



7/2  
204

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DISEÑO OPTIMO DE TUBERIAS DE  
REVESTIMIENTO POR CARGA MAXIMA  
PARA POZOS PROFUNDOS**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO PETROLERO  
P R E S E N T A :  
ARTURO QUIROZ CUECUECHA**



MEXICO, D. F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"DISEÑO OPTIMO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO POR CARGA  
MAXIMA PARA POZOS PROFUNDOS"

INTRODUCCION

I N D I C E

	PAG.
I.- ANALISIS DE ESFUERZOS	1
I.1.- Generalidades	1
I.2.- Especificación de las tuberías de revesti.	3
I.3.- Esfuerzo a la presión interna	7
I.4.- Esfuerzo a la presión externa	11
I.5.- Esfuerzo a la tensión	17
II.- METODO DEL DISEÑO POR CARGA MAXIMA	19
II.1.- Generalidades	19
II.2.- Factores de diseño	20
II.3.- Procedimiento del diseño	22
II.4.- Diseño de tubería de revestimiento para un pozo del distrito el plan ver.	37
II.5.- Nomenclatura	57
III.- CUIDADO Y MANEJO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO	62
III.1.- Generalidades	62
III.2.- Introducción de la tubería de revestimiento	63
III.3.- Transporte, manejo y almacenamiento	84

IV.- CAUSAS PRINCIPALES DE FALLA EN LAS TUBERIAS DE  
REVESTIMIENTO.

IV.1.- Generalidades	PAG. 89
IV.2.- Factores de seguridad a la tensión, presión interna y colapso inadecuado	93
IV.3.- Desgaste de la tubería de revestimiento	104

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
------------------------------------	-----

REFERENCIAS	111
-------------	-----

## I N T R O D U C C I O N

La tubería de revestimiento en los pozos petroleros es uno de los elementos más importantes, no solo debido al aspecto económico, sino también en cuanto a las funciones que desempeña:

- A) Son la base para instalar los cabezales y preventores para mantener bajo control la perforación del pozo.
- B) Aisla zonas de pérdida de circulación y formaciones, problema a la perforación.
- C) Protegen a los yacimientos productores, confinando su producción.
- D) Aisla zonas de alta presión o presión anormal, etc.

Es por esto que las tuberías desde que se introducen a los pozos se someten a esfuerzos, corriéndose el riesgo de deformarse y - provocar problemas indeseables, ya sea durante la perforación, terminación o vida productora del pozo.

Por lo que es necesario que las tuberías sean diseñadas adecuadamente antes de su empleo.

Actualmente existen diferentes métodos para llevar a cabo el diseño de tubería de revestimiento, estos solo difieren en cuanto al proceso de cálculo ya que en esencia aplican el mismo principio salvo de procedimiento de diseño por carga máxima, objetivo de este trabajo, con él se obtiene diseños óptimos de sartas de tuberías se analizan también los esfuerzos principales a que se encuentra sometida una tubería de revestimiento, y las causas más frecuentes por las que pueden fallar, en cualquier etapa del pozo. el cual analiza condiciones del pozo diferentes a los otros - - métodos.

## 1.- ANALISIS DE ESFUERZOS

### 1.1.- GENERALIDADES

El Instituto Americano del Petróleo (API) establece normas para la fabricación de productos que se emplean en la industria del petróleo. Las especificaciones que rigen a los productos tubulares son 5A, 5AC, y 5AX, que establecen el peso/ unidad de longitud (lb/pie ó Kg/m), el rango de la tubería ( R1, R2 ó R3)el diámetro exterior, el espesor del tubo, el diámetro de trabajo (drift) el grado de acero, los métodos de fabricación y el tipo de conexión del tubo.

Un diseño apropiado de tuberías de revestimiento normalmente, consistirá de un número determinado de secciones de tubería, cada uno con especificaciones diferentes.

Es muy importante que estas secciones se corran en el pozo en el orden adecuado, de lo contrario es de esperarse una falla; por ejemplo, si alguna junta es mal colocada, esta sarta puede fallar por tensión (desprenderse).

Con el objeto de planear programas óptimos para tubería de revestimiento y producción, el ingeniero de diseño debe conocer tales indicaciones básicas del pozo como son la profundidad de las zonas que se perforan, así como las densidades de lodo de perforación.

También debe conocer las propiedades físicas de la tubería y sus conexiones y con esta información debe estar capacitado para calcular u obtener las especificaciones de punto de cedencia a la presión interna API, presión hidrostática de prueba, rango de la presión de colapso y carga hidrostática del pozo.

También debe conocer el factor de flotación, la carga de desprendimiento de la conexión y el punto de cedencia de la tubería, la máxima longitud de la sarta considerando el factor de flotación calculado, por la reducción del rango de presión de colapso debido a la carga tensión y los coeficientes de seguridad a la ruptura, al aplastamiento y a la tensión.

## I.2.- ESPECIFICACION DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Las tuberías de revestimiento son identificadas de acuerdo con cinco propiedades:

- 1.- Diámetro exterior (de 4.5 a 20.0 pg)
- 2.- Espesor de pared (de 0.205 a 0.595 pg)
- 3.- Grado del material
- 4.- Tipo de junta
- 5.- Rango de longitud (de 16.0 a 42.0 pie)

El diámetro exterior y el espesor de pared determinan una propiedad más que es el peso unitario ( de 9.5 a 94 lb/pie)

Los grados de acero de la tubería son identificados con letras y números, los cuales indican características del acero de la tubería. En cada grado API, el número designa el esfuerzo de cedencia. Así por ejemplo la P-110, puede soportar un esfuerzo de - - 110000 lb/pg<sup>2</sup>, con una elongación menor al 0.5%.

Aparte de los grados API, existen otros grados de acero que son usados en la industria, el uso de las tuberías de grados especiales es para condiciones específicas, tales como:

- Alto esfuerzo de tensión
- Alto esfuerzo de colapso
- Resistencia del acero al sulfhídrico, etc.

Este tipo de tuberfa son manufacturadas por diversas compañías, y las especificaciones de ésta deben satisfacer las normas API.

También parámetros como el diámetro de trabajo, espesor de pared, rango de longitud y tolerancia del peso, son consistentes con - las especificaciones API.

Los grados de tuberfas de revestimiento más usadas en nuestra - industria petrolera son:

GRADO	ESFUERZO DE CEDENCIA (lb/pg <sup>2</sup> )
K- 55	55,000
V- 150	150,000
P- 110	110,000
N- 80	80,000
C- 95	95,000
C- 75	75,000
J- 55	55,000
H- 40	40,000
T-125	125,000
T-110	140,000
T-150	150,000
TAC-95	95,000
TAC-110	110,000
TAC-140	140,000
TRC-80	80,000
TRC-85	85,000
TRC-90	90,000
TRC-95	95,000

El API, estableció tres rangos de longitud de tuberías de revestimiento, estos se indican enseguida:

RANGO	LONGITUD (pie)	LONGITUD MAXIMA (pie)	MAXIMA VARIACION DE LONGITUD. (pie)
1	16-25	25	6
2	25-34	34	5
3	> 34	42	6

Los coples son piezas usadas para conectar tuberías de revestimiento, son clasificadas de la misma manera que la tubería de revestimiento y las propiedades físicas del cople deben ser igual a las secciones de tubería con rosca. Su resistencia a los esfuerzos pueden ser mayores o por lo menos iguales que los del cuerpo de la tubería.

Las tuberías son fabricadas generalmente con roscas en ambos extremos y posteriormente se conecta a la junta o cople, con excepción de la tubería denominada de extremos planos (extreme line), cuyas roscas son maquinadas en el cuerpo del tubo.

Los coples pueden ser cortos o largos de acuerdo con la longitud de la rosca de la tubería de revestimiento, con la cual serán usados.

Los siguientes tipos de roscas y coples son los manejados en nuestro medio:

1. Cople corto rosca redonda.
2. Cople largo rosca redonda.
3. Cople normal rosca buttress.
4. Hydrill SEU
5. Hydrill TS
6. Hydrill SFJP
7. Vam rosca redonda
8. Vam rosca buttress.

La selección del cople y rosca depende de la resistencia a la tensión requerida en el punto de unión.

El peso nominal no es exacto, está basado en un peso teórico - calculado para unos 20 pies de longitud de tubería de revestimiento. El peso nominal es por lo tanto usado para propósitos de identificación.

### 1.3. ESFUERZO A LA PRESION INTERNA

Al establecer los parámetros de diseño, en primer lugar debe considerarse la carga por presión interna. Durante la entrada de fluido de la formación a la tubería de revestimiento, así como en operaciones tales como cementaciones forzadas y fracturamientos, la tubería de revestimiento está sujeta a presiones internas altas, es por ello que se hace necesario tomar en cuenta este factor, al llevar a cabo el diseño de sartas de revestimiento.

El exceso de presión interna puede ocasionar ruptura de la tubería de revestimiento y por ello, en ese momento, se le denomina presión de ruptura. Convencionalmente la presión de ruptura para tuberías de acero es calculada a partir de la fórmula de Barlow.

$$P_b = \frac{2 St}{d_e} \quad \text{--- 1.1.}$$

Donde:

$P_b$  = presión requerida para causar ruptura ( $\text{lb/pg}^2$ )

$S$  = esfuerzo de tensión del acero ( $\text{lb/pg}^2$ )

$t$  = espesor a la tubería,  $\text{pg}$ .

$d_e$  = diámetro exterior,  $\text{pg}$ .

La falla tiende a ocurrir cuando se aplica un esfuerzo que excede el esfuerzo de cedencia, resultando una deformación permanente en la tubería. Este tipo de falla sucede con un esfuerzo considerablemente inferior al que provoca la ruptura. Es por ello recomendable substituir el esfuerzo de tensión del acero por el mínimo esfuerzo de cedencia ( $Y_m$ ), en la formula de Barlow y considerar el mínimo espesor de pared permisible: (0.875 t); quedando entonces que:

$$R_i = \frac{(0.875) (2Y_m t)}{d_e}$$

simplificando:  $R_i = \frac{1.75 Y_m t}{d_e} \text{ --- (1.2)}$

Donde:

$R_i$  = Resistencia a la presión interna (lb/pg<sup>2</sup>)

$Y_m$  = Esfuerzo mínimo de cedencia (lb/pg<sup>2</sup>)

t = Espesor de la tubería (pg)

$d_e$  = diámetro exterior (pg)

Al establecer los parámetros de diseño, las cargas de presión interna deben ser consideradas en primer término. Al efectuar el diseño se debe considerar la máxima presión interna dentro del pozo, que será igual o mayor a la generada por el fluido de perforación usado para perforar la zona productora. Esta presión se manifestará en la superficie si el pozo es productor de gas. La formula para obtener esta presión es:

$$P_s = \frac{P_b}{e^{0.000034 \cdot G \cdot D}} \quad \text{--- Ec. (1.3)}$$

Donde:

$P_s$  = presión de superficie, (lb/pg<sup>2</sup>)

$P_b$  = presión de fondo, (lb/pg<sup>2</sup>)

$G$  = densidad relativa del gas metano = 0.55 (aire =1)

$D$  = profundidad, (pies)

Algunas veces el diseño se basa en las presiones que se registraron en la cabeza del pozo al cerrarlo o bien durante una prueba de admisión. Por lo general, la tubería requerida para resistir la tensión y el colapso, igualmente lo serán para soportar las cargas de presión interna normales.

Una vez determinado el requerimiento de presión interna, por cualquier método, que se quiera, la presión diferencial en cualquier punto de la sarta debe de multiplicarse por el factor de diseño del punto de cedencia interno.

Todos los grados y pesos de revestimiento que tiene presiones de cedencia interna menores que este valor calculado, se puede considerar eliminados para el diseño.

Además, donde lo amerite, debido a las presiones esperadas, el revestimiento debe satisfacer la prueba hidrostática API opcional. Si el revestimiento sale defectuoso, es mejor que falle - antes de colocarlo en el pozo; en lugar de que lo haga ya instalado y con el pozo operando.

Una operación en el campo que puede reducir en forma drástica - la resistencia a la ruptura, es la del apriete. Las marcas que dejan las llaves puede reducir considerablemente la resistencia a la ruptura. Las ranuras hechas con los dados de las llaves, - en combinación con marcas cinceladas pueden tener resultados - desastrosos. La resistencia a la ruptura por presión interna - puede verse reducida hasta en un 70% por marcas con una profundidad del 15% al 17% del espesor de la pared y fuera de redondez de un 3% al 4%.

Se han llevado a cabo pruebas en compañías productoras de tuberías que confirman estos resultados.

#### 1.4.- ESFUERZO A LA PRESION EXTERNA (COLAPSO)

La capacidad de la tuberfa de revestimiento par soportar presión externa sin experimentar falla alguna es llamada resistencia al colapso.

La resistencia del colapso depende de:

- a. Las características del acero.
- b. La tensión o compresión axial a que está sujeta la tuberfa
- c. La relación existente entre el diámetro de la tuberfa y su espesor.

La condición más severa, usada comúnmente para efectos de diseño, se presenta en la figura 1.1. Esto corresponde a un pozo - "vacío", presión cero en la cabeza de la tuberfa de revestimiento y una columna de lodo en el espacio anular.

Esta es la presión externa que la tuberfa puede soportar sin ceder, sin embargo, si sometemos a la tuberfa a una carga de tensión mientras aplicamos presión externa, el valor de resistencia se reduce.

En la figura 1.2 se observa que el "estiramiento" de la tuberfa reducirá su capacidad de resistir presión externa.

La carga en un solo eje se denomina uniaxial, por lo tanto la combinación de dos cargas en diferentes ejes es llamada biaxial o también es conocida como carga por tensión axial.

La reducción de resistencia a la presión de colapso debida a la tensión axial se calcula mediante la expresión:

$$P_{ca} = P_c \left[ 1 - 0.75 \left[ \frac{S_a}{Y_m} \right]^2 \right]^{0.5} - 0.5 \left[ \frac{S_a}{Y_m} \right] P_c \quad (1.5)$$

Donde:

$P_{ca}$  = presión de colapso corregido por efecto de carga axial  
( $lb/pg^2$ )

$P_c$  = Presión de colapso ( $lb/pg^2$ )

$S_a$  = Carga por tensión axial (lb)

$Y_m$  = Punto de cedencia mínimo de la tubería ( $lb/pg^2$ )

Esta ecuación se basa en la energía de esfuerzo máximo de la teoría expuesta por Hecky - Von Mises.

De manera general, la presión externa a que es sometida una tubería, no necesariamente debe ocasionar un aplastamiento o rompimiento de esta, para estar en la zona de falla.

El colapso en función de su magnitud se clasifica en:

Colapso elástico.

Se considera a aquella presión ejercida sobre el tubo, que no llega a ocasionar una deformación permanente.

Colapso plástico.

Este tipo de colapso ocasiona a la tubería una deformación permanente (no recobra su forma original).

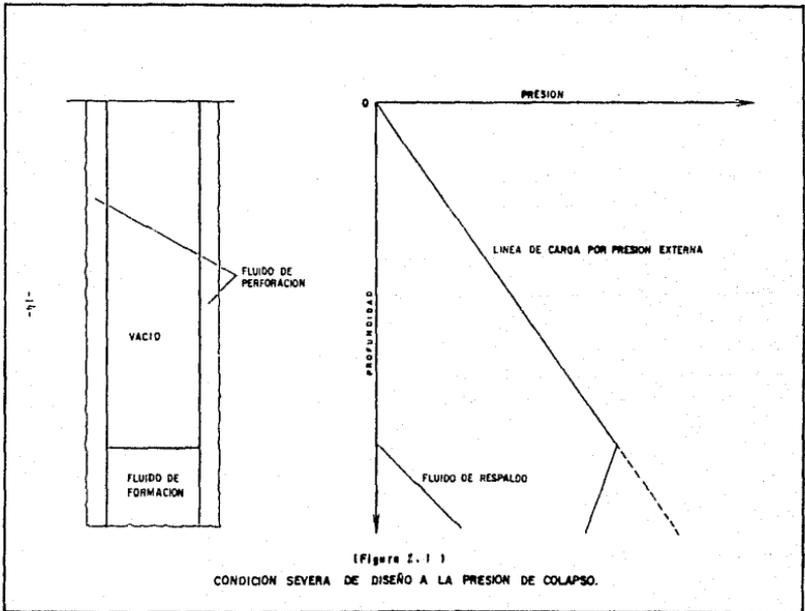
Colapso de transición.

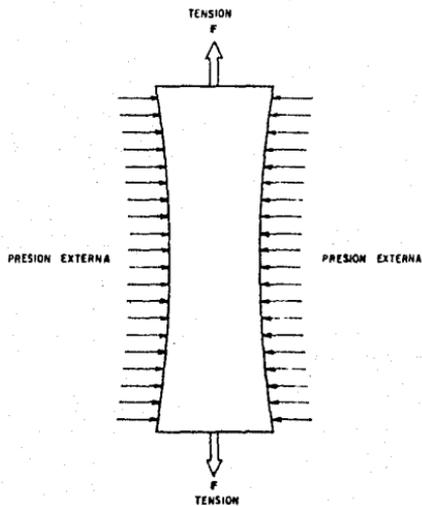
Es la zona existente entre el colapso elástico y plástico.

Ultimo esfuerzo de colapso.

Es aquel esfuerzo que llega a ocasionar un aplastamiento permanente de la tubería, hasta llegar a ocasionar la ruptura.

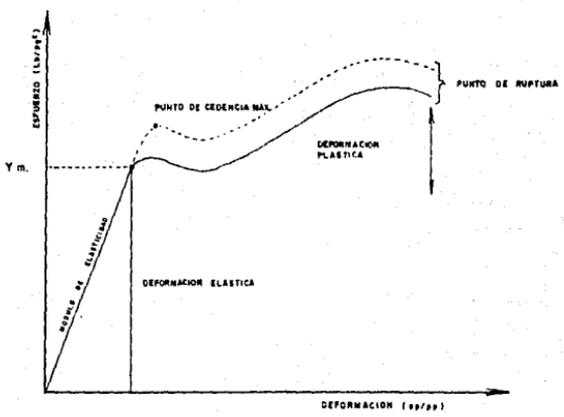
Una manera un poco más clara de diferenciar estos tipos de colapso se observa en la figura 1.3





( Figura I. 2 )

EFFECTO DE LA CARGA DE TENSION EN UNA TUBERIA SOMETIDA A PRESION EXTERNA



ESFUERZO = DEFORMACION x MÓDULO DE ELASTICIDAD  
ALARGAMIENTO = DEFORMACION x LARGO

( Fig. 1.3 )  
TIPOS DE COLAPSO

## 1.5.- ESFUERZO A LA TENSION

En cierto punto de la sarta de tuberías de revestimiento, el colapso deja de ser el factor importante de control en el diseño y la tensión toma ese lugar. El efecto de la tensión axial presenta dos aspectos, primero tiende a causar falla en la tubería de revestimiento por efecto de deformación longitudinal y segundo la resistencia al colapso de la tubería de revestimiento es reducida.

Existen diferentes cargas de tensión que actúan sobre la tubería de revestimiento:

- 1.- El peso propio de la tubería desde la conexión superficial; a este se debe restar el efecto de flotación propiciado por el fluido, en el cual la sarta está sumergida.

Como condición crítica se considera que la sarta está suspendida en el aire.

- 2.- Las cargas de impacto ocasionadas durante la introducción de la sarta.

Esto provoca impulsos que se agregan a la carga de tensión. El cálculo de estas cargas no es fácil ya que es una función de la velocidad y la carga de la sección que se desliza; muchas veces este esfuerzo no se cuantifica, pero debe considerarse al diseñar una sarta de tubería de revestimiento.

- 3.- Cargas debidas a la fricción de la tubería con las paredes y el contorno del pozo.
- 4.- Cambios de temperatura, después de cementar la tubería. El cambio de temperatura aumenta el esfuerzo de tensión a razón de 207 lb por  $^{\circ}\text{F}$  de caída de temperatura.

- 5.- La elevada presión del fluido dentro de la tubería de revestimiento expande y reduce la longitud de la sección aumentando con esto la carga de tensión.
- 6.- Cargas de pandeo o flexión de la tubería de revestimiento.

La mayoría de las situaciones mencionadas son difíciles de evaluar, es por ello que al efectuar un diseño se considera la situación más crítica, que es la tubería colgando libremente y se toma un factor de diseño elevado.

Según las normas API, la tubería en general; es más fuerte que la conexión, por lo cual las consideraciones sobre la tensión en el diseño de una sarta de tubería de revestimiento depende mucho de la resistencia de la conexión. De aquí se deriva el extensivo uso de las conexiones VAM Y HYDRILL en pozos profundos, ya que su resistencia a la tensión iguala a la del tubo.

