clase Cemento	PRECIO (USD/Sx)
"A"	9.00

1.- Cantidad de sacos a utilizar:

Volumen hueco 16" (diámetro broca) y casing 13 3/8"

$$V_1 = 5990 \times \frac{(16^2 - 13.375^2)}{1029.4} \times 5.615 \frac{ft^3}{bbl} = 2519.4 ft^3$$

Volumen hueco 16" (bolsillo de 10ft. por debajo de la zapata casing
13 3/8")

$$V_2 = 10 \times \frac{(16^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl} = 13.96 \text{ ft}^3$$

Volumen total de sacos

$$V = V_1 + V_2 = 2533.36 \text{ ft}^3$$

$$\# Sx = \frac{2533.36 \text{ ft}^3}{1.69 \text{ ft}^3/\text{sx} (\text{rend})} = 1499 Sx$$

Aplicando el criterio de exceso por seguridad de 25%:

$$1499 Sx \times 1.25 = 1874 Sx$$

**Nota: Por criterio personal, utilizar 80% de los sacos totales en
lechada de relleno y 20% en lechada de cola.**

$$1874 Sx \times 80\% = 1499 Sx$$

$$1874 Sx \times 20\% = 375 Sx$$

2.- Volúmenes a utilizar:

a.- Lechada de relleno, lead ó guía. 13.5 lb/gal.

$$V_r = 1499 Sx \times 1.69 \text{ ft}^3/\text{sx} = \frac{2533.31 \text{ ft}^3}{5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl}} = 451.2 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{agua}} = 1499 Sx \times 0.21 \text{ bbl}/\text{sx} = 314.8 \text{ bbl}$$

b.- Lechada de cola, tail ó principal. 15.6 lb/gal.

$$V_c = 375Sx \times 1.18 \frac{ft^3}{Sx} = \frac{442.5 ft^3}{5.615 \frac{ft^3}{bbl}} = 78.8 bbl$$

$$V_{agua} = 375Sx \times 0.125 \frac{bbl}{Sx} = 46.9 bbl$$

3.- Volumen de desplazamiento:

Capacidad Casing 13 3/8", C-95, 72 lb./ft

$$C = \frac{ID^2}{1029.4} = \frac{12.347^2}{1029.4} = 0.1481 \frac{bbl}{ft}$$

Profundidad collar flotador, donde asentará tapón superior = 5950ft

$$V_D = 0.1481 \times 5950 = 881.2 bbl \text{ lodo}$$

4.1.1 Secuencia Operativa

- 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 bbl agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) x línea inferior.
- d) Bombear 15 bbl agua por línea inferior a +/- 5 BPM.
- e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 5 BPM por línea inferior (1499 Sx Cto. a 13.5 lb/gal ---- 451.2 bbl)
- f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inferior (375 Sx Cto. a 15.6 lb/gal ----- 79 bbl)

- g) Soltar tapón de desplazamiento (quitar seguro). Cerrar línea inferior y abrir línea superior.
- h) Desplazar con 882 bbl lodo (x línea sup.) a +/- 15 BPM
- i) Asentar tapón de desplazamiento con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda
- j) Mientras se desplaza, reciprocarse TR lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contraflujo)
- k) Finaliza operaciones. Observar bbl retornados por zaranda y bbl reversados en tks de camión (back flow)
- l) Esperar fraguado por 12 horas

4.2 Cementación Revestimiento Intermedio

Tabla 4.2 Características Cemento Casing 9 5/8"

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

Clase Cemento	PRECIO (USD/Sx)
"A"	9.00

1.- Cantidad de sacos a utilizar:

Volumen Casing 13 3/8" y Casing 9 5/8"

$$V_1 = 5990 \times \frac{(12.347^2 - 9.625^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl} = 1954.1 \text{ ft}$$

Volumen hueco 12 1/4" y Casing 9 5/8"

$$V_2 = (8675 - 5990) \times \frac{(12.25^2 - 9.625^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbl} = 841 \text{ ft}$$

Volumen hueco 12 1/4" (bolsillo de 10ft. por debajo de la zapata casing 9 5/8")

$$V_3 = 10 \times \frac{(12.25^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3 / \text{bbl} = 8.2 \text{ ft}^3$$

Volumen total de sacos

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 2803.3 \text{ ft}^3$$

$$\# Sx = \frac{2803.3 \text{ ft}^3}{1.69 \text{ ft}^3 / \text{sx} (\text{rend})} = 1659 Sx$$

