

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 la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentado por:

Vilma Leonela Salas Hurtado

Jackeline Alexandra Rosado Sánchez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL por los conocimientos inculcados durante toda mi carrera.

A todos los profesores y quienes de una u otra manera contribuyeron a mi desarrollo estudiantil.

DEDICATORIA

A Dios por concederme la dicha de tan grande felicidad.

A mis queridos padres Jenni Sánchez y Segundo Rosado, sin cuyo esfuerzo y dedicación no hubiera podido vivir esta etapa de mi vida.

A mis hermanos y todos mis familiares.

Y a una persona muy especial por su apoyo incondicional.

Jackeline Rosado Sánchez

DEDICATORIA

En primer lugar doy gracias a Dios por permitirme culminar con éxito ésta etapa de mi vida.

A mis padres Vidal Salas y Vilma Hurtado por su apoyo incondicional.

A mi tía Teresa Salas por su invaluable apoyo.

A mis hermanos, sobrinos y todos mis familiares, que de una u otra manera son parte de éste logro.

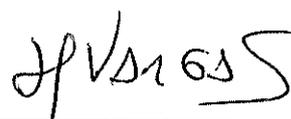
Leonela Salas Hurtado

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



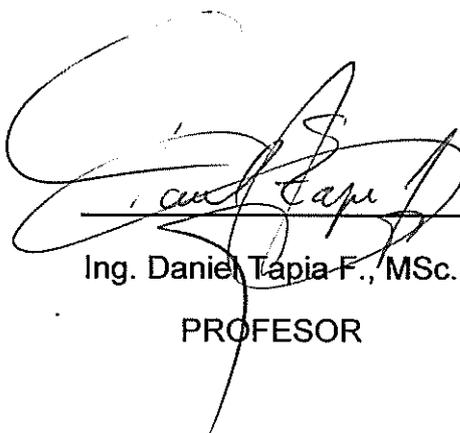
Ing. Gastón Proaño, MSc.

SUB DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Ing. Xavier Vargas G., MSc.

PROFESOR



Ing. Daniel Tapia F., MSc.

PROFESOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Graduación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Leonela Salas H.



Jackeline Rosado S.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la metodología utilizada en los diseños de revestimiento y el cálculo de volúmenes en el programa de cementación del pozo ESPOL X-5D además la comparación entre el diseño que se utilizó en la construcción del pozo y el propuesto en este trabajo.

En el capítulo 1 se detalla la historia del pozo ESPOL X-5D, indicando su ubicación geográfica, características petrofísicas, la litología presente en el pozo y las formaciones objetivos alcanzados.

En el capítulo 2 se presenta el programa de perforación, el resumen de fluidos de perforación, y los tipos de brocas utilizadas en el pozo ESPOL X-5D.

En el capítulo 3 se describe el proceso para la selección adecuada de la tubería de revestimiento en cada sección del pozo, tomando en cuenta los respectivos factores de seguridad y los esfuerzos de colapso, tensión y estallido presentes en la sarta de revestimiento, además del cálculo de costos del diseño presentado en este informe.

En el último capítulo se muestra el programa de cementación primaria de una sola etapa, utilizando cemento A y G, y el cálculo de volúmenes de cemento además de presentar los costos de la cementación para el pozo ESPOL X-5D.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	vi
INDICE GENERAL.....	viii
ABREVIATURAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1. HISTORIA DEL POZO.....	3
1.1. Ubicación Geográfica	4
1.2. Características Geológicas.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. PROGRAMA DE PERFORACIÓN.....	6

CAPITULO 3.....	10
3. DISEÑO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO	10
3.1. Programa de Diseño de Tubería de Revestimiento.....	13
3.1.1. Diseño de Revestimiento Superficial de 13 3/8”.....	14
3.1.2. Diseño de Revestimiento Intermedio de 9 5/8”	16
3.1.3. Diseño de Liner de Producción de 7”	18
3.2. Comparación de Costos.....	20
CAPÍTULO 4.....	21
4. PROGRAMA DE CEMENTACIÓN	21
4.1. Diseño del programa de Cementación	21
4.1.1. Cementación de Revestimiento Superficial de 13 3/8”.....	22
4.1.2. Cementación de Revestimiento Intermedio de 9 5/8”	26
4.1.3. Cementación del Liner de Producción de 7”	32
4.2. Secuencia Operacional	40
4.3. Costo de Cementación	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43

ABREVIATURAS

bls	barriles
BTC	Rosca Buttress
D_{Hueco}	Diámetro del hueco
D_{MD}	Profundidad medida
D_{TVD}	Profundidad vertical
DPN	Profundidad del punto neutro
FF	Factor de flotación
FSC	Factor de seguridad al colapso
FSE	Factor de seguridad al estallido
FST	Factor de seguridad a la tensión
ID	Diámetro interno
lpg	Libras/galón
OD	Diámetro externo
P_c	Presión de colapso
P_e	Presión de estallido
P_s	Presión de superficie
psi	Libras/(pulgadas) ²
Ph_{fp}	Presión hidrostática del fluido de perforación

R_c	Resistencia al colapso
R_e	Resistencia al estallido
R_T	Resistencia a la tensión
$R_{L.Cabeza}$	Rendimiento de la lechada de cabeza
$R_{L.Cola}$	Rendimiento de la lechada de cola
W_{TR}	Peso total de la sarta
ρ_{fp}	Densidad del fluido de perforación

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1. UBICACIÓN POZO ESPOL X-5D	4
FIGURA 2.1. ESQUEMA DEL POZO ESPOL X-5D (ACTUAL).....	8
FIGURA 3.1. ESQUEMA DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DEL POZO ESPOL X-5D (PROPUESTO).....	11
FIGURA 3.2. DISEÑO PROPUESTO POR L. SALAS Y J. ROSADO	12
FIGURA 4.1. ESQUEMA DETALLADO DE CEMENTACIÓN DEL REVESTIMIENTO SUPERFICIAL	23
FIGURA 4.2. ESQUEMA DE CEMENTACIÓN TUBERÍA INTERMEDIA.....	28
FIGURA 4.3. ESQUEMA DE CEMENTACIÓN DEL LINER.....	33
FIGURA 4.4. ESQUEMA DE VOLUMENES DE CEMENTACIÓN LINER	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 DATOS DEL POZO	3
TABLA 2 PROGNOSIS GEOLOGICA DEL POZO ESPOL X-5D.	5
TABLA 3 RESUMEN DE FLUIDOS DE PERFORACION ESPOL X-5D	7
TABLA 4 PROGRAMA DE BROCAS DEL POZO ESPOL X-5D	9
TABLA 5 PROFUNDIDAD ESTIMADA DE ASENTAMIENTO DE REVESTIDORES POZO ESPOL X-5D	13
TABLA 6 PROGRAMA DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO	19
TABLA 7 COSTO TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (DISEÑO PROPUESTO).....	20
TABLA 8 COSTO TUBERÍA REVESTIMIENTO (DISEÑO ACTUAL).....	20
TABLA 9 DATOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO SUPERFICIAL.....	22
TABLA 10 DATOS TUBERÍA SUPERFICIAL (13 3/8").....	23
TABLA 11 RESULTADOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO SUPERFICIAL.....	26

TABLA 12	DATOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO INTERMEDIO.....	26
TABLA 13	DATOS TUBERÍA INTERMEDIA 9 5/8".....	27
TABLA 14	RESULTADOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO INTERMEDIO.....	31
TABLA 15	DATOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO LINER.....	32
TABLA 16	DATOS DEL LINER.....	32
TABLA 17	DATOS DEL DRILL PIPE.....	32
TABLA 18	RESULTADOS CEMENTACIÓN DE LINER DE PRODUCCIÓN.....	39
TABLA 19	COSTO DE CEMENTACIÓN (DISEÑO PROPUESTO).....	41
TABLA 20	COSTO DE CEMENTACIÓN (DISEÑO ACTUAL).....	42

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata del “Diseño de Revestidores y Cementación en el pozo ESPOL X-5D perteneciente al área Auca del Oriente Ecuatoriano” enfocado a optimizar el diseño actual, considerando condiciones de pozo, normas de seguridad y que además, sea económicamente justificable.

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

El método de diseño de Revestidores utilizado en el presente trabajo, es el denominado “Punto Neutro” que considera el factor de flotación, el cual consiste, en que el peso de una tubería sumergida en un fluido, es menor que si estuviese suspendida en el aire.

Por otro lado, la cementación de pozos petroleros es un proceso mediante el cual se bombea una lechada de cemento al fondo del pozo a través de la

tubería de revestimiento, con el propósito de obtener una buena adherencia entre las fases formación-cemento-tubería y asegurar el sello efectivo que aísla las capas geológicas y soporte la tubería, además, la cementación del pozo en conjunto con el revestidor deben soportar las paredes del pozo y prevenir el colapso de formaciones.

CAPÍTULO 1

1. HISTORIA DEL POZO

TABLA 1
DATOS DEL POZO

Nombre del pozo	ESPOL X-5D
Tipo	Direccional/Desarrollo
Cuenca	Oriental del Ecuador
Profundidad Vertical de Objetivo	9,985' (TVD)
Profundidad total	10,457' (MD) – 10,120' (TVD)

*ELABORADO POR: SALAS – ROSADO, SEPT./2009.

Orientado exclusivamente a alcanzar las siguientes arenas:

- U Superior: 9,472' TVD
- T Superior: 9,756' TVD
- Hollín Superior: 9,985' TVD

1.1. Ubicación Geográfica

El pozo ESPOL X-5D está ubicado en la Zona UTM:

- Norte 9,946,578.80 N
- Este 303,000.40 E
- Latitud $00^{\circ} 28' 59.09''$ S
- Longitud $076^{\circ} 46' 12.34''$ W



FIGURA 1.1. UBICACIÓN POZO ESPOL X-5D

(ELABORADO POR SALAS-ROSADO, SEPT./2009)

1.2. Características Geológicas

La tabla 2 muestra los topes de formaciones presentes en el Pozo ESPOL X-5D.

TABLA 2
PROGNOSIS GEOLÓGICA DEL POZO ESPOL X-5D.