## II .- METODO DE DISEÑO POR CARGA MAXIMA.

### II.1. GENERALIDADES.

El objetivo principal de un diseño consiste en seleccionar la tubería por grado, peso y junta la cual sea la más económica y que además resista sin fallar para los esfuerzos a que estará sometida, y aunque el diseñador se vea restringido a la existencia local o de mercado no significa que - tenga que sacrificar los objetivos de profundidad, seguridad y economía.

El procedimiento de diseño de tuberías de revestimiento, empleando el concepto de carga máxima, a diferencia de los métodos tradicionales, considera:

- a) Las condiciones de un brote
- b) Pérdidas de circulación
- c) Una carga de respaldo.

Por supuesto también toma en cuenta los esfuerzos biaxiales y factores de diseño. Se infiere que una tubería de explotación está expuesta a cargas diferentes a las que se exponen las tuberías superficiales e intermedias; por lo que el diseño de cada una difiere en las cargas a considerar.

## II.2.- FACTORES DE DISEÑO.

La resistencia al colapso, la presión interna y el esfuerzo mínimo del cuerpo y la junta, indican los máximos esfuerzos permitidos a los que la tubería de revestimiento puede estar sujeta sin falla.

Rara vez es deseable exponer cualquier material al máximo es fuerzo permisible. Esto tiene vital importancia en las tuberías de revestimiento, dado que las propiedades de cualquier tramo de tubería en particular puede desviarse considerablemente del promedio estadístico y por tanto ocasionar fallas en ese tramo. Para tratar de evitar esto se introduce el con cepto de "factor de seguridad", el cual es la relación del - máximo esfuerzo permisible entre el esfuerzo de trabajo real.

Este factor de seguridad es más comúnmente conocido como "fac tor de diseño". La selección de factores de diseño para cualquier problema de ingeniería es gobernado ampliamente por cuatro consideraciones básicas, estas son:

- 1.- La confiabilidad y exactitud de los datos de esfuerzos - usados para diseñar.
- 2.- El grado de similitud entre las condiciones de servicio y las condiciones de prueba usadas para determinar los datos de esfuerzos.

Si el servicio y las condiciones de prueba imponen el mis mo tipo de carga (aceleración, impacto, fatiga, etc.) el factor de diseño puede reducirse tanto como el criterio del diseñador lo desee.

- 3.- La confiabilidad y exactitud de carga supuestas para el di seño. Si la carga supuesta se aproxima a la de servicio el factor de diseño podrá reducirse tanto como el diseño lo - requiera.

- 4.- Las consecuencias de fallas, por descuido del personal, motiva a utilizar factores de diseño elevados.

En 1955 el API, reportó los resultados de una investigación de factores de diseño aplicados en programas de tuberías de revestimiento. Del análisis efectuado por 38 compañías, aportaron los siguientes resultados:

- 1.- Los factores de diseño para colapso varían de 1.0 a 1.5, un factor de diseño de 1.125 fue usado en el 68% de las tuberías reportadas.
- 2.- Los factores de diseño a presión interna fluctúan entre 1 y 1.75 teniendo el mayor índice de 1.1 usado en el 32% de las tuberías de revestimiento reportadas.
- 3.- Los factores de diseño por tensión varían de 1.5 a 2.0 el factor de 1.6 se usó en el 29% de los casos, 1.75 en el 22% 1.8 en el 25% y 2 en el 24%, siendo estos los más usados. En esta parte se indica que la mitad de las pruebas usaron el mismo factor de diseño a la tensión en el cuerpo de la tubería y en la junta. En la otra mitad el factor de diseño a la falla en el cuerpo fue generalmente algo menor que en la junta.

De acuerdo con esta información, se concluye que:

FACTORES DE DISEÑO	RANGO	VALOR MAS USADO
Colapso	1.0 - 1.5	1.125
Presión Interna	1.0 - 1.75	1.1
Tensión	1.5 - 2.0	1.8

### II.3.- PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO

Una tubería de explotación, en la vida productora del pozo, se somete a esfuerzos durante fracturamientos hidráulicos, acidificaciones y recementaciones, entre otras operaciones.

A continuación se presenta el procedimiento para diseñar una sarta de tuberías intermedia.

#### DISEÑO POR PRESION INTERNA.

Se determinan los valores límite de presión interna a que estará expuesta la tubería, tanto en superficie como en el fondo del pozo.

El valor de presión interna de superficie es arbitrario y generalmente es la presión de trabajo del equipo instalado, normalmente  $5,000 \text{ lb/pulg.}^2$ , y  $10,000.0 \text{ lbs/pulg.}^2$ .

La presión interna, en el fondo del pozo, se estima con el gradiente de fractura de la formación más un factor de seguridad (1 lb/galón). A la presión interna en el fondo del pozo se le conoce como presión de inyección.

Con los puntos determinados, en el fondo y superficie, la carga máxima por presión interna queda definida.

La carga máxima ocurre cuando los puntos extremos son satisfechos simultáneamente, esta carga se presenta sólo bajo condiciones de un brote, una característica del brote es la existencia de más de un fluido en el pozo. Si consideramos dos fluidos (gas y fluido de perforación), existen dos posibilidades en cuanto a la ubicación del pozo.

Si el gas es considerado en la cima, su interpretación gráfica sería como se muestra con la línea A de la figura II.1, si se invierte la posición de los fluidos quedarían como se muestra con la línea B, de la misma figura. Es evidente que la carga - ejercida por la línea B, es mayor que la ejercida por la línea A, por lo tanto, la configuración definida por la línea B, (el peso del fluido de perforación en la cima y gas en el fondo) - constituye la línea de carga máxima por presión interna. Para determinar la longitud de las columnas de lodo y gas, se usan:

$$L = X_l + Y_g \dots \dots \dots \text{II.1}$$

$$PI = P_s + X_l G_l + Y_g G_g \dots \dots \dots \text{II.2}$$

$$PI = 0.052 (GF + FS) L \dots \dots \dots \text{II.3}$$

Con la solución simultánea de estas ecuaciones, la longitud - de las respectivas columnas de fluidos pueden ser conocidas, así como la línea de carga máxima por presión interna, ésta - quedaría como se ilustra en la figura II.2, inciso 1.

Conocida la línea de carga máxima por presión interna, es posible conocer la presión de ruptura a cualquier profundidad, auxiliándonos de la representación gráfica. El diseño por carga máxima considera que detrás de la T.R., existe un fluido de respaldo, equivalente a una columna de fluido de la formación; cuyo gradiente se estima en 0.465 lb/pulg<sup>2</sup>/pie.

La línea de esta resistencia a la ruptura o carga de respaldo se muestra en la figura II.2, inciso 2 la resta de la línea - de carga máxima por presión interna menos la línea de respaldo, da como resultado la carga real de presión o también llamada línea resultante de carga por presión interna, con la cual podemos conocer la carga real de presión para cualquier profundidad.

El factor de seguridad 1.1, será aplicado a la línea resultante, para obtener la línea de diseño. La representación gráfica toma la forma mostrada en la figura II.2, inciso 4.

Si el diseñador considera que el factor de diseño no es necesario, entonces la línea resultante será considerada como línea de diseño.

Una vez determinada la línea de diseño, se está en condiciones de seleccionar entre las tuberías disponibles las que tengan especificaciones mayores a las requeridas por la línea de diseño, en -- cuanto a su resistencia a la presión interna.

La resistencia a la presión interna de las tuberías se grafica y su intersección con la línea de diseño determinará la longitud de la sección, este procedimiento se repite hasta alcanzar la profundidad deseada.

De esta manera se efectúa el diseño por presión interna (figura - II.3)

Al finalizar esta parte, el diseñador tendrá los pesos, grados y longitud de sección de las tuberías de revestimiento que satisfagan la carga por presión interna. El diseño queda pendiente de la evaluación de la carga por colapso.

#### DISEÑO POR PRESION EXTERNA.

La carga por colapso para tuberías de revestimiento intermedias, -- es impuesta por el fluido que se encuentra en el espacio anular y se considera el lodo más pesado en la perforación del pozo.

El perfil de presiones que genera la columna de lodo se grafica -- como se muestra en la figura II.4 inciso 1.

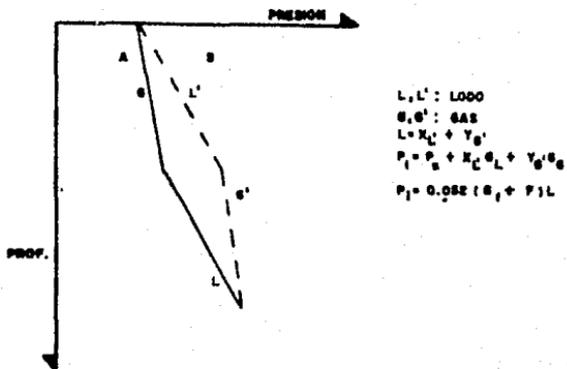


FIGURA. II. 1.- CONDICIONES DE BROTE

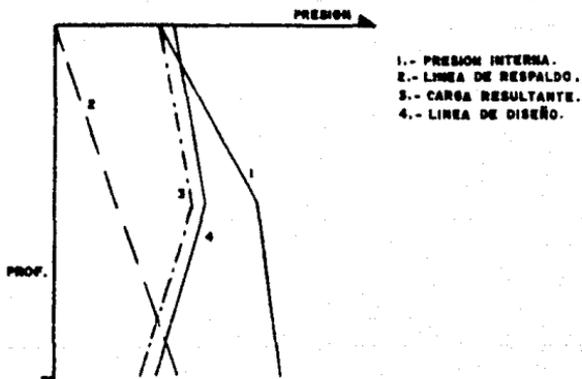


FIGURA. II. 2.- DISEÑO POR PRESION INTERNA .

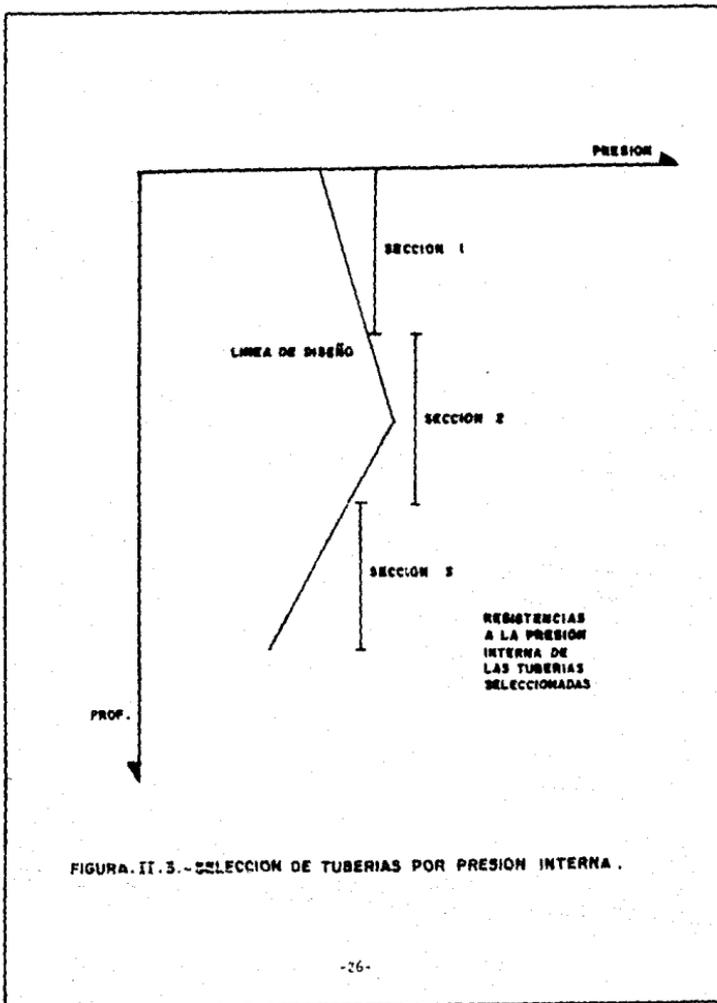


FIGURA II.3.-SELECCION DE TUBERIAS POR PRESION INTERNA .

La carga máxima por colapso ocurrirá cuando el nivel del lodo dentro de la tubería de revestimiento descienda como si ocurriera una pérdida de circulación. De ser así, al nivel de la zapata de la tubería de revestimiento intermedia, la presión hidrostática ejercida por la reducción de la columna de lodo será igual a la presión ejercida por los fluidos de la formación (gradiente de 0.465 lb/pulg/pie.) Este se utilizará para contruir la línea de respaldo y restándola a la línea de carga máxima por colapso, se obtendrá la línea de colapso resultante, como se muestra en la figura II.4, inciso 3.

Aplicando un factor de diseño de 1.125 al colapso resultante. se obtiene la línea de diseño al colapso, figura II.4, inciso 4.

Sobre la representación gráfica de la línea de diseño al colapso, deberá ser graficadas las resistencias al colapso de las tuberías consideradas por presión interna.

Cuando la resistencia al colapso de la tubería cae debajo de la línea de diseño al colapso, la sección deberá ser cambiada por una tubería de grado superior.

Cuando las tuberías satisfacen al colapso, se tendrá un diseño de sarta de tuberías con pesos, grados y longitudes de sección que satisfacen las cargas máximas por presión interna y colapso (figura II.5.)

#### DISEÑO POR TENSION.

Conociendo los pesos, grados y longitudes de sección, según el diseño a presión interna y colapso, la carga por tensión puede ser determinada.

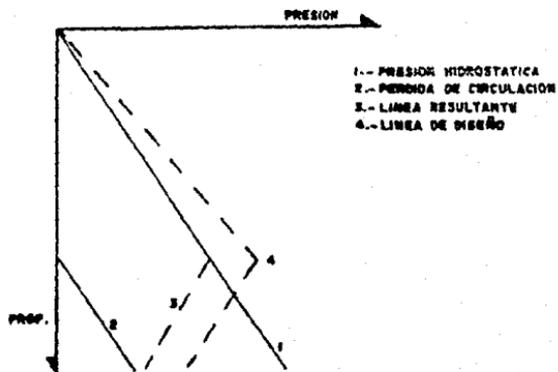


FIGURA. II. 4.- DISEÑO POR PRESION EXTERNA.

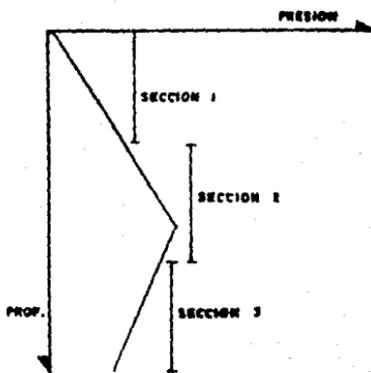


FIGURA. II. 5.- DISEÑO POR PRESION EXTERNA.

El efecto de flotación es omitido en algunos diseños de sargas de tuberías de revestimiento. El efecto de flotación se interpreta como la reducción del peso de la sarga cuando corre en algún líquido, a diferencia cuando corre en el aire, la flotación también se puede expresar como la resultante de fuerzas - que actúan sobre todas las áreas expuestas, orientadas horizontalmente en la sarga de revestimiento. Las fuerzas son consideradas negativas (compresión) si actúan hacia arriba, estas - fuerzas actúan sobre los extremos y hombros de los tubos, como se muestra en la figura II.6

Las fuerzas que actúan sobre el área del hombro son demasiado pequeñas, por lo que son despreciadas en un diseño práctico.

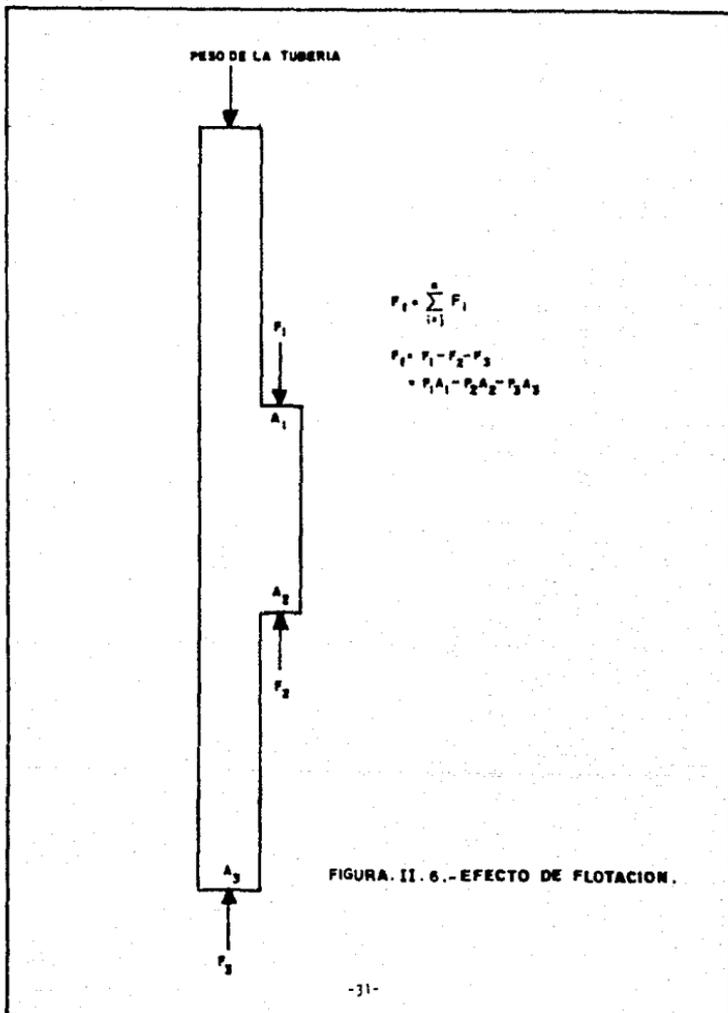
La reducción de la carga observada en el gancho en superficie, es por el efecto de flotación equivalente al peso del volumen del líquido desplazado. Una vez que la magnitud y localización de las fuerzas son determinadas, la línea de carga por tensión es elaborada, figura II.7, inciso 1. Es de tomarse en cuenta que más de una sección de la sarga de tuberías de revestimiento puede ser cargada en compresión.

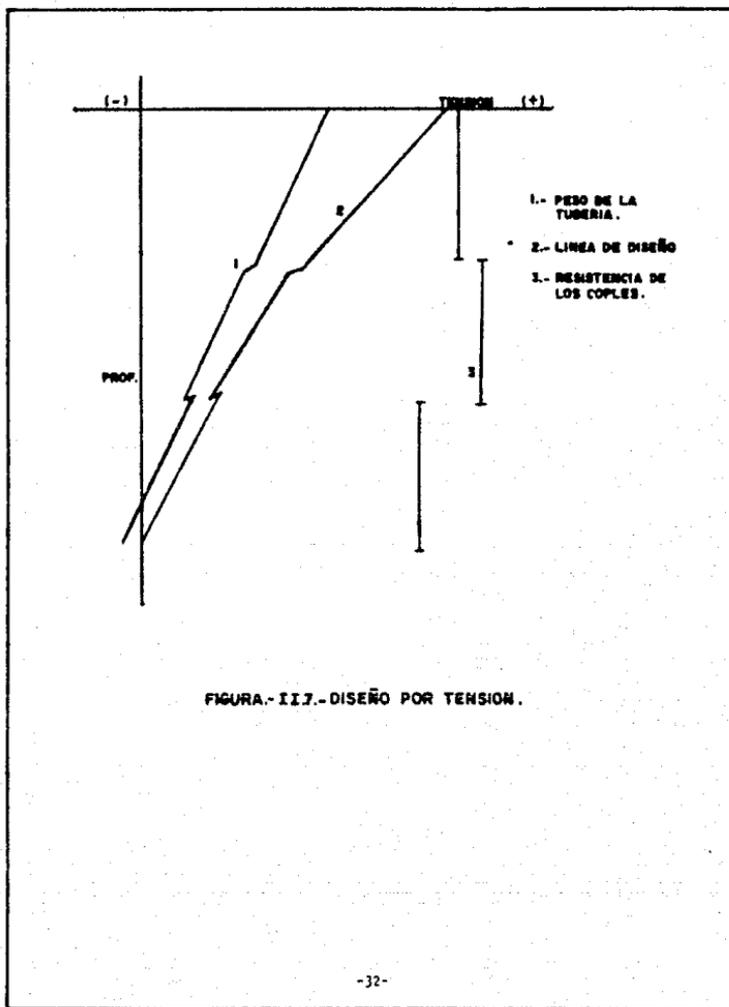
El siguiente paso es obtener la línea de diseño para la tensión el valor recomendado como factor de diseño es 1.8.

Utilizando el factor de diseño, la gráfica queda como se muestra en la figura II.7, inciso 2.