Aplicando el criterio de exceso por seguridad de 25%:

$$1659 Sx \times 1.25 = 2074 Sx$$

Nota: Por criterio personal, utilizar 80% de los sacos totales en lechada de relleno y 20% en lechada de cola

$$2074 Sx \times 80\% = 1659 Sx$$

$$2074 Sx \times 20\% = 415 Sx$$

2.- Volúmenes a utilizar:

a.- Lechada de relleno, lead ó guía. 13.5 lb/gal.

$$V_r = 1659 Sx \times 1.69 \text{ ft}^3 / \text{Sx} = \frac{2083.71 \text{ ft}^3}{5.615 \text{ ft}^3 / \text{bbl}} = 499.3 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{agua}} = 1659 Sx \times 0.21 \text{ bbl} / \text{Sx} = 348.4 \text{ bbl}$$

b.- Lechada de cola, tail ó principal. 15.6 lb/gal.

$$V_c = 415Sx \times 1.19 \text{ ft}^3/Sx = 493.85 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/bbl = 88bbl$$

$$V_{agua} = 415Sx \times 0.125 \text{ bbl}/Sx = 51.9bbl$$

3.- Volumen de desplazamiento:

Capacidad Casing 9 5/8", N-80, 53.5 lb/ft

$$C = \frac{ID^2}{1029.4} = \frac{8.535^2}{1029.4} = 0.071 \text{ bbl}/ft$$

Profundidad collar flotador, donde asentará tapón superior = 8635ft

$$V_D = 0.071 \times 8635 = 613.085bbl$$

4.2.1 Secuencia Operativa

- 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 bbl agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) x línea inferior.
- d) Bombear 15 bbl agua por línea inferior a +/- 5 BPM.
- e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 5 BPM por línea inferior (1659 Sx Cto. a 13.5 lb/gal ---- 499.3 bbl)

- f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inferior (415 Sx Cto. a 15.6 lb/gal ----- 88 bbl)
- g) Soltar tapón de desplazamiento (quitar seguro). Cerrar línea inferior y abrir línea superior.
- h) Desplazar con 613 bbl lodo (x línea sup.) a +/- 15 BPM
- i) Asentar tapón de desplazamiento con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda
- j) Mientras se desplaza, reciprocarse TR lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contraflujo)
- k) Finaliza operaciones. Observar bbl retornados por zaranda y bbl reversados en tks de camión (back flow)
- l) Esperar fraguado por 12 horas

4.3 Cementación Revestimiento de Producción

Tabla 4.3 Características Cemento Casing 7"

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

Clase Cemento	PRECIO (USD/Sx)
"G"	16.60

1.- Cantidad de sacos a utilizar:

Volumen Casing 9 5/8" y Casing 7"

$$V_1 = 200 \times \frac{(8.535^2 - 7^2)}{1029.4} \times 5.615 \frac{ft^3}{bbl} = 26.01 ft$$

Volumen Hueco 8 1/2" y Casing 7"

$$V_2 = (10875 - 8675) \times \frac{(8.5^2 - 7^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbt} = 279 \text{ ft}$$

Volumen Casing 9 5/8" y Drill pipe 5"

$$V_3 = 200 \times \frac{(8.535^2 - 5^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbt} = 52.2 \text{ ft}$$

Volumen hueco 8 1/2" (bolsillo de 10ft. por debajo de la zapata casing 7")

$$V_4 = 10 \times \frac{(8.5^2)}{1029.4} \times 5.615 \text{ ft}^3/\text{bbt} = 3.94 \text{ ft}$$

Volumen total de sacos

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 361.15 \text{ ft}^3$$

$$\# Sx = \frac{361.15 \text{ ft}^3}{1.13 \text{ ft}^3/\text{sx}(\text{rend})} = 320 Sx$$

Aplicando el criterio de exceso por seguridad de 10%, debido a que es una zona más consolidada.

$$320 Sx \times 1.10 = 352 Sx$$

Nota: Por criterio personal, utilizar 80% de los sacos totales en lechada de relleno y 20% en lechada de cola.

$$352 Sx \times 80\% = 282 Sx$$

$$352 Sx \times 20\% = 70 Sx$$

2.- Volúmenes a utilizar:

a.- Lechada de relleno, lead ó guía. 16 lb/gal.

$$V_r = 282Sx \times 1.13 \text{ ft}^3/Sx = 318.66 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/bbl = 56.75 \text{ bbl}$$

$$V_{agua} = 282Sx \times 0.11 \text{ bbl}/Sx = 31.02 \text{ bbl}$$

b.- Lechada de cola, tail ó principal. 16 lb/gal.

