

DISEÑO DE SARTAS DE COILED TUBING PARA TRABAJOS EN POZOS SHALE HORIZONTALES DE LARGO ALCANCE

M. Nebiolo, R. Del Negro, YPF; D. Codega, C. Grimaldo, M. Valdéz, N. Rebasa, TENARIS

martin.nebiolo@ypf.com, ricardo.delnegro@ypf.com, dcodega@tenaris.com, cgrimaldo@tenaris.com,
mvaldez@tenaris.com, nrebasa@tenaris.com

Sinopsis

Desde sus inicios, la perforación de pozos shale horizontales ha estado desafiando los límites técnicos no sólo durante la etapa de perforación, sino también durante la completación, dentro de la cual prevalece como sistema para aislar las fracturas el Plug&Perf, método que es empleado en la mayor parte de los shale plays de USA. Esta misma tendencia se ha observado en el yacimiento Vaca Muerta, en Argentina. Las extensiones laterales, que en sus comienzos en Vaca Muerta alcanzaban los 800/1000 metros, hoy están siendo diseñadas a más de 2500 m, e incluso alcanzando los 3200 m, muy similar a las mayores extensiones laterales en varios shale plays de USA y Canadá.

Dentro de éste método de Plug&Perf, los avances tecnológicos fueron también dirigidos hacia nuevos materiales para los tapones de fractura, como así también orientados a avanzados diseños de los cañones de punzados y sistemas de cargas. Del mismo modo, las sartas de Coiled Tubing (CT), empleadas para el rotado de los tapones de fractura, se han visto demandadas para alcanzar eficientemente la profundidad requerida, con peso sobre el trépano (WOB) suficiente para rotar cada uno de los tapones.

Para el diseño de sartas de Coiled Tubing, se deben tener en cuenta dos factores críticos:

- 1) Alcance con peso disponible en trépano (WOB) para el rotado de tapones, que dependerá principalmente de aspectos geométricos (diámetro externo y combinación de espesores dentro de la misma sarta), para minimizar la posibilidad de que la fuerza axial sobrepase la Carga de Buckling Helicoidal (Helical Buckling Load - HBL), mediante la disminución de la fricción causada por el contacto de la tubería con las paredes del casing.
- 2) Vida extendida a la fatiga.

En ésta última línea, se ha desarrollado y patentado un producto de CT con una nueva tecnología de fabricación, que fue introducido en el mercado por primera vez en el año 2015 (R. Rolovic, M. Valdez et al, 2017). Esta tecnología emplea una nueva química en sus materiales de materia prima, y también un tratamiento térmico que tiene como objetivo lograr una completa transformación de la microestructura para favorecer una homogeneidad de las propiedades, independientemente de su ubicación dentro de la tubería, sin distinguir la soldadura BIAS, ni la zona afectada por el calor, como tampoco el cordón de soldadura longitudinal.

Los resultados de su desempeño en el campo han demostrado ir más allá que cualquier experiencia con CT convencional. Asimismo, el ensayo a la fatiga de numerosas sartas luego de haber sido retiradas del servicio en campo, han mostrado una vida remanente a la fatiga superior a las sartas de CT convencionales, confirmando las conclusiones y observaciones previas, tanto en campo como en laboratorio.

Introducción

El empleo de sartas de CT en pozos de largo alcance lateral ha ido superando el umbral de 2" de diámetro externo (OD), llegando a diseñarse y emplearse tuberías de 2 3/8" y 2 5/8", y los espesores han dejado de ser continuos a lo largo de toda la sarta, empleando actualmente configuraciones ingenieriles tipo telescópicas o tapered (espesor variable, siendo mayor hacia la parte superior de la sarta) o reloj de arena (espesores mayores en la zona más crítica,) de manera de optimizar también el peso total de las sartas.

La carga con la que la tubería empieza a formar una hélice dentro del casing es conocida como Helical Buckling Load (HBL)

Las diferentes secciones del pozo presentan ciertos desafíos en el diseño de las tuberías:

- El tramo vertical del pozo, en general, presenta dos secciones: un tramo recto donde la HBL es virtualmente cero; y una sección donde, una vez que la tubería alcanza buckling helicoidal, se pierde mucha de la fuerza transferida debido a la fricción por el contacto entre las paredes de la CT y el casing.
- En la curva del pozo, si ocurre buckling mientras el CT ingresa a ella, éste continuará y podría incrementarse haciéndose más crítico, llegando a acrecentar el contacto con las paredes del casing, perdiendo en consecuencia, capacidad de transmisión de carga hacia la herramienta.
- En el tramo horizontal es donde más contacto existe entre el CT y las paredes del casing debido a los efectos de la flotación de la sarta.

La Figura 1 ilustra la secuencia de transmisión de esfuerzos y la posibilidad de alcanzar HBL, disminuyendo el peso disponible en la herramienta



Fig. 1: Secuencia de pérdida de WOB

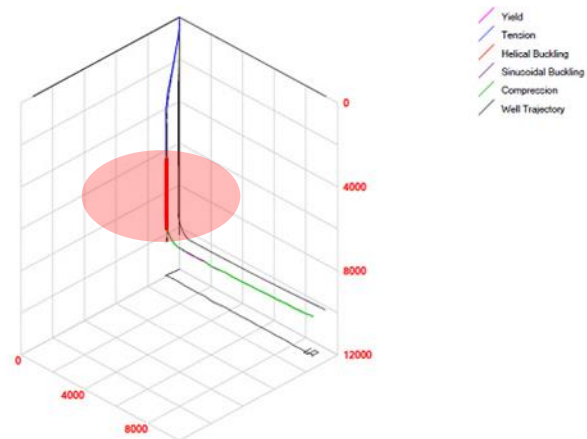


Fig. 2: Esquema de cargas actuantes en CT

Ocorre helical lockup cuando el 1% o menos de la fuerza aplicada en superficie se transfiere al trépano.

La Figura 2 muestra todas las cargas actuantes en la sarta de CT durante la operación de corrida (Running in Hole – RIH). En rojo se observa la sección donde la fuerza axial es mayor al HBL, la cual debe ser minimizada mediante un incremento de rigidez.

El proceso de diseño de una sarta de CT comienza entonces con este estudio que considera aspectos geométricos (trayectoria direccional de pozo y diseño de casing en contacto con CT), tratando de retrasar la aparición del helical buckling en la sección vertical, para así reducir las pérdidas de transferencia de fuerza por contacto con las paredes del casing, maximizando el peso en trépano (WOB) y el alcance lateral de la tubería.

Trabajando con la geometría del CT, se deben considerar los siguientes puntos:

- Un incremento en el OD del CT aumenta la rigidez, el caudal de bombeo y la velocidad de flujo del espacio anular, que a su vez mejora la circulación y limpieza del pozo, y disminuye en consecuencia las pérdidas de transferencia de fuerza hacia el trépano
- Aumentar el espesor en la zona crítica, aumenta la rigidez en esta sección y reduce el contacto con las paredes y las pérdidas de transferencia de fuerza.

- Para el tramo inferior del CT, mayormente destinado a navegar la sección horizontal, una reducción en el espesor disminuye la fricción con las paredes por efecto de la flotación, aliviando al mismo tiempo el peso total de la sarta.

La Figura 3 muestra dos tipos de diseños de sarta: tapered o telescópica y reloj de arena.