Marcadores/ Formación	Profundidad MD (ft)	Profundidad TVD (ft)
Indiferenciado	0.00	0
Orteguaza	5,797.86	5,461.000
Tiyuyacu	6,460.91	6,124.00
Tope Cong Tiyuyacu Inferior	7,922.91	7,586.00
Tena	8,432.91	8,096.00
Tope Zona Arenisca Basal Tena	9,061.91	8,725.00
Napo	9,095.91	8,759.00
Tope Caliza- M1	9,363.91	9,027.00
Tope Caliza M-2	9,584.91	9,248.00
Tope Caliza A	9,739.91	9,403.00
Tope Zona Arenisca U superior	9,808.91	9,472.00
Tope Zona Arenisca U Inferior	9,906.91	9,570.00
Base Zona Arenisca U Inferior	10,010.91	9,674.00
Tope Caliza B	10,052.91	9,716.00
Tope Zona Arenisca T Superior	10,092.91	9,756.00
Tope Zona Arenisca T Inferior	10,161.91	9,825.00
Base Zona Arenisca T Inferior	10,242.91	9,906.00
Tope Hollín Superior	10,321.91	9,985.00
Tope Hollín Inferior	10,362.91	10,026.00

*ELABORADO POR L. SALAS Y J. ROSADO, SEPT./2009.

CAPÍTULO 2

2. PROGRAMA DE PERFORACIÓN

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

El pozo se perforará en tres secciones:

- Sección de 16”, donde se realizará el Kick Off a 500’MD y se construirá la curva a razón de $2.0^{\circ}/100'$ hasta tener 28.3° de inclinación en una dirección de 237.8° . Luego el objetivo es mantener una sección tangencial de 1462’MD y después tumbar inclinación con una severidad de $1.08^{\circ}/100'$ hasta lograr verticalidad.

El revestimiento de 13 3/8” se sentará 200’MD dentro de la formación Orteguaza a 5998’MD.

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

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

El peso del fluido de perforación utilizado en cada sección del pozo ESPOL X-5D se especifica en la tabla 3, mientras que el esquema del pozo y las brocas de perforación utilizadas en el mismo se especifican en la figura 2.1 y en la tabla 4 respectivamente.

TABLA 3
RESUMEN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN
ESPOL X-5D

Profundidad (pies)	Diámetro del Hueco	Diámetro del Revestidor	Peso del lodo (lpg)
0-5,998'	16"	13 3/8"	10.3
5,998'-8,996'	12 1/4"	9 5/8"	10.3
8,996'-10,457'	8 1/2"	7"	10.3

* ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

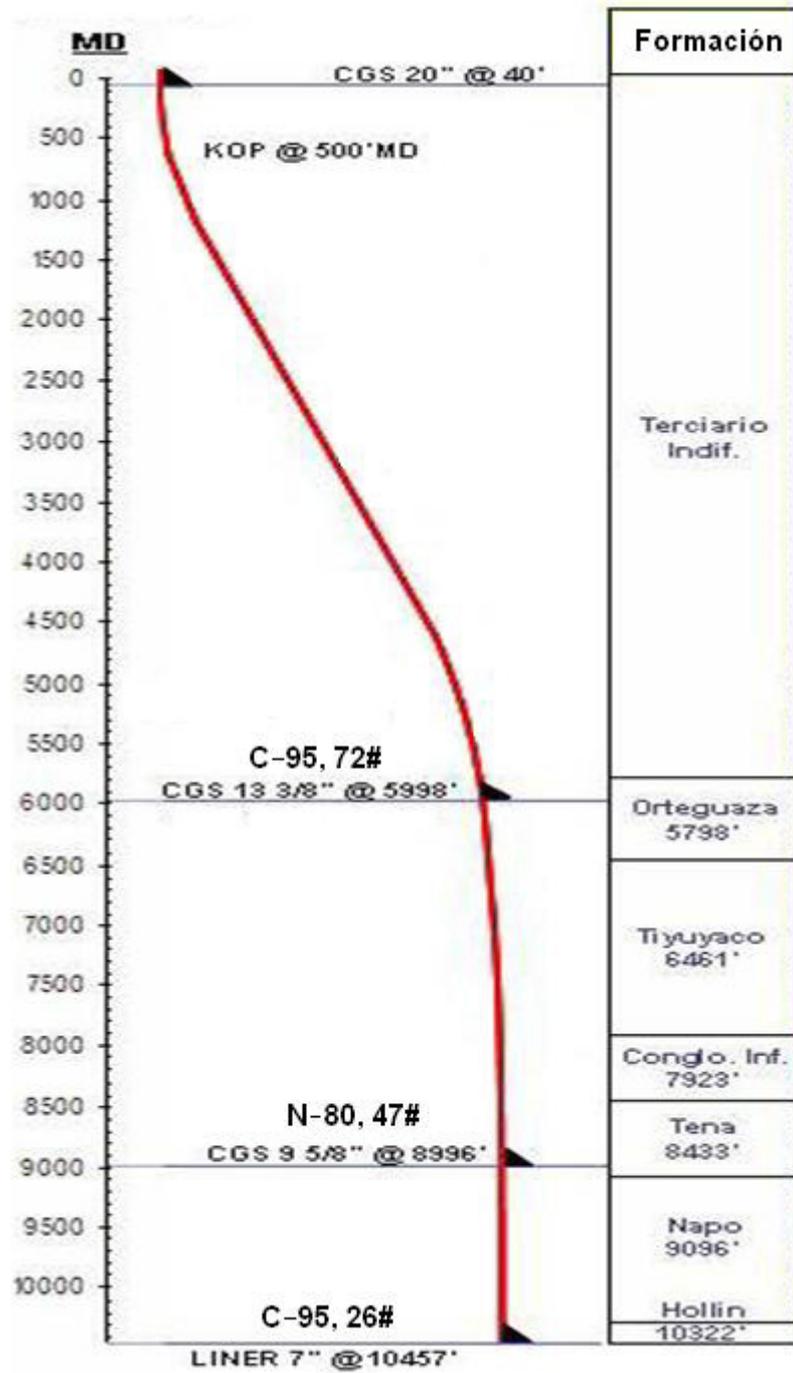


FIGURA 2.1. ESQUEMA DEL POZO ESPOL X-5D (ACTUAL)

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009)

TABLA 4
PROGRAMA DE BROCAS DEL POZO ESPOL X-5D

Intervalo	Formación	Diam. Hueco	Litología	Broca	Tipo Broca
0' - 5998'	Terciario Indiferenciado	16"			Tricónica
					PDC
5998' - 8996'	Orteguaza 5498'	12 1/4"			PDC
	Tiyuyaco 6461'				Tricónica
	Conglom. Inf 7923'				
8996' - 10457'	Tena 8433'	8 1/2"			PDC
	Napo 9096'				
	Hollin 10322'				

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

CAPITULO 3

3. DISEÑO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

Consideraciones:

- Se utilizará el método de ensayo y error con factor de flotación.
- Tipo de unión: Rosca Buttress (BTC),
- Factores de seguridad:

Colapso: $C = 1.125$

Tensión: $T = 2.0$

Estallido: $E = 1.0$

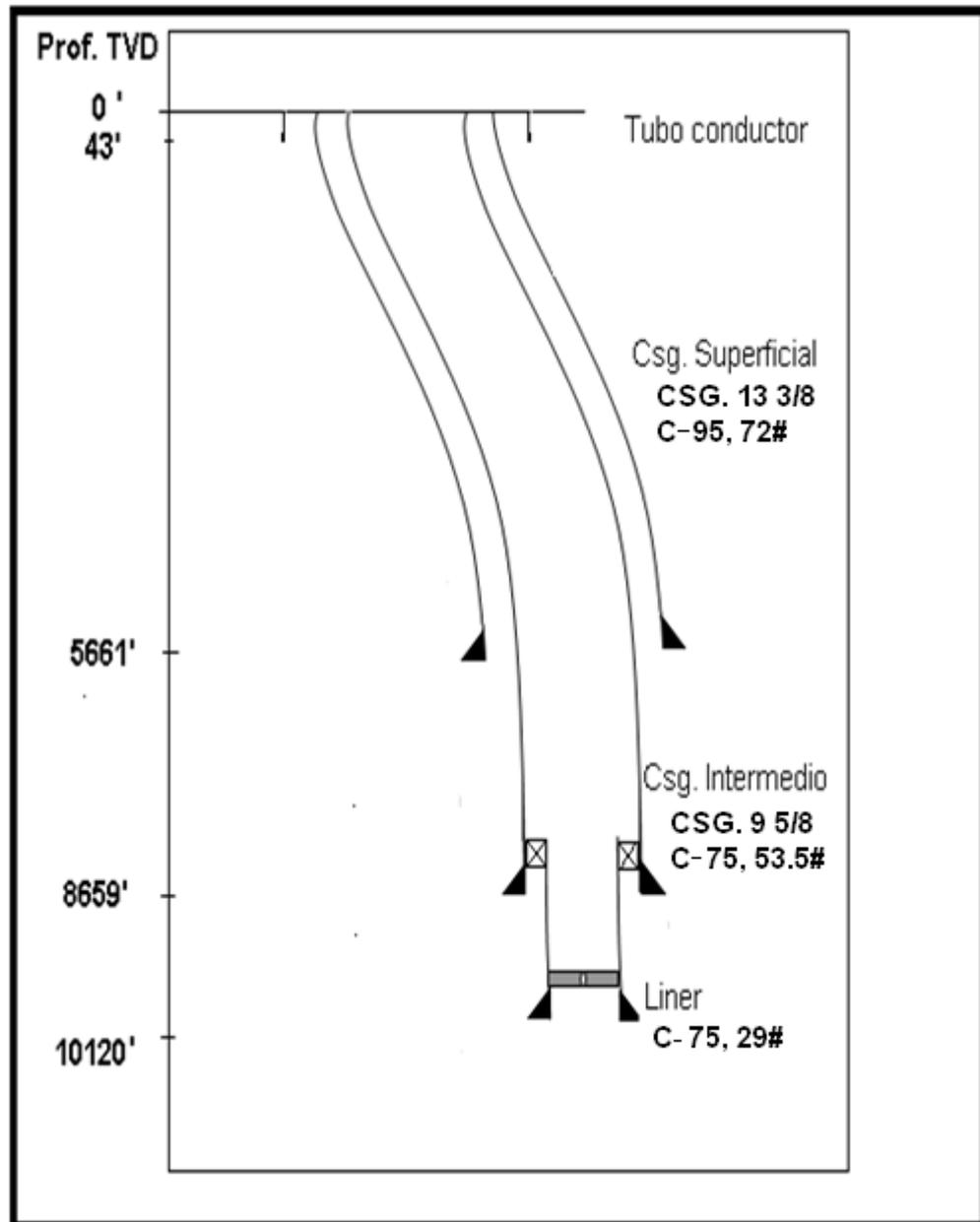


FIGURA 3.1. ESQUEMA DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO POZO
ESPOL X-5D (PROPUESTO)

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.)