Es la mayor parte de los diseños, la parte más débil de la tubería de revestimiento en tensión es el cople, por lo tanto, la línea de diseño por tensión es usada para determinar el tipo - de cople a usar, figura II.7, inciso 3.

En el cual se indican los coples seleccionados, así como sus resistencias a la tensión.





Al concluir este diseño, la sarta ya ha sido diseñada por presión interna, colapso y tensión, definiéndose los pesos, grados longitudes de sección y tipos de cople. solo resta determinar las reducciones en la resistencia a presión interna y colapso causada por carga biaxial, esta reducción se calcula usando la elipse de Holmquist y Nadai. figura II.8.

Con los valores reducidos conocidos en los extremos de cada sección, una nueva línea de esfuerzos puede ser construida conectando los puntos extremos con una línea recta, y de esta manera, concluye el diseño de la sarta.

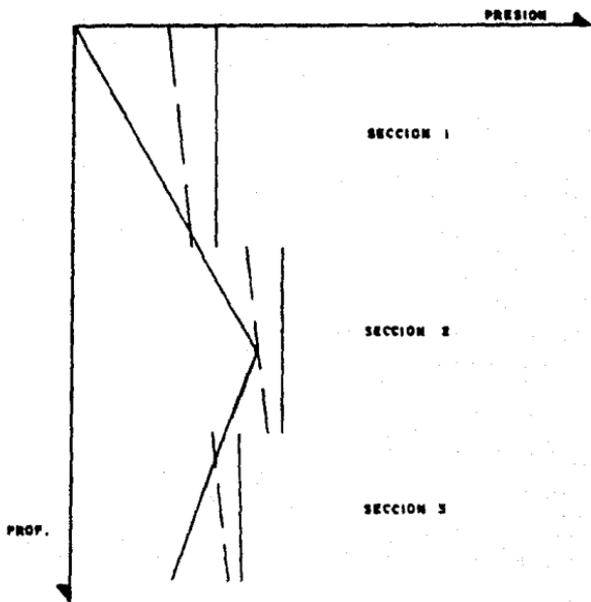


FIGURA. II. B.- CORRECCIONES (---) POR CARGA AXIAL A LAS RESISTENCIAS AL COLAPSO.

El procedimiento antes indicado es usado cuando se trata de una tubería de revestimiento intermedia y dado que el procedimiento presenta variaciones al tratarse de algún otro tipo de tubería de revestimiento, a continuación se mencionan las principales variantes.

#### TUBERIAS DE REVESTIMIENTO SUPERFICIAL.

##### PRESION INTERNA.

Se determina la presión de inyección en la zapata y como respaldo una columna de gas (  $G = 0.115 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$  ) por lo que la presión en superficie será igual a la presión de inyección menos la columna de gas.

##### PRESION DE COLAPSO.

Se utiliza la densidad del lodo para perforar el pozo, sin considerar carga de respaldo.

Los cálculos para tensión y reducción biaxial son como ya fueron mencionados.

#### TUBERIAS DE REVESTIMIENTO DE EXPLOTACION.

##### PRESION INTERNA

Por tratarse de una tubería de explotación, esto involucra varias suposiciones, una de estas es que el fluido de empacamiento es igual en densidad al peso del lodo en el espacio anular, de atrás de la tubería. Otra suposición es que la tubería de revestimiento puede quedar expuesta a la presión del fondo del pozo si la tubería exhibiera alguna rotura. De ser así el gas pasa al espacio anular y la máxima presión interna puede ocurrir con la presión de la formación actuando sobre la presión hidrostática del fluido empacador.

La presión de formación para estos cálculos puede ser determinada a partir de registros de presión o tomando el peso del lodo utilizado en la terminación del pozo. Otro variante es considerar el gradiente de fractura y la presión de inyección para el diseño.

#### PRESION DE COLAPSO.

La carga por colapso es debida a la presión hidrostática del lodo más pesado actuando sobre la sarta, considerando el factor de diseño.

#### TENSION.

Tanto la tensión como la reducción por esfuerzo biaxial no presentan cambios a lo indicado para una sarta intermedia.

Este procedimiento de diseño de tuberías de revestimiento fue presentado de una manera general, se recomienda que cada área deberá ser evaluada para sus condiciones superficiales de carga máxima.

II.4.- DISEÑO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO PARA UN POZO DEL DTO.  
EL PLAN VER.

A continuación se presenta un ejemplo utilizando el método de carga máxima.

Se trata de una tubería intermedia de 13-3/8'' para el pozo Chaya No. 1 actualmente en perforación y próximo a cementarse.

Los datos fueron obtenidos del Departamento de Ingeniería Petrolera.

DISEÑO T.R. 13-3/8'' ; POZO CHAYA No. 1

Diámetro de la T.R. - - - - - 13-3/8pg.  
Profund. de la zapata. - - - - - 9840 pies; 3000 m  
Densidad del lodo - - - - - 13.3 lb/gal; 1.6 gr/cc  
Diámetro de la sigte. Bna. - - - - - 12 pg  
Profund. de la Sigte. Etapa- - - - - 14 924 pies; 4550 m  
Dens. del lodo de la sigte. etapa- - - - - 15.4 lb/gal; 1.85 gr/cc  
Gradiente del fluido de respaldo - - - - - 0.465 lb/pg<sup>2</sup>/pie  
\*Gradiente de fractura en la zapata. - - - 0.899 lb/pg<sup>2</sup>/pie  
Gradiente del gas. - - - - - 0.115 lb/pg<sup>2</sup>/pie.  
Factor de diseño a la P.I. - - - - - 1.125  
Factor de diseño a la P.C. - - - - - 1.125  
Factor de diseño a la tensión. - - - - - 1.8  
Presión superficial ----- 5000 lb/pg<sup>2</sup>

DISEÑO A LA PRESION INTERNA.

$$\begin{aligned}PI &= 0.052 (GF + FS) L \\ &= 0.052 (17.3+ 1) 9840 \\PI &= 9364.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

\* El gradiente de fractura fue calculado con la correlación de -  
Matthews y Kelly.

Una vez calculada la presión de inyección estamos en condiciones de calcular las alturas de las columnas de lodo y gas (considerando el caso más crítico).

$$PI = Ps + (L - Y_g) G_{1e} + Y_g G_g$$

$$PI = Ps + L G_{1e} + Y_g (G_g - G_{1e})$$

$$Y_g = \frac{PI - PS - L * G_{1e}}{G_g - G_{1e}}$$

Entonces:

$$Y_g = \frac{9364.0 - 5000.0 - 9840.0 (15.41(0.052))}{0.115 - (15.41 (0.052))}$$

$$Y_g = \frac{-3524.4}{-0.6866} \quad Y_g = 5133.0 \text{ pies (1565.0 m)}$$

Por lo tanto, la profundidad de la columna de lodo será:

$$X_l = L - Y_g$$

$$= 9840.0 - 5133.0$$

$$X_l = 4707.0 \text{ pies (1435.0 m)}$$

La presión ejercida por la columna de lodo a 4707.0 pies es:

$$P_x = Ps + X_l * G_l$$

$$= 5000.0 + 4707.0 (13.33) (0.052)$$

$$P_x = 8255.0 \text{ lb/pg}^2$$

Considerando la carga de respaldo, igual a una columna de fluido de gradiente 0.465 lb/pg<sup>2</sup>/pie, la presión que ejerce esta columna en el fondo es:

$$P_{fr} = G_s * L$$

$$= 0.465 (9848.0)$$

$$P_{fr} = 4575.0 \text{ lb/pg}^2$$

A la profundidad de 4707.0 pies el fluido de respaldo ejerce una presión de:

$$\begin{aligned}P_{xr} &= X1 * G_s \\ &= 4707.0 (0.465) \\ P_{xr} &= 2189.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

Restando de la línea de carga máxima la línea de respaldo, se obtiene la línea resultante, que se obtiene de la siguiente manera: En superficie.

$$\begin{aligned}P_{rs} &= P_s \\ &= 5000.0 \text{ lb/pg}^2 \text{ (considerando la resistencia de las conexio-} \\ P_{rs} &= 5000.0 \text{ lb/pg}^2 \text{ nes sups.)}\end{aligned}$$

A 4707.0 pies:

$$\begin{aligned}P_{rx} &= P_x - P_{xr} \\ &= 8255.0 - 2189.0 \\ P_{rx} &= 6066.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

A la profundidad total:

$$\begin{aligned}P_{rf} &= P_i - P_{fr} \\ &= 9364.0 - 4575.0 \\ P_{rf} &= 4789.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

Finalmente se obtiene la línea de diseño, aplicando un factor de 1.125 se tiene:

$$\begin{aligned}P_{ds} &= P_{rs} F_i & P_{dx} &= P_{rx} F_i \\ &= 5000.0 (1.125) & &= 6066 (1.125) \\ P_{ds} &= 5625.0 \text{ lb/pg}^2 & P_{dx} &= 6824.0 \text{ lb/pg}^2 \\ & & P_{df} &= P_{rf} F_i \\ & & &= 4789.0 (1.125) \\ & & P_{df} &= 5387.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

Con estos puntos se construye la gráfica de la fig. II. 4.1

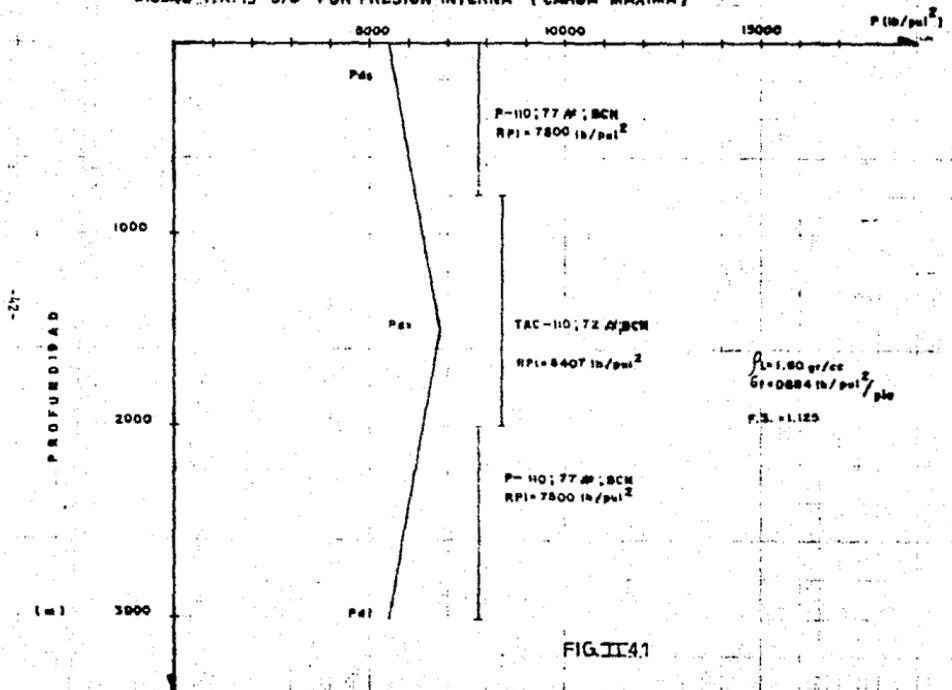
Se seleccionan las tuberías a utilizar, partiendo de la presión máxima interna de diseño, de acuerdo con esto se tiene un diseño preliminar en la fig. II.4.1., se muestran las tuberías seleccionadas y la longitud de cada sección.

#### TUBERIAS SELECCIONADAS

GRADO	PESO (lb/pie)	RESIST <sub>2</sub> (lb/pg <sup>2</sup> )	P. I.	INTERVALO (m)	LONGITUD (m)
P-110	77	7820		0.0 -800.0	800.0
TAC-110	72	8407		800.0 -2000.0	1200.0
P-110	77	7820		2000.0-3000.0	1000.0

POZO CHAYA No. 1

DISEÑO T.R. 15-3/8" POR PRESION INTERNA (CARGA MAXIMA)



POZO: CHAYA No. 1

DISENO T.R. 13-5/8" POR PRESION INTERNA (CARGA MAXIMA)

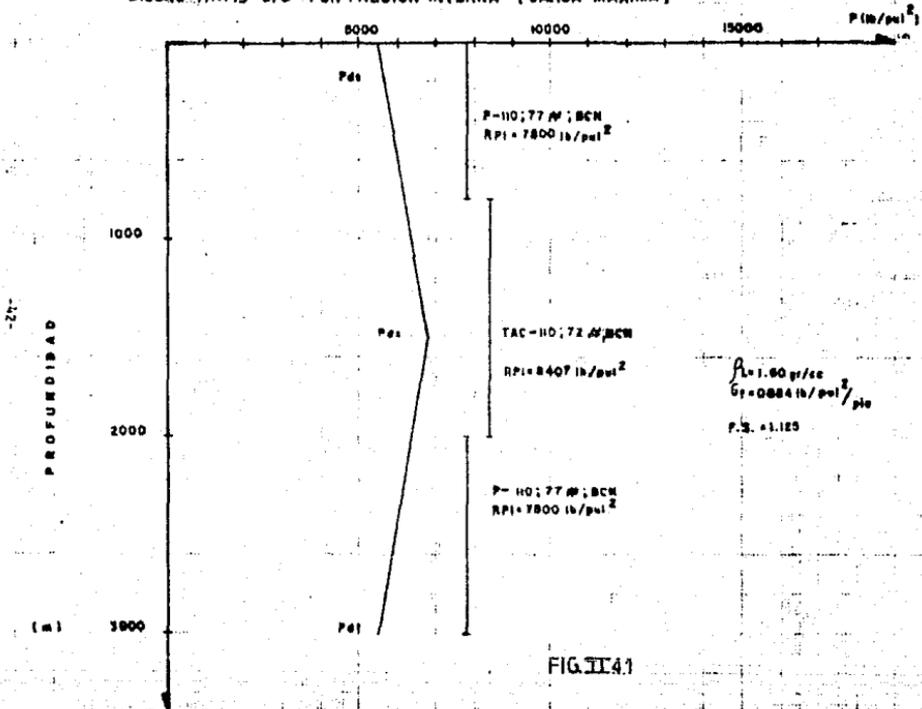


FIG. II.4.1

### DISEÑO A LA PRESION EXTERNA (COLAPSO)

Para el diseño por colapso, la línea de carga máxima partirá de -  
cero en la superficie y en el fondo será:

$$\begin{aligned}P_c &= L G_1 \\ &= 9840.0 (0.691) \\ P_c &= 6805.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

La carga máxima por colapso ocurrirá cuando el nivel del lodo --  
descienda como si ocurriera una pérdida de circulación, se calcu-  
la la longitud de la columna de lodo que soporta la formación, -  
tomando el gradiente del lodo de mayor densidad por usar, enton-  
ces:

$$P_e = L_p G_{1e}$$

En la que  $P_e$  es la presión en el fondo considerando una columna -  
de fluido que aporta la formación ( $G_s = 0.465 \text{ lb/pg}^2/\text{pie}$ ) que es:

$$\begin{aligned}P_e &= L G_s \\ &= 9840.0 (0.465) \\ P_e &= 4575.0 \text{ lb/pg}^2\end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$L_p = \frac{P_e}{G_{1e}} = \frac{4575.0}{0.800}$$

$$L_p = 5713.0 \text{ pies.}$$

La profundidad a que se encuentra el fluido de perforación de la  
siguiente etapa es:

$$X_e = L - L_p = 9840.0 - 5713.0 \quad X_e = 4129.0 \text{ pies.}$$

Hecho esto se está en condiciones de encontrar la carga resultan-  
te que se obtiene mediante la diferencia de la carga máxima menos  
la de respaldo:

$$\begin{aligned}P_{cm} &= X_e * G & P_{cf} &= P_c - P_e \\ &= 4129.0 (0.691) & &= 6805.0 - 4575.0\end{aligned}$$

$$P_{cm} = 2853.0 \text{ lb/pg}^2$$

$$P_{cf} = 2230.0 \text{ lb/pg}^2$$

La línea de diseño se obtiene aplicando el factor de diseño al colapso, a la línea resultante:

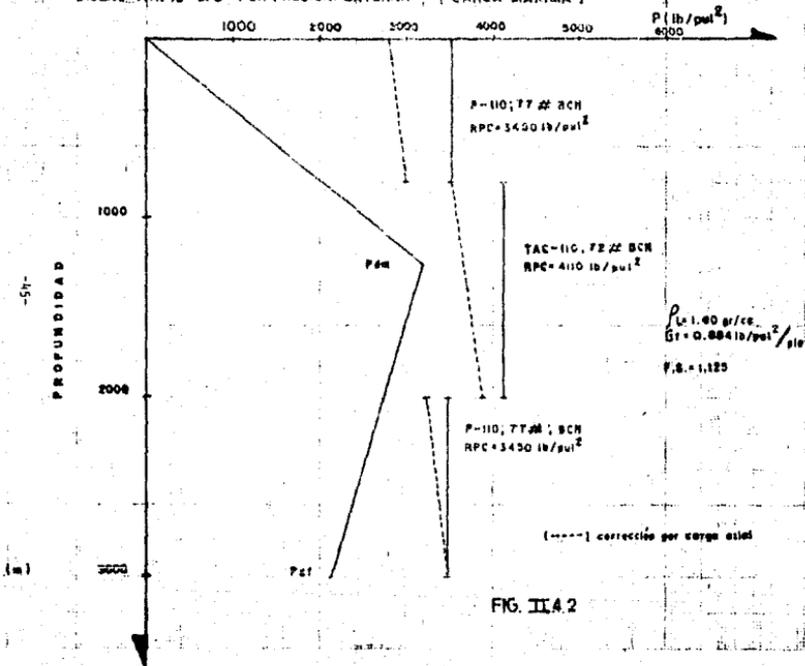
$$\begin{aligned} P_{dm} &= P_{cm} F_c \\ &= 2853.0 (1.125) \\ P_{dm} &= 3210.0 \text{ lb/pg}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{df} &= P_{cf} F_c \\ &= 2230.0 (1.125) \\ P_{df} &= 2509.0 \text{ lb/pg}^2 \end{aligned}$$

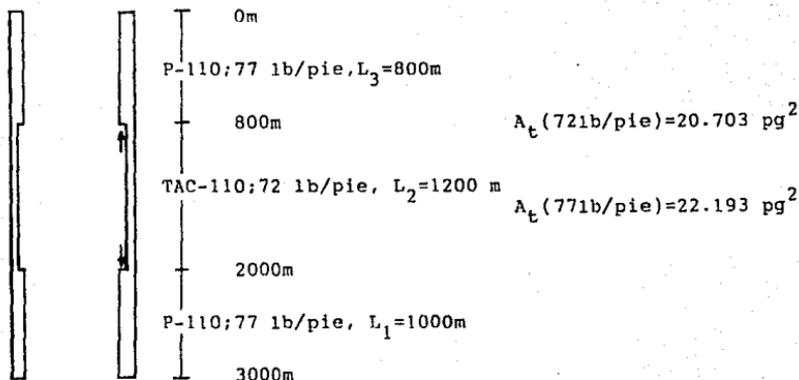
Con los puntos anteriores se obtiene la línea de diseño, que se muestra en la fig. II.4.2 y se trazan las resistencias al colapso de las tuberías que fueron seleccionadas a presión interna, a la profundidad ya indicada.

