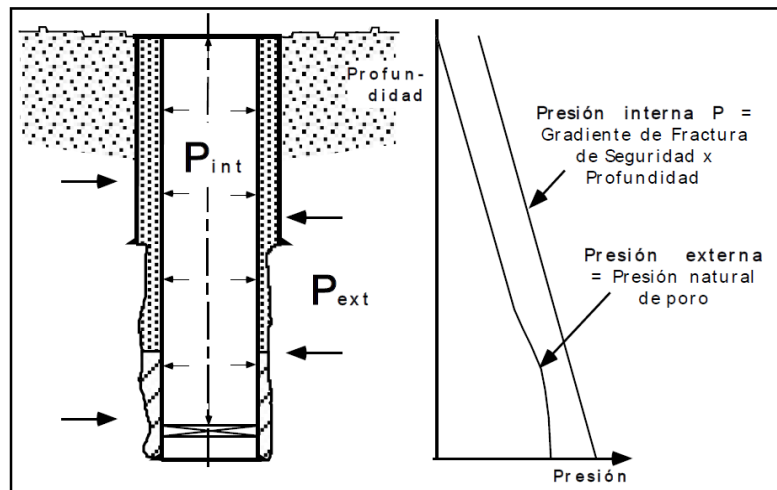


DISEÑO MECÁNICO DE REVESTIDOR CONDUCTOR

a) **Máxima carga de estallido: Prueba de Presión de la sarta de tubería de revestimiento cementada.**

Se supone que el revestidor está lleno del lodo con el cual se corrió la sarta y se aplica una presión interna superficial suficiente para producir una presión en la zapata del conductor que sea igual a la presión del “gradiente de fractura de seguridad”, tal como se muestra en la figura abajo mostrada.

El “gradiente de fractura de seguridad” es igual al gradiente de fractura más 0,2 lpg, para los pozos en desarrollo, o más 0,5 lpg para los pozos exploratorios.



Con dichos datos, se construye el perfil de presión interna del revestidor.

Perfil de Presión Interna

Profundidad (pies)	Presión (lpc.)	
Superficie (0)	$P_{sup} = P_{fondo} - 0,052 \cdot D_{L\ baj} \cdot Prof_T$	
Fondo ($Prof_T$)	$P_{fondo} = P_{frac} + (0,052 \cdot 0,2 \cdot Prof_T)$	Para pozos de desarrollo.
	$P_{fondo} = P_{frac} + (0,052 \cdot 0,5 \cdot Prof_T)$	Para pozos exploratorios.

Por otro lado, el perfil de “presión de poro natural” se emplea para la presión externa.

NOTA: Se debe generar un perfil de “presión de poro natural” para el pozo, que se pueda usar como perfil de presión externa o de respaldo para todas las cargas por presión de estallido diferencial para cada sarta de tubería del plan del pozo. Además, nótese que las presiones de respaldo para los tiebacks o las cargas por presión de estallido pueden ser diferentes a la presión de poro natural, dependiendo de la configuración del sistema.

Perfil de Presión Externa

Profundidad (pies)	Presión (lpc)
Superficie (0)	$P_{\text{sup}} = 0$
Fondo (Prof_T)	$P_{\text{fondo}} = P_{\text{poro}}$

Posteriormente, se calculan los perfiles resultante y de diseño para cada profundidad de interés:

Perfil de Presión Resultante ($P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}$)

Profundidad (pies)	Presión (lpc)
Superficie (0)	$P_{R \text{ sup}} = P_{\text{int sup}} - P_{\text{ext sup}}$
Fondo (Prof_T)	$P_{R \text{ fondo}} = P_{\text{int fondo}} - P_{\text{ext fondo}}$