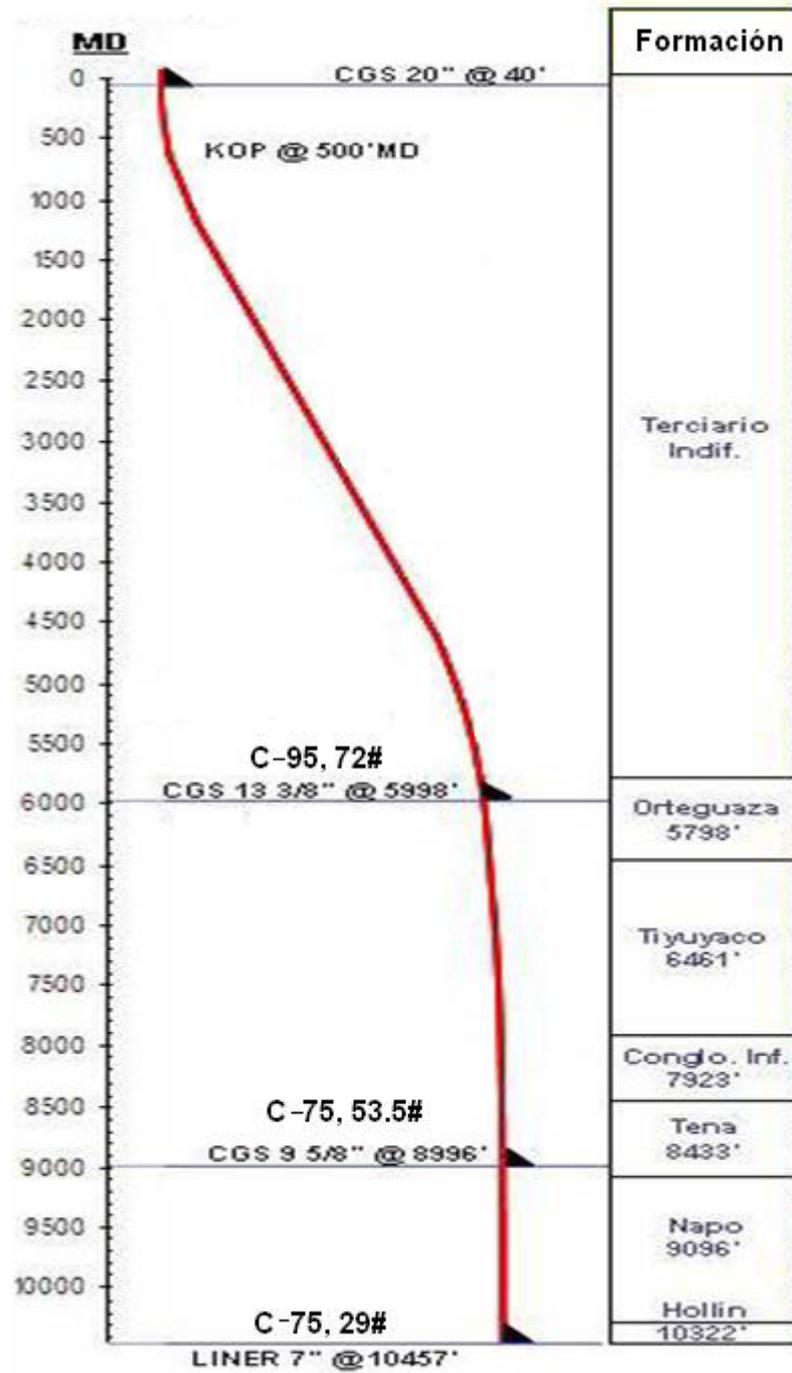


FIGURA 3.2. DISEÑO PROPUESTO POR L. SALAS Y J. ROSADO

TABLA 5
PROFUNDIDAD ESTIMADA DE ASENTAMIENTO DE REVESTIDORES
POZO ESPOL X-5D

TIPO REVESTIDOR	DIÁMETRO		PROFUNDIDAD	
	Broca (Tamaño Hueco) (pulg)	Diám. Ext. Revest. (pulg)	MD (pies)	TVD (pies)
Tubo Conductor	26	20	43	43
Superficial	16	13 3/8	5,998	5,661
Intermedio	12 ¼	9 5/8	8,996	8,659
Liner	8 ½	7	10,457	10,120

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

3.1. Programa de Diseño de Tubería de Revestimiento

1) Presión Hidrostática por el Fluido de Perforación ($P_{h_{fp}}$)

$$P_{h_{fp}} \text{ en psi} = 0.052 \times \rho_{fp} \times D_{TVD} = P_s$$

2) Presión de Colapso (P_c)

$$P_c \text{ en psi} = P_{h_{fp}} \times FSC$$

3) Presión de Estallido (P_e)

$$P_e \text{ en psi} = P_s \times FSE$$

4) Factor de Flotación (FF)

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

5) Profundidad del Punto Neutro (DPN)

$$DPN \text{ en pies} = D_{(MD)T} \times FF$$

6) Peso Sarta de Revestimiento(lbs)

$$W_{TR} = \text{Longitud}(\text{pies}) \times \text{Peso tubería} \left(\frac{\text{lbs}}{\text{pie}} \right)$$

3.1.1. Diseño de Revestimiento Superficial de 13 3/8"**Desarrollo**

$$1) Ph_{fp} = [(0.052) \times (10.3) \times (5661)] = 3032 \text{ psi} = P_s$$

$$2) P_c = [(3032) \text{ psi} \times (1.125)] = 3411 \text{ psi}$$

$$3) P_e = [(3032) \text{ psi} \times (1.0)] = 3032 \text{ psi}$$

$$4) FF = [1 - (0.015 \times 10.3)] = 0.8455$$

$$5) DPN = [(5998) \text{ pies} \times 0.8455] = 5071 \text{ pies}$$

■ Análisis de la Tubería de Revestimiento Superficial por Colapso

Con la presión de colapso calculada ($P_c = 3411$ psi) elijo de las tablas API una tubería del diámetro requerido (13 3/8") cuya resistencia al colapso sea mayor o igual a P_c :

Tubería 13 3/8", C – 95, $72 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$,

(OD = 13.375", ID = 12.347")

$R_c = 2820$ psi, $R_e = 6390$ psi, $R_T = 1893000$ lbs

■ Análisis de la Tubería de Revestimiento Superficial por Tensión

Por el efecto de boyantez, por debajo del punto neutro no consideramos el peso de la tubería, por lo tanto, la longitud considerada es igual a 5071'.

$$W_{TR} = 5071 \text{ pies} \times 72 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}} = 365112 \text{ lbs}$$

$$R_T = \frac{1893000 \text{ lbs}}{2} = 946500 \text{ lbs}$$

$R_T > W_{TR} \therefore$ **Resiste por tensión hasta superficie**

■ **Análisis de la Tubería de Revestimiento Superficial por Estallido**

$$P_e = 3032 \text{ psi}$$

$$R_e = 6390 \text{ psi}$$

$$R_e > P_e \therefore \text{Resiste por estallido hasta superficie}$$

3.1.2. Diseño de Revestimiento Intermedio de 9 5/8"

Desarrollo

$$1) Ph_{fp} = [(0.052) \times (10.3) \times (8659)] = 4637.76 \text{ psi} = P_S$$

$$2) P_c = [(4637.76) \text{ psi} \times (1.125)] = 5217.48 \text{ psi}$$

$$3) P_e = [(4637.76) \text{ psi} \times (1.0)] = 4637.76 \text{ psi}$$

$$4) FF = [1 - (0.015 \times 10.3)] = 0.8455$$

$$5) DPN = [(8996) \text{ pies} \times 0.8455] = 7606 \text{ pies}$$

■ **Análisis de la Tubería de Revestimiento Intermedio por Colapso**

Con la presión de colapso calculada ($P_c = 5217.48 \text{ psi}$)

busco en las tablas API una tubería del diámetro requerido (9 5/8") cuya resistencia al colapso sea mayor o igual a

P_c :

Tubería $9\frac{5}{8}$ " , C – 75, $53.50\frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$,

(OD = 9.625", ID = 8.535")

$R_c = 6380$ psi , $R_e = 7430$ psi, $R_T = 1257000$ lbs

■ Análisis de la Tubería de Revestimiento Intermedio por Tensión

Por el efecto de boyantez, por debajo del punto neutro no consideramos el peso de la tubería, por lo tanto, la longitud considerada es igual a 7606'.

$$W_{TR} = 7606 \text{ pies} \times 53.50 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}} = 406921 \text{ lbs}$$

$$R_T = \frac{1257000 \text{ lbs}}{2} = 628500 \text{ lbs}$$

$R_T > W_{TR} \therefore$ **Resiste por tensión hasta superficie**

■ Análisis de la Tubería de Revestimiento Intermedio por Estallido

$P_e = 4637.79$ psi ; $R_e = 7430$ psi

$R_e > P_e \therefore$ **Resiste por estallido hasta superficie**

3.1.3. Diseño de Liner de Producción de 7"

* Profundidad de Asentamiento del Liner (MD) = 8796'

Desarrollo

$$1) P_{h_{fp}} = [(0.052) \times (10.3) \times (10120)] = 5420 \text{ psi} = P_s$$

$$2) P_c = [(5420) \text{ psi} \times (1.125)] = 6097.8 \text{ psi}$$

$$3) P_e = [(5420) \text{ psi} \times (1.0)] = 5420 \text{ psi}$$

$$4) FF = [1 - (0.015 \times 10.3)] = 0.8455$$

$$5) DPN = [(10457) \text{ pies} \times 0.8455] = 8841.4 \text{ pies}$$

■ Análisis del Liner de Producción por Colapso

Con la presión de colapso calculada ($P_c = 6097.8 \text{ psi}$)

busco en las tablas API una tubería del diámetro requerido

(7") cuya resistencia al colapso sea mayor o igual a P_c :

Tubería 7", C - 75, $29 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}}$,

(OD = 7", ID = 6.184")

$R_c = 6760 \text{ psi}$, $R_e = 7650 \text{ psi}$, $R_T = 707000 \text{ lbs}$

■ Análisis del Liner de Producción por Tensión

Por el efecto de boyantez, por debajo del punto neutro no consideramos el peso de la tubería, por lo tanto, la longitud considerada será desde su profundidad de asentamiento 8796' hasta la profundidad del punto neutro 8841.4'.