$$V_c = 70Sx \times 1.19 \text{ ft}^3/Sx = 83.3 \text{ ft}^3 / 5.615 \text{ ft}^3/bbl = 14.8 \text{ bbl}$$

$$V_{agua} = 75Sx \times 0.08 \text{ bbl}/Sx = 6 \text{ bbl}$$

3.- Volumen de desplazamiento:

Capacidad Casing 7", N-80, 29 lb/ft y

$$C = \frac{ID^2}{1029.4} = \frac{6.184^2}{1029.4} = 0.037 \text{ bbl}/ft$$

Capacidad Drill Pipe 5"

$$C = \frac{ID^2}{1029.4} = \frac{4.276^2}{1029.4} = 0.0178 \text{ bbl}/ft$$

Profundidad collar flotador, donde asentará tapón superior =
2360ft

$$V_D = 0.037 \times 2360 = 87.32 \text{ bbl} + (0.0178 * 8475) = 238.175 \text{ bbl lodo}$$

Nota: Se añadió la capacidad del Drill Pipe 5" a partir del tope del liner en este último cálculo.

4.3.1 Secuencia Operativa

- 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 bbl agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) x línea inferior.
- d) Bombear 15 bbl agua por línea inferior a +/- 5 BPM.
- e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 5 BPM por línea inferior (282 Sx Cto. a 16 lb/gal ---- 56.75 bbl)
- f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inferior (70 Sx Cto. a 16 lb/gal ----- 14.8 bbl)
- g) Soltar tapón de desplazamiento (quitar seguro). Cerrar línea inferior y abrir línea superior.
- h) Desplazar con 239 bbl lodo (x línea sup.) a +/- 15 BPM
- i) Asentar tapón de desplazamiento con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda
- j) Mientras se desplaza, reciprocarse TR lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contraflujo)
- k) Finaliza operaciones. Observar bbl retornados por zaranda y bbl reversados en tks de camión (back flow)
- l) Esperar fraguado por 12 horas

4.4 Comparación económica de los programas de cementación actual y alterno

Una vez realizado los cálculos para cada programa, se presentan los siguientes resultados:

Tabla 4.4 Comparación Económica Programas de Cementación

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma, Sep. 2009

Casing	Precio (\$/Sx)	Cantidad sacos actuales	Cantidad sacos alternativa	Costo Programa actual (\$)	Costo Programa alterno (\$)
13 3/8"	9.00	1 860	1 874	16 740	16 866
9 5/8"	9.00	920	2 074	8 280	18 666
7"	16.6	360	352	5 976	5 843
TOTAL (USD)				30 996	41 375