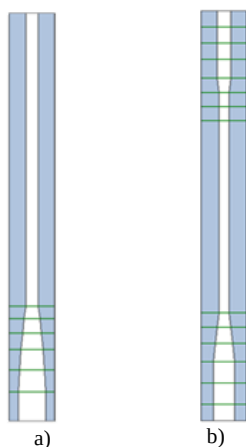


Fig. 3: a) Diseño tapered, b) Diseño reloj de arena

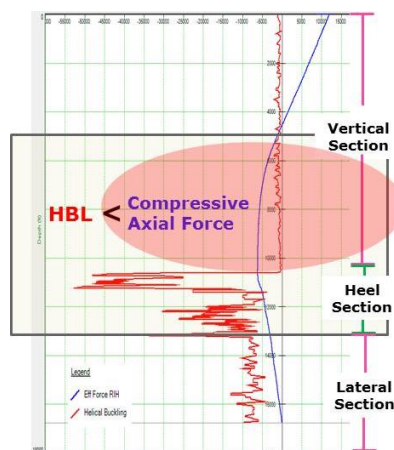


Fig. 4: Cargas compresivas y HBL

En la Figura 4, la zona sombreada muestra la región en la que la fuerza compresiva excede la HBL, lo cual genera que la tubería de CT cambie su contacto con el pozo desde un contacto en forma sinusoidal a uno en forma helicoidal, y consecuentemente se pierda progresivamente transferencia de fuerza al trépano.

Adicional a los requerimientos de alcance y WOB, es importante introducir el concepto de fatiga del CT. La fatiga está directamente relacionada con la vida útil que tendrá la sarta a lo largo de sus operaciones. La fatiga es un proceso mediante el cual se acumula daño en la sarta, ya que numerosos ciclos de flexión y alta presión interna durante el uso de la tubería (como en el rotado de los tapones de fractura) generan este tipo de sollicitación, el cual se va acumulando trabajo tras trabajo hasta que, por razones de seguridad, las compañías de CT deciden retirarlas de servicio.

Una mayor cantidad de “short tripping” durante el rotado de tapones (retiros de la sarta unos pocos metros del tapón en cuestión para favorecer la limpieza de sólidos), como así también los retiros de la sarta hasta el tramo a la vertical para favorecer la circulación completa llamada “fondo arriba”, acumularán aún más fatiga en la tubería.

Las zonas más solicitadas durante las operaciones de rotado de tapones son aquellas que son flexionadas más veces en el carretel de la unidad y en el cuello de ganso. La Figura 5 esquematiza ambas secciones.

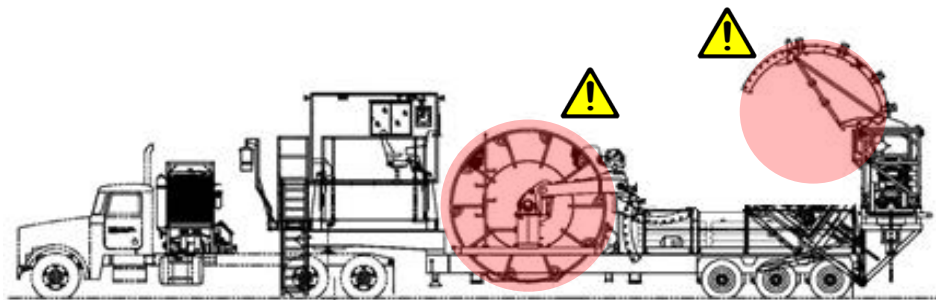


Fig. 5: Carretel y Cuello de Cisne, zonas más críticas para generar fatiga en las sarts de CT

El diámetro del tambor de los carretes puede ser desde 76" hasta más de 150", siendo 80" y 100" los valores más comunes para tubería de 2 3/8". El cuello de ganso tiene un radio de 72 a 140", siendo el valor más común para tubería de 2 3/8" el de 120".

Para entender cómo la fatiga afecta más en la soldaduras BIAS que en el resto de la tubería es importante conocer el proceso de manufactura del CT, el cual implica realizar una soldadura a 45° (soldadura BIAS, Figura 6) para unir cada una de las secciones (flejes) de acero plano (Figura 7) que luego se conformarán y soldarán longitudinalmente (Figura 8) para darle forma final al CT.

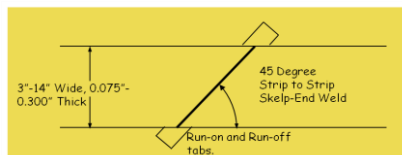


Fig. 6: Soldadura BIAS



Fig. 7: Flejes de acero

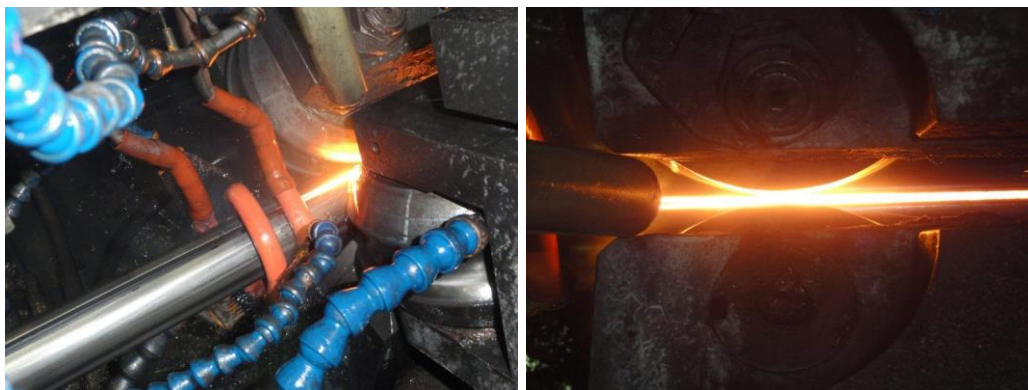


Fig. 8: Soldadura longitudinal ERWFI

Luego del proceso de soldadura BIAS y longitudinal en el CT convencional, ambas zonas junto con una sección aledaña a cada una de éstas (Heat Affected Zone – HAZ) resultan con propiedades muy distintas a la del material base, debido a la obtención de una microestructura heterogénea.

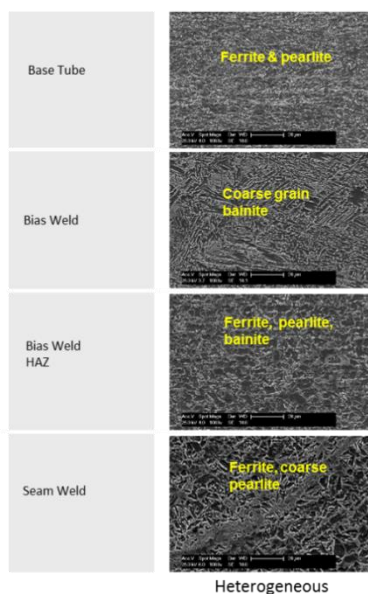


Fig. 9: Microestructura heterogénea del CT convencional, diferenciando el Tubo Base, la soldadura BIAS, la zona afectada por el calor (HAZ) y el cordón de soldadura longitudinal.

En la Figura 9 se puede observar esta diferencia de microestructura entre las distintas zonas que componen la sarta de CT luego de su conformado final.