$$W_{TR} = (8841.4 - 8796) \text{ pies} \times 29 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}} = 1316.6 \text{ lbs}$$

$$R_T = \frac{707000 \text{ lbs}}{2} = 353500 \text{ lbs}$$

$R_T > W_{TR} \therefore$ **Resiste por tensión hasta superficie**

■ Análisis del Liner de Producción por Estallido

$$P_e = 5420 \text{ psi} ; R_e = 7650 \text{ psi}$$

$R_e > P_e \therefore$ **Resiste por estallido hasta superficie**

TABLA 6

PROGRAMA DE DISEÑO DE REVESTIMIENTO

Intervalo (pies)	Grado	Peso (lbs/pie)	Rosca	Peso Sección (lbs)	Número tubos
0-5,998	C-95	72	BTC	365112	150
5,998-8,996	C-75	53.5	BTC	406921	75
8,996-10,457	C-75	29	BTC	1317	37

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

3.2. Comparación de Costos

TABLA 7

COSTO TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (DISEÑO PROPUESTO)

Tubería	Grado	Peso (lbs/pie)	Longitud Sección (pies)	\$/pie	Costo (\$)
13 3/8	C-95	72	5998	123.26	739,313.48
9 5/8	C-75	53.5	8996	58.70	528,065.20
7	C-75	29	1661	32.00	53,152.00
Total (\$)					1'320,530.68

*ELABORADO POR: SALAS - ROSADO, SEPT./2009

TABLA 8

COSTO TUBERÍA REVESTIMIENTO (DISEÑO ACTUAL)

Tubería	Grado	Peso (lbs/pie)	Longitud Sección (pies)	\$/pie	Costo (\$)
13 3/8	C-95	72	5998	123.26	739,313.48
9 5/8	N-80	47	8996	63.00	566,748.00
7	C-95	26	1661	45.99	76,389.39
Total (\$)					1'382,450.87

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

CAPÍTULO 4

4. PROGRAMA DE CEMENTACIÓN

4.1. Diseño del programa de Cementación

- 1) Capacidad interna en bls/pie

$$\text{Capacidad interna} = [(ID)^2/1029.4]$$

- 2) Capacidad anular en bls/pie

$$\text{Capacidad anular} = \{[(OD)^2 - (ID)^2]/1029.4\}$$

- 3) V_{Interno} en bls

$$V_{\text{Interno}} = \text{Capacidad interna} \times \text{Longitud interna seleccionada}$$

- 4) V_{Anular} en bls

$$V_{\text{Anular}} = \text{Capacidad anular} \times \text{Longitud anular seleccionada}$$

- 5) Número de Sacos en sk

$$\text{Número de Sacos} = V_L(\text{pie}^3)/R_L(\text{pie}^3/\text{sk})$$

6) Requerimiento total de agua (bls)

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{R_{\text{agua}}(\text{gal/sks}) \times \# \text{ sks}}{42 \text{ gal/bls}}$$

* Longitud entre cople y zapata ($h_{c/z}$) = 40 pies

Nota: El exceso de cemento sólo se suma en el cálculo de volumen del espacio anular.

4.1.1. Cementación de Revestimiento Superficial de 13 3/8"

TABLA 9

DATOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO SUPERFICIAL

LECHADA DE CABEZA (A)			LECHADA DE COLA (A)			Exceso cemento
Densidad (lpg)	Rendimiento (pie^3/sk)	Tope (pie)	Densidad (lpg)	Rendimiento (pie^3/sk)	Tope (pie)	
13.5	1.68	0	15.6	1.18	5498	25%
Requerimiento de agua en (gal/sks)						
8.87			5.21			

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

TABLA 10
DATOS TUBERÍA SUPERFICIAL (13 3/8")

Grado	Peso (lbs/pie)	Diámetro Exterior (pulg)	Diámetro Interior (pulg)
C – 95	72	13.375	12.347

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

Capacidad Interna:

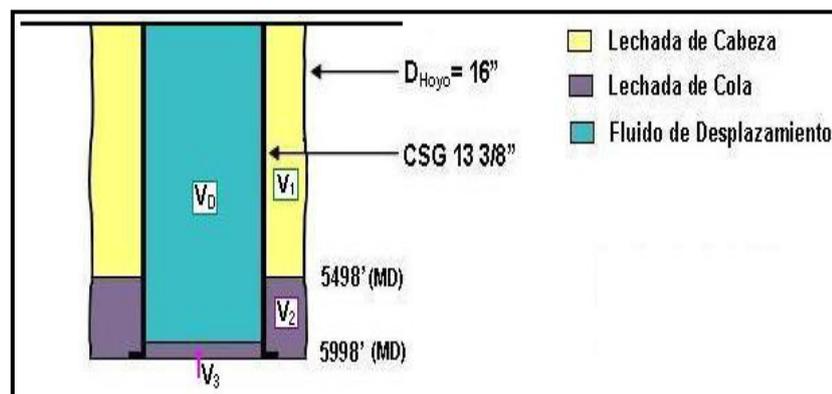
$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(ID_{\text{CSG } 13\ 3/8})^2}{1029.4} \right]$$

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(12.347)^2}{1029.4} \right] = 0.1481 \text{ bls/pie}$$

Capacidad Anular:

$$\text{Cap. anular} = \left\{ \left[(D_{\text{Hueco}})^2 - (OD_{\text{CSG } 13\ 3/8})^2 \right] / 1029.4 \right\}$$

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \left[(16)^2 - (13.375)^2 \right] / 1029.4 \right\} = 0.0749 \text{ bls/pie}$$



**FIGURA 4.1. ESQUEMA DETALLADO DE CEMENTACIÓN
DEL REVESTIMIENTO SUPERFICIAL**

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.)

Lechada de Cabeza

- Volumen de la Lechada de Cabeza ($V_{L.Cabeza} = V_1$)

$$V_1 = (0.0749) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 5498 \text{ pies} \times 1.25 = 515 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento "A" para la Lechada de Cabeza

$$V_{L.Cabeza} = 515 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 2892 \text{ pie}^3$$

$$\text{Número de Sacos} = \frac{2892 \text{ pie}^3}{1.68 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 1722 \text{ sks de cemento "A"}$$

- Requerimiento Total de Agua

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{8.87(\text{gal/sks}) \times (1722)\text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 364 \text{ bls de agua}$$

Lechada de Cola

- Volumen de la Lechada de Cola ($V_{L.Cola} = V_2 + V_3$)

$$\text{Long. anular selec. a} = (5998 - 5498) \text{ pies} = 500 \text{ pies}$$

$$V_2 = (0.0749) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 500 \text{ pies} \times 1.25 = 47 \text{ bls}$$

Longitud interna seleccionada = $h_{c/z}$

$$V_3 = (0.1481) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 40 \text{ pies} = 6 \text{ bls}$$

Por lo tanto:

$$V_{L.Cola} = (47 + 6)\text{bls} = 53 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento "A" para la Lechada de Cola

$$V_{L.Cola} = 53 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 298 \text{ pie}^3$$

$$\text{Número de Sacos} = \frac{298 \text{ pie}^3}{1.18 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 253 \text{ sks de cemento "A"}$$

- Requerimiento Total de Agua

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{5.21(\text{gal/sks}) \times (253)\text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 32 \text{ bls de agua}$$

Volumen de Desplazamiento

Long. interna seleccionada = Longitud CSG 13 3/8 – $h_{c/z}$

→ Long. interna selec. = $(5998 - 40)\text{pies} = 5958 \text{ pies}$

$$V_D = (0.1481) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 5958 \text{ pies} = 883 \text{ bls}$$

TABLA 11
RESULTADOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO
SUPERFICIAL

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

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./ 2009

4.1.2. Cementación de Revestimiento Intermedio de 9 5/8"

TABLA 12
DATOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO INTERMEDIO

LECHADA DE CABEZA (A)			LECHADA DE COLA (A)			Exceso cemento
Densidad (lpg)	Rendimiento (pie ³ /sk)	Tope (pie)	Densidad (lpg)	Rendimiento (pie ³ /sk)	Tope (pie)	
13.5	1.68	0	15.8	1.16	7996	25%
Requerimiento de agua en (gal/sks)						
8.89			5.05			

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

TABLA 13
DATOS TUBERÍA INTERMEDIA 9 5/8"

Grado	Peso (lbs/pie)	Diámetro Exterior (pulg)	Diámetro Interior (pulg)
C – 95	72	13.375	12.347

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

Capacidad Interna:

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(ID_{\text{CSG } 9\ 5/8})^2}{1029.4} \right]$$

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(8.535)^2}{1029.4} \right] = 0.0708 \text{ bls/pie}$$

Capacidad Anular:

- ◆ Capacidad Anular entre CSG 13 3/8 y CSG 9 5/8

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \left[\frac{(ID_{\text{CSG } 13\ 3/8})^2 - (OD_{\text{CSG } 9\ 5/8})^2}{1029.4} \right] \right\}$$

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \frac{[(12.347)^2 - (9.625)^2]}{1029.4} \right\} = 0.0581 \text{ bls/pie}$$

- ◆ Capacidad Anular entre Hueco 12 1/4 y CSG 9 5/8

$$\text{Cap. anular} = \left\{ \left[\frac{(D_{\text{Hueco}})^2 - (OD_{\text{CSG } 9\ 5/8})^2}{1029.4} \right] \right\}$$

$$\text{Cap. anular} = \left\{ \frac{[(12.25)^2 - (9.625)^2]}{1029.4} \right\} = 0.0558 \text{ bls/pie}$$

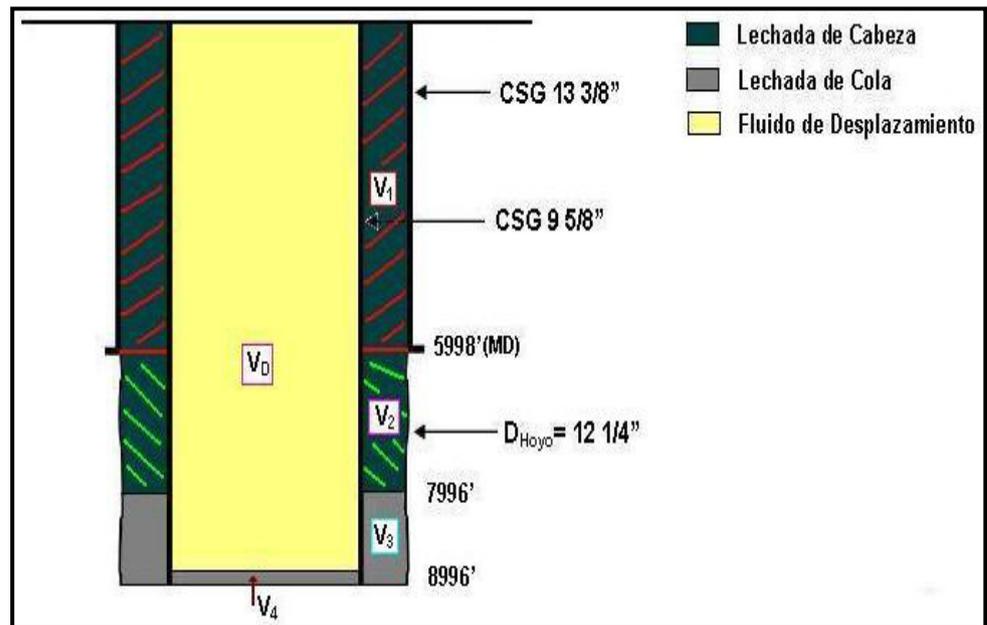


FIGURA 4.2. ESQUEMA DE CEMENTACIÓN DE LA TUBERÍA INTERMEDIA

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.)