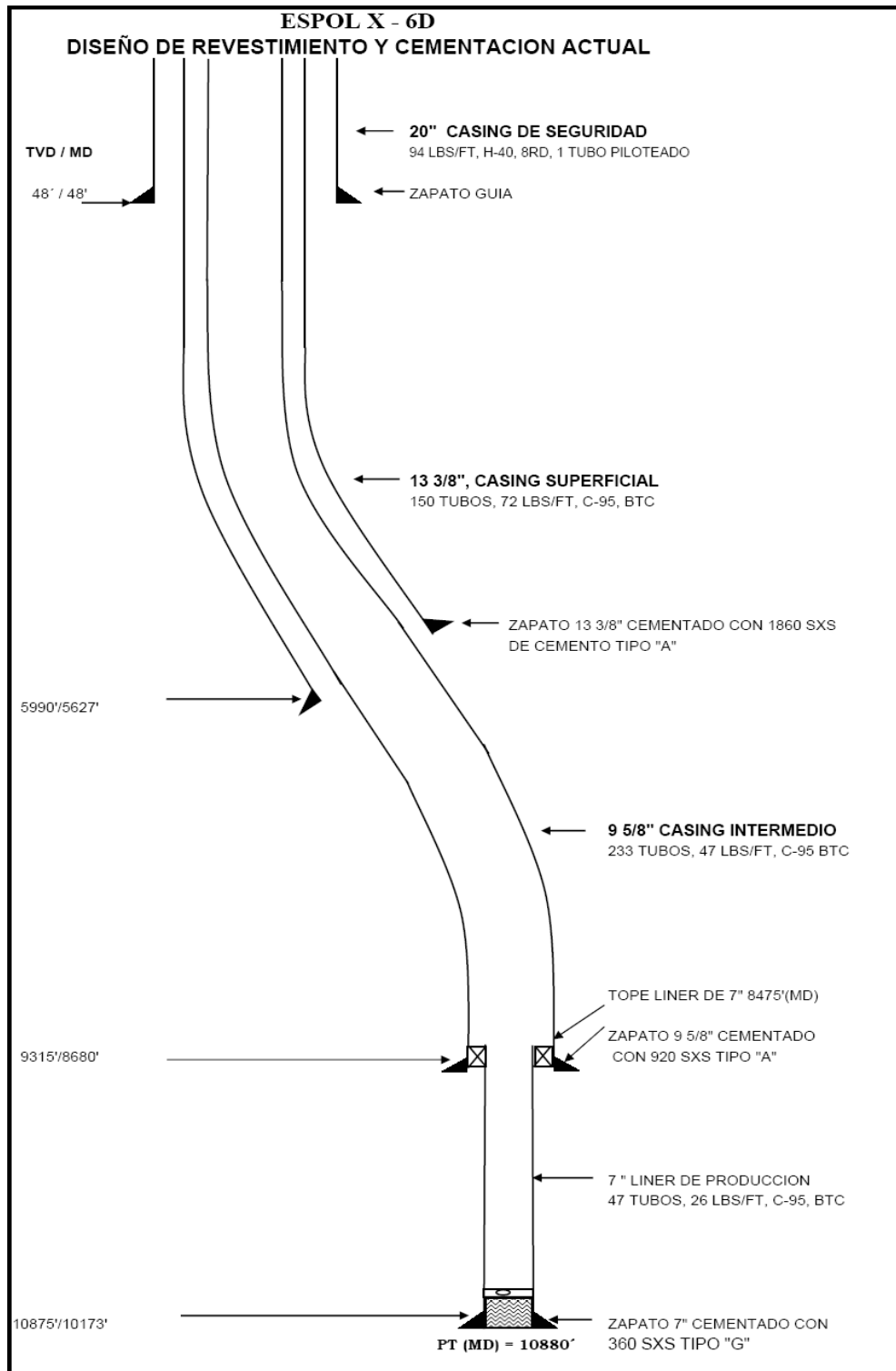


Fig. 4.1 Diseño de Revestimiento y Cementación Actual
Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma

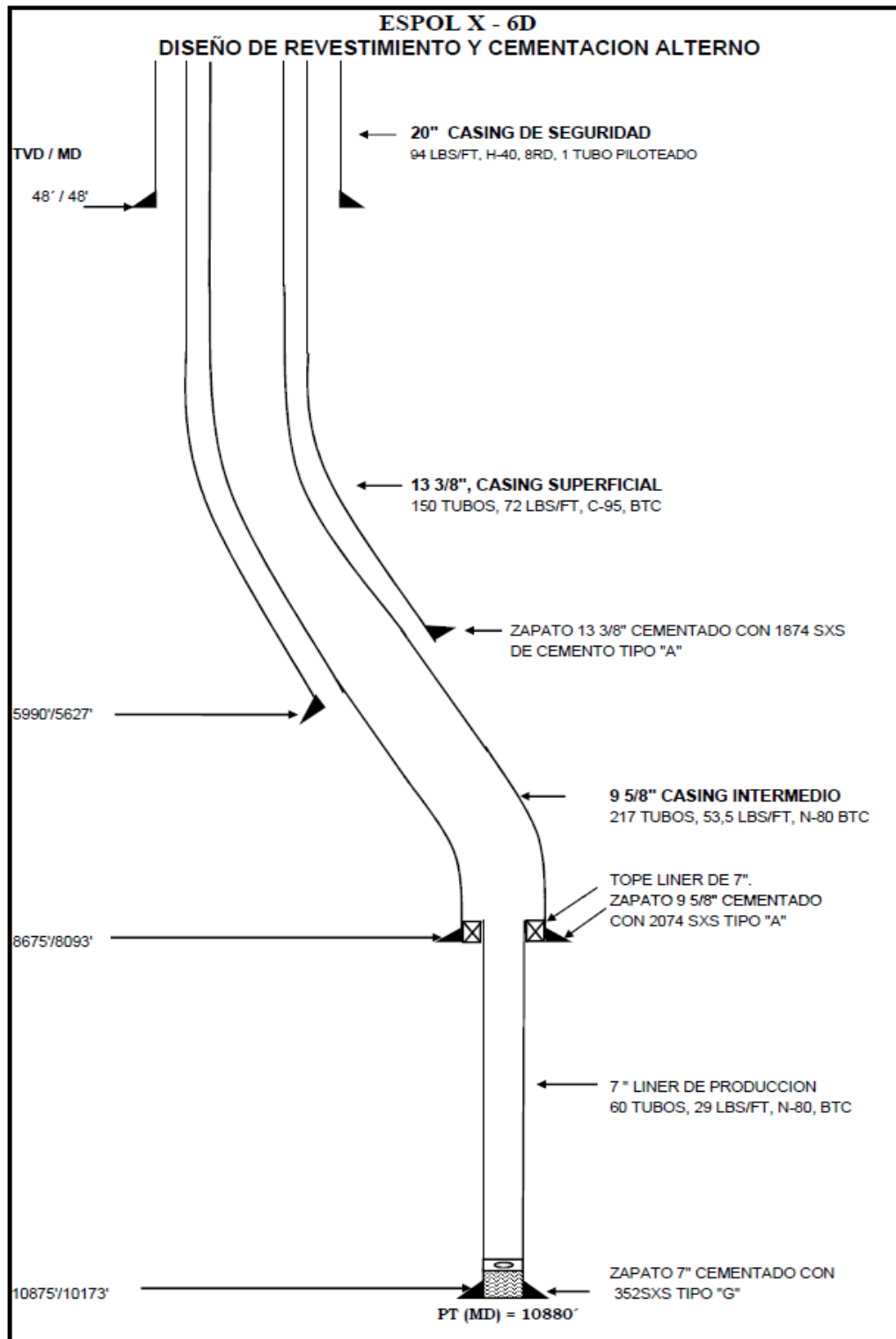


Fig. 4.2 Diseño de Revestimiento y Cementación Alterno

Elaborado por: Andrés Morán/ Lissette Lituma

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Cierta longitud que ocupaba la sección de revestimiento intermedio pudo ser reemplazada con revestimiento de producción (liner) lo que ayudó en la reducción de costos en el diseño de revestimiento.
- Se logró una optimización económica con el diseño alternativo de revestimiento, ya que redujo el costo en 9 382.2 USD respecto al diseño actual.
- A diferencia del diseño actual, se cementó el revestimiento intermedio hasta superficie y no hasta 200 ft. por encima del zapato del revestimiento superficial, esto para evitar problemas de corrosión de la tubería de 9 5/8”.
- Se obtuvo un incremento en el costo del diseño de cementación alternativo de 10 379 USD respecto al actual, esto correspondió en gran parte a la razón antes descrita.

- Para el caso de la sección de revestimiento superficial se decidió usar la tubería C-95, 72 lb/ft. aplicada en el diseño actual pues es la única cuya presión de colapso se acerca al valor calculado y que cumple con las normas API.
- Para el pozo direccional de tipo “J” modificado ESPOL X6-D se pudo hacer uso de una longitud de liner mayor a la recomendada pues no existe tanto riesgo de pega como en un pozo horizontal.
- Por seguridad operacional, para el caso del liner se cementó hasta 200 ft por encima del colgador.
- Los volúmenes de cementación fueron calculados aumentando 10 ft a la profundidad de asentamiento del zapato de cada revestimiento, pues en la perforación de cada sección siempre se llega a una profundidad mayor a la de asentamiento para que durante la cementación las lechadas pueden circular.
- La lechada de cola siempre debe ser de mayor densidad que la de relleno, pues es la que va a recubrir la zona donde se asienta el zapato de cada revestimiento.

Recomendaciones

- Para mayor seguridad y resultados mas aproximados, se debe utilizar los softwares que poseen las compañías especializadas en diseñar Tubería de Revestimiento y realizar Programas de Cementación.
- En el caso de no tener limitaciones en el uso de tuberías se debe realizar un diseño de Revestimiento en el que varíe el Grado de Acero o el peso nominal en cada sección, lo que ayudaría a reducir mucho más los costos.

BIBLIOGRAFIA

1. Dowell, Well Cementing (Paris: Schlumberger Oil Field, 1988) Capítulo 16
2. D. Barragán, "Planificación, Evaluación Técnica y Análisis de Costos en Operaciones de Cementación Primaria en los Pozos pertenecientes a Petroproducción en el Distrito Amazónico" (Tesis, Facultad de Ingeniería de Petróleo, ESPOL, 1997).
3. S. Gandara, "Diseño de Tubería de Revestimiento" (Tesis, Facultad de Ingeniería de Petróleo, ESPOL, 1990).
4. C. Gatlin, Petroleum Engineering: Drilling and Well Completions, Prentice – Hall Inc., USA, 1965.