El tubo base presenta una microestructura de ferrita-perlita, mientras que la soldadura BIAS presenta gruesos granos de bainita. La zona afectada por el calor de la soldadura BIAS exhibe además de bainita, granos de ferrita y perlita. La zona del cordón longitudinal de soldadura presenta una microestructura de ferrita y gruesos granos de perlita. Esta heterogeneidad de la microestructura genera que cada una de las soldaduras Bias que componen a la sarta, tengan una vida reducida a la fatiga comparada con el tubo base. Además, ésta vida a la fatiga disminuye conforme incrementa el grado del acero base (Figura 10)

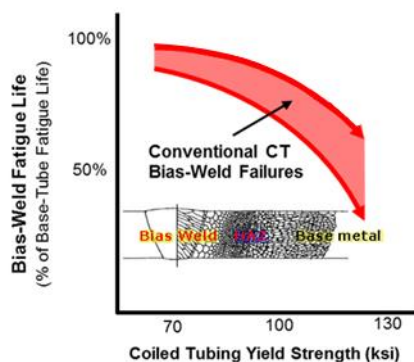


Fig. 10: Variación de la vida a la fatiga del CT convencional

Se ha estudiado que las soldaduras BIAS en los CT convencionales de alta resistencia pueden incluso perder más de un 50% de vida a la fatiga (Coloschi et al, 2013, Padron, 2014, Valdez et al., 2015, Padron et al., 2016, Rolovic et al., 2016).

La nueva tecnología de fabricación del CT emplea nueva composición química de los materiales base, y luego del proceso de soldadura ERW se le realiza un tratamiento térmico completo (templado y revenido) que logra una completa transformación de toda la microestructura, alcanzando uniformidad y homogeneidad en toda la sarta – Figura 11. (Valdez et al., 2015, Rolovic et al., 2016). De esta manera, se logra una continuidad de las propiedades mecánicas, sin distinguir ninguna zona en particular. Dicho esto de otra

manera, se homogeneizan las soldaduras BIAS y las zonas afectadas por el calor, lo mismo que la soldadura longitudinal.

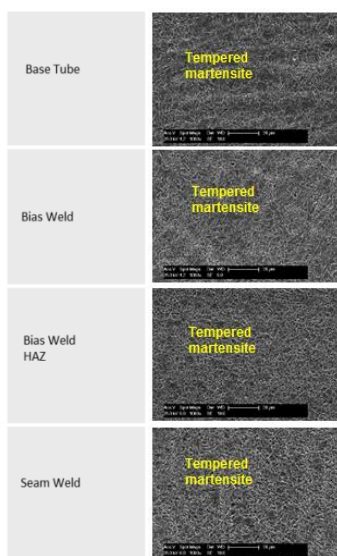


Fig. 11: Microestructura homogénea del CT con nueva tecnología de fabricación

La Figura 12 condensa el proceso de manufactura del CT con la nueva tecnología, diferenciando la nueva química de aceros empleada y la completa transformación microestructural lograda con el tratamiento térmico.

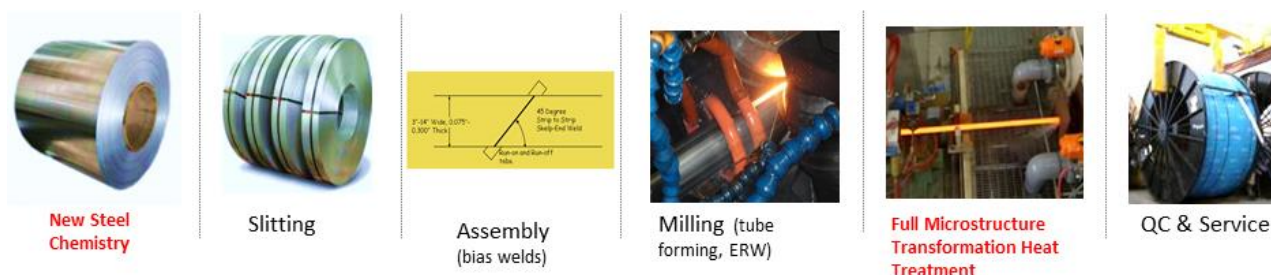


Fig. 12: Proceso de manufactura del CT con nueva tecnología

En la Figura 13 se puede observar la vida extendida a la fatiga del CT de nueva tecnología, donde se muestra que la vida a la fatiga de las soldaduras BIAS no se diferencia de la del tubo base, y ésta se mantiene conforme aumenta la resistencia mecánica de la sarta.

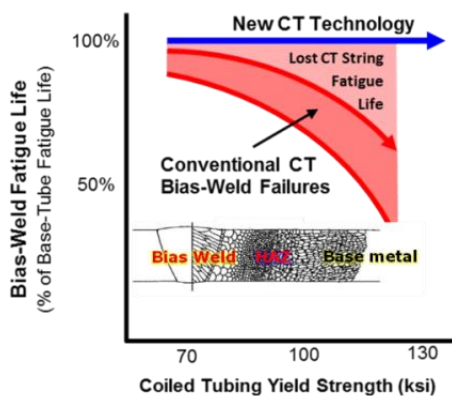


Fig. 13: Vida extendida a la fatiga del CT con nueva tecnología

Espesores tapered como así también continuos y tipo reloj de arena con la nueva tecnología de CT en 125 ksi (HT-125) and 110 ksi (HT-110) se han introducido comercialmente desde el año 2015, mostrando exitoso comportamiento en campo que será presentado en este trabajo, como así también los ensayos de algunas sarts luego de haber sido retiradas del campo.

Desarrollo: Casos de Diseños empleando nueva tecnología de CT

1) Alcance Lateral

A continuación se presentan cuatro casos de diseño, que buscan alcanzar una optimización mediante cambios en la geometría de sus espesores.

Los datos del pozo utilizado para la optimización de los diseños son:

- Longitud del Objetivo pozo: 6420 m
- Longitud del CT: 6800 m
- Material: HT-125
- Caudal de Bombeo: 3,5 bpm
- Presión de Bombeo: entre 7900 psi y 8949 psi
- Presión de Fondo: 10105 psi
- Presión de Cabeza: 5500 psi
- Presión de Choke: 1975 psi
- Factor de Fricción: 0,27

a) Caso A: Tubería de 2 3/8" con un solo espesor de 0,250"

Sections	Start (m)	End (m)	Material	Top Wall (in)	Bottom Wall (in)	Min Wall (in)	Reduction (in)	Effective (in)
1	0	6800	HT-125	0,250	0,250	0,245	0,0000	0,245