Lechada de Cabeza

- Volumen de la Lechada de Cabeza ($V_{L.Cabeza} = V_1 + V_2$)

$$V_1 = \text{Cap. anu. CSG } 13 \frac{3}{8} \text{ y CSG } 9 \frac{5}{8} \times \text{Long. anu. selec.}$$

Donde:

Longitud anular seleccionada = 5998 pies

$$V_1 = (0.0581) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 5998 \text{ pies} \times 1.25 = 436 \text{ bls}$$

$$V_2 = \text{Cap. anu. Hueco } 12 \frac{1}{4} \text{ y CSG } 9 \frac{5}{8} \times \text{Long. anu.}$$

Donde:

Long. anular seleccionada = (7996 – 5998) pies

= 1998 pies

$$V_2 = (0.0558) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 1998 \text{ pies} \times 1.25 = 140 \text{ bls}$$

$$V_{L.Cabeza} = V_1 + V_2 = (436 + 140) \text{bls} = 576 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento para la Lechada de Cabeza

$$V_{L.Cabeza} = 576 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 3234 \text{ pie}^3$$

$$\text{No. de Sacos} = \frac{3234 \text{ pie}^3}{1.68 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 1925 \text{ sks de cemento "A"}$$

- Requerimiento Total de Agua

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{8.89(\text{gal/sks}) \times (1925) \text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 408 \text{ bls de agua}$$

Lechada de Cola

- Volumen de la Lechada de Cola ($V_{L.Cola} = V_3 + V_4$)

$$V_3 = \text{Cap. anu. Hueco } 12\frac{1}{4} \text{ y CSG } 9\frac{5}{8} \times \text{Long. anu. selec.}$$

Donde:

$$\text{Long. anular selec.} = (8996 - 7996)\text{pies} = 1000 \text{ pies}$$

$$V_3 = (0.0558) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 1000 \text{ pies} \times 1.25 = 70 \text{ bls}$$

$$V_4 = \text{Capacidad interna} \times \text{Longitud interna seleccionada}$$

Donde:

$$\text{Longitud interna seleccionada} = h_{c/z}$$

$$V_4 = (0.0708) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 40 \text{ pies} = 3 \text{ bls}$$

$$V_{L.Cola} = (70 + 3)\text{bls} = 73 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento para la Lechada de Cola

$$V_{L.Cola} = 73 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 410 \text{ pie}^3$$

$$\text{Número de Sacos} = \frac{410 \text{ pie}^3}{1.16 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 354 \text{ sks de cemento "A"}$$

➤ Requerimiento Total de Agua

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{5.05(\text{gal/sks}) \times (354)\text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 43 \text{ bls de agua}$$

Volumen de Desplazamiento

$$V_D = \text{Capacidad interna} \times \text{Longitud interna seleccionada}$$

Donde:

$$\text{Long. interna selec.} = D_T - h_{c/z}$$

$$\rightarrow \text{Long. interna selec.} = (8996 - 40)\text{pies} = 8956 \text{ pies}$$

Por lo tanto:

$$V_D = (0.0708) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 8956 \text{ pies} = 634 \text{ bls}$$

TABLA 14

RESULTADOS CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO INTERMEDIO

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

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

4.1.3. Cementación del Liner de Producción de 7''

TABLA 15

DATOS DE CEMENTACIÓN REVESTIMIENTO LINER

LECHADA DE CABEZA (G)			LECHADA DE COLA (G)			Exceso cemento
Densidad (lpg)	Rendimiento (pie ³ /sk)	Tope (pie)	Densidad (lpg)	Rendimiento (pie ³ /sk)	Tope (pie)	
16	1.19	8596	16.5	1.12	9196	10%
Requerimiento de agua en (gal/sks)						
4.76			4.64			

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

TABLA 16

DATOS DEL LINER

Grado	Peso (lbs/pie)	Diámetro Exterior (pulg)	Diámetro Interior (pulg)
C – 75	29	7	6.184

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

TABLA 17

DATOS DEL DRILL PIPE

Dimetro Exterior (pulg)	Grado	Peso (lbs/pie)	Profundidad (MD)	Diámetro Interior (pulg)
5	S – 135	19.56	0 – 8796'	4.276

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009.

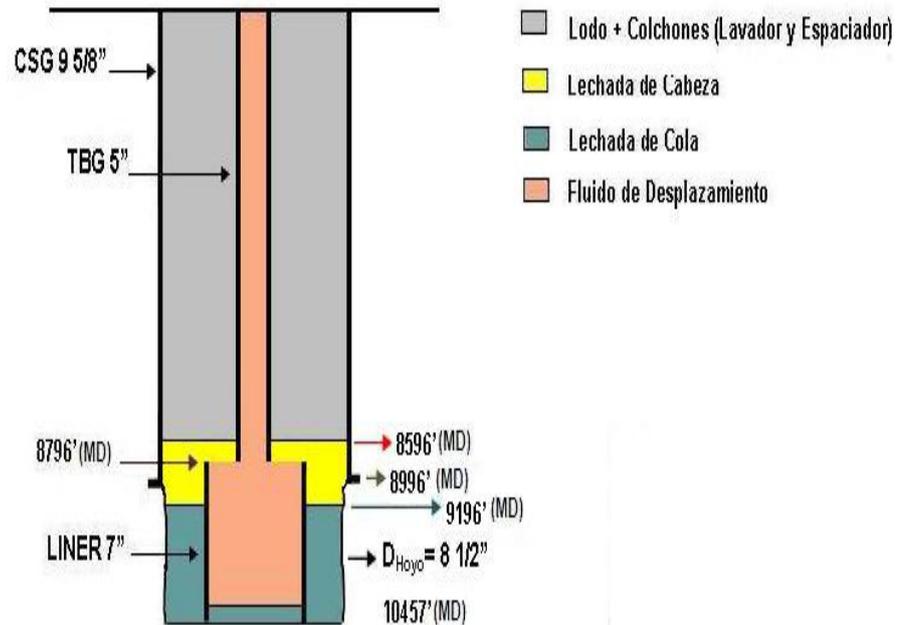


FIGURA 4.3. ESQUEMA DE CEMENTACIÓN DEL LINER

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009)

Capacidad Interna:

◆ Capacidad Interna del Liner 7

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(\text{ID}_{\text{Liner } 7})^2}{1029.4} \right]$$

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(6.184)^2}{1029.4} \right] = 0.0372 \text{ bls/pie}$$

◆ Capacidad Interna del Drill Pipe 5, (ID = 4.276")

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(\text{ID}_{\text{Drill pipe}})^2}{1029.4} \right]$$

$$\text{Capacidad interna} = \left[\frac{(4.276)^2}{1029.4} \right] = 0.0178 \text{ bls/pie}$$

Capacidad Anular:

- ◆ Capacidad Anular entre CSG 9 5/8 y Drill Pipe 5

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \left[(\text{ID}_{\text{CSG } 9\ 5/8})^2 - (\text{OD}_{\text{Drill pipe } 5''})^2 \right] / 1029.4 \right\}$$

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ [(8.535)^2 - (5)^2] / 1029.4 \right\} = 0.0465 \text{ bls/pie}$$

- ◆ Capacidad Anular entre CSG 9 5/8 y Liner 7

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \left[(\text{ID}_{\text{CSG } 9\ 5/8})^2 - (\text{OD}_{\text{Liner } 7})^2 \right] / 1029.4 \right\}$$

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ [(8.535)^2 - (7)^2] / 1029.4 \right\} = 0.0232 \text{ bls/pie}$$

- ◆ Capacidad Anular entre Hueco 8 1/2 y Liner 7

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ \left[(\text{D}_{\text{Hueco}})^2 - (\text{OD}_{\text{Liner } 7})^2 \right] / 1029.4 \right\}$$

$$\text{Cap. anu.} = \left\{ [(8.5)^2 - (7)^2] / 1029.4 \right\} = 0.0226 \text{ bls/pie}$$

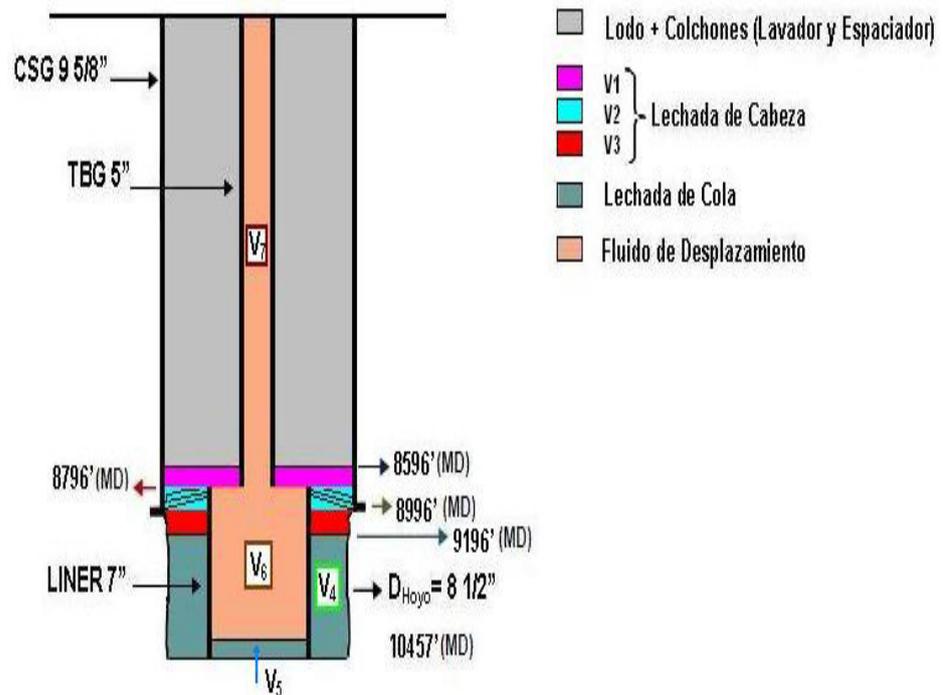


FIGURA 4.4. ESQUEMA DE VOLUMENES DE CEMENTACIÓN DEL LINER

(ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009)