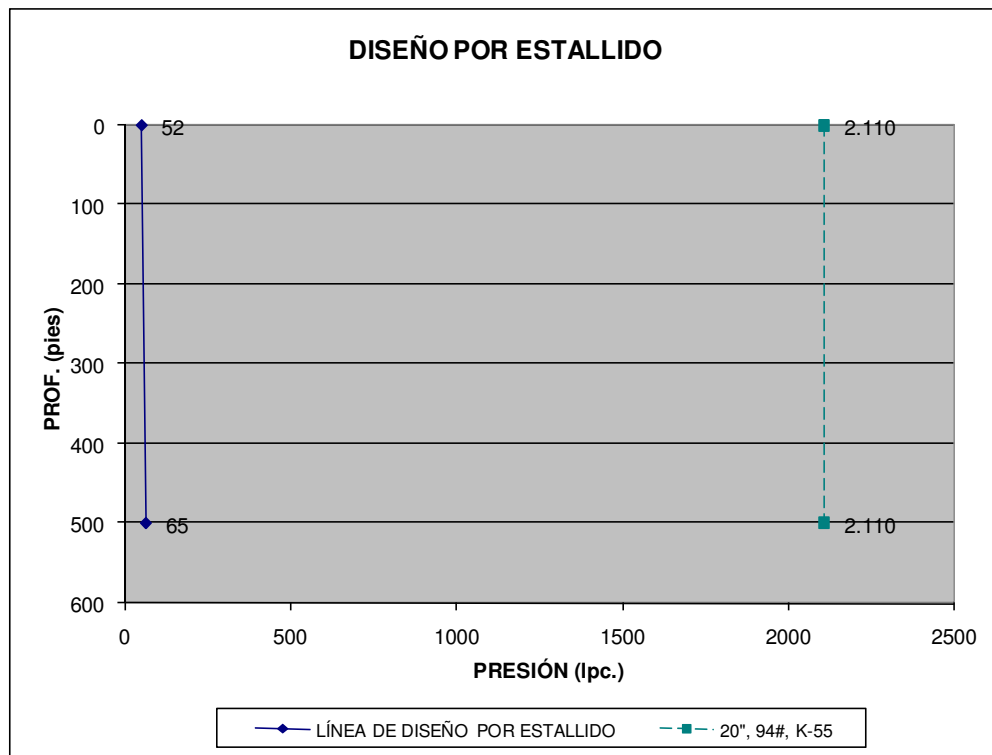
Perfil de Presión de Diseño

(No hay factor de diseño para el revestidor conductor)

Profundidad (pies)	Presión (lpc)
Superficie (0)	$P_{D \text{ sup}} = P_{R \text{ sup}}$
Fondo ($Prof_T$)	$P_{D \text{ fondo}} = P_{R \text{ fondo}}$

A continuación, se representan los valores de presión de diseño, a nivel de superficie y fondo, en una gráfica de Prof. vs. Presión y se unen dichos puntos para formar una línea recta

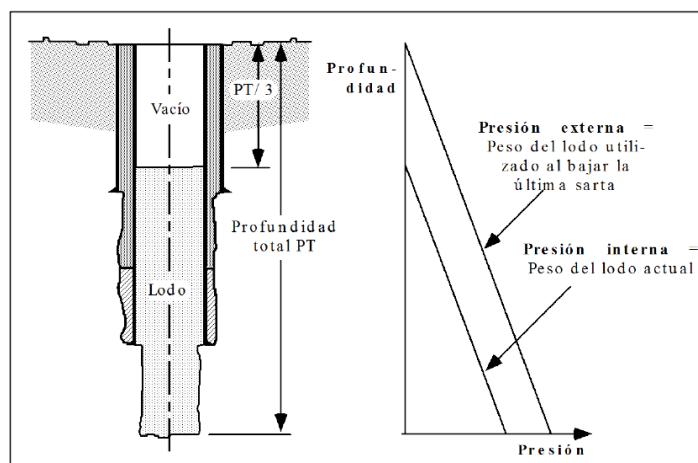
Finalmente, se selecciona un revestidor cuya resistencia al estallido sea mayor a las cargas de diseño definidas y se representa en la misma gráfica como una línea vertical punteada a la derecha de la línea de diseño.



b) Máxima carga de colapso: 1/3 Vacío.