Fig. 14a: Detalle de sarta

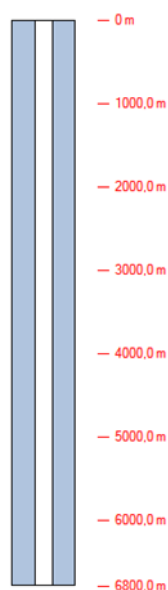


Fig. 14b: Detalle de sarta

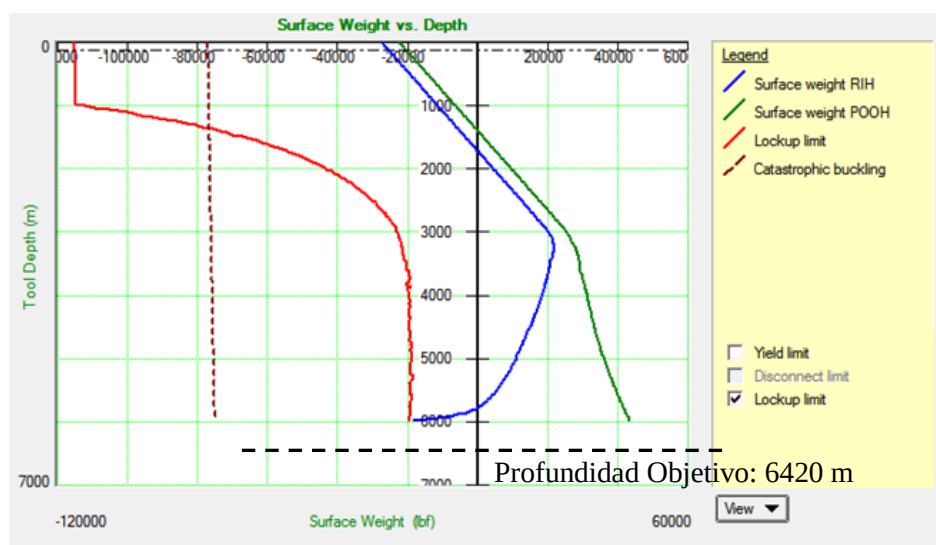


Fig. 15: Gráfico de alcance hasta Límite de Lockup

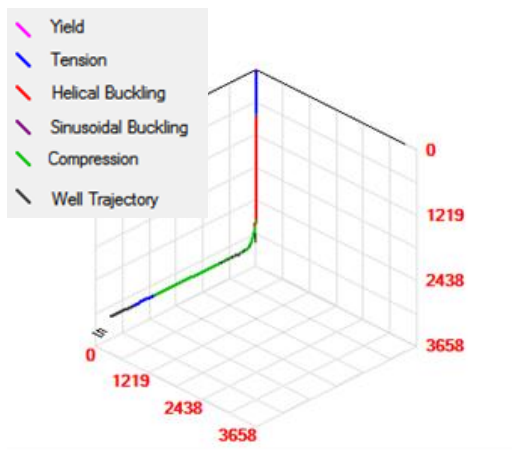


Fig. 16: Regiones de Esfuerzos

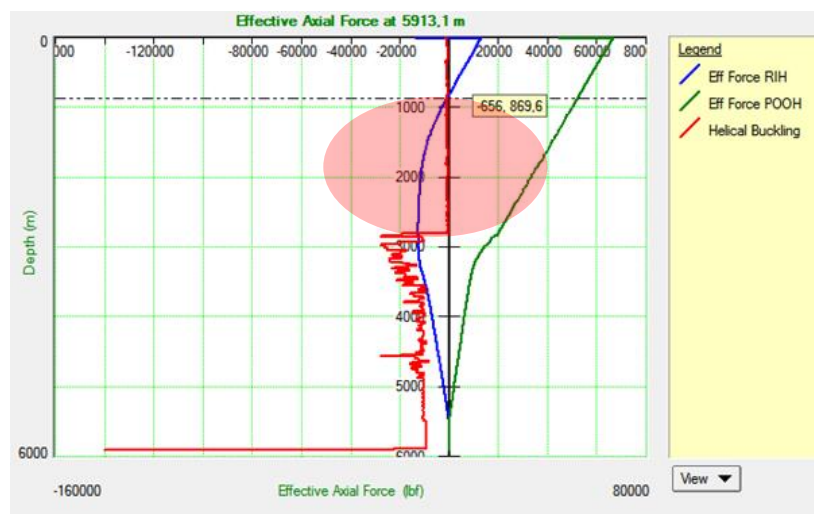


Fig. 17: Fuerza efectiva y carga límite HBL

Las Figuras 14a y 14b muestran detalles de la sarta analizada del Caso A

La Figura 15 muestra la gráfica de las cargas en superficie vs la profundidad, éstas cargas son las involucradas al correr la tubería dentro del pozo (Running in Hole o RIH) y saliendo del pozo (Pool Out Of Hole o POOH). El límite de lockup helicoidal impide que la sarta avance más allá de los 5977 m, no logrando llegar a la profundidad objetivo y sin carga disponible en trépano.

En la Figura 16 se pueden apreciar los diferentes esfuerzos a los que el CT involucrados en la operación de RIH, donde el tramo rojo por encima del Kick Off Point (KOP) indica la sección de la sarta sometida a buckling helicoidal.

La Figura 17 muestra las fuerzas efectivas durante las operaciones de RIH y POOH, donde el cruce de curvas entre la de RIH (azul) y la de HBL (roja), sombreado con un óvalo rojo, indica que ese tramo se encuentra en condición de buckling helicoidal..

b) Caso B: Tubería de 2 3/8" con un solo espesor de 0,134"

El objetivo con este nuevo caso es disminuir el espesor del CT, de manera de alivianar el peso total y favorecer a la extensión del alcance lateral.

Sections	Start (m)	End (m)	Material	Top Wall (in)	Bottom Wall (in)	Min Wall (in)	Reduction (in)	Effective (in)
1	0	6800	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129

Fig. 18a: Detalle de sarta

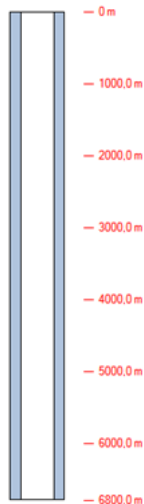


Fig. 18b: Detalle de sarta

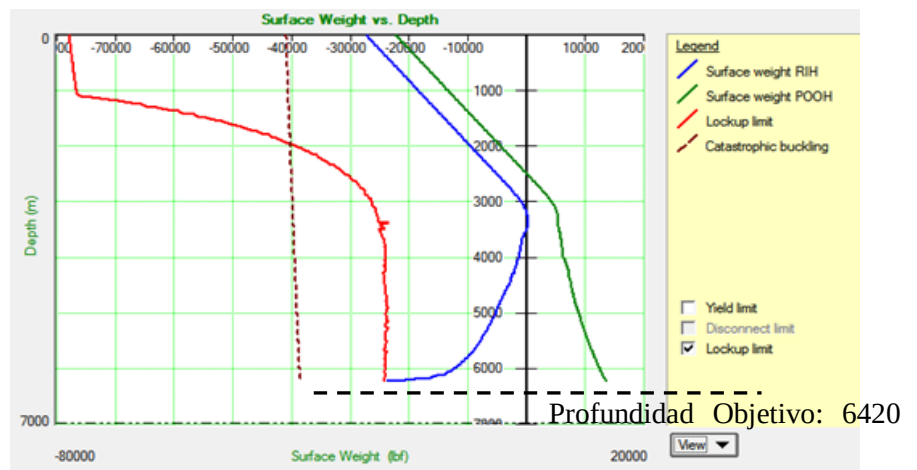


Fig. 19: Gráfico de alcance hasta Límite de Lockup

A diferencia del Caso A, esta sarta de menor espesor puede llegar un poco más lejos, pero no llega a la profundidad objetivo de 6420 m. El Lockup se produce a partir de los 6262 m, con WOB = 0 (Figura 19)

En la figura 20, se puede ver que la zona donde la fuerza axial sobrepasa la HBL presenta poca variación en su extensión respecto al caso anterior. El mismo efecto puede verse en la Figura 21, con la amplia superposición de las curvas de HBL con la de las fuerzas durante RIH (zona sombreada en rojo).