Lechada de Cabeza

- Volumen de la Lechada de Cabeza

$$(V_{L.Cabeza} = V_1 + V_2 + V_3)$$

$$V_1 = \text{Cap. anu. CSG } 9\frac{5}{8} \text{ y Drill Pipe } 5 \times \text{Long. anu. selec.}$$

Donde:

$$\text{Long. anular selec.} = (8796 - 8596) \text{ pies} = 200 \text{ pies}$$

$$V_1 = (0.0465) \text{ bls/pie} \times 200 \text{ pies} \times 1.10 = 11 \text{ bls}$$

$$V_2 = \text{Cap. anu. CSG } 9 \frac{5}{8} \text{ y Liner } 7 \times \text{Long. anu. selec.}$$

Donde:

$$\text{Long. anular selec.} = (8996 - 8796) \text{ pies} = 200 \text{ pies}$$

$$V_2 = (0.0232) \text{ bls/pie} \times 200 \text{ pies} \times 1.10 = 5 \text{ bls}$$

$$V_3 = \text{Cap. anu. Hueco } 8 \frac{1}{2} \text{ y Liner } 7 \times \text{Long. anu. selec.}$$

Donde:

$$\text{Longitud anular selec.} = (9196 - 8996) \text{ pies} = 200 \text{ pies}$$

$$V_3 = (0.0226) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 200 \text{ pies} \times 1.10 = 5 \text{ bls}$$

$$V_{L.Cabeza} = (11 + 5 + 5) \text{ bls} = 21 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento "G" para la Lechada de Cabeza

$$V_{L.Cabeza} = 21 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 118 \text{ pie}^3$$

$$\text{Número de Sacos} = \frac{118 \text{ pie}^3}{1.19 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 100 \text{ sks de cemento "G"}$$

- Requerimiento Total de Agua

$$R_{T\text{ agua}} = \frac{4.76(\text{gal/sks}) \times (100)\text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 12 \text{ bls de agua}$$

Lechada de Cola

- Volumen de la Lechada de Cola ($V_{L,Cola} = V_4 + V_5$)

$$V_4 = \text{Cap. anu. Hueco } 8\frac{1}{2} \text{ y Liner } 7 \times \text{Long. anu.}$$

Donde:

$$\text{Long. anular selec.} = (10457 - 9196) \text{ pies} = 1261 \text{ pies}$$

$$V_4 = (0.0226) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 1261 \text{ pies} \times 1.10 = 32 \text{ bls}$$

$$V_5 = \text{Cap. int. del Liner } 7'' \times \text{Longitud interna selec.}$$

Donde:

$$\text{Longitud interna seleccionada} = h_{c/z}$$

$$V_5 = (0.0372) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 40 \text{ pies} = 2 \text{ bls}$$

$$V_{L,Cola} = (32 + 2)\text{bls} = 34 \text{ bls}$$

- Número de Sacos de Cemento "G" para la Lechada de Cola

$$V_{L.Cola} = 34 \text{ bls} \times \frac{5.615 \text{ pie}^3}{1 \text{ bls}} = 191 \text{ pie}^3$$

$$\text{Número de Sacos} = \frac{191 \text{ pie}^3}{1.12 \frac{\text{pie}^3}{\text{sk}}} = 171 \text{ sks de cemento "G"}$$

- Requerimiento Total de Agua

$$R_{T \text{ agua}} = \frac{4.64(\text{gal/sks}) \times (171)\text{sks}}{42 \text{ gal/bls}} = 19 \text{ bls de agua}$$

Volumen de Desplazamiento

$$V_D = V_6 + V_7$$

$V_6 = \text{Cap. interna del Liner 7} \times \text{Longitud interna selec.}$

Donde:

$\text{Long. interna selec.} = D_T - D_{(\text{asentamiento liner})} - h_{c/z}$

$\text{Long. int. selec.} = (10457 - 8796 - 40)\text{pies} = 1621 \text{ pies}$

$$V_6 = (0.0372) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 1621 \text{ pies} = 61 \text{ bls}$$

$V_7 = \text{Cap. interna Drill Pipe de 5} \times \text{Long. interna selec.}$

Donde:

Longitud interna selec. = $D_{\text{asentamiento liner}} = 8796$ pies

$$V_7 = (0.0178) \frac{\text{bls}}{\text{pie}} \times 8796 \text{ pies} = 157 \text{ bls}$$

$$V_D = (61 + 157)\text{bls} = 218 \text{ bls}$$

TABLA 18
RESULTADOS DE CEMENTACIÓN DEL LINER DE
PRODUCCIÓN

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

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

4.2. Secuencia Operacional

1. Instalar zapato y correr revestimiento hasta la profundidad final.
Instalar centralizador. Circular en los puntos que encuentre obstrucción.
2. Romper circulación.
3. Instalar la cabeza de cementación (Doble tapón Quick Latch) y armar las líneas de Halliburton Conectarse en "Y" para permitir el desplazamiento con las bombas del taladro.
4. Continuar circulando para romper geles y estabilizar presiones.
5. Mezclar espaciadores y agua de mezcla del cemento.
7. Bombear 2 bls de Dual Spacer y probar líneas con 2000 psi.
8. Soltar tapón inferior.
9. Bombear espaciador Dual Spacer
10. Mezclar y bombear la lechada de relleno.
11. Mezclar y bombear la lechada principal.
12. Soltar tapón superior.
13. Desplazar con las bombas del taladro a 12 bpm, últimos 20 bbls de desplazamiento a 3 bpm (baja eficiencia). En caso de no sentar tapón continuar desplazando según la norma API 5CT
14. Sentar tapón con 500 psi por encima de la presión final de bombeo.
15. Chequear retorno en superficie.

16. Esperar fragüe de acuerdo a las pruebas del laboratorio. En caso de influjo de agua soldar platina en superficie para realizar un top job contra la platina y cerrar la válvula del anular del pozo.

4.3. Costo de Cementación

TABLA 19
COSTO DE CEMENTACIÓN (DISEÑO PROPUESTO)

Tubería	Tipo Cemento	\$/saco	# Sks L. Cabeza	# Sks L. Cola	# Sks Totales	Costo (\$)
13 3/8	A	9	1722	253	1975	17,775
9 5/8	A	9	1925	354	2279	20,511
7	G	16.6	100	171	271	4,498.6
Total (\$)						42,784.6

*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009

TABLA 20
COSTO DE CEMENTACIÓN (DISEÑO ACTUAL)

Tubería	Tipo Cemento	\$/saco	# Sks L. Cabeza	# Sks L. Cola	# Sks Totales	Costo (\$)
13 3/8	A	9	2074	324	2398	21,582
9 5/8	A	9	524*	379	903	8,127
7	G	16.6	125	230	355	5,893
Total (\$)						35,602

*El revestidor intermedio se cementó sólo 200 pies arriba del zapato anterior
(*ELABORADO POR: SALAS-ROSADO, SEPT./2009).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Tanto en la superficie como en el fondo del pozo se necesita tubería de revestimiento de buena calidad, que resista los diferentes esfuerzos al que son sometidas.
2. Para optimizar costos de revestimiento, se debe utilizar más de un tipo de tubería en todo el pozo, en lugar de utilizar un solo tipo de tubería, debido a que aumenta considerablemente el costo del revestimiento.
3. El costo del revestimiento en el presente informe es menor al costo del diseño de revestimiento que corrieron en el pozo al momento de su construcción, siendo los valores 1'320,530.68 USD y 1'382,450.87 USD respectivamente.
4. El costo de cementación del diseño presentado en este informe (42,784.6 USD) es mayor al del diseño anterior (35,602 USD) debido a que en éste el revestimiento intermedio no fue cementado hasta superficie.

RECOMENDACIONES

1. En cuanto al diseño de revestidores, a pesar de escoger el diseño más económico, no se debe comprometer la seguridad de la operación.
2. Se debe tener en cuenta que, las tuberías de revestimiento escogidas en el diseño, tienen que ser tuberías de revestimiento aprobadas por la norma API.
3. Se recomienda un solo tipo de tubería en cada sección, para evitar problemas operacionales en la completación de pozo, debido a la variación del drift.
4. Es recomendable utilizar dos tipos de lechada en la cementación, una lechada de cola que es de mayor peso y una lechada de cabeza de menor peso.

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

ANEXOS

A. TABLAS

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE
REVESTIMIENTO DE 7 PULG.