Se considera que el revestidor conductor ya fue asentado y cementado y que se ha perforado el siguiente hoyo hasta su profundidad total. Tal como se observa en la figura abajo mostrada, se asume entonces que ha quedado vacío el interior del revestidor desde la superficie hasta 1/3 de la profundidad total actual.

Por debajo de 1/3 de la profundidad total actual está el peso del lodo que se utilizará para bajar y asentar la siguiente sarta de revestidores.



Con la información dada, se establece el perfil de presión interna.

Perfil de Presión Interna

Profundidad (pies)	Presión (lpc)	
Superficie (0)	$P_{sup} = 0$	
Tope de Cemento (TTC)	$P_{ttc} = 0$	Si el tope del lodo está por debajo del tope de cemento ($Prof_{tope\ lodo} > TTC$).
	$P_{ttc} = 0,052 \cdot D_{L\ prox\ hoyo} \cdot (TTC - Prof_{tope\ lodo})$	Si el tope del lodo está por encima del tope de cemento ($Prof_{tope\ lodo} < TTC$).

Zapata ($Prof_z$)	$P_{zap} = 0$	Si el tope del lodo está por debajo de la zapata ($Prof_{tope\ lodo} > Prof_z$).
	$P_{zap} = 0,052 * D_{L\ prox\ hoyo} * (Prof_z - Prof_{tope\ lodo})$.	Si el tope del lodo está por encima de la zapata ($Prof_{tope\ lodo} < Prof_z$).

Donde:

$$Prof_{tope\ lodo} = \frac{Prof_T}{3}$$

NOTA: Si el revestidor está cementado hasta superficie o no está cementado en lo absoluto, se omiten todos los cálculos relacionados con el “tope de cemento”.

La presión externa está dada por el peso del lodo donde se corrió el conductor, y el cemento en caso que aplique.

Perfil de Presión Externa

Profundidad (pies)	Presión (lpc)	
Superficie (0)	$P_{sup} = 0$	
Tope de Cemento (TTC)	$P_{ttc} = 0,052 * D_{L\ baj} * TTC$	
Zapata ($Prof_z$)	$P_{zap} = P_{ttc} + 0,052 * D_{cem} * (Prof_z - TTC)$	Si está cementado hasta TTC.
	$P_{zap} = 0,052 * D_{L\ baj} * (Prof_z)$	Si no está cementado.
	$P_{zap} = 0,052 * D_{cem} * (Prof_z)$	Si está cementado hasta superficie.

De manera similar al análisis que se hizo por estallido, se calculan los perfiles resultante y de diseño:

Perfil de Presión Resultante ($P_{\text{ext}} - P_{\text{int}}$)

Profundidad (pies)	Presión (lpc)
Superficie (0)	$P_{R \text{ sup}} = P_{\text{ext sup}} - P_{\text{int sup}}$
Tope de Cemento (TTC).	$P_{R \text{ ttc}} = P_{\text{ext ttc}} - P_{\text{int ttc}}$
Zapata (Prof_z)	$P_{R \text{ zap}} = P_{\text{ext zap}} - P_{\text{int zap}}$

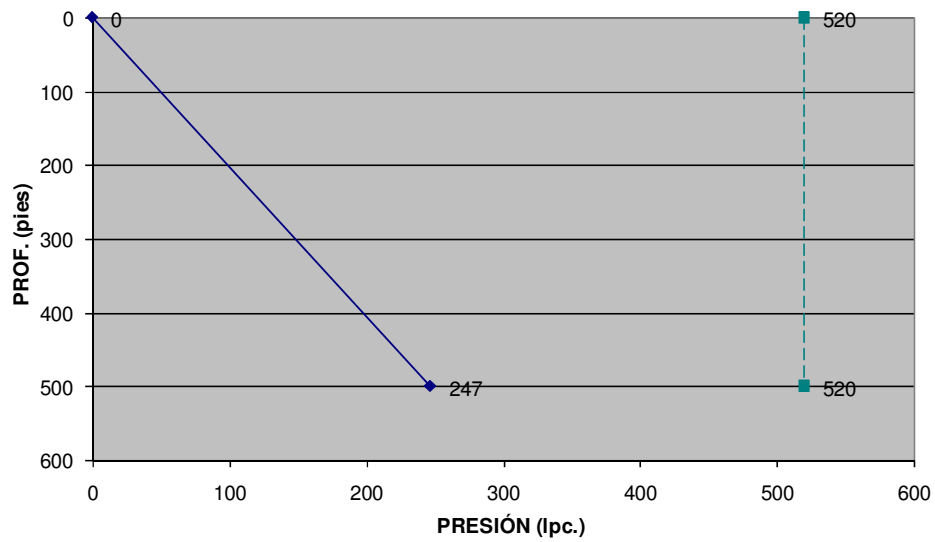
Perfil de Presión de Diseño ($P_D = P_R * 1,0$)