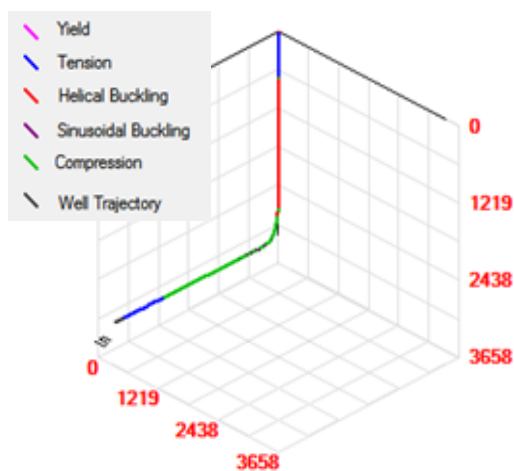


Fig. 20: Regiones de Esfuerzos

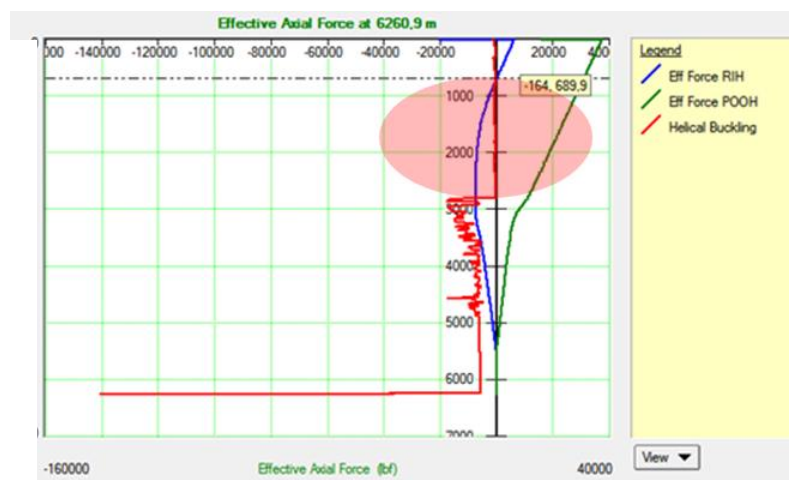


Fig. 21: Fuerza efectiva y carga límite HBL

c) Caso C: Tubería de 2 3/8" con diseño telescópico de 0,134" a 0,250"

Con este nuevo caso, se busca minimizar aún más la sección en la que la fuerza axial sobre pasa la HBL en la sección vertical del pozo, para mejorar el alcance lateral hasta la profundidad objetivo. Se presenta esta geometría denominada telescópica o "tapered", con un espesor de 0,134" en la parte inferior de la sarta, y un espesor de 0,250" en la parte superior, llegando a este espesor mediante una transición gradual, detallada en la Figura 22a.

Sections	Start (m)	End (m)	Material	Top Wall (in)	Bottom Wall (in)	Min Wall (in)	Reduction (in)	Effective (in)
1	0	3914	HT-125	0,250	0,250	0,245	0,0000	0,245
2	3914	4228	HT-125	0,250	0,224	0,245	0,0000	0,245
3	4228	4593	HT-125	0,224	0,204	0,219	0,0000	0,219
4	4593	5005	HT-125	0,204	0,175	0,199	0,0000	0,199
5	5005	5514	HT-125	0,175	0,156	0,170	0,0000	0,170
6	5514	6059	HT-125	0,156	0,134	0,151	0,0000	0,151
7	6059	6800	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129

Fig. 22a: Detalle de sarta telescópica

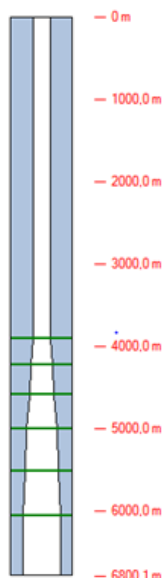


Fig. 22b: Detalle de sarta tapered

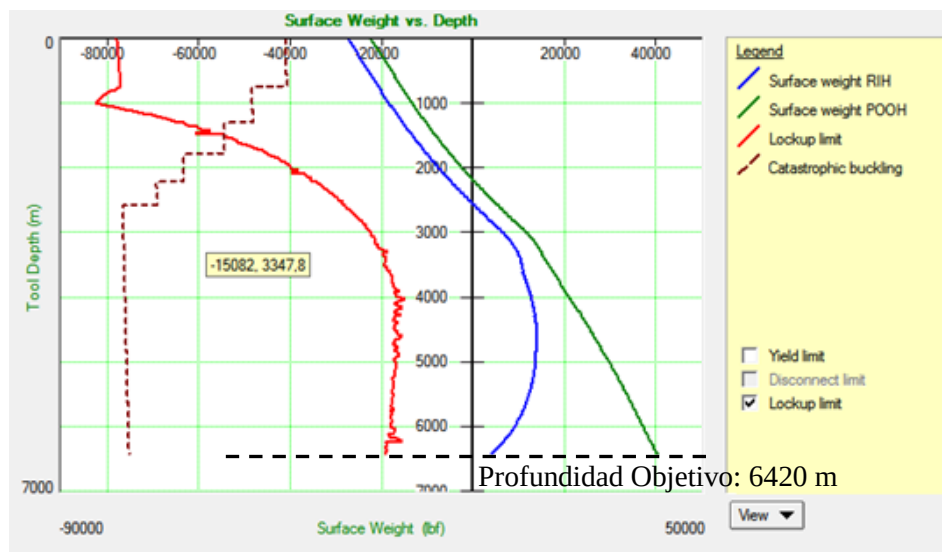


Fig. 23: Gráfico de alcance hasta Límite de Lockup

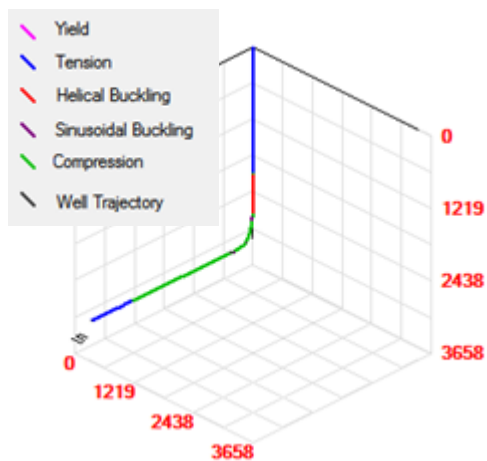


Fig. 24: Regiones de Esfuerzos

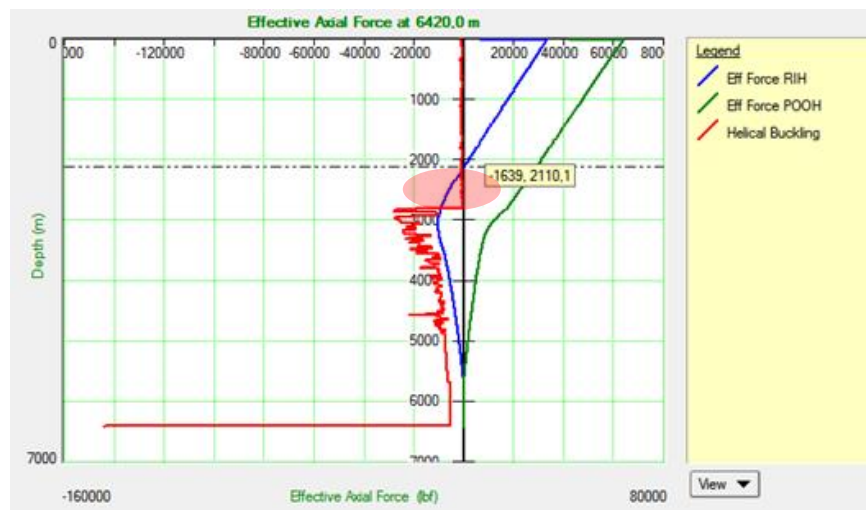


Fig. 25: Fuerza efectiva y carga límite HBL

En la Figura 23 se puede apreciar cómo se logra alcanzar con la sarta de CT seleccionada la profundidad objetivo de 6420 m.

En la Figura 24 podemos ver los diferentes esfuerzos a los que la CT es sometida, mientras que en la figura 25, claramente se observa la diferencia en la extensión del tramo de la sarta donde la fuerza axial sobrepasa la HBL.

d) Caso D: Tubería de 2 3/8" con diseño telescópico de reloj de arena de 0,134" a 0,250" y 0,190"

Este último diseño es una optimización del caso anterior, buscando con una geometría tipo reloj de arena un menor peso total de la sarta de CT, sin perjudicar de la capacidad de alcance lateral.