POZO: CHAYA No. 1

DISEÑO T.R. 13-3/8" POR PRESION EXTERNA (CARGA MAXIMA)



## DISEÑO A LA TENSION



En el fondo la tubería se encuentra comprimida:

$$T = G_1 * L * A_1$$

$$= 0.693 (9840)(22.193)$$

$$T = -151,337 \text{ lb}$$

El peso de la P-110; 77 lb/pie es:

$$W_1 = L_1 \text{ Pu}$$

$$= 3280 (77)$$

$$W_1 = 252 \text{ 560 lb}$$

La tensión en el extremo superior de la P-110; 77 lb/pie es:

$$T_1 = W_1 + T = 252 \text{ 560} + (-151337)$$

$$T_1 = 101 \text{ 223 lb}$$

La siguiente tubería TAC-110; 72 lb/pie, tiene área diferente a la P-110; 77 lb/pie por lo que se presenta un efecto de tensión:

$$T_{ci} = Ls * G_1 * (A_1 - A_2)$$

$$= 6560 (0.693) (22.193 - 20.703)$$

$$T_{c1} = 6773 \text{ lb/pg}^2$$

La tensión en la parte inferior de la TAC-110; 72 lb/pie es:

$$T'_1 = T_1 + T_{c1} = 101\,223 + 6773$$

$$T'_1 = 107\,996 \text{ lb}$$

El peso de la TAC - 110; 72 lb/pie es:

$$W_2 = L_2 Pu$$

$$= 3936 (72)$$

$$W_2 = 283\,392 \text{ lb}$$

La tensión en la parte superior de la TAC-110; 72 lb/pie es:

$$T_2 = W_2 + T'_1$$

$$= 283\,392 + 107996$$

$$T_2 = 391\,388 \text{ lb}$$

En la siguiente sección existe un cambio de área por lo que se tiene un efecto de compresión (flotación):

$$T_{c2} = L_s G_1 (A_2 - A_1)$$

$$= 2624 (0.693) (20.703 - 22.193) \quad T_{c2} = -2710 \text{ lb}$$

La tensión en la parte inferior de la P-110; 77 lb/pie a 2624 pies es:

$$T'_2 = T_2 + T_{c2}$$

$$= 391\,388 + (-2710)$$

$$T'_2 = 388\,678 \text{ lb}$$

El peso de la tercera sección P-110; 77 lb/pie es:

$$W_3 = L_3 Pu$$

$$= 2624 (77)$$

$$W_3 = 202048 \text{ lb}$$

Finalmente el peso total de la sarta será:

$$\begin{aligned}
 W_t &= W_3 + T'_2 \\
 &= 202048 + 388678 \\
 W_t &= 590\,726 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

A los resultados obtenidos se les aplica el factor de seguridad a la tensión (1.8) y al margen de 100 000 lb obteniendo los resultados siguientes:

En el fondo:

$$\begin{aligned}
 Td_1 &= T * F_t \\
 Td_1 &= -151\,337 (1.8) \\
 Td_1 &= -272406 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

con márgen:

$$\begin{aligned}
 Td_1 &= T + 100\,000 \\
 Td_1 &= -151337 + 100\,000 \\
 Td_1 &= -51337 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

A 6560 pies (2000 m):

$$\begin{aligned}
 Td_1 &= T_1 * F_t \\
 &= 101,223 (1.8) \\
 Td_1 &= 182,201 \text{ lb} \\
 Td'_1 &= T'_1 * F_t \\
 &= 107,996 (1.8) \\
 Td'_1 &= 194,393 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Td_1 &= T_1 + 100\,000 \\
 &= 101,223 + 100\,000 \\
 Td_1 &= 201,223 \text{ lb} \\
 Td'_1 &= T'_1 + 100\,000 \\
 &+ 107,996 + 100\,000 \\
 Td'_1 &= 207,996 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

A 2624 pies (800 m):

$$\begin{aligned}
 Td_2 &= T_2 * F_t \\
 &= 391,388 (1.8) \\
 Td_2 &= 704,499 \text{ lb} \\
 Td'_2 &= T'_2 * F_t \\
 &= 388,678 (1.8) \\
 Td'_2 &= 699,620 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Td_2 &= T_2 + 100,000 \\
 &= 391,388 + 100\,000 \\
 Td_2 &= 491,388 \text{ lb} \\
 Td'_2 &= T'_2 + 100\,000 \\
 &= 388,678 \\
 Td'_2 &= 488,678 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

En superficie:

$$\begin{aligned}
 T_{dt} &= T_t * F_t \\
 &= 590,726 (1.8) \\
 T_{dt} &= 1\,063,307 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{dt} &= T_t + 100\,000 \\
 &= 590,726 + 100\,000 \\
 T_{dt} &= 690,726 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Tomando en cuenta las condiciones más críticas entonces:

$$Td_1 = - 51\ 337\ lb$$

$$Td_1 = 201\ 223\ lb$$

$$Td_1 = 207\ 996\ lb$$

$$Td_2 = 704\ 499\ lb$$

$$Td'_2 = 699\ 620\ lb$$

$$Td_t = 1\ 063\ 307\ lb$$

De esta forma se construye la línea de diseño que se muestra en -  
la fig. II.4.3

Las tuberías seleccionadas existen con los siguientes coples:

#### RESISTENCIA EN COPLES.

GRADO	PESO (lb/pie)	COPLE LARGO Rosca redonda	COPLE NORMAL Rosca Buttress	HYDRIL TS	V A M Redonda
P-110	77		2 450 000		
TAC	72	1 835 000	2 420 000		
P-110	77		2 450 000		

De acuerdo con estos datos, los coples seleccionados y el diseño final se muestran en la fig. II.4.3.

Del diseño solo resta efectuar las correcciones por efecto de carga axial que afecta la resistencia al colapso y presión interna, - esto se hace aplicando la ecuación de la elipse de Holmquist y Nadaí, en que:

$$X^2 + Xy + y^2 = 1 \text{ ----- II.4.1}$$

Donde:

$$X = \frac{Ls \ Pu}{YmAs} \text{ ----- II.4.2}$$

$$Y = (1 - 0.75X^2)^{0.5} - 0.5X \text{ ----- II.4.3}$$

POZO CHAYA No. 1

DISEÑO T.R. 13-3/8" POR TENSION (CARGA MAXIMA)

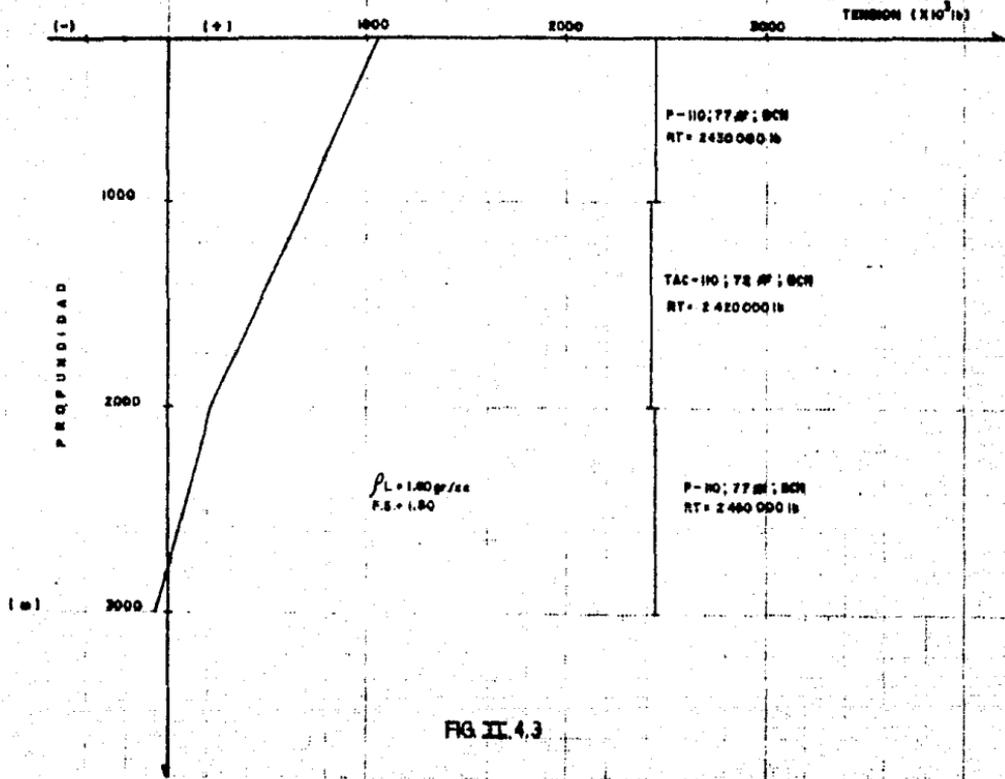


FIG. II. 4.3

La representación gráfica de esta ecuación se muestra en la -  
fig. II 4.4 una vez obtenido el valor de Y se afecta la resis-  
tencia a presión interna y colapso:

$$P_{ic} = Y R_i$$

$$P_{cc} = Y R_c$$

Y se procede a determinar la longitud de la sección si sufre modi-  
ficación se corrige esta longitud.

Por lo tanto la corrección al colapso será:

Para la P-110; 77 lb/pie a 6560 pies (2000 m):

$$X = \frac{3280 (77)}{110000(22.193)} \quad x = 0.103$$

$$Y = (1 - 0.75 (0.103)^2)^{0.5} - 0.5 (0.103)$$

$$Y = 0.944$$

$$P_{cc} = Y R_c$$

$$P_{cc} = 3258 \text{ lb/pg}^2$$

$$= 0.944(3450)$$

Para la TAC-110; 72 lb/pie a 6560 pies (2000 m):

$$X = \frac{3280 (77)}{110000(20.703)} \quad X = 0.111$$

$$Y = (1 - 0.75(0.111)^2)^{0.5} - 0.5 (0.111) \quad Y = 0.939$$

$$P_{cc} = Y R_c$$

$$P_{cc} = 3863 \text{ lb/pg}^2$$

A 2624 pies (800 m) :

$$X = \frac{3280 (77) + 3936 (72)}{20.703 (110000)} \quad X = 0.235$$

$$Y = (1 - 0.75(0.235)^2)^{0.5} - 0.5(0.235) \quad Y = 0.861$$

$$P_{cc} = 0.861 (4110)$$

$$P_{cc} = 3539 \text{ lb/pg}^2$$

Para la P-110; 77 lb/pie a 2624 pies (800 m) :

$$X = \frac{3280(77) + 3936 (72)}{110000 (22.193)} \quad X = 0.219$$

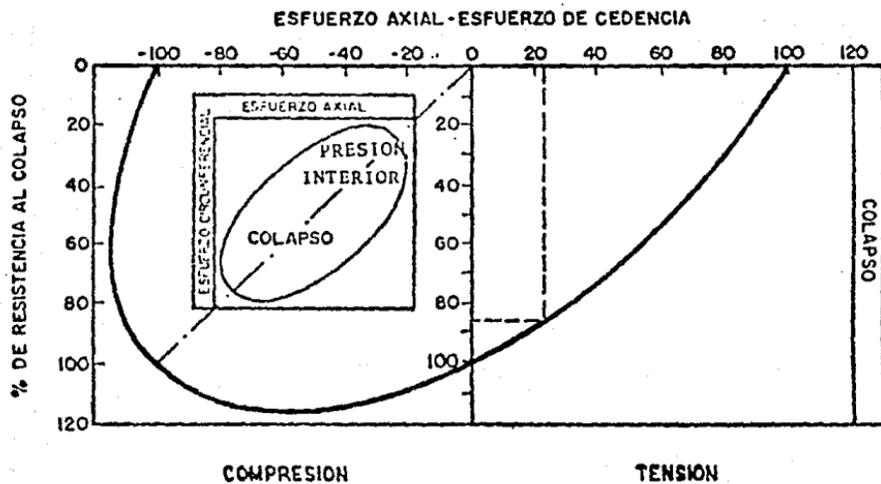


FIG. 11.4.4

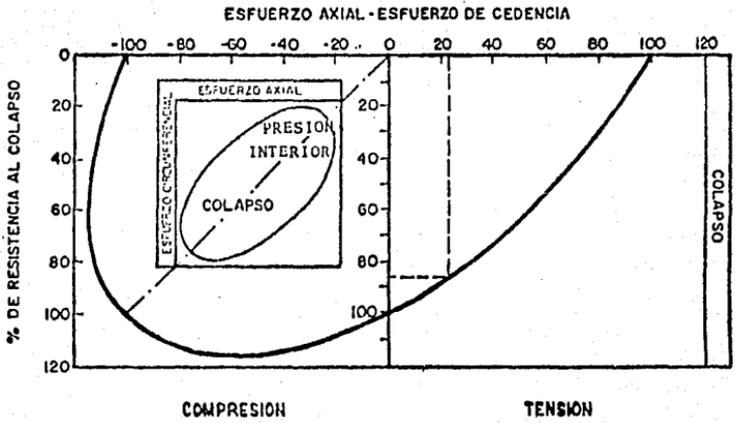


FIG. 11.4.4

$$Y = (1 - 0.75(0.219)^2)^{0.5} - 0.5(0.219)$$

$$Y = 0.872$$

$$P_{cc} = (0.872)(3450)$$

$$P_{cc} = 3008 \text{ lb/pg}^2$$

Finalmente la P-110; 77 lb/pie en la superficie:

$$X = \frac{5904(77) + 3936(72)}{22.193(110000)}$$

$$X = 0.302$$

$$Y = 1 - 0.75(0.302)^2)^{0.5} - 0.5(0.302)$$

$$Y = 0.814$$

$$P_{cc} = 3450(0.814)$$

$$P_{cc} = 2809 \text{ lb/pg}^2$$

Estas correcciones se muestran en la fig. II.4.2 en la cual se observa que las tres secciones de tubería satisfacen la resistencia el colapso, corregida por carga axial.

De manera similar se efectúa la corrección de las resistencias a la presión interna, por carga axial.

Las tuberías cuando están tensionadas incrementan sus resistencia a la presión interna.

En este caso, se calcularán las correcciones como ejemplo; pero se puede predecir que las tuberías no exhibirán problemas por presión interna.

Para la P-110; 77 lb/pie a 6560 pies (2000 m):

$$X = -0.103 \text{ (Debido a que en presión interna la tubería se encuentra en tensión).}$$

$$Y = (1 - 0.75(-0.103)^2)^{0.5} - 0.5(-0.103) \quad y = 1.047$$

$$P_{ic} = YR_i$$

$$= 1.047(7820)$$

$$P_{ic} = 8187 \text{ lb/pg}^2$$

Para la TAC-110; 72 lb/pie a 6560 pies (2000 m):

$$X = -0.111$$

$$Y = (1 - 0.75(-0.111)^2)^{0.5} - 0.5(-0.111)$$

$$Y = 1.050$$

$$Pic = (1.050)(8407)$$

$$Pic = 8827.0 \text{ lb/pg}^2$$

A 2624 pies (800 m)=

$$X = -0.235$$

$$Y = (1 - 0.75(-0.235)^2)^{0.5} - 0.5(-0.235)$$

$$Y = 1.096$$

$$Pic = (1.096)(8407.0)$$

$$Pic = 9214.0 \text{ lb/pg}^2$$

Para la P-110; 77 lb/pie a 2624 pies (800 m):

$$X = -0.219$$

$$Y = 1.091$$

$$Pic = (1.091)(7820.0)$$

$$Pic = 8531.0 \text{ lb/pg}^2$$

y finalmente en superficie:

$$X = -0.302$$

$$Y = 1.116$$

$$Pic = (1.116)(7820.0)$$

$$Pic = 8727.0 \text{ lb/pg}^2$$

Por lo tanto se deduce que a la presión interna no se presenta --  
ningún problema.

Una vez efectuadas las correcciones indicadas, tenemos entonces  
el diseño final:

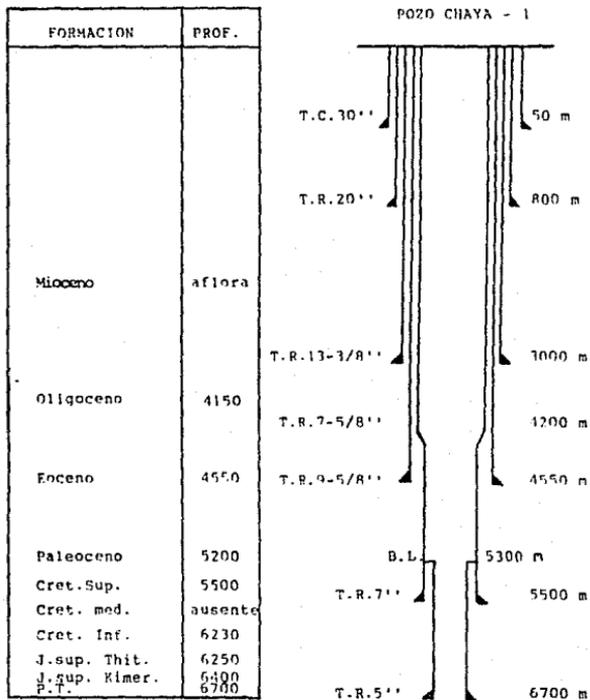
GRADO	PESO (lb/pie)	JUNTA	INTERVALO (m)	LONGITUD (m)
P-110	77	BCN	0.0-800.0	800.0
TAC-110	72	BCN	800.0-2000.0	1200.0
P-110	77	BCN	2000.0-3000.0	1000.0

Una vez obtenido el diseño final de tuberías, es importante verificar el diámetro de trabajo (Drift). Con el fin de que pueda pasar libremente el diámetro de la siguiente barrena con que se va a continuar perforando.

Es muy frecuente que se presente el problema de no contar en el distrito con las tuberías seleccionadas en el diseño, por lo que estas pueden substituirse por tuberías de igual o mayor resistencia a las diseñadas.

En la siguiente figura II.4.5, se muestra el programa de tuberías de revestimiento para el pozo Chaya no. 1 y su objetivo.

PROGRAMA DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO



OBJETIVO: Encontrar acumulación de hidrocarburos en las rocas carbonatadas del mesozoico, productoras en el campo Tecminoacán y con buenas manifestaciones en el pozo - Cuatajapa No. 101-A, que actualmente se evalúa.

PETROLEOS MEXICANOS  
 Dpto. El Plan, Ver. Zona Sur  
 Dept. Ingria. Petrolera.

## II.5.- NOMENCLATURA.

A <sub>i</sub>	Area de la sección transversal de la tubería i (i = 1, 2 . . . n)	pg <sup>2</sup>
A <sub>S</sub>	Area de la sección transversal de la tubería	pg <sup>2</sup>
d	Diámetro exterior	pg
d <sub>i</sub>	Diámetro interno	pg
E	Módulo de elasticidad	lb/pg <sup>2</sup>
F <sub>f</sub>	Factor de flotación	Adim
F	Fuerza de fricción de la tubería de revestimiento	lb
F <sub>t</sub>	Factor de diseño a la tensión	Adim
FS	Factor de seguridad (1 lb/gal)	lb/gal
Fi	Factor de diseño a la presión interna	Adim
Fc	Factor de diseño al colapso	Adim
G <sub>g</sub>	Gradiente de gas	lb/pg <sup>2</sup> /pie
G <sub>le</sub>	Gradiente de fluido de perforación de la siguiente etapa	lb/pg <sup>2</sup> /pie
G <sub>l</sub>	Gradiente del fluido de perforación usado	lb/pg <sup>2</sup> /pie
G <sub>s</sub>	Gradiente del fluido de respaldo	lb/pg <sup>2</sup> /pie
GF	Densidad equivalente de gradiente de fractura.	lb/gal
K	Constante	lb
Le	Profundidad de la siguiente etapa.	pie.