Size O.D. In.		Grade	Wt. Per Ft. With Cplg., Lb.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		** Col'per Resistance PSI	Internal Yield Pressure PSI**												
					Drift Dia. In.	O.D. of Cplg. In.	Drift Dia. In.	O.D. of Box In.		Plain End or Est. Lin.	Round Thread		Butt-threads Thd.	** Body Yield Stgth. 1,000 Lbs.	Joint Strength - Thread & Cplg.		Joint	1,000 Lbs.**				
											Short	Long			Short	Long	Butt-threads Thd.	Est. Lin. Joint				
7	*F-25	17.00	6.538	6.413	7.656	---	---	---	1,100	---	1,440	---	---	123	118	---	---	---	---			
	H-40	17.00	6.538	6.413	7.656	---	---	---	1,450	2,310	2,310	---	---	196	122	---	---	---	---			
	H-40	20.00	6.456	6.331	7.656	---	---	---	1,980	2,720	2,720	---	---	230	176	---	---	---	---			
	J-55	20.00	6.456	6.331	7.656	---	---	---	2,270	3,740	3,740	---	---	316	234	---	---	---	---			
	J-55	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	4,360	4,360	4,360	4,360	4,360	366	284	313	432	499	---	---		
	J-55	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	4,320	4,980	4,980	4,980	4,980	4,980	415	334	367	490	506	---	---		
	K-55	20.00	6.456	6.331	7.656	---	---	---	2,270	3,740	3,740	---	---	316	254	---	---	---	---			
	K-55	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	4,360	4,360	4,360	4,360	4,360	366	309	341	522	632	---	---		
	K-55	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	4,320	4,980	4,980	4,980	4,980	4,980	415	364	401	592	641	---	---		
	C-75	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	5,940	---	5,940	5,940	5,940	499	---	416	557	632	---	---		
	C-75	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,250	6,790	---	6,790	6,790	6,790	566	---	489	631	641	---	---		
	C-75	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	6,760	7,650	---	7,650	7,650	7,650	634	---	562	707	685	---	---		
	C-75	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	8,230	8,490	---	8,490	7,930	7,930	699	---	633	779	761	---	---		
	C-75	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	9,710	9,340	---	8,660	7,930	7,930	763	---	703	833	850	---	---		
	C-75	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	10,680	10,120	---	8,660	7,930	7,930	822	---	767	833	917	---	---		
	N-80	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,830	6,340	---	6,340	6,340	6,340	532	---	447	588	666	---	---		
	N-80	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,410	7,240	---	7,240	7,240	7,240	604	---	519	667	675	---	---		
	N-80	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	7,020	8,160	---	8,160	8,160	8,160	676	---	597	746	721	---	---		
	N-80	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	8,600	9,060	---	9,060	8,460	8,460	745	---	672	823	801	---	---		
	N-80	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	10,180	9,960	---	9,240	8,460	8,460	814	---	746	876	895	---	---		
	N-80	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	11,390	10,800	---	9,240	8,460	8,460	877	---	814	876	965	---	---		
	C-95	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	4,150	7,530	---	7,530	7,530	7,530	632	---	505	636	699	---	---		
	C-95	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,870	8,600	---	8,600	8,600	8,600	717	---	593	722	709	---	---		
	C-95	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	7,820	9,690	---	9,690	9,690	9,690	803	---	683	808	757	---	---		
	C-95	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	9,730	10,760	---	10,760	10,050	10,050	885	---	768	891	841	---	---		
	C-95	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	11,640	11,830	---	10,970	10,050	10,050	966	---	853	920	940	---	---		
	C-95	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	13,420	12,820	---	10,970	10,050	10,050	1,041	---	931	920	1,013	---	---		
	P-110	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	6,210	9,960	---	9,960	9,960	9,960	830	---	693	853	844	---	---		
	P-110	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	8,510	11,220	---	11,220	11,220	11,220	929	---	797	955	902	---	---		
	P-110	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	10,760	12,460	---	12,460	11,640	11,640	1,075	---	897	1,053	1,002	---	---		
	P-110	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	13,010	13,700	---	12,700	11,640	11,640	1,119	---	996	1,096	1,118	---	---		
	P-110	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	15,110	14,850	---	12,700	11,640	11,640	1,205	---	1,087	1,096	1,207	---	---		
*V-150	29.00	6.184	6.059	7.656	---	---	---	---	9,800	---	15,300	15,300	1,267	---	1,049	1,296	---	---				
*V-150	32.00	6.094	5.969	7.656	---	---	---	---	13,020	---	16,990	15,870	1,398	---	1,180	1,363	---	---				
*V-150	35.00	6.004	5.879	7.656	---	---	---	---	16,230	---	17,320	15,870	1,526	---	1,311	1,363	---	---				
*V-150	38.00	5.920	5.795	7.656	---	---	---	---	19,240	---	17,320	15,870	1,644	---	1,430	1,363	---	---				

*Not API Standard. Shown for information only.

**Collapse, Internal Yield and Joint Yield Strengths are minimum values with no safety factor, reproduced by permission from API Bul. 5C2, Bulletin on Performance Properties of Casing and Tubing.

TABLA 2
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE
REVESTIMIENTO DE 9 5/8 Y 10 3/4 PULG.

TABLE NO. 203 DIMENSIONS AND STRENGTHS OF CASING																			
Size O.D. In.	Grade	Wt. Per Ft. With Cplg., Lb.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		** Collapse Resistance PSI	Internal Yield Pressure PSI**				Joint Strength - 1000 Lbs.**						
				Drift Dia. In.	O.D. of Cplg. In.	Drift Dia. In.	O.D. of Box In.		Plain End or Ext. Line		Round Thread		Buttress Thd.	** Body Yield Stgth. 1,000 Lbs.	Thread & Cplg. Joint		Ext. Line Joint		
									Short	Long	Short	Long			Short	Long			
9 5/8	F-25	27.30	9.063	8.907	10.625	---	---	860	---	1,280	---	---	206	185	---	---	---		
	H-40	32.30	9.001	8.845	10.625	---	---	1,400	2,270	2,270	---	---	365	254	---	---	---		
	H-40	36.00	8.921	8.765	10.625	---	---	1,740	2,560	2,560	---	---	410	294	---	---	---		
	J-55	36.00	8.921	8.765	10.625	---	---	2,020	3,520	3,520	3,520	3,520	564	394	453	639	---		
	J-55	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,570	3,950	3,950	3,950	3,950	630	452	520	714	770		
	K-55	36.00	8.921	8.765	10.625	---	---	2,020	3,520	3,520	3,520	3,520	564	423	489	755	---		
	K-55	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,570	3,950	3,950	3,950	3,950	630	486	561	843	975		
	C-75	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,980	5,390	---	5,390	5,390	859	---	694	926	975		
	C-75	43.50	8.755	8.599	10.625	8.529	10.100	3,750	5,930	---	5,930	5,930	942	---	776	1,016	975		
	C-75	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	4,630	6,440	---	6,440	6,440	1,018	---	852	1,098	1,032		
	C-75	53.50	8.535	8.379	10.625	8.379	10.100	6,380	7,430	---	7,430	7,430	1,166	---	999	1,257	1,173		
	H-80	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	3,090	5,750	---	5,750	5,750	916	---	737	979	1,027		
	H-80	43.50	8.755	8.599	10.625	8.599	10.100	3,810	6,330	---	6,330	6,330	1,005	---	825	1,074	1,027		
	H-80	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	4,750	6,870	---	6,870	6,870	1,086	---	905	1,161	1,086		
	H-80	53.50	8.535	8.379	10.625	8.379	10.100	6,670	7,930	---	7,930	7,930	1,244	---	1,062	1,329	1,235		
	C-95	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	3,330	6,820	---	6,820	6,820	1,088	---	847	1,074	1,078		
	C-95	43.50	8.755	8.599	10.625	8.599	10.100	4,130	7,510	---	7,510	7,510	1,193	---	948	1,178	1,078		
	C-95	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	5,080	8,150	---	8,150	8,150	1,289	---	1,040	1,273	1,141		
	C-95	53.50	8.535	8.379	10.625	8.379	10.100	7,330	9,410	---	9,410	9,410	1,477	---	1,220	1,458	1,297		
	P-110	41.50	8.755	8.599	10.625	8.599	10.100	4,410	8,700	---	8,700	8,700	1,381	---	1,106	1,388	1,283		
	P-110	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	5,310	9,440	---	9,440	9,440	1,493	---	1,213	1,500	1,358		
	P-110	53.50	8.535	8.379	10.625	8.379	10.100	7,930	10,900	---	10,900	10,900	1,710	---	1,422	1,718	1,544		
	V-150	53.50	8.535	8.379	10.625	---	---	8,970	---	---	14,860	14,860	2,332	---	1,909	2,321	---		
	V-150	58.40	8.435	8.279	10.625	---	---	11,570	---	---	16,230	16,230	2,532	---	2,098	2,519	---		
V-150	61.10	8.375	8.219	10.625	---	---	13,130	---	---	17,050	16,560	2,651	---	2,211	2,638	---			
V-150	71.80	8.125	7.969	10.625	---	---	19,640	---	---	18,060	16,560	3,136	---	2,672	2,692	---			
10 3/4	F-25	32.25	10.192	10.036	11.750	---	---	650	---	1,140	---	---	229	196	---	---	---		
	H-40	32.25	10.192	10.036	11.750	---	---	880	1,870	1,820	---	---	362	205	---	---	---		
	H-40	40.50	10.050	9.894	11.750	---	---	1,420	2,280	2,280	---	---	457	314	---	---	---		
	J-55	40.50	10.050	9.894	11.750	---	---	1,580	3,130	3,130	---	---	629	420	---	700	---		
	J-55	45.50	9.950	9.794	11.750	9.794	11.460	2,090	3,580	3,580	---	---	3,580	715	493	---	796	975	
	J-55	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	2,700	4,030	4,030	---	---	4,030	801	565	---	891	1,092	
	K-55	40.50	10.050	9.894	11.750	---	---	1,580	3,130	3,130	---	---	3,130	629	450	---	819	---	
	K-55	45.50	9.950	9.794	11.750	9.794	11.460	2,090	3,580	3,580	---	---	3,580	715	528	---	931	1,236	
	K-55	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	2,700	4,030	4,030	---	---	4,030	801	606	---	1,043	1,383	
	C-75	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	3,100	5,490	5,490	---	---	5,490	1,092	756	---	1,160	1,383	
	C-75	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.460	3,950	6,040	6,040	---	---	6,040	1,196	843	---	1,271	1,515	
	N-80	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	3,220	5,860	5,860	---	---	5,860	1,165	804	---	1,228	1,456	
	N-80	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.460	4,020	6,450	6,450	---	---	6,450	1,276	895	---	1,345	1,595	
	C-95	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	3,490	6,960	6,960	---	---	6,960	1,383	927	---	1,354	1,529	
	C-95	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.460	4,300	7,660	7,660	---	---	7,660	1,515	1,032	---	1,483	1,675	
	P-110	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.460	3,670	8,060	8,060	---	---	8,060	1,602	1,080	---	1,594	1,820	
	P-110	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.460	4,630	8,860	8,860	---	---	8,860	1,754	1,203	---	1,745	1,993	
	P-110	60.70	9.660	9.504	11.750	9.504	11.460	5,860	9,760	9,760	---	---	9,760	1,922	1,338	---	1,912	2,000	
	P-110	65.70	9.560	9.404	11.750	---	---	7,490	10,650	10,650	---	---	10,650	2,088	1,472	---	2,077	---	
	P-110	71.10	9.450	9.294	11.750	---	---	9,280	---	---	11,240	---	---	10,980	2,269	1,618	---	2,418	---
	V-150	65.70	9.560	9.404	11.750	---	---	8,330	---	---	14,530	---	---	14,530	2,847	1,978	---	2,799	---
	V-150	71.10	9.450	9.294	11.750	---	---	10,890	---	---	15,330	---	---	14,970	3,094	2,174	---	2,957	---

*Not API Standard. Shown for information only.

**Collapse, Internal Yield and Joint Yield Strengths are minimum values with no safety factor, reproduced by permission from API Bul. 5C2, Bulletin on Performance Properties of Casing and Tubing.

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE
REVESTIMIENTO DE 11 1/2, 13 3/8 Y 16 PULG.