Este diseño reloj de arena se detalla en la Figura 26.

Sections	Start (m)	End (m)	Material	Top Wall (in)	Bottom Wall (in)	Min Wall (in)	Reduction (in)	Effective (in)
1	0	381	HT-125	0,190	0,190	0,185	0,0000	0,185
2	381	762	HT-125	0,190	0,190	0,185	0,0000	0,185
3	762	1143	HT-125	0,190	0,204	0,199	0,0000	0,199
4	1143	1593	HT-125	0,204	0,204	0,199	0,0000	0,199
5	1593	1928	HT-125	0,204	0,224	0,199	0,0000	0,199
6	1928	2263	HT-125	0,224	0,250	0,245	0,0000	0,245
7	2263	2598	HT-125	0,250	0,250	0,245	0,0000	0,245
8	2598	2934	HT-125	0,250	0,250	0,245	0,0000	0,245
9	2934	3269	HT-125	0,250	0,204	0,245	0,0000	0,245
10	3269	3650	HT-125	0,204	0,175	0,199	0,0000	0,199
11	3650	4092	HT-125	0,175	0,156	0,170	0,0000	0,170
12	4092	4595	HT-125	0,156	0,134	0,129	0,0000	0,129
13	4595	5098	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129
14	5098	5601	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129
15	5601	6104	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129
16	6104	6500	HT-125	0,134	0,134	0,129	0,0000	0,129

Fig. 26a: Detalle de sarta reloj de arena

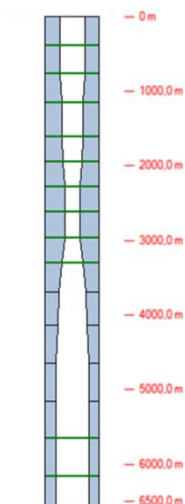


Fig. 26b: Detalle de sarta reloj de arena

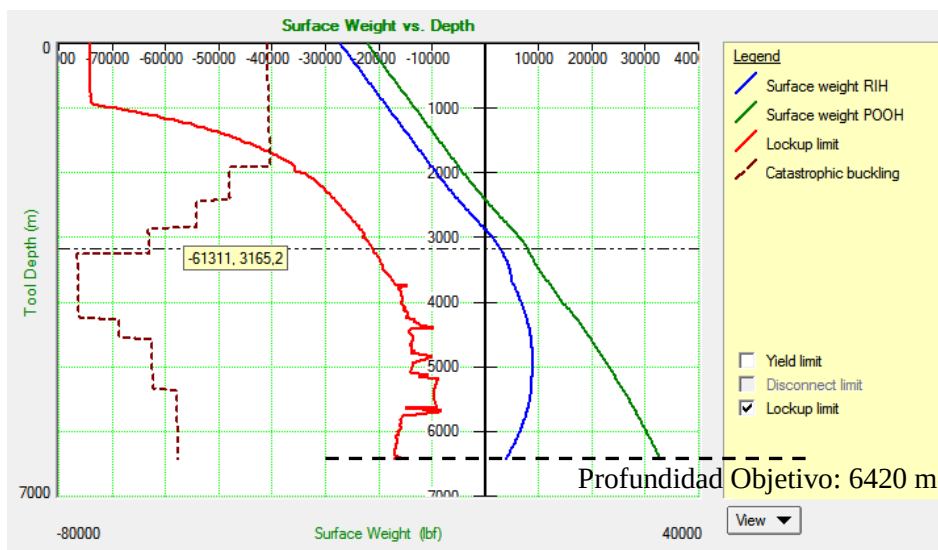


Fig. 27: Detalle de sarta reloj de arena

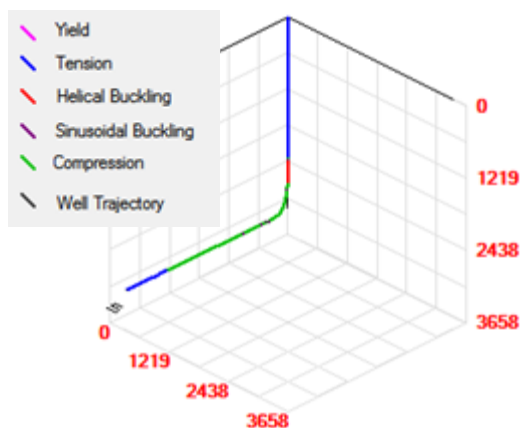


Fig. 28: Regiones de Esfuerzos

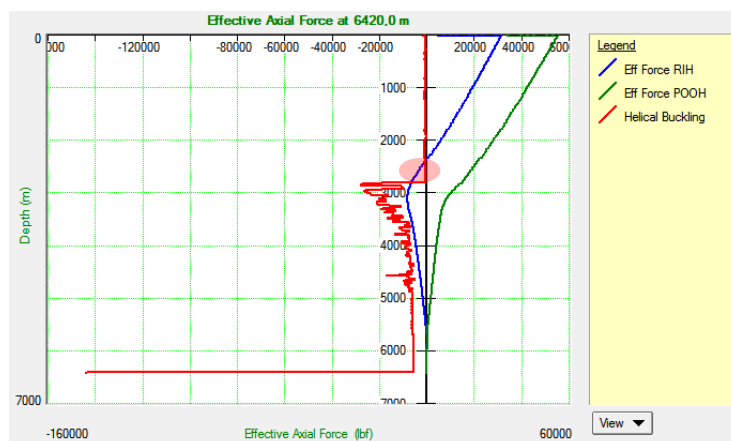


Fig. 29: Fuerza efectiva y carga límite HBL

Como en el caso anterior (Caso C), este diseño también permite alcanzar la profundidad objetivo del fondo del pozo (6420 m), como se observa en la Figura 27, donde la curva de RIH no llega a alcanzar el límite de Lockup.

Además, se observa de las Figuras 28 y 29 una menor longitud de sarta susceptible a Buckling.

La Figura 30 muestra un resumen de los 4 casos analizados, donde se observa que para alcanzar las 1000 lbs en el fondo de la sarta, los diseños del Caso A y del Caso B no llegan a la profundidad objetivo de 6420 m, mientras que los diseños del Caso C y Caso D, llegan a la profundidad objetivo, e incluso se dispone de fuerza adicional indicada en cada caso.