Profundidad (pies)	Presión (lpc)
Superficie (0)	$P_{D \text{ sup}} = P_{R \text{ sup}} * 1,0$
Tope de Cemento (TTC).	$P_{D \text{ ttc}} = P_{R \text{ ttc}} * 1,0$
Zapata (Prof_z)	$P_{D \text{ zap}} = P_{R \text{ zap}} * 1,0$

Luego, se representan los valores de presión de diseño, de superficie, tope de cemento (si aplica) y zapata, en una gráfica de Prof. vs. Presión y se unen dichos puntos para formar una línea recta.

Por último, se observa el valor de resistencia al colapso del revestidor que se seleccionó en el análisis por estallido y se representa en esta nueva gráfica como una línea vertical punteada. Verificar que dicho valor soporte las cargas de diseño definidas, en caso contrario, seleccionar otro revestidor con mayor resistencia al colapso.

DISEÑO POR COLAPSO



—◆— LÍNEA DE DISEÑO POR ESTALLIDO -■- 20", 94#, K-55

c) Máxima carga de Tensión:

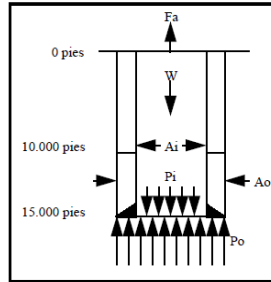
Cuando se diseña una sarta para que opere en condiciones de tensión, los métodos convencionales parten de una premisa en virtud de la cual la tubería está suspendida en un fluido uniforme. Por consiguiente, los únicos factores que determinan la carga de tensión en el revestidor son el peso suspendido y la fuerza de flotabilidad aplicada al fondo de la sarta.

Para determinar la carga axial real (tensión o compresión) que existe en el revestidor cuando está asentado a $Prof_T$, y todo el pozo lleno con lodo de perforación, se utiliza un Diagrama de Cuerpo Libre (D.C.L), el cual se construye dibujando un croquis del sistema físico e identificando todas las cargas que recibe el tubular, tal como se aprecia en el diagrama abajo mostrado. Como el sistema debe ser estático, la suma de todas esas cargas debe ser cero y de esa forma se puede calcular el valor en cualquier punto, siendo los más importantes Superficie y Fondo

NOTAS:

- Al asumir la condición más crítica para este caso de carga, la cual es con el pozo lleno de lodo de perforación (sin cemento en el anular) se obtiene que la fuerza de flotabilidad es menor que en un pozo con cemento, y por ende resulta en una mayor carga axial en comparación.
- En caso de que el revestidor haya sido cementado, se tomará la profundidad del tope de cemento solo como una de las profundidades de referencia para realizar el análisis del D.C.L.

Análisis a nivel de superficie:



Para calcular las variables presentes en el diagrama, se tiene:

$$A_o = \frac{\pi}{4} * d_{ext}^2$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} * d_{int}^2$$

$P_o = P_i = 0,052 * D_{Lbaj} * Prof_T$ (Sistema lleno con el lodo con que se bajo el revestidor: interior de la sarta y espacio anular).

$$W = \text{Peso nominal del rev.} * \text{Long. del rev.}$$

Representando la sumatoria de fuerzas en Y, se obtiene:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_a - W + P_o * A_o - P_i * A_i = 0$$

$$F_a = W + P_i * A_i - P_o * A_o$$

Donde:

d_{ext} : Diámetro externo del revestidor (pulg.).

d_{int} : Diámetro interno del revestidor (pulg.).

A_o : Área externa del revestidor, sobre la cual se aplica P_o (pulg²).

A_i : Área interna del revestidor, sobre la cual se aplica P_i (pulg²).

P_o : Presión hidrostática aplicada sobre la cara externa de la zapata del revestidor (lpc).

P_i : Presión hidrostática aplicada sobre la cara interna de la zapata del revestidor (lpc).

W : Peso del revestidor suspendido (lbf).

$P_i * A_i - P_o * A_o$: Fuerza de Flotabilidad (lbf).

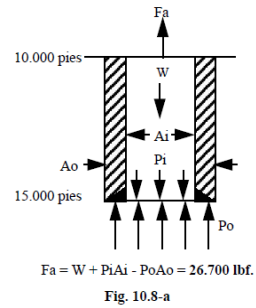
F_a : Fuerza Axial sobre el revestidor (lbf).

Si $F_a > 0$, el revestidor está en tensión a la profundidad estudiada.

Si $F_a < 0$, el revestidor está en compresión a la profundidad estudiada.

Análisis a nivel de tope de cemento:

Para analizar las fuerzas que actúan a la profundidad del tope del cemento, se puede utilizar un D.C.L como el siguiente, llegando a la misma ecuación final:

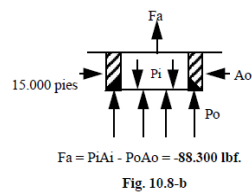


$$F_a = W + P_i * A_i - P_o * A_o$$

Donde la única variable que cambiará de valor será el peso del revestidor suspendido W , ya que se toma en cuenta una sección de revestidor de menor longitud.

Análisis a nivel de fondo:

Para determinar la carga axial en el fondo, se supone que se tiene un corto tramo de tubería de peso despreciable, resultado que $W = 0$, y por ende la fuerza axial es igual a la fuerza de flotabilidad ejercida por las presiones internas y externa, tal como puede apreciarse en el siguiente D.C.L.:



$$F_a = P_i * A_i - P_o * A_o$$

Perfil de Tensión

Profundidad (pies)	Tensión (lbf)
Superficie (0)	$F_{a\ sup} = W + P_i A_i - P_o A_o$
Tope de Cemento (TTC)	$F_{a\ ttc} = W + P_i A_i - P_o A_o$
Fondo (Prof _T)	$F_{a\ fondo} = P_i A_i - P_o A_o$

Se elabora el perfil de tensión de diseño, tomando en cuenta dos (02) consideraciones:

- Por overpull: Se suman 100.000 lbf a los valores calculados en el perfil de tensión, para tomar en cuenta los efectos de una posible pega diferencial.
- Por factor de diseño: Se multiplica el factor de diseño mínimo del revestidor correspondiente, según PDVSA, por los valores calculados en el perfil de tensión.

Perfil de Tensión de Diseño

Profundidad (pies)	Tensión de Diseño por overpull (lbf)	Tensión de Diseño por factor (lbf)
Superficie (0)	$F_{aD\ sup} = F_{a\ sup} + 100.000$	No aplica para conductor.
Tope de Cemento (TTC)	$F_{aD\ ttc} = F_{a\ ttc} + 100.000$	No aplica para conductor.
Fondo (Prof _T)	$F_{aD\ fondo} = F_{a\ fondo} + 100.000$	No aplica para conductor.

Se representan los valores de tensión real en una gráfica de Prof. vs. Tensión y se unen dichos puntos para formar una línea recta. El punto donde la línea de tensión real intercepta al eje Y (Tensión = 0) será la profundidad del punto neutro en la sarta de revestidores.

Luego, se representan los valores de tensión de diseño por overpull y se unen dichos puntos para formar una segunda línea recta, paralela a la graficada en el paso anterior.

Se calcula el valor de resistencia a la fluencia o tensión del revestidor que se seleccionó luego de los análisis previos por estallido y colapso. La resistencia a la fluencia del cuerpo de una tubería es el producto de su resistencia a la fluencia mínima (valor observado en el grado de la tubería multiplicado por mil) por su área transversal:

$$R_f = R_{f \text{ mín}} * (A_o - A_i)$$

Donde:

R_f : Resistencia a la fluencia o tensión del cuerpo del revestidor (lbf).

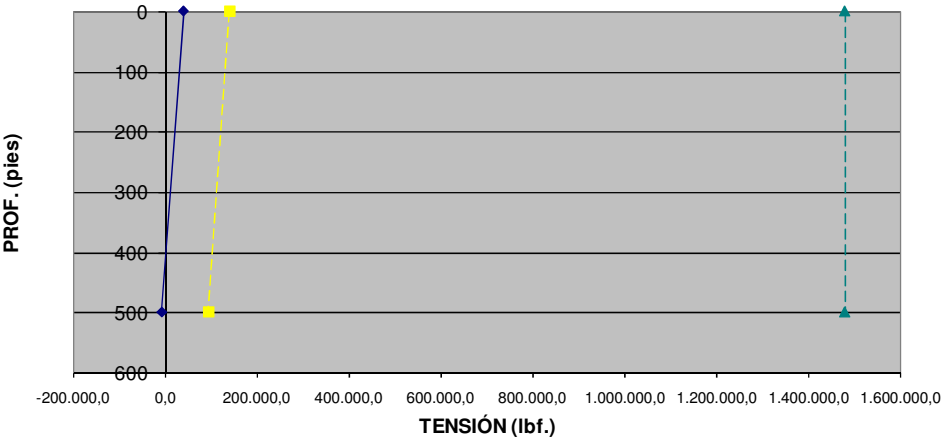
$R_{f \text{ mín}}$: Resistencia a la fluencia mínima (lpc).

También puede obtenerse este valor directamente de las tablas disponibles para tal fin.

NOTA: Si es posible, observar el valor de resistencia a la fluencia o tensión de la conexión escogida y tomar el menor entre el cuerpo del tubo y la conexión.

Se representa en la misma gráfica el valor de resistencia a la fluencia o tensión calculado (u observado en tabla) como una línea vertical punteada. Verificar que dicho valor soporte las cargas de diseño definidas, en caso contrario, seleccionar otro revestidor con mayor resistencia.

DISEÑO POR TENSIÓN



—◆— LÍNEA DE TENSIÓN REAL - - - ■ - - LÍNEA DE DISEÑO POR OVERPULL - - - ▲ - - 20", 94#, K-55

d) Corrección Biaxial:

Las fuerzas de tensión a las que está sometida la sarta de revestimiento dan origen a esfuerzos de tensión, los cuales tienen un efecto de incremento o reducción (según se encuentre en tensión o compresión) sobre los valores de resistencia al estallido y colapso de la tubería. No se tomará en cuenta la profundidad del tope de cemento, si es que existiera.

Primero se calculan los esfuerzos en superficie y fondo:

$$\sigma_{a\ sup} = \frac{F_{a\ sup}}{A_{transversal}}$$

$$\sigma_{a\ fondo} = \frac{F_{a\ fondo}}{A_{transversal}}$$

Donde:

$F_{a\ sup}$ y $F_{a\ fondo}$ son las cargas axiales reales, sin tomar en cuenta overpull ni factor de diseño.

Por supuesto, los esfuerzos tendrán los mismos signos de las cargas axiales con las cuales fueron calculados, y por ende el mismo tipo de efecto sobre la sarta:

Si $\sigma_a > 0$, el revestidor está en tensión a la profundidad estudiada.

Si $\sigma_a < 0$, el revestidor está en compresión a la profundidad estudiada.