L	Profundidad	pie
Lp	Profundidad a la cual se estabilizan las presiones durante una pérdida de circulación	pie
Li	Longitud máxima por colapso de la sección i (i = 1 ... n)	pie
LS	Longitud de sección de tubería	pie
N	Fuerza Normal	lb
P <sub>b</sub>	Presión de ruptura	lb/pg <sup>2</sup>
PV	Proyección vertical del pozo	pie
Pu	Peso unitario de la tubería	lb/pie
PI	Presión de Inyección	lb/pg <sup>2</sup>
Ps	Presión superficial	lb/pg <sup>2</sup>
Px	Presión a la profundidad X	lb/pg <sup>2</sup>
Pfr	Presión del fluido de respaldo en el fondo	lb/pg <sup>2</sup>
Pxr	Presión del fluido de respaldo a la profundidad X	lb/pg <sup>2</sup>
Prs	Presión resultante en superficie	lb/pg <sup>2</sup>
Prx	Presión resultante a la profundidad X	lb/pg <sup>2</sup>
Prf	Presión resultante en el fondo	lb/pg <sup>2</sup>
Pds	Presión de diseño en superficie	lb/pg <sup>2</sup>
Rdx	Presión de diseño a la profundidad X	lb/pg <sup>2</sup>
Pdf	Presión de diseño en el fondo	lb/pg <sup>2</sup>
Pc	Presión de colapso de diseño	lb/pg <sup>2</sup>

Pe	Presión en el fondo ejercida por el fluido de perforación para equilibrar la presión de formación	lb/pg <sup>2</sup>
Pcm	Presión de colapso máxima	lb/pg <sup>2</sup>
Pcf	Presión de colapso en el fondo	lb/pg <sup>2</sup>
Pdm	Presión de diseño al colapso máximo	lb/pg <sup>2</sup>
Pdf	Presión de diseño al colapso en el fondo	lb/pg <sup>2</sup>
Pic	Presión interna corregida por carga axial	lb/pg <sup>2</sup>
Pcc	Presión de colapso corregida por carga axial	lb/pg <sup>2</sup>
Pf	Presión de fondo máxima	lb/pg <sup>2</sup>
Pmi	Presión interna máxima (tubería intermedia)	lb/pg <sup>2</sup>
Pi	Presión interna de diseño	lb/pg <sup>2</sup>
PH	Proyección Horizontal	pie
Pme	Presión interna máxima (tubería de explotación)	lb/pg <sup>2</sup>
Rtc	Resistencia a tensión en el cuerpo	lb/pg <sup>2</sup>
Rc	Resistencia al colapso	pie
R	Radio de flexión	lb/pg <sup>2</sup>
Ri	Resistencia a la presión interna	lb/pg <sup>2</sup>
Rcc	Resistencia al colapso corregida	lb/pg <sup>2</sup>
Rtj	Resistencia a tensión en la junta	lb/pg <sup>2</sup>
S	Esfuerzo de tensión del acero	lb/pg <sup>2</sup>
t	Espesor de la tubería	pg

T	Tensión de la sarta de revestimiento	lb
T <sub>0</sub>	Tensión en la superficie	lb
T <sub>c</sub>	Tensión debida a la curvatura	lb
T <sub>2000</sub>	Tensión a 2000 pie de profundidad	lb
T <sub>w</sub>	Tensión debida al peso propio de la tubería	lb
T <sub>f</sub>	Tensión debida a la fricción	lb
T <sub>j</sub>	Tensión en la conexión	lb
T <sub>i</sub>	Tensión o compresión de la sección i (i = 1 ...n)	lb
T <sub>dj</sub>	Tensión de diseño de la sección i	lb
T <sub>dt</sub>	Tensión de diseño total de la sarta	lb
W	Peso de la sarta de revestimiento	lb
W <sub>tf</sub>	Peso de la tubería considerando flotación	lb
W <sub>i</sub>	Peso de la sección i	lb
W <sub>t</sub>	Peso total de la sarta de tuberías de revestimiento	lb
X <sub>l</sub>	Profundidad de la columna del fluido de perforación	pie
X <sub>e</sub>	Profundidad a que llegaría el fluido de perforación de la siguiente etapa para controlar una posible pérdida	pie
X	Ordenada al origen de la elipse del esfuerzo biaxial	Adim

Y	Abscisa de la elipse de esfuerzo biaxial	Adim
Y <sub>m</sub>	Esfuerzo mínimo de cedencia	lb/pg <sup>2</sup>
Y <sub>g</sub>	Profundidad de la columna de gas	pie
Y <sub>a</sub>	Esfuerzo de cedencia medio	lb/pg <sup>2</sup>
Δ L	Incremento de la longitud por flexión	pie
Δ T	Incremento de la tensión de la T.R.	lb
<del>θ</del>	Angulo de desviación del pozo	°/100 pie
<i>μ</i>	Coefficiente de fricción	Adim
<i>ρ</i>	Densidad del fluido de perforación de la siguiente etapa.	lb/gal
<i>ρ</i>	Densidad de fluido de perforación en uso	lb/gal
<i>ρ<sub>f</sub></i>	Densidad del fluido fracturante	lb/gal
<i>ρ<sub>a</sub></i>	Densidad del acero (65.44 lb/gal)	lb/gal

### III.- CUIDADO Y MANEJO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.

#### III.1.- GENERALIDADES.

Las tuberías de revestimiento presentan gastos considerables en la perforación y terminación de un pozo. Por ello, es imprescindible proteger dicha inversión y asegurarse que se va a obtener un máximo rendimiento de las mismas.

De hecho, aún cuando las tuberías son tratadas bruscamente, las mismas no son de ninguna manera indestructibles.

Por lo tanto, es necesario llevar un control estricto del movimiento de tuberías desde que se obtiene del fabricante hasta que se usa por la cuadrilla de perforación.

El procedimiento recomendado por el API (American Petroleum Institute) para el Cuidado y Uso de Revestimiento y Entubado (Manual RP 5C1), incluye las causas comunes de los problemas de revestimiento y entubado. El 50% de dichas causas están relacionadas con el maltrato en el envío, manejo y en las operaciones de introducción.

La tubería de revestimiento nueva se entrega libre de defectos, según definición en las Normas 5A, 5AC, y 5AX del API y dentro de los límites prácticos de los procedimientos de inspección ahí prescritos. Algunos usuarios han descubierto que, en el caso de un número limitado de aplicaciones críticas en los pozos, estos procedimientos no dan como resultado una tubería de revestimiento suficientemente libre de defectos como para satisfacer las necesidades de tales aplicaciones críticas. Los usuarios han empleado varios servicios de inspección no destructivos, para asegurar el uso de una tubería de revestimiento de la calidad deseada.

### III.2.- INTRODUCCION DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.

#### PREPARACION E INSPECCION ANTES DE LA INTRODUCCION.

Toda tubería de revestimiento, sin importar que sea nueva, usada o reacondicionada, deberá manejarse siempre con protectores de roscas debidamente colocados.

La tubería de revestimiento deberá manejarse, en todo momento, - sobre rejillas o superficies de madera o metal, libres de piedra arena o polvo que no sea el lodo de perforación normal. Cuando - en forma inadvertida, los tramos de tuberías de revestimiento se arrastren en la tierra, las roscas deberán volverse a limpiar, - dándoles nuevamente servicio.

Se debe tener especial atención en la selección de la rosca de - la tubería de revestimiento, teniendo en mente que una grasa satisfactoria debe tener determinadas propiedades entre las que se deben considerar:

- (1) Lubricar la rosca para facilitar el enroscado y desenroscado de la unión y evitar se pegue la rosca en la desconexión.
- (2) Se deben sellar los huecos entre las superficies de las roscas para evitar, eficazmente, la salida de la grasa que ayuda a lograr un buen servicio.

Se recomienda los elevadores con mordazas o tipo cuña para - los tramos largos de tubería. Tanto las mordazas del elevador, como la araña, deberán estar limpias y en buenas condiciones, con un ajuste apropiado. Las mordazas deberán ser - extralargas en el caso de tubería de perforación pesada. La araña debe estar nivelada.

NOTA: Las marcas de las mordazas pueden provocar daños.

Debe hacerse todo el esfuerzo posible para minimizarlos usando el equipo más moderno.

Si se usan elevadores con tracción de collar, la superficie de soporte deberá inspeccionarse cuidadosamente para detectar: (1) desgaste disparejo que puede producir un levantamiento ladeado sobre el acoplamiento, con peligro de desprendimiento, y (2) distribución uniforme de la carga, cuando se aplica sobre la superficie de soporte del cople.

Las mordazas del elevador y la araña, deberán examinarse y observarse para ver que todo baje junto. Si el descenso es disparejo, existe el peligro de provocar hendiduras en el tubo o marcarlo, - en forma peligrosa.

Debe tenerse cuidado, en especial cuando se colocan tramos de tubería de revestimiento largos, para asegurarse de que el tazón, o la araña, está en buenas condiciones.

Las llaves de apriete deberán examinarse para detectar desgaste - en los dientes y la superficie de la bisagra. Si es necesario, se deberá corregir la unión de la línea de contrafuerza en el poste de retención, para que exista la nivelación con la llave de apriete en la posición de contrafuerza y, así evitar una distribución dispareja de la carga, en las superficies de agarre de la tubería de revestimiento. La longitud de línea de contrafuerza deberá ser tal, que ocasione las mínimas tensiones de flexión, sobre la tubería de revestimiento y permita el movimiento total de la carrera de las llaves o tenazas de enrosque.

Deberán tenerse las siguientes precauciones en la preparación de roscas de la tubería de revestimiento, para un buen enroscado:

- A) Inmediatamente antes de la introducción se deben quitar los protectores de roscas de los dos extremos y limpiar completamente las roscas, repitiendo la operación conforme se descubren las hileras adicionales.
- B) Inspeccionar con todo cuidado las roscas. Aquéllas que se encuentran dañadas, aunque sea ligeramente, deberán apartarse a menos que se cuente con medios satisfactorios para corregir el daño.

C) Antes de la colocación, deberá medirse la longitud de cada tramo de tubería de revestimiento. Deberá usarse una cinta de acero calibrada en pies decimales, al 0.01 de pies más próximo. La medición deberá efectuarse desde la cara extrema del cople, o conexión hembra, hasta la posición en el extremo externamente roscado, en donde el acoplamiento o conexión hembra se detenga cuando la unión se haga hermética. En la unión de rosca redonda, esta posición es hasta el último hilo de la cuerda o de fuga en el tubo: en las tuberías de revestimiento con rosca de cabeza trapezoidal, esta posición es hasta la base de la estampa o troquel triangular, y en la tubería de revestimiento de la línea extrema, hasta el hombro en el extremo macho. El total de los tramos individuales, así medidos presentará la longitud de tubería de revestimiento. La longitud real bajo tensión, en el pozo, se puede obtener consultando las gráficas que se preparan para este propósito y que están a disposición en la mayoría de los manuales sobre tuberías.

D) Verificar cada acoplamiento en relación con el roscado si se encuentra algo anormal, verificar el ajuste del acoplamiento. Apretar todos los acoplamientos sueltos después de limpiar completamente las roscas y de aplicar grasa nueva a lo largo de todas las superficies de las roscas y antes de introducir el tubo en el piso de perforación.

E) Antes de llevar a cabo la conexión, aplicar generosamente grasa para rosca a todas las áreas roscadas interna y externamente.

Se recomienda que se use grasa para rosca modificada, para alta presión, excepto en casos especiales en los que encuentren condiciones severas y en los que se recomienda que se use grasa para rosca de silicones de alta presión.

- F) Colocar un protector de rosca limpio, en el extremo del tubo, en tal forma que la rosca no se dañe al rodar el tubo de la rejilla e introducirlo en la torre de perforación. Se puede limpiar y usar en forma repetida, varios protectores de rosca en esta operación.
  
- G) Si se va a correr tubería mixta, debe asegurarse de tener disponible tubería de revestimiento apropiada en la cama de tubería cuando el programa así lo requiera.
  
- H) Los conectores que se usan como miembros de tensión y levantamiento, deberán verificarse con todo cuidado en cuanto a la capacidad de la rosca, para asegurarse de que el conector pueda, con toda seguridad, soportar la carga.
  
- I) Deberá tenerse cuidado al hacer las conexiones de los nipples de combinación, para asegurarse que las roscas de acoplamiento to sean del mismo tipo y tamaño.

Se recomienda que se lleve a cabo la calibración de la tubería - de revestimiento en toda su longitud antes de introducirla, con mandriles y calibradores.

Las tuberías de revestimiento que no pasen la prueba de calibración del diámetro interior, deberán apartarse.

Las tuberías de revestimiento deben bajarse o rodarse con todo - cuidado, sin dejarla caer.

Se debe evitar el golpear la tubería de revestimiento contra cualquier parte de la torre de perforación u otro equipo. Debe haberse un cable de acero de retención en la rampa y el piso de perforación. En el caso de tuberías de características distintas o no identificadas, se deberá correr un calibrador a través de cada tramo de tubería de revestimiento, en el momento de levantarlo del muelle o la rampa y colocarlo en el piso de la torre de perforación, para evitar la introducción de un tramo más pesado o de alguno que tenga un diámetro interior inferior al que se requiere.

#### CONEXION, ENROSCADO Y DESCENSO,

No se debe remover el protector de rosca de los extremos de la tubería de revestimiento, sino hasta que esté listo para hacer la conexión.

Si es necesario, se aplicará grasa para rosca sobre toda la superficie de las roscas, justo antes de efectuar la conexión o enchufe. El cepillo o utensilio que se use para aplicar la grasa para roscas, deberá estar libre de materia extraña alguna y nunca deberá adelgazarse dicha grasa.

Al llevar a cabo la conexión, debe bajarse la tubería de revestimiento con todo cuidado, para evitar daños en las roscas. Conectar en forma vertical, de preferencia con la ayuda de un hombre en la plataforma de enchufe. Si la parte inferior de la tubería de revestimiento se inclina hacia un lado después de la conexión, de deberá levantar, limpiar y corregir cualquier rosca dañada con una lima de tres esquinas; después remover con todo cuidado la limadura y volver a aplicar grasa sobre la superficie de la rosca. Después de la conexión, se deberá girar la tubería de revestimiento muy despacio en un principio, para asegurarse que las roscas están engranando en forma apropiada y no trasroscadas.

En caso de usarse un cable de enrosque y desenrosque de la tuberfa, éste deberá jalarse cerca del acoplamiento.

El uso de llaves de apriete mecánicas para el enrosque de las tuberfas de revestimiento, hizo conveniente el establecimiento de valores de apriete recomendados para cada tamaño, peso y grado de tuberfa de revestimiento.

Los primeros estudios y pruebas indicaron que los valores de apriete se ven afectados por un gran número de variables, tales como: variaciones en la conicidad, avance, profundidad de la rosca y forma de la rosca, acabado de la superficie, tipo de grasa para rosca, peso y grado del tubo, etc.

En vista del número de variables y del grado en que solas o en combinación, podrían afectar la relación de los valores de apriete, contra la posición de enrosque es evidente que se deben tomar en consideración tanto el momento torsional aplicado como la posición de enrosque.

Debido a que la fórmula de resistencia crítica de la unión de API, en el boletín del API 5C2, contiene varias de las variables que se piensa que afectan el apriete, se investigó el uso de una modificación de esta fórmula, para establecer los valores de apriete. Se encontró que los valores de momento torsional obtenidos, tomando 1% del valor crítico calculado eran, por lo general, comparables a los valores obtenidos mediante las pruebas de enrosque en el campo, usando grasa para rosca API, modificada de acuerdo con el Bol. 5A2.

En consecuencia, este procedimiento se usó para establecer los valores óptimos de apriete de enrosque, que se enumeran en la tabla 1.1 Los valores de apriete mínimos enumerados, son 75% - de los valores óptimos y los valores máximos enumerados a los 10 libras - pies más próximos son 125% de los valores óptimos.

Necesariamente, tendrán que considerarse todos estos valores simplemente como una guía, debido a las muy amplias variaciones en los requerimientos del apriete, que puedan existir en el caso de una conexión específica. Debido a esto, es esencial que se relacione el apriete con la posición de enrosque.

Los valores de apriete, enumerados en la tabla 1.1 son aplicables solamente a las tuberías de revestimiento con acoplamiento revestidos de zinc. Al hacer conexiones con acoplamientos revestidos de estaño, se puede usar como guía, el 80% del valor mencionado.

Se recomienda la siguiente práctica para el enrosque en una tubería de revestimiento con 8 hilos rosca redonda:

- A) Al empezar a introducir la tubería de revestimiento, proveniente de cada embarque de fábrica particular, es aconsejable enrosque las uniones suficientes para determinar el apriete necesario para lograr un enrosque apropiado.

Si se escogen otros valores óptimos, el apriete mínimo no deberá ser inferior al 75% del óptimo seleccionado y el apriete máximo no deberá ser superior al 125% del óptimo.

- B) A las tenazas o llaves mecánicas se les deberá adaptar un calibrador de apriete confiable de precisión conocida. En las etapas iniciales de enrosque, se deberá observar si hay alguna irregularidad en el enrosque o en la velocidad.

de enrosque, debido a que esto puede ser una indicación de roscas cruzadas, roscas dañadas o sucias, u otras condiciones no favorables. Para evitar que se barra la rosca al hacer las conexiones en el campo, las conexiones deberán llevarse a cabo a una velocidad que no exceda de 25 rpm.

- C) Continuar el enrosque observando tanto la calibración de apriete como la posición aproximada de la cara del acoplamiento, en relación con la última posición del último hilo de rosca.
- B) Los valores de apriete óptimos que se muestran en la siguiente tabulación. se seleccionaron para un enrosque óptimo bajo condiciones normales y deberán considerarse como satisfactorios a condición de que la cara del acoplamiento se nivele con el - - último hilo de la rosca o dentro de las dos vueltas de roscas.
- E) Si el enrosque es en tal forma que la última marca o rayadura está enterrada dos vueltas de rosca y al apriete mínimo que se muestra en la tabla 1.1 no se alcanza, la unión deberá tratarse como una conexión dudosa.
- F) Si quedan expuestas varias roscas después de haber alcanzado el apriete óptimo, aplique momento de torsión adicional hasta el máximo que se muestra en la tabla 1.1. Si la distancia de - la carga del acoplamiento a la última rayadura o marca, es superior a tres vueltas de rosca al alcanzar el máximo apriete, la unión deberá tratarse como una conexión dudosa.
- G) Los valores de par de apriete de enrosque, en el caso de las - conexiones de tuberías de revestimiento con roscas trapezoidales, se deberán determinar anotando con todo cuidado, el apriete requerido para el enrosque de cada una de varias conexiones hasta la base del triángulo y después, usando el valor de apriete así establecido, deberá equilibrarse el tubo de ese peso y grado, particulares.

Cuando se usan llaves de apriete convencionales para el enrosque de la tubería de revestimiento, se deberá apretar con las mordazas hasta el grado apropiado de ajuste. La unión deberá roscarse más allá de la posición de ajuste manual, por lo menos 3 vueltas en los casos de los tamaños de 4 1/2 a 7 pulgadas y por lo menos 3 1/2 vueltas en los casos de los tamaños de 7 5/8" excepto en el caso de la tubería de 9 5/8" y 10 3/4" grado P-110 y de 20" grados J-55 y K-55, que deberá apretarse 4 vueltas más allá de la posición de ajuste manual. Cuando se use una línea para el enrosque y desenrosque de la tubería, - será necesario comparar el ajuste manual con el ajuste hecho con dicha línea, para llevar a cabo esto, debe enroscarse las primeras uniones hasta llegar a la posición de ajuste manual. Después de desenroscar y enroscar con la línea, hasta la base del triángulo, después usando el valor de apriete establecido, deberá equilibrarse el tubo de ese peso y grado particulares.

Compare la posición relativa de estos dos enrosques y use esta conformación para determinar, una vez listo el enrosque, el número recomendado de vueltas más allá del ajuste manual.

Las uniones que son dudosa en cuanto a su ajuste, deberán desenroscarse y colocarse en posición horizontal para su revisión y reparación. Al hacer esto, la conexión de acoplamiento deberá revisarse, con todo cuidado, para ver si hay roscas dañadas.

Jamás deberán volverse a usar las roscas fisuradas sin rectificación y nueva calibración, aún cuando haya una mínima apariencia de daños en la rosca.

Si la tubería de revestimiento tiene una tendencia a tambalearse en forma indebida en su extremo superior al llevar a cabo el enrosque, indicando que la rosca puede no estar en línea con el eje de la tubería de revestimiento, deberá disminuirse la velocidad de rotación para evitar dañar las roscas; si persiste el tambaleo a pesar de la velocidad rotacional reducida, deberá colocarse la tubería de revestimiento en posición horizontal para inspección.

Deberá darse especial atención a la tubería de revestimiento -  
sujeta a tensión alta.

Al enroscar la unión es posible que el acoplamiento de fábrica  
se enrosque ligeramente. Esto no indica que el acoplamiento en  
el extremo de fábrica esté demasiado flojo, sino simplemente -  
que el extremo ha alcanzado el apriete de fábrica.

La tubería de revestimiento deberá levantarse y hacerse descen-  
der con todo cuidado, al mismo tiempo, deberá tenerse cuidado  
al colocar las cuñas para evitar cargas de choques. El dejar -  
caer un tramo puede provocar el aflojamiento de los acoplami-  
entos en el lado inferior del tramo. Debe tenerse cuidado, para  
evitar la colocación de la tubería de revestimiento en compresión,  
debido al peligro que existe de pandeo, especialmente en  
esa parte en donde ha ocurrido un ensanchamiento del pozo.

Debe contarse con instrucciones definitivas en relación con el  
diseño y selección de la tubería de revestimiento, incluyendo  
las referentes a la localización adecuada de los distintos gra-  
dos de acero, pesos de tubería de revestimiento y tipo de unión.

Debe tenerse cuidado de introducir la tubería exactamente en el  
orden en el que se diseñó. Si no se puede identificar claramen-  
te algún tramo, éste deberá apartarse hasta que se pueda esta-  
blecer en forma positiva, su grado, peso o tipo de unión.

Para facilitar la introducción y para asegurar la altura hidros-  
tática adecuada con las presiones de formación correspondientes,  
periódicamente se deberá llenar la tubería de revestimiento con  
lodo, mientras ésta se introduce. Un cierto número de factores  
regula la frecuencia con la cual se debe llevar a cabo el llena-  
do: el peso del tubo en el pozo, el peso del lodo, la presión de  
fractura etc.

En la mayoría de los casos será suficiente el llenado cada -  
6-10 tramos. En ningún caso deberá ponerse en peligro el equi-  
librio hidrostático de las presiones del pozo, por el llenado  
infrecuente.

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB-PIE		
			OPTIMO	COPLA CORTO		OPTIMO	COPLA LARGO	
				MINIMO	MAXIMO		MINIMO	MAXIMO
4 1/2	9.50	H-40	770	580	960	--	--	--
	9.50	J-55	1010	760	1260	--	--	--
	10.50	J-55	1320	990	1650	--	--	--
	11.60	J-55	1540	1160	1930	1620	1220	2030
	9.50	K-55	1120	840	1400	--	--	--
	10.50	K-55	1460	1100	1830	--	--	--
	11.60	K-55	1700	1280	2130	1800	1350	2250
	11.60	C-75	--	--	--	2150	1610	2590
	13.50	C-75	--	--	--	2600	1950	3250
	11.60	L-80	--	--	--	2230	1670	2790
	13.50	L-80	--	--	--	2710	2030	3390
	11.60	N-80	--	--	--	2280	1710	2850
	13.50	N-80	--	--	--	2760	2070	3450
	11.60	C-90	--	--	--	2450	1840	3060
	13.50	C-90	--	--	--	2970	2230	3710
	11.60	C-95	--	--	--	2580	1940	3230
	13.50	C-95	--	--	--	3130	2350	3910
	11.60	P-100	--	--	--	3020	2270	3780
	13.50	P-100	--	--	--	3660	2750	4580
	15.10	P-100	--	--	--	4400	3300	5500
15.10	Q125	--	--	--	4910	3680	6140	
5	11.50	J-55	1330	1000	1660	--	--	--
	13.00	J-55	1690	1270	2110	1820	1370	2280
	15.00	J-55	2070	1550	2590	2230	1670	2790
	11.50	K-55	1470	1100	1840	--	--	--
	13.00	K-55	1860	1400	2330	2010	1510	2510
	15.00	K-55	2280	1710	2850	2460	1850	3080
	15.00	C-75	--	--	--	2960	2220	3700
	18.00	C-75	--	--	--	3770	2830	4710
	21.40	C-75	--	--	--	4660	3500	5830
	24.10	C-75	--	--	--	5390	4040	6740
	15.00	L-80	--	--	--	3080	2310	3850
	18.00	L-80	--	--	--	3950	2950	4910
	21.40	L-80	--	--	--	4860	3650	6080
	24.10	L-80	--	--	--	5610	4210	7010
	15.00	N-80	--	--	--	3140	2360	3930
	18.00	N-80	--	--	--	4000	3000	5000
	21.40	N-80	--	--	--	4950	3710	6190
24.10	N-80	--	--	--	5720	4290	7150	

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUDERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB-PIE		
			COPEL CORTO			COPEL LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	15.00	C-90	--	--	--	3380	2540	4230
	18.00	C-90	--	--	--	4310	3240	5390
	21.40	C-90	--	--	--	5340	4000	6670
	23.20	C-90	--	--	--	5880	4410	7350
	24.10	C-90	--	--	--	6170	4630	7710
	15.00	C-95	--	--	--	3560	2670	4450
	18.00	C-95	--	--	--	4550	3410	5690
	21.40	C-95	--	--	--	5620	4220	7030
	24.10	C-95	--	--	--	6500	4880	8130
	15.00	P-110	--	--	--	4170	3130	5210
	18.00	P-110	--	--	--	5310	3980	6640
	21.40	P-110	--	--	--	6580	4940	8230
	24.10	P-110	--	--	--	7600	5700	9500
	18.00	Q125	--	--	--	5930	4450	7410
	21.40	Q125	--	--	--	7340	5510	9180
	23.20	Q125	--	--	--	8090	6070	10110
	24.10	Q125	--	--	--	8490	6370	10610
51/2	14.00	H-40	1800	980	1630	--	--	--
	14.00	J-55	1720	1290	2150	--	--	--
	15.50	J-55	2020	1520	2530	2170	1630	2710
	17.00	J-55	2290	1720	2860	2470	1850	3090
	14.00	K-55	1890	1420	2360	--	--	--
	15.50	K-55	2220	1670	2780	2390	1790	2990
	17.00	K-55	2520	1890	3150	2720	2040	3400
	17.00	C-75	--	--	--	3270	2450	4090
	20.00	C-75	--	--	--	4030	3020	5040
	23.00	C-75	--	--	--	4780	3550	5910
	17.00	L-80	--	--	--	3410	2560	4260
	20.00	L-80	--	--	--	4200	3150	5250
	23.00	L-80	--	--	--	4930	3700	6160
	17.00	N-80	--	--	--	3480	2610	4350
	20.00	N-80	--	--	--	4280	3210	5350
	23.00	N-80	--	--	--	5020	3770	6280
	17.00	C-90	--	--	--	3750	2820	4690
	20.00	C-90	--	--	--	4620	3470	5780
	23.00	C-90	--	--	--	5420	4070	6780
	26.80	C-90	..	..	..	..	..	..
	29.70	C-90	..	..	..	..	..	..
	32.60	C-90	..	..	..	..	..	..
	35.30	C-90	..	..	..	..	..	..
	38.00	C-90	..	..	..	..	..	..

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPLE CORTO			COPLE LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	40.50	C-90	..	..	..	..	..	..
	43.10	C-90	..	..	..	..	..	..
	17.00	C-95	--	--	--	3960	2970	4950
	20.00	C-95	--	--	--	4870	3650	6090
	23.00	C-95	--	--	--	5720	4290	7150
	17.00	P-110	--	--	--	4620	3470	5780
	20.00	P-110	--	--	--	5690	4270	7110
	23.00	P-110	--	--	--	6680	5010	8350
	23.00	Q125	--	--	--	7460	5600	9330
61/2	20.00	H-40	1840	1880	2300	--	--	--
	20.00	J-55	2450	1840	8060	2660	2000	3330
	24.00	J-55	3140	2360	3930	3400	2550	4250
	20.00	K-55	2670	2000	3340	2900	2180	3630
	24.00	K-55	3420	2570	4280	3720	2790	4650
	24.00	C-75	--	--	--	4530	3400	5660
	28.00	C-75	--	--	--	5520	4140	6900
	32.00	C-75	--	--	--	6380	4790	7980
	24.00	L-80	--	--	--	4730	3550	5910
	28.00	L-80	--	--	--	5760	4320	7200
	32.00	L-80	--	--	--	6660	5000	8330
	24.00	N-80	--	--	--	4810	3610	6010
	28.00	N-80	--	--	--	5860	4400	7330
	32.00	N-80	--	--	--	6770	5080	8460
	24.00	C-90	--	--	--	5210	3910	6510
	28.00	C-90	--	--	--	6350	4760	7930
	32.00	C-90	--	--	--	7340	5510	9180
	24.00	C-95	--	--	--	5490	4120	6860
	28.00	C-95	--	--	--	6690	5020	8360
	32.00	C-95	--	--	--	7740	5810	9680
	24.00	P-110	--	--	--	6410	4810	8010
	28.00	P-110	--	--	--	7810	5860	9760
	32.00	P-110	--	--	--	9040	6780	11300
	32.00	Q125	--	--	--	10110	7580	12640
7	17.00	H-40	1220	920	1530	--	--	--
	20.00	H-40	1760	1320	2200	--	--	--
	20.00	J-55	2340	1760	2930	--	--	--

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPEL CORTO			COPEL LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
23.00	J-55	2840	2130	3550	3130	2350	3910	
26.00	J-55	3340	2510	4180	3670	2750	4590	
20.00	K-55	2540	1910	3180	--	--	--	
23.00	K-55	3090	2320	3860	3410	2560	4260	
26.00	K-55	3640	2730	4550	4010	3010	5010	
23.00	C-75	--	--	--	4160	3120	5200	
26.00	C-75	--	--	--	4890	3670	6110	
29.00	C-75	--	--	--	5620	4220	7030	
32.00	C-75	--	--	--	6330	4750	7910	
35.00	C-75	--	--	--	7030	5270	8790	
38.00	C-75	--	--	--	7670	5750	9590	
23.00	L-80	--	--	--	4350	3260	5440	
26.00	L-80	--	--	--	5110	3830	6390	
29.00	L-80	--	--	--	5870	4400	7340	
32.00	L-80	--	--	--	6610	4960	8260	
35.00	L-80	--	--	--	7340	5510	9180	
38.00	L-80	--	--	--	8010	6010	10010	
23.00	N-80	--	--	--	4420	3320	5530	
26.00	N-80	--	--	--	5190	3890	6490	
29.00	N-80	--	--	--	5970	4480	7460	
32.00	N-80	--	--	--	6720	5040	8400	
35.00	N-80	--	--	--	7460	5600	9330	
38.00	N-80	--	--	--	8140	6110	10180	
23.00	C-90	--	--	--	4790	3590	5990	
26.00	C-90	--	--	--	5630	4220	7040	
29.00	C-90	--	--	--	6480	4860	8100	
32.00	C-90	--	--	--	7290	5470	9110	
35.00	C-90	--	--	--	8090	6070	10110	
38.00	C-90	--	--	--	8830	6620	11040	
42.70	C-90	..	..	..	..	..	..	
46.40	C-90	..	..	..	..	..	..	
50.10	C-90	..	..	..	..	..	..	
53.60	C-90	..	..	..	..	..	..	
57.10	C-90	..	..	..	..	..	..	
23.00	C-95	--	--	--	5050	3790	6310	
26.00	C-95	--	--	--	5930	4450	7410	
29.00	C-95	--	--	--	6830	5120	8540	
32.00	C-95	--	--	--	7680	5760	9600	
35.00	C-95	--	--	--	8530	6400	10660	
38.00	C-95	--	--	--	9310	6980	11640	
26.00	P-110	--	--	--	6930	5200	8660	
29.00	P-110	--	--	--	7970	5980	9960	
32.00	P-110	--	--	--	8970	6780	11210	

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPLER CORTO			COPLER LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	35.00	P-110	--	--	--	9960	7470	12450
	38.00	P-110	--	--	--	10870	8150	13590
	35.00	Q125	--	--	--	11150	8360	13940
	38.00	Q125	--	--	--	12160	9120	15200
7 5/8	24.00	H-40	2120	1590	2650	--	--	--
	26.40	J-55	3150	2360	3940	3460	2600	4330
	26.40	K-55	3420	2570	4280	3770	2830	4710
	26.40	C-75	--	--	--	4610	3460	5760
	29.70	C-75	--	--	--	5420	4070	6780
	33.70	C-75	--	--	--	6350	4760	7940
	39.00	C-75	--	--	--	7510	5630	9390
	42.80	C-75	--	--	--	8520	6390	10650
	47.10	C-75	--	--	--	9530	7150	11910
	26.40	L-80	--	--	--	4820	3620	6030
	29.70	L-80	--	--	--	5670	4250	7090
	33.70	L-80	--	--	--	6640	4980	8300
	39.00	L-80	--	--	--	7860	5900	9830
	42.80	L-80	--	--	--	8910	6680	11140
	47.10	L-80	--	--	--	9970	7480	12460
	26.40	N-80	--	--	--	4900	3680	6130
	29.70	N-80	--	--	--	5750	4310	7190
	33.70	N-80	--	--	--	6740	5060	8430
	39.00	N-80	--	--	--	7980	5980	9980
	42.80	N-80	--	--	--	9060	6800	11330
	47.10	N-80	--	--	--	10130	7600	12660
	26.40	C-90	--	--	--	5320	3990	6650
	29.70	C-90	--	--	--	6250	4690	7810
	33.70	C-90	--	--	--	7330	5500	9160
	39.00	C-90	--	--	--	8670	6500	10840
	42.80	C-90	--	--	--	9840	7880	12300
	45.80	C-90	--	--	--	10450	7840	13060
	47.10	C-90	--	--	--	11000	8250	13750
	51.20	C-90	..	..	..	..	..	..
	55.30	C-90	..	..	..	..	..	..
	26.40	C-95	--	--	--	5660	4200	7000
	29.70	C-95	--	--	--	6590	4940	8240
	33.70	C-95	--	--	--	7720	5790	9650
	39.00	C-95	--	--	--	9140	6860	11430
	42.80	C-95	--	--	--	10370	7780	12960
	47.10	C-95	--	--	--	11590	8690	14490

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			OPTIMO	COUPLE CORTO		OPTIMO	COUPLE LARGO	
				MINIMO	MAXIMO		MINIMO	MAXIMO
	29.70	P-110	--	--	--	7690	5770	9610
	33.70	P-110	--	--	--	9010	6760	11260
	39.00	P-110	--	--	--	10660	8000	13330
	42.80	P-110	--	--	--	12100	9080	15130
	47.10	P-110	--	--	--	13330	10150	16910
	39.00	Q125	--	--	--	11940	8960	14930
	42.80	Q125	--	--	--	13550	10160	16940
	45.30	Q125	--	--	--	14390	10790	17990
	47.10	Q125	--	--	--	15150	11360	18940
85/8	28.00	H-40	2330	1750	2910	--	--	--
	32.00	H-40	2790	2090	3490	--	--	--
	24.00	J-55	2440	1830	3050	--	--	--
	32.00	J-55	3720	2790	4650	4170	3130	5210
	36.00	J-55	4340	3260	5430	4860	3650	6080
	24.00	K-55	2630	1970	3290	--	--	--
	32.00	K-55	4020	3020	5030	4520	3390	5650
	36.00	K-55	4680	3510	5850	5260	3950	6580
	36.00	C-75	--	--	--	6480	4860	8100
	40.00	C-75	--	--	--	7420	5570	9280
	44.00	C-75	--	--	--	8340	6260	10430
	49.00	C-75	--	--	--	9390	7040	11740
	36.00	L-80	--	--	--	6780	5090	8480
	40.00	L-80	--	--	--	7760	5820	9700
	44.00	L-80	--	--	--	8740	6560	10930
	49.00	L-80	--	--	--	9830	7370	12290
	36.00	N-80	--	--	--	6880	5160	8600
	40.00	N-80	--	--	--	7880	5910	9850
	44.00	N-80	--	--	--	8870	6650	11090
	49.00	N-80	--	--	--	9970	7480	12460
	36.00	C-90	--	--	--	7490	5620	9360
	40.00	C-90	--	--	--	8580	6440	10730
	44.00	C-90	--	--	--	9650	7240	12060
	49.00	C-90	--	--	--	10850	8140	13560
	36.00	C-95	--	--	--	7890	5920	9860
	40.00	C-95	--	--	--	9040	6780	11300
	44.00	C-95	--	--	--	10170	7630	12710
	49.00	C-95	--	--	--	11440	8580	14300
	40.00	P-110	--	--	--	10550	7910	13190
	44.00	P-110	--	--	--	11860	8900	14830
	49.00	P-110	--	--	--	13350	10010	16690

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	COPLER CORTO		TORQUE	LB/PIE		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	49.00	Q125	--	--	--	14960	11220	18700
9 5/8	32.30	H-40	2540	1910	3180	--	--	--
	36.00	H-40	2940	2210	3680	--	--	--
	36.00	J-55	3940	2960	4930	4530	3400	5660
	40.00	J-55	4520	3390	5650	5200	3900	6500
	36.00	K-55	4230	3170	5290	4890	3670	6110
	40.00	K-55	4860	3650	6080	5610	4210	7010
	40.00	C-75	--	--	--	6940	5210	8680
	43.50	C-75	--	--	--	7760	5820	9700
	47.00	C-75	--	--	--	8520	6390	10650
	53.50	C-75	--	--	--	9990	7490	12490
	40.00	L-80	--	--	--	7270	5450	9090
	43.50	L-80	--	--	--	8130	6100	10160
	47.00	L-80	--	--	--	8930	6700	11160
	53.50	L-80	--	--	--	10470	7850	13090
	40.00	N-80	--	--	--	7370	5530	9210
	43.50	N-80	--	--	--	8250	6190	10310
	47.00	N-80	--	--	--	9050	6790	11310
	53.50	N-80	--	--	--	10620	7970	13280
	40.00	C-90	--	--	--	8040	6030	10050
	43.50	C-90	--	--	--	8990	6740	11240
	47.00	C-90	--	--	--	9870	7400	12340
	53.50	C-90	--	--	--	11570	8680	14460
	59.40	C-90	..	..	..	..	..	..
	64.90	C-90	..	..	..	..	..	..
	70.30	C-90	..	..	..	..	..	..
	75.60	C-90	..	..	..	..	..	..
	40.00	C-95	--	--	--	8470	6350	10590
	43.50	C-95	--	--	--	9480	7110	11850
	47.00	C-95	--	--	--	10400	7800	13000
	53.50	C-95	--	--	--	12200	9150	15250
	43.50	P-110	--	--	--	11060	8300	13830
	47.00	P-110	--	--	--	12130	9100	15160
	53.50	P-110	--	--	--	14220	10670	17780
	47.00	Q125	--	--	--	13600	10200	17000
	53.50	Q125	--	--	--	15950	11960	19940
103/4	32.75	H-40	2050	1540	2560	--	--	--

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPLE CORTO			COPLE LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	40.50	H-40	3140	2360	3930	--	--	--
	40.50	J-55	4200	3150	5250	--	--	--
	45.50	J-55	4930	3700	6160	--	--	--
	51.00	J-55	5650	4240	7060	--	--	--
	40.50	K-55	4500	3380	5630	--	--	--
	45.50	K-55	5280	3960	6600	--	--	--
	51.00	K-55	6060	4550	7580	--	--	--
	51.00	C-75	7560	5670	9450	--	--	--
	55.50	C-75	8430	6320	10540	--	--	--
	51.00	L-80	7940	5960	9930	--	--	--
	55.50	L-80	8840	6630	11050	--	--	--
	51.00	N-80	8040	6030	10050	--	--	--
	55.50	N-80	8950	6710	11190	--	--	--
	51.00	C-90	6920	5190	8650	--	--	--
	55.50	C-90	7710	5780	9640	--	--	--
	59.40	C-90	..	..	..	..	..	..
	64.50	C-90	..	..	..	..	..	..
	73.20	C-90	..	..	..	..	..	..
	79.20	C-90	..	..	..	..	..	..
	85.30	C-90	..	..	..	..	..	..
	51.00	C-95	9270	6950	11590	--	--	--
	55.50	C-95	10320	7740	12900	--	--	--
	51.00	P-110	10800	8100	13500	--	--	--
	55.50	P-110	12030	9020	15040	--	--	--
	60.70	P-110	13380	10040	16730	--	--	--
	65.70	P-110	14720	11040	18400	--	--	--
	60.70	Q125	15020	11270	18780	--	--	--
	65.70	Q125	16520	11270	18780	--	--	--
11 3/4	42.00	H-40	3070	3200	3840	--	--	--
	47.00	J-55	4770	3580	5960	--	--	--
	54.00	J-55	5680	4260	7100	--	--	--
	60.00	J-55	6490	4870	8110	--	--	--
	47.00	K-55	5090	3820	6360	--	--	--
	54.00	K-55	6060	4550	7580	--	--	--
	60.00	K-55	6930	5200	8660	--	--	--
	60.00	C-75	8690	6520	10860	--	--	--
	60.00	L-80	9130	6850	11410	--	--	--

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPLA CORTA			COPLA LARGA		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	60.00	N-80	9240	6930	11550	--	--	--
	60.00	C-90	10110	7580	12640	--	--	--
	60.00	C-95	10660	8000	13330	--	--	--
	60.00	P-110	12420	9320	15530	--	--	--
	60.00	Q125	13950	10460	17440	--	--	--
13 3/8	48.00	H-40	3220	2420	4030	--	--	--
	54.50	J-55	5140	3860	6430	--	--	--
	61.00	J-55	5950	4460	7440	--	--	--
	68.00	J-55	6750	5060	8440	--	--	--
	54.50	K-55	5470	4100	6840	--	--	--
	61.00	K-55	6330	4750	7910	--	--	--
	68.00	K-55	7180	5390	8980	--	--	--
	68.00	C-75	9060	6800	11130	--	--	--
	72.00	C-75	9780	7340	12230	--	--	--
	68.00	L-80	9520	7140	11900	--	--	--
	72.00	L-80	10290	7720	12860	--	--	--
	68.00	N-80	9630	7220	12040	--	--	--
	72.00	N-80	10400	7800	13000	--	--	--
	68.00	C-90	10570	7930	13210	--	--	--
	72.00	C-90	11420	8570	14280	--	--	--
	68.00	C-95	11140	8360	13930	--	--	--
	72.00	C-95	12040	9030	15050	--	--	--
	68.00	P-110	12970	9730	16210	--	--	--
	72.00	P-110	14020	10520	17530	--	--	--
	72.00	Q125	15760	11820	19700	--	--	--
16	65.00	H-40	--	4390	--	--	--	--
	75.00	J-55	--	7100	--	--	--	--
	84.00	J-55	--	8170	--	--	--	--
	75.00	K-55	--	7520	--	--	--	--
	84.00	K-55	--	8650	--	--	--	--
18 5/8	87.50	H-40	--	5590	--	--	--	--

TABLA 1.1  
PAR DE APRIETE RECOMENDADO PARA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TAMAÑO: DIAMETRO EXTERIOR (PULGADAS)	PESO NO- MINAL (LB/PIE)	GRADO	TORQUE			LB/PIE		
			COPLE CORTO			COPLE LARGO		
			OPTIMO	MINIMO	MAXIMO	OPTIMO	MINIMO	MAXIMO
	87.50	J-55	--	7540	--	--	--	--
	87.50	K-55	--	7940	--	--	--	--
20	94.00	H-40	--	5810	--	--	--	--
	94.00	J-55	--	7840	--	--	9070	--
	106.50	J-55	--	9130	--	--	10570	--
	183.00	J-55	--	11920	--	--	18800	--
	94.00	K-55	--	8240	--	--	9550	--
	105.50	K-55	--	9600	--	--	11130	--
	183.00	K-55	--	12530	--	--	14530	--

### III.3.- TRANSPORTE, MANEJO Y ALMACENAMIENTO.

Los productos tubulares API en general, y las roscas en particular, se fabrican con un grado específico de precisión que requiere un manejo cuidadoso y ya sea que éstos sean nuevos, usados o reacondicionados, siempre deberán ser manejados con los protectores de rosca instalados en su lugar.

#### TRANSPORTE.

Transporte Marino: Los proveedores de tubos o sus agentes, deben ofrecer una supervisión apropiada en el momento de la carga y descarga de los buques o cualquier otro transporte marino, para asegurarse que la unidad de transporte cuente con suficientes maderos, que la estibación sea la apropiada para evitar su movimiento o desplazamiento durante el movimiento o vaivén, para asegurarse de que la tubería no esté estibada sobre o en una sección adyacente al agua cerca de productos químicos dañinos u otros materiales corrosivos, para asegurarse también de que no se arrastre la tubería y que como consecuencia, se dañen los acoplamientos o los protectores de roscas, se enganchen, llegaran a golpear el borde de la abertura de la escotilla, o se dañaran al golpearse con los travesaños del barco.

#### TRANSPORTE POR FERROCARRIL.

Cuando se embarque la tubería en carros de ferrocarril, se deben proporcionar tiras de madera a lo largo de la base del carro para asegurar un soporte conveniente a la tubería y permitir espacio para su elevación.

Si la base del carro no es uniforme, las tiras de madera deben calzarse en forma rígida de tal forma que su parte superior se encuentre en el mismo plano que la parte inferior. Estas tiras no deben ser colocadas debajo de acoplamientos o bajo las partes reforzadas por recaladura. La carga debe ser sujeta y nivelada en forma correcta para evitar cualquier movimiento o desplazamiento de la tubería de revestimiento.

#### TRANSPORTE POR CAMION

Durante el transporte por camión de carga, se deben observar las siguientes precauciones:

- A. Cargar la tubería sobre travesaños y sujétela con una cadena lo suficientemente fuerte en los travesaños. Cuando se trate de transportar tubería larga, debe colocarse una cadena adicional en la parte media.
- B. Cargar la tubería con todos los acoplamientos en el mismo extremo del camión.
- C. Se debe tener mucho cuidado para evitar el roce o juego de los hombros de las uniones de tubería con uniones adyacentes.
- D. No sobrecargar el camión, una segunda maniobra de descarga podría dañar los tubos.
- E. Una vez que la carga ha sido transportada durante una distancia corta, se deben sujetar nuevamente las cadenas unidas en los travesaños que, seguramente, se habrán aflojado como resultado del acomodo de la carga.

## M A N E J O

Deben observarse las siguientes precauciones en el manejo de la tubería:

- A. Antes de descargar, debe observarse que los protectores de roscas están correctamente en su lugar.
- B. Evitar el manejo brusco que pudiera dañar la estructura o cuerpo de la tubería. Se debe recordar que al perderse su diámetro original, se reducirá también su resistencia.
- C. No descargar la tubería haciéndola caer. Descargar uno, dos o tres tramos a la vez, dependiendo del número que pueda ser controlado perfectamente.

Cuando se deslice através de plataformas, deslice la - - tubería en forma paralela al descargar y no se debe permitir que la tubería se desplace o golpee en sus extremos por que inclusive con los protectores en su lugar, existirá el peligro de dañar las roscas.

## ALMACENAMIENTO

Se recomiendan las siguientes precauciones respecto al almacenamiento de la tubería:

- A. No acomodar la tubería directamente en el suelo, rieles, - pisos de acero o concreto. La primera capa o cama de tubería no debe estar a menos de 18 pulgadas del piso, para - mantener la tubería fuera del contacto con la humedad y la basura.

- B. La tubería debe descansar en soportes correctamente espaciados para evitar la flexión de la tubería o daños en las roscas. Los travesaños deben permanecer en el mismo plano y a un nivel razonable, deben estar apoyados con soportes adecuados que pueden ser capaces de sostener toda la carga sin romperse.
- C. Utilizar pedazos de madera como separadores entre las capas sucesivas de tubería para que ningún peso descansa en los acoplamientos. Usar por lo menos tres pedazos de madera como espaciadores.
- D. Colocar los espaciadores de madera en ángulos rectos en relación con la tubería y directamente encima de los espaciadores inferiores y los soportes, para evitar la flexión de la tubería.
- E. Alternar los tramos adyacentes de tubería en las camas o capas en una cantidad que se aproxime a la longitud del acoplamiento.
- F. Estibar la tubería, mediante bloques que consisten en uno por dos o dos por dos, en ambos extremos de los espaciadores de madera.
- G. Con propósitos de seguridad, facilidad en la inspección y manejo, la altura de apilamiento de la tubería no debe exceder de 3.5 mts. No se deben apilar más de cinco camas o capas de tubería.
- H. La tubería, durante el período de almacenamiento, debe ser inspeccionada periódicamente y aplicarse recubrimientos protectores cuando sea necesario para evitar la corrosión.

- I. Antes de introducir al pozo deberá marcarse con pintura la longitud y no del tramo para evitar estar moviendo - la tubería y pueda dañarse.

#### IV.- CAUSAS PRINCIPALES DE FALLA EN LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.

##### IV.1.- GENERALIDADES.

Las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos en el Area Cretácica, se desarrollan bajo condiciones severas de trabajo, debido a la geología, profundidad, características de perforación, terminación y de los fluidos que se manejan.

Estas condiciones exigen de los materiales la máxima resistencia y elasticidad, y de los técnicos exigen que se apliquen las normas mas estrictas de diseño y las recomendaciones para su manejo y armado, a grado tal que cuando no se cumple con las especificaciones requeridas por las normas, sobrevienen las fallas.

Los problemas ocasionados por las fallas de la TRy TP son de dos tipos: Técnicos y Económicos y la combinación de ambos.

Al presentarse los indicios de una falla de TR ó TP de inmediato se suspende la continuidad de los trabajos para su determinación - localización y cuantificación de sus alcances.

Una vez cuantificada la falla se estudia y se decide la solución técnica óptima. Esta solución muchas veces trae limitaciones al programa original de la perforación y de la explotación de los hidrocarburos en el pozo.

Los alcances económicos para dar soluciones, son elevados.

Son muchas las causas que influyen en las fallas de la tubería de revestimiento, a continuación, se señalan las que se consideran más importantes:

- 1.- Factores de seguridad a la tensión, presión interna y colapso inadecuados.

- 2.- Selección inapropiada en relación con la profundidad de asentamiento de la tubería y presiones encontradas.
- 3.- Inspección insuficiente de cada tramo de tuberías de revestimiento o de las roscas en la fábrica.
- 4.- Descuido en el manejo de la tubería de revestimiento, en la - fábrica, transporte y campo.
- 5.- No seguir las indicaciones en la introducción y extracción de las tuberías de revestimiento.
- 6.- Apriete excesivo de la tubería de revestimiento para introducirla en pozos estrechos.
- 7.- Perforación dentro de la tubería de revestimiento. Anclaje de la tubería de revestimiento con una tensión inapropiada - después de la cementación, siendo esta una de las razones - - principales de dichas fallas.
- 8.- Tubería de revestimiento desgastada en el transcurso de la - profundización del pozo.
- 9.- Pandeo de la tubería de revestimiento en una cavidad no cementada, agrandada o deslavada, cuando se libera demasiada tensión en el centrado.
- 10.- Uniones con fugas, bajo presión interna o externa, que son un problema común y puede deberse a:
  - a) Selección de rosca inapropiada.
  - b) Torque inapropiado con llaves de apriete.

- c) Roscas pegadas o barridas, debido a roscas sucias, conexión descuidada, roscas dañadas, giro demasiado rapido, uso excesivo de presión de las mordazas, durante las operaciones de giro o con la llave de apriete, práctica de centrado inapropiado, que produce tensiones en la unión roscada, en exceso del punto de cendencia o de deformación.
- d) Maquinado inapropiado de las roscas en el campo o en la fábrica.
- e) Manejo demasiado intenso sobre la tubería'
- f) Caída de la tubería de los cargadores ó del piso de perforación.
- g) Conexión y desconexión excesiva.
- h) Aplicación de la llave de apriete en una parte demasiado alta de la tubería de revestimiento, especialmente en la desconexión.  
Esto produce un efecto de flexión que tiende a ocasionar roscas barridas.
- i) Enrosque inapropiado.
- j) Forma ovalada de la tubería de revestimiento,

11.- Corrosión. Tanto el interior, como el exterior de la tubería de revestimiento pueden dañarse por la corrosión, que puede reconocerse por la presencia de picaduras o agujeros en el tubo. La corrosión, en el exterior de la tubería de revestimiento, puede ser ocasionada por fluidos corrosivos o formaciones en contacto con la tubería de revestimiento, o por corrientes eléctricas parásitas que fluyen hacia afuera de la tubería de revestimiento, a los fluidos o formaciones circundantes."

La corrosión severa también puede ser ocasionada por la bacteria reductora de sulfato. El daño por corrosión, en el interior normalmente es ocasionado por los fluidos corrosivos, el daño puede incrementarse por los efectos abrasivos del equipo de bombeo de la tubería de revestimiento, y por las altas velocidades de fluidos, tales como aquellas encontradas en algunos pozos de gas de alta presión. La corrosión interna también podría deberse a corrientes eléctricas parásitas (electrólisis) ó metales disímiles en contacto íntimo (corrosión galvánica bimetalica).

Debido a que la corrosión puede resultar de tantas condiciones diferentes, no se puede recomendar, para su control, ningún remedio simple o universal. Cada problema de corrosión debe tratarse como un caso individual y se deben intentar las soluciones a la luz de los factores de corrosión conocidos y de las condiciones de operación.

#### IV.2.- FACTORES DE SEGURIDAD A LA TENSION, PRESION INTERNA Y COLAPSO INADECUADO.

Los factores de seguridad a la tensión, presión interna y colapso, son considerados en el diseño de la tubería de revestimiento y cuando no se toman correctamente la tubería fallará o bien serán introducidas tuberías sobrediseñadas."

#### FACTORES DE SEGURIDAD A LA TENSION.

Se debe tener la plena seguridad, de que al bajar la tubería de revestimiento, que es el momento crítico, esta no se vaya a desprender al romperse la tubería en el cuerpo o en alguna junta. El factor de seguridad a la tensión empleado por diseñadores de tuberías de revestimiento no siempre es el mismo y el valor que toman, de acuerdo con sus necesidades, está entre 1.5 y 2.0

Se recomienda utilizar un factor de seguridad mínimo de 1.8. La columna No. 10 de la tabla IV.1 se muestran las variaciones de la resistencia a la tensión en fallas encontradas en pozos del Area de Villahermosa, en los cuales se consideraron: La resistencia a la tensión de la tubería y peso de la tubería, corregido por el factor de flotación.

Los factores de seguridad a la tensión determinados están en el rango de 1.7 a 5.2 para tuberías de 7 5/8" y 7" corridas hasta la superficie y de 4.2 a 40.6 en las tuberías cortas de 7 5/8". No se encontraron fallas de tuberías de revestimiento imputables a esta causa.

## FACTOR DE SEGURIDAD A LA PRESION INTERNA,

La tubería de revestimiento diseñada debe resistir la presión interna causada por la columna hidrostática del lodo, la presión del yacimiento o la presión máxima que se alcanzará en el transcurso de una estimulación, por estas razones debe diseñarse con un factor de seguridad a la presión interna.

Los diseñadores de tuberías de revestimiento emplean valores de 1.10 a 1.34, el valor de 1.1 es aceptable.

Para la revisión de la resistencia de la tubería a la presión interna se consideraron: Presión interna a la profundidad de la falla detectada, columna 9, tabla IV.1. Esta presión fue calculada, empleando la expresión:

$$P_b = G_f D_2 - G_g (D_1 - D_2) - 0.1 d_l D_2 \quad \text{--- (IV.1)}$$

Donde:

$P_b$  = presión interna a la profundidad  $D_2$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$G_f$  = gradiente de fractura o de sobre carga  $\text{Kg}/\text{cm}^2/\text{m}$

$D_1$  = profundidad de la zapata (m)

$D_2$  = profundidad a la cual se desea conocer la presión interna (m)

$G_g$  = gradiente de presión de gas ( $\text{Kg}/\text{cm}^2/\text{m}$ )..

$d_l$  = densidad del lodo ( $\text{gr}/\text{cc}$ ).

Para la expresión (IV.1) se usó el gradiente de fractura obtenido de las gráficas de profundidad VS, conductividad; los factores de seguridad a la presión interna determinados están en el rango de 2.3 a 19.0 al igual que el anterior no se encontraron fallas - de T.R. imputables a esta causa.

#### FACTOR DE SEGURIDAD AL COLAPSO.

Debe ser garantizado que la tubería de revestimiento no fallará - por aplastamiento al introducirla al pozo o en la vida productiva de ésta, debido, a la presión hidrostática del lodo, del cemento antes de fraguar o de las presiones ejercidas por los fluidos de la formación; por estas razones se trabaja con un factor de seguridad al colapso que varía de 1.125 a 1.34. generalmente se utiliza un factor de seguridad mínimo de 1.125.

La resistencia de la tubería al colapso disminuye debido a la - - acción de la carga axial (peso de la propia tubería), razón por - la cual la resistencia debe ser corregida por esta causa.

Para la revisión de la resistencia de la tubería al colapso, columna 8 de la tabla IV.1 se consideraron:

Resistencia al colapso de la tubería, corregida por el factor de flotación y por la carga axial.

La densidad del lodo empleada al cementar la tubería.

Fueron catorce causas (42.4%) de fallas posibles debidas a un - factor de seguridad al colapso menor de 1.125.

En la tabla IV.2 se indica un resumen de las fallas encontradas en los pozos del área de villahermosa tab.

TABLE IV.1  
 REVISION EN EL PESO DE LA CAR.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
BOZO	No.	GRUPO	PESO (LB/PIE)	JENTA	INTERVALO (D)	DESBET. DE OBLAB. DE OMBE AGAVI, (GR/CC)	FACTORES DE CORRECCION			PUNTO DE REVISION		
							DESBET. DEL TADO (GR/CC)	DESBET. DE OMBE	DESBET. DE OBLAB.			
AGAVE	51	P-110	33.7	BHR	2085.0-2228.0	447.9	1.52	1.24	5.2	5.0	NO	
		P-110	39	ICE	2720.0-2725.0	545.9	1.56	1.33				
		P-110	39	ICE	2725.0-3054.0	786.9	1.55	1.45				
AGAVE	55	P-110	39	BHR	2678.0-2789.0	715.5	1.73	1.43		5.0	NO	
		P-110	39	ICE	2781.0-2935.0	765.0	1.73	1.35				
		V-150	29	BCE	2935.0-4335.0	917.0	1.73	1.22				
AGAVE	56	P-110	33.7	BCE	0.0-1386.0	375.9		1.46		11.2	5.2	NO
		P-110	34.7	BHR	1386.0-2074.0	420.1		1.27				
		P-110	34.7	BCE	2074.0-2531.0	453.3		1.22				
		H-160	39	ICE	2531.0-2997.0	527.4		1.24				
		P-110	39	ICE	2997.0-4168.0	763.1		1.27				
AGAVE	74	P-110	39	BHR	2551.7-2746.5	731.1	1.52	1.71		19.7	5.7	NO
		P-110	39	ICE	2746.5-3748.0	746.7		1.30				
		V-150	39	ICE	3788.0-4909.0	936.0		1.54				
ARTUSA	41	H-80	39	ICE	2415.0-2524.0	545.9	1.35	1.69	2.7	4.2	NO	
		P-110	39	ICE	2524.0-3670.0	770.9		1.57				
CACIUS	50	H-80	33.7	BHR	0.0-1988.0	490.0	1.51	0.95		2.3	1.99	NO
		P-110	33.7	ICE	1988.0-2884.0	519.0		1.27				
		H-80	39.0	BCE	2884.0-3489.0	601.3		1.116				
		P-110	39	BCE	3489.0-3753.0	777.8		1.41				

TABLA IV.1 (CONT.)  
 REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA T.R.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
POZO	No.	T. R. CORTA DE 7-5/8" USADA.			RESIST. AL COLAPSO, CORREGIDAXT, (KG/CM <sup>2</sup> )	DENSIDAD DEL LODO (GR/CC)	FACTORES DE SEGURIDAD			VALOR DEBIDO A BAJA FACTURA DE SERVICIOS EN EL MUESTRO.	
		GRADO	PESO (LB/PIE)	JUNTA			INTERVALO (P)	COLAPSO	PRECISION INTERNA		TENSION
CANDENAS	101	P-110	32	BIR	3090.0-3203.0	726.4	1.85	1.22	6.5	NO	
		P-110	35	BCE	3203.0-4168.0	887.5		1.15			
		V-150	35	BCE	4168.0-4871.0	1141.4		1.26			
ERIX	2	P-110	39	BIR	3107.0-3209.0	754.0	2.18	1.07	18.0	SI	
		P-110	39	BCE	3209.0-3561.0	758.0		0.97			
		V-150	39	BCE	3561.0-5035.0	941.0		0.86			
SIRALDAS	2	P-110	39	BIR	2904.0-3013.0	685.0	1.62	1.40	14.1	4.41	NO
		P-110	39	BON	3013.0-3810.0	739.9		1.19			
		V-150	39	BON	3810.0-4430.0	947.2		1.31			
SIRALDAS	72	V-150	39	E.L.	2995.0-3138.0	941.0	1.97	1.52	-	40.6	SI
		V-150	39	BON	3138.0-3938.0	943.0		1.21			
		V-150	39	BCE	3938.0-4425.0	945.8		1.08			
SIRALDAS	139	V-150	39	BON	3362.1-4618.0	917.0	1.75	1.13	-	13.6	NO
ERIX	128-A	P-110	39	BCE	2095.7-4027.5	778.9	1.55	1.24	3.4	5.0	NO
IRIS	101	V-150	39	BCE	3315.4-4746.0	899.0	1.60	1.17	4.1	11.5	NO
MISPERO	50	P-110	33.7	BIR	2716.0-3281.4	531.1	1.82	1.25	17.5	11.1	NO
		H- 60	39	BON	2281.4-2597.0	591.1		1.25			
		P-110	39	BON	2597.0-3352.0	757.2		1.25			

TABLE IV.1 (Cont.)  
 REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA T.R.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
TIPO No.	T. H. CORTA DE 7-5/8" USMA.				RESIST. M. CILINDRICO, COMPRESION, (KG/CM <sup>2</sup> )	DENSIDAD DEL LADO (GR/CC)	FACTORES DE SEGURIDAD			VALOR PERMISIVO A RASO DE TENSION EN EL DISEÑO.	
	GRADO	PESO (LB/PIE)	JUNTA	INTERVALO (H)			CUMPLIDO	PRESION INTERNA	TENSION		
MAYOR	30	P-110	31.7	BR	0.0-171.7	438.0	1.55	16.19	2.3	2.17	
	H-80	39	DR	171.7-319.4	415.0						
	H-80	31.7	DR	519.6-1945.9	330.0						
	H-89	39	DR	1935.9-2613.8	576.0						
	P-110	31.7	DR	2613.8-3120.8	507.0						
		P-110	39	DR	3120.8-4492.0	777.0					SI
MAYOR	41	H-89	39	BR	0.0-890.0	452.6	1.45	1.527	-	2.46	NO
	H-85	31.7	DR	890.0-2157.0	381.4						
	C-75	39	DR	2157.0-2847.0	551.3						
	M-23	39	DR	2847.0-3695.0	612.8						
MAYOR	42	H-80	39	BR	2927.0-2927.0	564.0	1.58	1.750	34.7	5.236	NO
	P-110	39	DR	2927.0-1974.0	739.0						
	P-110	39	DR	1974.0-4189.0	774.0						

TABLA IV.1 (CONT.)

REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA T.R.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
POZO	No.	T. R. CONTA DE 7-5/8" USADA.				RESIST. AL COLAPSO, CORSE GIDANT <sup>2</sup> (KG/CM <sup>2</sup> )	DENSIDAD DEL LODO (GH/CC)	FACTORES DE SEGURIDAD			FALSA LLAMADA A FALSO FACTOR DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO.
		GUAR	PESO (LB/PIE)	JUNTA	INTERVALO (H)			COLAPSO	PRESION INTERNA	TEMSION	
HISSENO	96	N- 80 P-110 P-110	39 33.7 39	BCE BCN BCN	0.0-2123.0 2123-2665.0 2665-3666.4	521.2 497.5 778.9	1.76	1.39 1.05 1.20	3.6	2.16	SI
OXIACAZQUE	13	P-110 P-110	39 39	BHR BCN	2186-2787 2787-3335	716.6 778.9	1.65	1.50 1.42	-	5.9	NO
SAMARIA	81	P-110 H- 80 H- 80 H- 80 P-110	33.7 39 33.7 33.7 39	BHR BHR BCN BCN	0.0- 282.0 282.0- 792.0 792.0-1632.0 1632.0-2314.0 2314.0-4210.0	331.7 589.1 286.4 323.3 778.9	1.55	5.59 4.79 1.13 0.90 1.19	-	2.17	SI
SAMARIA	84	N- 80 H- 80 P-110	39 39 39	HD EL EL	2997.0-3569.0 3569.0-4133.0 4133.0-4317.0	570.8 608.0 778.9	1.70	0.94 0.87 1.06	-	-	SI
SAMARIA	88	V-150	39	BCE	3272.0-4523.5	947.2	1.70	1.23	4.1	7.4	NO
SAMARIA	96-A	P-110 V-150	39 39	BCE BCE	3116.0-3223.0 3223.0-4446.0	746.7 910.0	1.60	1.44 1.29	-	-	NO
SAMARIA	97	P-110 V-150	39 39	BHR BCN	3003.5-3633.9 3633.9-4024.0	754.5 941.3	1.60	1.19 1.42	-	-	NO

TABLA IV.1 (CONT.)  
 REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA T.R.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CICLO No.	T. R. COPTA DE 7-5/8" USADA.				RESIST. AL CLAP-EO, CLAP-INDIC. (PSI/CM <sup>2</sup> )	LINEALIDAD DEL TUBO (CM/CM)	FACTORES DE SEGURIDAD			FACTOR DE DISEÑO A PARTIR DEL DISEÑO DE LA T.R.
	GRUPO	PESO (Lb/PIE)	JUNTA	INTERVALO (IN)			GRUPO	RESIST.	TENSIÓN	
SANGRIA	P-110	39	DIR	0.0-1183.0	584.2	1.52	3.20	2.6		
	P-110	33.7	DIR	1183.0-1795.0	431.2		1.58			
	P-110	39	DIR	1795.0-2409.0	665.4		1.82			
	P-110	33.7	LL	2409.0-3820.0	541.8		0.93			SI
	P-110	39	LL	3820.0-3997.0	778.9		1.78			
SANGRIA	H- 80	39	WEL	2817.0-2944.0	527.4	1.75	1.02	3.1		SI
	P-110	39	WEL	2944.0-4352.0	778.9		1.02			
SANGRIA	P-110	39	WEL	0.0- 295.0	591.1	1.50	11.4	3.9	2.5	NO
	H- 60	33.7	DIR	295.0-1044.0	253.7		1.62			
	H- 60	39.0	DIR	1044.0-1820.0	464.6		1.69			
	P-110	33.7	WEL	1820.0-2829.0	502.3		1.10			
	P-110	39.0	WEL	2829.0-4765.0	738.9		1.15			
SANGRIA	P-110	39.0	DIR	2857.0-2939.0	776.0	2.07	1.27	6.9	17.8	
	P-110	39	WEL	2939.0-3357.0	771.0		1.12			
	V-150	39	WEL	3357.0-4631.0	945.0		0.99			SI
SANGRIA	P-110	39	WEL	0.0-1574.0	611.9	1.65	2.51	2.8	1.96	
	H- 60	33.7	WEL	1574.0-2661.0	369.6		0.78			
	H- 60	39	WEL	2661.0-4057.0	690.0		0.99			SI
	P-110	39	DIR	4057.0-4265.0	778.9		1.10			

TAREA IV.1 (CONT.)

REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA T.R.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
LOZO	No.	T. R. CORTA DE 7-5/8" USADA.			RESIST. AL CUELLO DEL CONCRETO, TENSIL, (KG/CM <sup>2</sup> )	DENSIDAD DEL LODO (GR/CC)	FACTORES DE SEGURIDAD			FALLA ESPERADA A RAZÓN FACTUAL DE EXAGERAR RISGO EN EL DISEÑO.	
		GRADO	PESO (Lb/DIE)	JUNTA			INTERVALO (N)	COLAPSO	PRESIÓN INTERNA		TENSIL
SAMARIA	127	P-110	39	BCN	0.0-687.9	649.0	1.70	5.55	2.8	2.67	SI
		N-80	33.7	DCI	687.9-2798.4	354.0		0.84			
		P-110	39	BCI	2798.4-4106.0	751.0		1.07			
SAMARIA	260-A	P-110	39	BCN	3175.0-3999.0	731.1	1.64	1.115	4.0	7.2	SI
		V-150	39	BCI	3999.0-4862.0	927.0		1.163			
SARUAPA	1	N-80	29	BCN	0.0-1139.0	247.0	1.26	1.720	5.9	1.70	SI
		P-110	26	DCI	1139.0-2695.0	358.0		1.056			
		P-110	32	BCI	2695.0-4200.0	753.5		1.423			

TABLE IV. J  
RESUMEN DE CAUSAS DE FALLAS

1		2		3		4		5		6	
POZO	No.	FALLAS DE T. H.		T. H.		FALLAS DE T. H.		CAUSA DE FALLA NO EXISTENTE		LOCALIZACION DE LA FALLA DE CAUSA NO EXISTENTE	
		FACTORES DE SEGURIDAD EN LOS	FACTORES DE SEGURIDAD EN LOS	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES	DEBILIDADES
AGAVE	53	-	-	-	-	-	-	X	-	30.7 H. SOBRE DCA T.H. 5° A 2275 N.	
AGAVE	55	-	-	-	-	N/ET.	X	X	-	-	-
AGAVE	56	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
AGAVE	74	-	-	X	-	N/ET.	-	-	-	-	-
AGUJA	41	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
COCOS	90	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
CUNHOCAN	30	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
CUNHOCAN	41	-	-	-	-	N/ET.	X	X	-	16 H. SOBRE DCA T.H. 2 H. SOBRE DCA T.H.	
CUNHOCAN	42	-	-	-	-	N/ET.	X	X	-	-	-
GUERRAS	101	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
IBEX	2	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	2	-	-	Y	-	X	-	-	-	-	-
GENILAS	72	X	-	X	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	139	-	-	X	-	N/ET.	-	-	-	-	-
ISHU	128-A	-	-	N/ET.	-	N/ET.	-	X	-	24 H. SOBRE DCA T.H.	
IBEX	101	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
MEMERO	90	-	-	-	-	N/ET.	X	X	-	13 H. SOBRE DCA T.H. 7-5/8	
MEMERO	96-A	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
CANACAME	13	-	-	-	-	N/ET.	-	X	-	6 H. SOBRE DCA T.H.	
GENILAS	81	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	84	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	88	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
GENILAS	96-A	-	-	X	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	97	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-
GENILAS	101	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	112	X	-	-	-	N/ET.	-	-	-	-	-
GENILAS	117	-	-	-	-	N/ET.	-	X	-	6 H. SOBRE DCA T.H.	

TAJAL IV. 2 (CONT.)

RESUMEN DE CAUSAS DE FALLAS.

1	2	3	4	5	6
POZO No.	FALLAS DE T. R. POR DISEÑO		FALLAS T. R. POR DESGASTE EN LA PROF. DEL POZO	CAUSA DE FALLA NO ENCONTRADA	LOCALIZACION DE LA FALLA DE GRACA O DE ESCUELA
	FACTORES DE SEGURIDAD BAJOS	ACERO INADECUADO/FRASEO DE H <sub>2</sub> S			
SIERRA 118	X	X	N/DET.		
SIERRA 119	X	-	N/DET.		
SIERRA 127	X	-	N/DET.	-	
SIERRA 260-A	X	X	N/DET.	-	
SIERRA 1	X	N/DET.	N/DET.	-	
SUB-TOTALES	14	10	9	8	

FALLAS TOTALES - 33

FALLAS DEBIDAS A BAJOS FACTORES DE SEGURIDAD - 42.4%  
 FALLAS DEBIDAS A GRADO DE ACERO INADECUADO - 30.3%  
 FALLAS DEBIDAS A DESGASTE DE LA T.R. - 27.3%

TOTAL : 100.0%

#### IV.3. \_ DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.

El desgaste de la tubería de revestimiento no es un problema nuevo, sin embargo de un tiempo a la fecha este problema ha aumentado debido a las prácticas cada día más severas en la perforación, particularmente en operaciones marinas, es por ello que su estudio y la búsqueda de procedimientos adecuados para cuantificarlo es de suma importancia, así como los medios más eficaces para evitarlo o reducirlo.

El desgaste de la tubería de revestimiento es definido como la remoción de material localizado en el diámetro interior de la tubería de revestimiento, como un resultado de las fuerzas de contacto entre componentes del vástago de perforación y la tubería de revestimiento durante las diferentes operaciones de perforación.

El desgaste de la tubería de revestimiento puede ocasionar pérdidas significativas, ya que si se permite que éste se acentúe llega a ocasionar fallas.

Dado que la profundidad de los pozos es mayor cada día, esto ocasiona que el desgaste aumente debido a que es necesario utilizar sargas de perforación de mayor longitud cuyos pesos y tensiones aumentan proporcionalmente causando mayores esfuerzos entre la junta y la tubería de revestimiento.

También los pozos con grandes o continuas desviaciones aumentan las cargas de contacto que a su vez incrementan el desgaste de la tubería de ademe.

El desgaste de la tubería de revestimiento es un problema com  
plejo que involucra variables como:

1. La magnitud de la fuerza de contacto.
2. El tamaño y cantidad de partículas (arena) en el fluido de perforación
3. La composición del fluido de perforación
4. Las características de las superficies en contacto (tipo de acero de la tubería de perforación y revestimiento, - dureza de la junta, etc.)
5. El tipo de movimiento (rotacional o longitudinal)
6. La magnitud de la velocidad de rotación.
7. El tiempo que se mantiene el contacto.
8. Diámetro de la tubería de perforación y revestimiento.
9. Temperatura.
10. Efectos químicos.

En la mayoría de la literatura publicada, se cuantifica el des  
gaste en base a pruebas de laboratorio considerando el mayor  
número de variables posibles que intervienen en el problema. -  
Sin embargo, en nuestro medio poco se ha hecho para prevenir -  
el desgaste de la tubería de revestimiento.

En esta parte del trabajo se trata de indicar la importancia -  
del problema, analizando las causas, sus efectos y medidas de  
control, ya que prevenir o reducir el desgaste y el daño causa  
do a las tuberías de revestimiento mediante la selección de -  
material adecuados escogidos con el diseño óptimo, puede resul  
tal en un ahorro de millones de pesos anuales en la industria

Bradley y Fontenot estudiaron los efectos del empuje lateral de la tubería de perforación y líneas de acero cuando se llega utilizar, considerando varios fluidos de perforación con y sin sólidos, usaron protectores de hule en las juntas, además estudiaron en detalle el desgaste de la tubería de revestimiento debido al movimiento longitudinal de la tubería de perforación y línea de acero; sus principales observaciones son las siguientes:

1. El empuje lateral máximo permisible sobre las juntas es del orden de 2000 lb<sub>f</sub>, fuerzas de contacto mayores favorecen el desgaste.
2. El excesivo uso de línea de acero en los pozos ocasiona desgaste de la tubería de revestimiento.
3. El uso de protectores de hule en las tuberías, en pozos desviados, reduce el desgaste.

True y Weimer en su estudio consideraron constante el empuje lateral e igual a 2300 lb<sub>f</sub> e investigaron un amplio rango de juntas con superficie dura, utilizando una variedad de fluidos de perforación con y sin adicionar arena y usaron también protectores de hule. Un importante conclusión de estos es que las juntas con un recubrimiento "suave" de carburo de tungsteno, ocasiona un desgaste mínimo tanto en tubería de revestimiento como en las juntas de perforación.

Los pozos con desviaciones severas generalmente son ademados hasta un intervalo más profundo que incluye la pata de perro.

Hecho esto se continua perforando y las juntas de la tubería de perforación chocan contra las paredes de la tubería de revestimiento por la tensión de la sarta; dado que el desgaste continúa, se forma una ranura en la tubería de revestimiento incrementado el área de contacto. Este proceso en una u otra manera aumenta y disminuye la presión de contacto.

Para efectuar evaluaciones más precisas del desgaste se llevaron a cabo mediciones en laboratorio en las que se encontró la relación entre el ritmo de desgaste y la presión de contacto para diferentes tipos de lodo cuyas características fueron conocidas.

Para estimar el desgaste de la tubería de revestimiento por rotación de la sarta de perforación, se toman en cuenta los parámetros siguientes:

- Tiempo y velocidad de rotación
- Condiciones del lodo
- Capacidad de desgaste de la tubería de perforación
- Resistencia de la tubería de revestimiento al desgaste.
- Severidad de la desviación (pata de perro)
- Tensión de la tubería de perforación en el punto de desgaste.

Por lo tanto, el ritmo de desgaste se encuentra en función de los parámetros citados y la fuerza de contacto.

Del desarrollo anterior se concluye que:

- El ritmo de desgaste es independiente del ritmo de perforación (la perforación podría ser nula y el - desgaste excesivo)
- El ritmo de desgaste es afectado por el espaciamiento entre juntas.
- El ritmo de desgaste es afectado por el tiempo que la junta se encuentra en contacto con cualquier punto de la tubería de revestimiento.

Todo ello es cuanto a lo que se refiere al desgaste, debido a la rotación de la tubería de perforación, considerando la carga de contacto.

A partir de los experimentos de laboratorio y de campo se efectuó una comparación entre el desgaste causado por rotación de la tubería de perforación y por viaje de esta; esta incluye las condiciones bajo las cuales ocurrió el desgaste.

No obstante de las limitaciones de los métodos usados para predecir la profundidad de desgaste, las conclusiones a que nos llevan los resultados son:

1. La magnitud de desgaste observado en el campo puede ser cuantificado a partir de los coeficientes de desgaste calculados en laboratorio.
2. La mayor causa del desgaste de la tubería de revestimiento, es la rotación de la sarta de perforación.
3. El desgaste causado por línea de acero es muy pequeño - comparado con las mediciones de desgaste debido a la tubería de perforación.

Los estudios muestran que una compleja combinación de variables - como temperatura, presión, tipo de lodo, dureza de las juntas, -- carga lateral sobre la tubería de revestimiento (contacto), velocidad de rotación, corrimiento de línea de acero, y viaje de la tubería de perforación, contribuyen al desgaste de la tubería de revestimiento es la rotación de la sarta de perforación.

Los procedimientos sugeridos para reducir el desgaste de la tubería de revestimiento han sido enfocados a minimizar el contacto entre las sargas de perforación y revestimiento, a través del uso de protectores de hule en la tubería de perforación y más importante el tratar de reducir las desviaciones a los límites mínimos posibles.

El control del cambio de ángulo es el factor más importante - que contribuye al desgaste de la tubería de revestimiento. La práctica más común usada para controlar esta desviación ha sido el perforar con grandes pesos sobre la barrena.

El uso de motores de fondo impulsores de la barrena para reducir el desgaste de la tubería de perforación, revestimiento y juntas protectores.

Los motores de fondo permiten un efectivo control de la desviación lo cual reduce la incidencia y severidad de las patas de perro, además de estas ventajas, los motores de fondo aumentan el ritmo de penetración, así como el tiempo efectivo de - trabajo en la perforación y reducen los esfuerzos sobre la tubería de perforación. La desventaja del uso de éstos es su costo elevado.

## V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las tuberías de revestimiento representan el gasto más considerable que se realiza en la perforación de un pozo. Por ello es imprescindible proteger dicha inversión y asegurarse que se va a obtener un máximo rendimiento de las mismas.

A diferencia de los métodos tradicionales de diseño de tuberías de revestimiento el procedimiento por carga máxima toma en cuenta: Las condiciones de un brote, pérdida de circulación y una carga de respaldo.

El procedimiento de cálculo de diseño de tuberías por carga máxima nos permite obtener diseños de sartas de tubería de acuerdo a las cargas reales a las que estará expuesta en los pozos. Lo que hace que las tuberías diseñadas con este procedimiento resulten de menor costo y más seguras al de las sartas que se diseñan con los métodos convencionales.

De acuerdo a las conclusiones anteriores, se sugiere utilizar el diseño por carga máxima para diseñar las tuberías de revestimiento.

Se debe tener cuidado en el manejo de las tuberías de revestimiento desde que se obtienen del fabricante hasta que se introducen en los pozos, para que el diseño de tuberías de revestimiento sea realmente eficaz y seguro.

Se recomienda manejar factores de seguridad de diseño adecuados para no ocasionar problemas de fallas en las tuberías de revestimiento.

Finalmente se recomienda utilizar protectores de hule para tubería de perforación para evitar un excesivo desgaste sobre la tubería de revestimiento.

## REFERENCIAS

- 1.- Andaluz Luis M.: ''Roturas y colapsos de las tuberías de re-vestimiento del distrito de Villahermosa Tab., y su relación con las formaciones plásticas del área''.
- 2.- Benitez Hernández M.A.: '' Apuntes de tecnología de perforación''.  
Facultad de Ingeniería U.N.A.M., 1986.
- 3.- Fabrimex S. A.: ''Curso para llaves de apriete y unidad de fuerza''.
- 4.- Garaicochea P., Benitez H.: ''Apuntes de terminación de pozos''.  
F.I. U.N.A.M., 1986
- 5.- Greenip F. John: ''Cuidado en el manejo de tubería''.  
Cía. Hydril, Tx. E.U.A.
- 6.- Halliburton Cía.: '' Halliburton Cementing Tables''
- 7.- Hydril Cía. : ''Cuidado en el manejo de tuberías''.
- 8.- Instituto Americano del Petróleo: ''Práctica recomendado para el cuidado y uso de la tubería de revestimiento y de producción''.  
API RP-5C1, Marzo, 1980.
- 9.- Macip Ruano M.A.: ''Estudio de las fallas en tuberías de revestimiento de explotación en el área cretácica zona sureste''.  
F.I. U.N.A.M. (tesis), 1987.
- 10.- Martínez González R.: ''Análisis de las causas de falla de las tuberías de revestimiento''.  
F.I. U.N.A.M. (tesis), 1987.

- 11.- Martínez Tapia I.: 'Diseño y asentamiento de tuberías de -  
revestimiento en pozos petroleros ' F.I. U.N.A.M. (tesis)  
1989.
- 12.- Pretice C.M.: 'Maximum Load Casing Design'', Journal of --  
Petroleum Technology, July 1970.
- 13.- Poblano O.R., Martínez G.R.: 'Diseño de tuberías de revesti-  
miento por carga máxima'.  
Revista de Ingeniería petrolera diciembre/1987.
- 14.- Pretice C.M.: 'Maximum Load Casing Design'', Journal of pe-  
troleum technology, July, 1970.
- 15.- Prinver S.A. de C.V.: 'Diseño de tuberías de revestimiento''.
- 16.- Santiago Benitez L.: 'Fallas en tuberías de revestimiento -  
que se presentan en el Distrito Villahermosa, Tab.''  
F.I. U.N.A.M. (tesis), 1987.
- 17.- Subdirección de desarrollo de campos: 'Causas que influyen -  
en las fallas de la tubería de revestimiento corta 7-5/8' en  
el área de Villahermosa, Tab.''
- 18.- Supteia. de explotación Z.S.: 'Fallas de tubería de revesti-  
miento en el área de tabasco y chiapas (análisis y recomenda-  
ciones)''.

19.- Tapia A.A. y Monterrubio N.L.: 'Nuevos conceptos en el diseño de tuberías de revestimiento y su aplicación a pozos profundos'.

Congreso Latinoamericano de perforación, noviembre, 1986.

20.- William B. Bradley: 'Los protectores de hule de la tubería de perforación reducen el desgaste de la tubería de revestimiento'.

Oil and gas journal, Cía Shell, Feb. 1975.