WOB total disponible en Caso C: 1384 lbs @ 6420 m

WOB total disponible en Caso D: 1776 lbs @ 6420 m

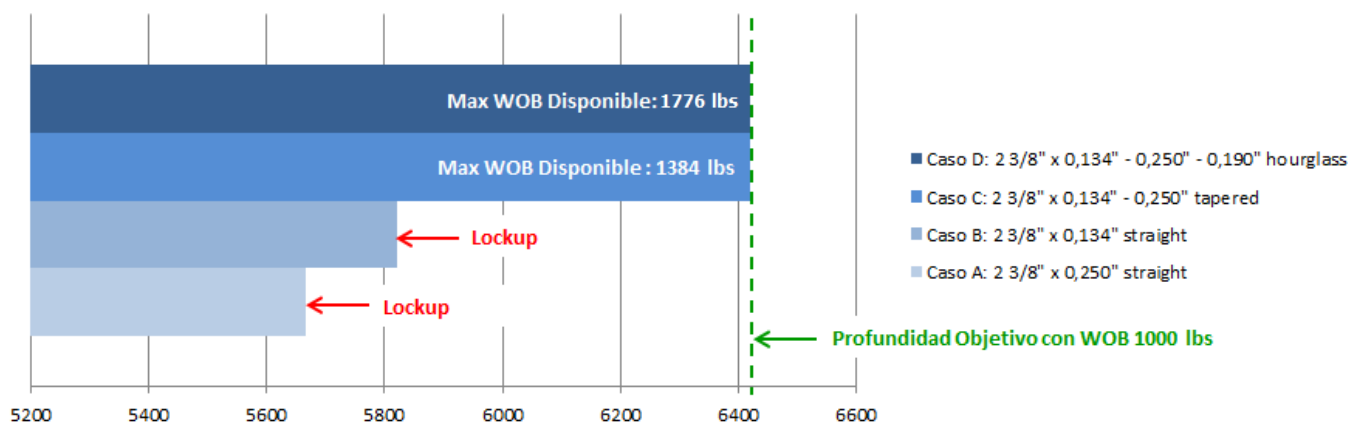


Fig. 30: Resumen sargas CT 2 3/8" HT-125 y alcance lateral para asegurar un mínimo de WOB 1000 lbs en 6420 m

2) Vida Extendida a la Fatiga

Como fue mencionado en el presente trabajo, el análisis de fatiga está directamente relacionado con la vida útil que tendrá la sarta a lo largo de sus operaciones. La fatiga es un proceso mediante el cual se acumula daño en determinados tramos de la sarta más que en otros (aquellos que transitan más tiempo por el cuello de cisne y el carretel) durante la operación, y que pueda concluir en una falla catastrófica de la columna.

La Figura 31 compara tres grados de sarta de 2 3/8" con un espesor de 0,250" bajo las mismas condiciones de operación. Podemos observar que, para el mismo grado de 110 ksi, la sarta de la nueva tecnología de CT (HT-110) tiene mayor cantidad de ciclos (trips) de vida que una sarta convencional de CT (HS-110) para una determinada presión de bombeo. Del mismo modo, al incrementar el grado de la sarta de la nueva tecnología (HT-125), aumenta su vida a la fatiga.

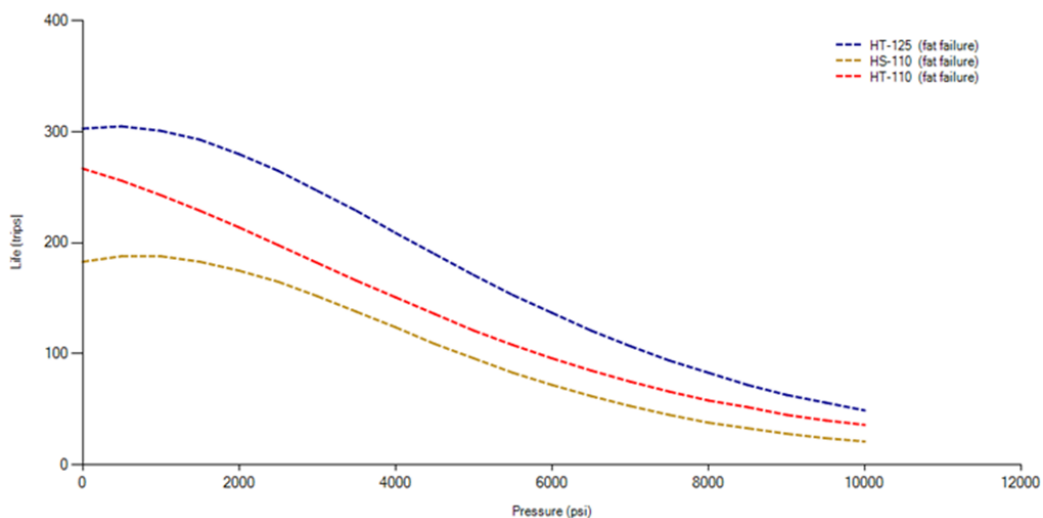


Fig. 31: Vida esperada (trips) del CT 2 3/8" vs Presión de Bombeo

En cuanto al análisis de sensibilidad en función del espesor, la Figura 32 muestra también la vida a la fatiga (ciclos – trips) vs la Presión de Bombeo. Se analizaron cuatro diferentes espesores (0,134", 0,156", 0,190" y 0,250") para una sarta de 2 3/8" HT 125 bajo las mismas condiciones. Se puede observar que, para un mismo grado de CT, un mayor espesor de pared refleja una mejor vida a la fatiga.

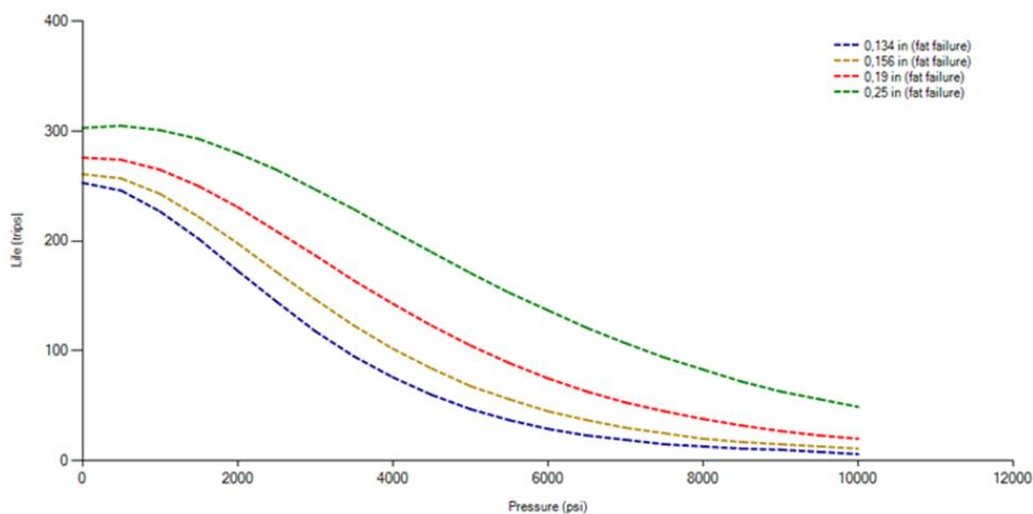


Fig. 32: Vida esperada (trips) del CT 2 3/8" vs Presión de Bombeo

3) Experiencia en Campo de la nueva tecnología de CT

Luego de su lanzamiento comercial en 2015, el CT con nueva tecnología se ha empleado en operaciones convencionales y no convencionales en USA, Canadá, Argentina, e incluso en Medio Oriente y Asia. Estas tuberías han tenido diseños telescópicos, de un solo espesor y del tipo reloj de arena en grados 125 ksi (HT-125) and 110 ksi (HT-110) y han mostrado un exitoso comportamiento en campo.

El desempeño en el campo ha superado en dos o incluso tres veces la vida del CT convencional. En la Figura 33 se muestra un cuadro con algunas de las sarts que han superado el millón de pies (350000 m) recorridos.