Page 24		TABLE NO. 203										Page 25			
DIMENSIONS AND										STRENGTHS OF CASING					
Size O.D. In.	Grade	Wt. Per Ft. With Cplg., Lb.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		** Collapse Resistance PSI	Internal Yield Pressure PSI**			Joint Strength - 1000 Lbs.**			
				Drift Dia. In.	O.D. of Cplg. In.	Drift Dia. In.	O.D. of Box In.		Plain End or Est. Line	Round Thread		Buttress Thd.	Thread & Cplg. Joint		Est. Line Joint
									Short	Long	Buttress Thd.	Short	Long	Buttress Thd.	
11 1/2	*F-25	38.00	11.150	10.994	12.750	---	---	670	---	---	---	270	222	---	---
	H-40	42.00	11.084	10.928	12.750	---	---	1,070	1,980	---	---	478	307	---	---
	J-55	47.00	11.000	10.844	12.750	---	---	1,510	3,070	3,070	---	3,070	737	477	807
	J-55	54.00	10.880	10.724	12.750	---	---	2,070	3,560	3,560	---	3,560	850	568	931
	J-55	60.00	10.772	10.616	12.750	---	---	2,660	4,010	4,010	---	4,010	952	649	1,042
	K-55	47.00	11.000	10.844	12.750	---	---	1,510	3,070	3,070	---	3,070	737	509	935
	K-55	54.00	10.880	10.724	12.750	---	---	2,070	3,560	3,560	---	3,560	850	606	1,079
	K-55	60.00	10.772	10.616	12.750	---	---	2,660	4,010	4,010	---	4,010	952	693	1,208
	C-75	60.00	10.772	10.616	12.750	---	---	3,070	5,460	5,460	---	5,460	1,298	869	1,361
	N-80	60.00	10.772	10.616	12.750	---	---	3,180	5,830	5,830	---	5,830	1,384	924	1,440
C-95	60.00	10.772	10.616	12.750	---	---	3,440	6,920	6,920	---	6,920	1,644	1,066	1,596	
13 3/8	*F-25	48.00	12.715	12.559	14.375	---	---	560	---	---	---	338	260	---	---
	H-40	48.00	12.715	12.559	14.375	---	---	770	1,730	1,730	---	541	322	---	---
	J-55	54.50	12.615	12.459	14.375	---	---	1,130	2,730	2,730	---	2,730	853	514	909
	J-55	61.00	12.515	12.359	14.375	---	---	1,540	3,090	3,090	---	3,090	962	595	1,025
	J-55	68.00	12.415	12.259	14.375	---	---	1,950	3,450	3,450	---	3,450	1,069	675	1,140
	K-55	54.50	12.615	12.459	14.375	---	---	1,130	2,730	2,730	---	2,730	853	547	1,038
	K-55	61.00	12.515	12.359	14.375	---	---	1,540	3,090	3,090	---	3,090	962	633	1,169
	K-55	68.00	12.415	12.259	14.375	---	---	1,950	3,450	3,450	---	3,450	1,069	718	1,300
	C-75	72.00	12.347	12.191	14.375	---	---	2,590	5,040	5,040	---	5,040	1,558	978	1,598
	*C-75	77.00	12.275	12.119	14.375	---	---	2,990	---	5,400	---	5,400	1,662	1,054	2,054
	*C-75	85.00	12.159	12.003	14.375	---	---	3,810	---	5,970	---	5,970	1,829	1,177	2,261
	*C-75	98.00	11.937	11.781	14.375	---	---	5,720	---	6,270	---	6,120	2,144	1,408	2,296
	N-80	72.00	12.347	12.191	14.375	---	---	2,670	5,380	5,380	---	5,380	1,661	1,040	1,693
	*N-80	77.00	12.275	12.119	14.375	---	---	3,100	---	5,760	---	5,760	1,773	1,122	2,148
	*N-80	85.00	12.159	12.003	14.375	---	---	3,870	---	6,360	---	6,360	1,951	1,252	2,364
	*N-80	98.00	11.937	11.781	14.375	---	---	5,910	---	6,680	---	6,530	2,287	1,498	2,400
C-95	72.00	12.347	12.191	14.375	---	---	2,820	6,390	6,390	---	6,390	1,973	1,204	1,893	
*P-110	72.00	12.347	12.191	14.375	---	---	2,880	---	7,400	---	7,400	2,596	1,402	2,433	
*V-150	72.00	12.347	12.191	14.375	---	---	2,880	---	10,090	---	10,090	3,323	1,887	2,976	
16	*F-25	55.00	15.376	15.188	17.000	---	---	290	---	---	---	384	258	---	---
	H-40	65.00	15.250	15.062	17.000	---	---	670	1,640	1,640	---	736	439	---	---
	J-55	75.00	15.124	14.936	17.000	---	---	1,020	2,630	2,630	---	2,630	1,178	710	1,200
	J-55	84.00	15.010	14.822	17.000	---	---	1,410	2,980	2,980	---	2,980	1,326	817	1,351
	K-55	75.00	15.124	14.936	17.000	---	---	1,020	2,630	2,630	---	2,630	1,178	752	1,331
	K-55	84.00	15.010	14.822	17.000	---	---	1,410	2,980	2,980	---	2,980	1,326	865	1,499
	*K-55	109.00	14.688	14.500	17.000	---	---	2,560	---	3,950	---	3,950	1,739	1,181	1,962
	*C-75	109.00	14.688	14.500	17.000	---	---	2,980	---	5,380	---	5,380	2,372	1,499	---
	*N-80	109.00	14.688	14.500	17.000	---	---	3,080	---	5,740	---	5,740	2,530	1,594	---

*Not API Standard. Shown for information only.

**Collapse, Internal Yield and Joint Yield Strengths are minimum values with no safety factor, reproduced by permission from API Bul. 5C2, Bulletin on Performance Properties of Casing and Tubing.

TABLA 4
EFFECTO DE LA TENSION EN LA RESISTENCIA AL COLAPSO TOMADO
DE LA CURVA DE ELIPSE DE ESFUERZOS BI-AXIALES

R	%	R	%	R	%
.005	99.8	.220	87.1	.435	70.8
.010	99.5	.225	86.8	.440	70.3
.015	99.3	.230	86.7	.445	69.9
.020	99.0	.235	86.3	.450	69.5
.025	98.7	.240	85.6	.455	69.1
.030	98.4	.245	85.3	.460	68.1
.035	98.2	.250	85.0	.465	68.6
.040	97.9	.255	84.7	.470	67.8
.045	97.6	.260	84.3	.475	67.3
.050	97.3	.265	83.9	.480	66.9
.055	97.0	.270	83.6	.485	66.4
.060	96.8	.275	83.2	.490	65.9
.065	96.5	.280	82.8	.495	65.5
.070	96.2	.285	82.5	.500	65.0
.075	95.9	.290	82.1	.505	64.5
.080	95.6	.295	81.7	.510	64.1
.085	95.3	.300	81.3	.515	63.6
.090	95.1	.305	81.0	.520	63.1
.095	94.8	.310	80.6	.525	62.6
.100	94.5	.315	80.3	.530	62.1
.105	94.2	.320	79.9	.535	61.7
.110	93.9	.325	79.6	.540	61.2
.115	93.6	.330	79.2	.545	60.7
.120	93.3	.335	78.8	.550	60.2
.125	93.0	.340	78.4	.555	59.7
.130	92.7	.345	78.0	.560	59.2
.135	92.4	.350	77.7	.565	58.7
.140	92.1	.355	77.3	.570	58.1
.145	91.8	.360	76.9	.575	57.6
.150	91.5	.365	76.5	.580	57.1
.155	91.2	.370	76.1	.585	56.6
.160	90.9	.375	75.8	.590	56.1
.165	90.6	.380	75.4	.595	55.5
.170	90.3	.385	75.0	.600	55.0
.175	89.9	.390	74.6	.605	54.5
.180	89.6	.395	74.2	.610	54.0
.185	89.3	.400	73.7	.615	53.5
.190	89.0	.405	73.3	.620	52.9
.195	88.7	.410	72.9	.625	52.4
.200	88.4	.415	72.5	.630	51.4
.205	88.1	.420	72.0	.635	51.4
.210	87.7	.425	71.6	.640	50.9
.215	87.4	.430	71.2	.645	50.3

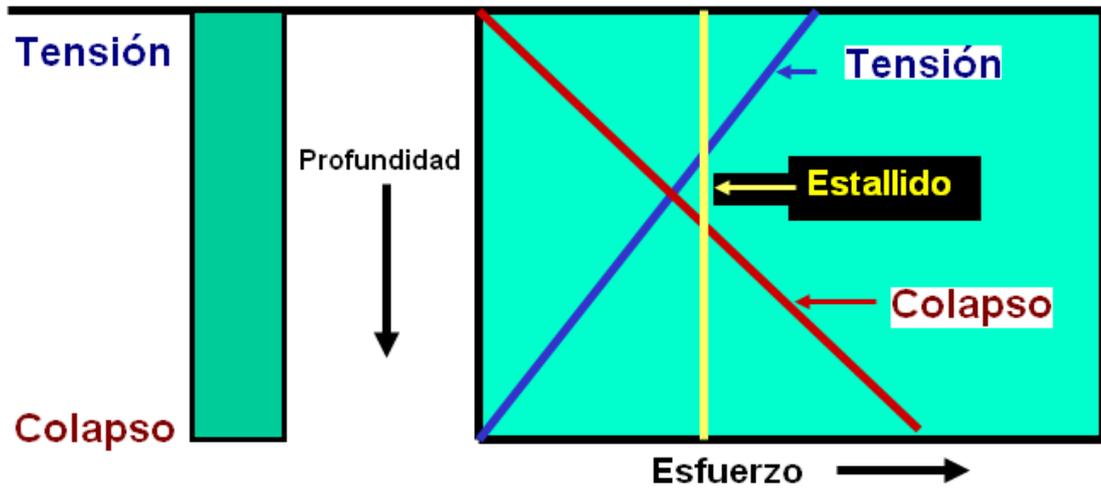
R = Relación entre el esfuerzo unitario aplicado y el punto cedente mínimo de la tubería.

% = Porcentaje disponible de la resistencia original al colapso.

*AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

B. GRÁFICOS

GRÁFICO 1
ESQUEMA DE ESFUERZOS



(TOMADO DE DRILLING ENGINEERING CASING DESIGN, LESSON 5. ANÓNIMO)

BIBLIOGRAFIA:

- Apuntes del Ing. Xavier Vargas Gutierrez
- Revestimiento y Cementación, Schlumberger.