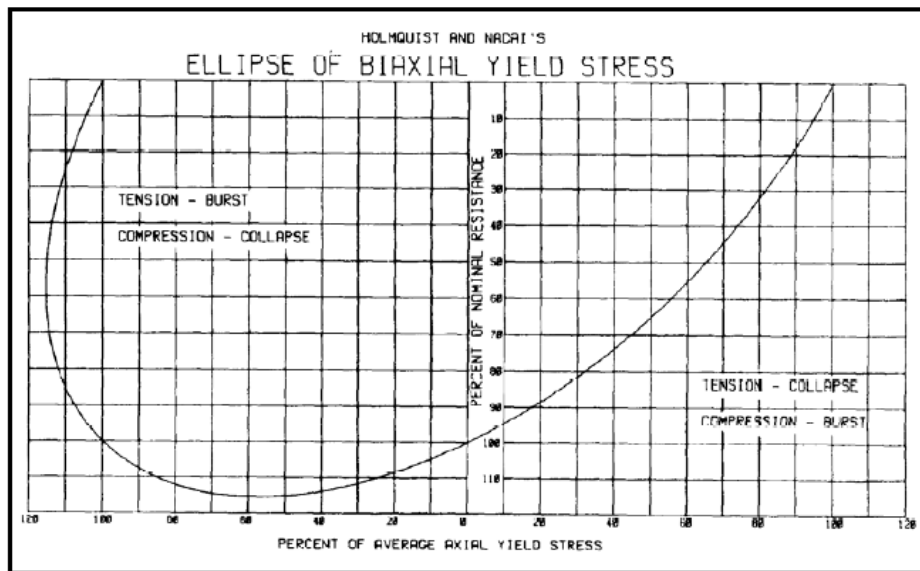
Luego, se calcula la relación entre los esfuerzos de tensión y la resistencia a la fluencia mínima ($R_{f\ min}$) de la tubería en superficie y fondo.

$$\%_{sup} = \frac{\sigma_{a\ sup}}{R_{f\ min}} * 100$$

$$\%_{fondo} = \frac{\sigma_{a\ fondo}}{R_{f\ min}} * 100$$

NOTA: Se utilizan los valores absolutos de los esfuerzos.

Estos porcentajes se utilizan con la elipse de plasticidad de HOLMQUIST y NACAÍ, abajo mostrada, para determinar los efectos biaxiales:



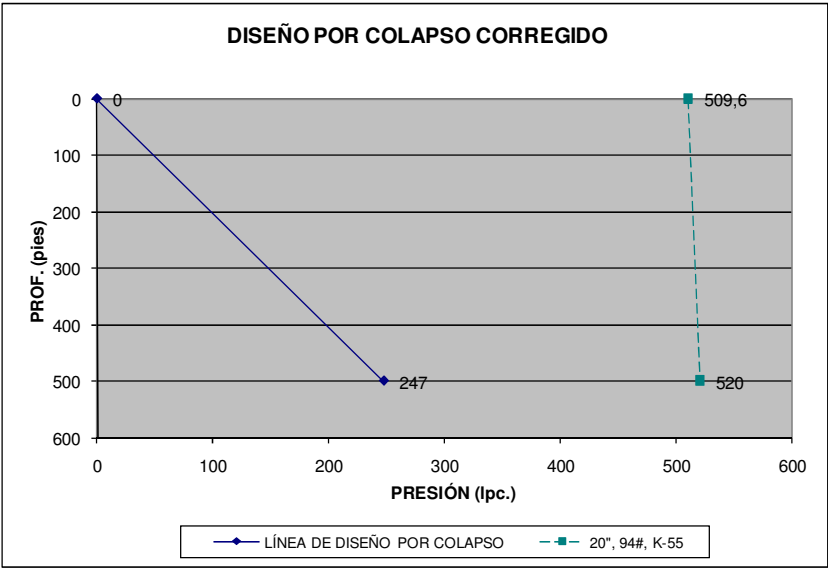
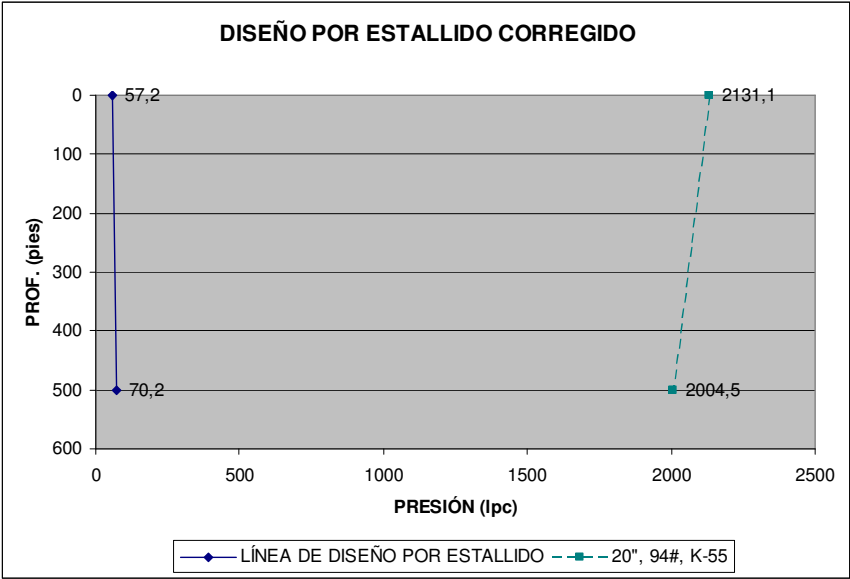
Entrar verticalmente en el eje “X” de la izquierda con el valor de porcentaje obtenido e interceptar la elipse de plasticidad, leer el valor de porcentaje correspondiente a dicha intercepción en el eje “Y”. El valor leído en el eje “Y” representará:

- Porcentaje de aumento de la Resistencia al Estallido, si el % en “X” está asociado a un esfuerzo de tensión.
- Porcentaje de aumento de la Resistencia al Colapso, si el % en “X” está asociado a un esfuerzo de compresión.

Entrar verticalmente en el eje “X” de la derecha con el valor de porcentaje obtenido e interceptar la elipse de plasticidad, leer el valor de porcentaje correspondiente a dicha intercepción en el eje “Y”. El valor leído en el eje “Y” representará:

- Porcentaje de disminución de la Resistencia al Estallido, si el % en “X” está asociado a un esfuerzo de compresión.
- Porcentaje de disminución de la Resistencia al Colapso, si el % en “X” está asociado a un esfuerzo de tensión.

A continuación, se le aplican los porcentajes de aumento o disminución a los valores de colapso y estallido del revestidor seleccionado, y se modifican dichas líneas en las gráficas correspondientes, para verificar que aún cumplan con los requerimientos. En caso contrario, seleccionar otro revestidor con mayor resistencia.



e) **Factores de Diseño:**

Finalmente, se calculan los factores de diseño para Estallido, Colapso y Tensión en superficie y fondo. No se tomará en cuenta la profundidad del tope de cemento, si es que existiera:

$$F.D._{estallido} = \frac{\textit{Presión interna de fluencia}}{\textit{Diferencial de presión interna}}$$

Donde el numerador representa las resistencias al estallido corregido biaxialmente y el denominador el valor de presión diferencial de diseño.

$$F.D._{colapso} = \frac{\textit{Resistencia al colapso de la tubería}}{\textit{Presión de colapso equivalente}}$$

El numerador representa las resistencias al colapso corregidos biaxialmente y el denominador el valor de presión diferencial de diseño.

$$F.D._{tensión} = \frac{\textit{Resistencia a tensión de la junta}}{\textit{Carga máxima a tensión}}$$

El numerador representa la resistencia a la tensión (la menor entre cuerpo del tubo y conexión) y el denominador el valor de tensión de diseño que corresponda.

Se representan en una tabla como la mostrada a continuación:

Profundidad (pies)	Estallido	Colapso	Tensión
Superficie (0)			
Fondo ($Prof_T$)			