String	CT Grade	OD (WT)	Length (ft)	Area	No. of Jobs	CT Press.	Used Life (MRR)	Running feet	Still Operational ?
T1	HT-125	2.375 (0.204-0.175)	24,105	South & West Texas	64	HP-LP	77%	1,850 k	No
T2	HT-125	2.375 (0.204-0.156)	22,500	West Texas	50	HP-MP	78%	1,547 k	No (voluntarily retired by client)
T3	HT-125	2.375 (0.224-0.250-0.156)	23,300	West Texas	76	HP-MP	48%	1,432 k	No (mechanically damaged)
S1	HT-110	1.75 (0.156)	12,680	Canada	N/A	LP-MP	N/A	1,249 k	No (mechanically damaged)
T4	HT-125	2.375 (0.204-0.175)	22,800	Oklahoma	56	HP-MP	34%	1,219 k	Yes
S2	HT-125	2.375 (0.204)	22,410	Louisiana, East Texas	37	HP-LP	46%	1,172 k	No (mechanically damaged)
T5	HT-125	2.0 (0.204-0.175)	21,950	East Texas	24	HP-MP	54%	1,110 k	No (voluntarily retired by client)
T6	HT-125	2.0 (0.175-0.156)	16,580	Wyoming	48	HP-LP	92%	1,016 k	No (voluntarily retired by client)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
T7	HT-125	2.625 (0.224-0.156)	22,000	West Texas	N/A	HP-LP	83% eq.	877 k	No (mechanically damaged)

Fig. 33: Cuadro resumen con las sarts que han superado en USA el 1.000.000 de pies recorridos.

Ensayos de fatiga realizados una vez que las tuberías han sido retiradas han revelado que su vida remanente ha extendido su expectativa de supervivencia, superando incluso el límite porcentual de vida del CT de 100% MRR (Modelo Recomendado de Retiro), el cual implica un 97% de confianza, o dicho de otro modo, un 3% de probabilidad de falla (Figura 34)

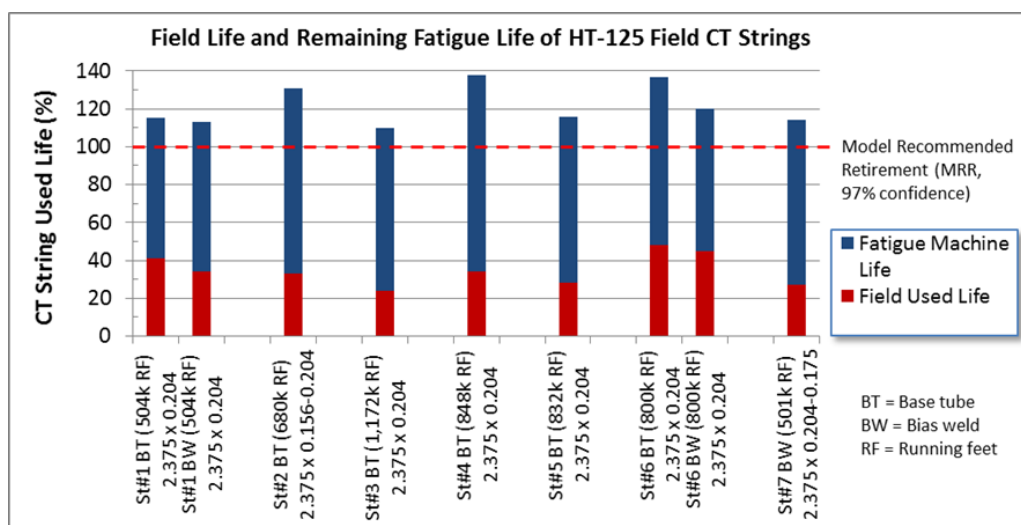


Fig. 34: Ensayos realizados sobre sarts retiradas luego de su uso en campo, que registraron entre 0,5 MM y 1,2 MM de pies recorridos durante su operación

En la figura 34 se puede observar la sumatoria de la vida utilizada en campo (barras rojas) y la vida en la máquina de fatiga (barras azules) en las zonas evaluadas.

En algunos casos se han ensayado tanto el tubo base como la soldadura BIAS, y en otros solo el tubo base. En todos los casos se observa cómo lo ensayado en la máquina de fatiga superó el límite mencionado de 100% MRR.

Conclusiones

El proceso de diseño de una sarta para operaciones de rotado de tapones de fractura, consta de dos grandes aspectos a considerar: el alcance lateral hasta la profundidad objetivo, con un mínimo de peso requerido en trépano (WOB), como así también asegurar un uso extendido a la fatiga.

Pozos de largo alcance lateral requieren de mayor rigidez en la geometría de las sarts, la cual en primer lugar dependerá de un mayor OD (por ejemplo 2 3/8" ó 2 5/8" para pozos de más de 3000 m de extensión lateral) y, se verá optimizada con la localización ingenieril de espesores mayores en aquellas zonas susceptibles a Buckling, minimizando su efecto y permitiendo alcanzar la profundidad objetivo con el WOB necesario. Con ello, la disminución de espesores en tramos destinados a transitar la sección horizontal del pozo alivianará el peso de la sarta, no solo disminuyendo el arrastre con las paredes del casing, sino también para alivianar el peso total del carrete, considerando las limitaciones que puedan presentarse en cuestiones de transporte y disponibilidad de equipos en determinadas regiones.

En cuanto a la vida extendida a la fatiga, la nueva tecnología en la fabricación del CT que implica materiales con químicas mejoradas y un tratamiento térmico extendido post fabricación, genera una microestructura homogénea en toda la tubería, de tal manera que no existe una degradación en la vida esperada a la fatiga de las soldaduras BIAS comparadas con la del material base, como sí ocurre con un CT de tecnología convencional.

Combinando entonces un diseño ingenieril especialmente pensado para minimizar el efecto del Buckling de la sarta y maximizar en consecuencia el alcance lateral, junto con un producto resultante de un nuevo proceso de fabricación del CT, permite hacer frente a los desafíos actuales y próximos que involucran al uso del CT en las completaciones Plug&Perf en pozos no convencionales de mayor longitud lateral.

Agradecimientos

Esta publicación no hubiera sido posible sin la exhaustiva investigación en cuestión de desarrollo de producto, junto con avances tecnológicos en los procesos de manufactura del Coiled Tubing, realizado por un extenso grupo de trabajo dentro de la división de R&D de Tenaris Argentina, y de nuestros colegas de Tenaris Coiled Tubes de Houston, USA. Además, un especial agradecimiento a YPF por aceptar su participación como Co Autores del trabajo, y su colaboración con los análisis de sensibilidad y simulaciones presentadas, como así también a numerosas compañías de servicio que compartieron su información de campo sobre el uso de esta nueva tecnología.

Referencias.

Newman, K., Kelleher, P., Smalley, E. (2014, March 25). Extended: Can We Reach Farther? Society of Petroleum Engineers.

Rolovic R., Reichert, B., Morales, C., Coloschi, M., Valdez, M., Grimaldo, C., Nguyen, T., Field Performance of New Coiled Tubing Technology and New Grade for Improved Sour Service. Paper SPE-184796-MS, presented at ICoTa Coiled Tubing Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA.

Coloschi, M., Gomez, G., Mitre, J., et al, 2013: A Metallurgical Look at Coiled Tubing. Paper SPE 163930 presented at ICoTa Coiled Tubing Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA.

Padron, T. 2014. Coiled Tubing Bias Weld Recent Trends. ICoTa Roundtable, Calgary, Canada.

Padron, T., Aitken, B., 2016. CT100 + Bias Weld Fatigue Life Estimations – Are Adjustements required? SPE 179045 presented at ICoTa Coiled Tubing Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA.

Rolovic, R., Nguyen, T., Grimaldo, C., et al., 2016. Field Performance of New Coiled Tubing Manufacturing Technology and Comparisons With Laboratory Performance, Paper SPE 179048 presented at ICoTa Coiled Tubing Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA.

Valdez, M., Morales, C., Rolovic, R., et al. 2015. The Development of High Strength Coiled Tubing with Improved Fatigue Performance and H₂S Resistance. Paper SPE 173639, presented at ICoTa Coiled Tubing Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA.