

2° Congreso Argentino de Perforación, Reparación, Terminación y Servicio de Pozos

Del 22 al 24 de octubre de 2007 - Buenos Aires

Título: Productos tubulares utilizados en nuevas técnicas de perforación requieren evaluaciones focalizadas en la aplicación.

Autores:

**Néstor Jesús Santi – Tenaris Desarrollo de Producto
Fabián Benedetto - TenarisSiderca**

Abstract:

Las condiciones más severas que proponen las reservas de hidrocarburos hoy en día significan pozos petroleros y gasíferos que puedan alcanzar reservorios de alta presión y alta temperatura, también grandes extensiones horizontales para entubar, presencia de gases corrosivos, o bien domos salinos para atravesar.

Estas solicitudes importantes, acompañadas de otras situaciones de carga llevan a los tubulares a condiciones extremas durante su servicio.

Estos pozos por lo tanto deben ser pensados y concebidos de manera especial, y una de las condiciones que impone su construcción es la utilización de conexiones roscadas capaces de verificar experimentalmente su capacidad de tolerar esfuerzos.

En este trabajo presentaremos los métodos de diseño y ensayos que soportan la Calidad de una conexión especial de alta performance a través de Normas ISO o particulares y como se relacionan estos ensayos con los casos reales de carga en pozos de alta severidad.

1.- Introducción:

El desarrollo de conexiones petroleras capaces de acompañar el advenimiento de nuevas técnicas de perforación y completación de pozos tales como perforación con Casing, perforación con Tubing o terminaciones tipo "Tubingless" requiere de técnicas de evaluación y diseño capaces de garantizar esfuerzos presentes que no eran comunes tiempo atrás para las conexiones estándar utilizadas en los diseños convencionales.

Cargas de fatiga, esfuerzos importantes de torsión, sumados a requerimientos de sellabilidad permanente durante la vida útil del pozo, hacen que la disponibilidad de uniones roscadas aptas para este fin sea escasa en el mercado.

Los requerimientos mencionados anteriormente se vuelven mas cruciales si el empleo de estas conexiones es requerido en pozos complicados de alta presión, alta temperatura y con gases corrosivos tales como el H_2S .

En este trabajo se describen los factores considerados clave que se han tenido en cuenta para el desarrollo de una conexión roscada con un bajo factor de concentración de tensiones y una capacidad de sobre-torque capaz de tolerar los esfuerzos dinámicos más severos durante la perforación.

Ensayos realizados a plena escala, sumados a evaluaciones numéricas mediante el método de los elementos finitos confirmaron la performance de esta conexión aún luego de 2×10^6 de ciclos de carga bajo dog-legs de $30^\circ/100'$ sin ningún signo de fatiga.

2.- Características de las conexiones típicas:

En una conexión Premium típica con cupla son fácilmente reconocibles tres partes en su diseño: 1) zona de rosca; 2) zona de sello y 3) zona de nariz del pin y hombro de torque.

Ahora bien las conexiones estándar fueron concebidas y son ampliamente utilizadas para los rangos típicos de las cargas convencionales, esto es: cargas axiales de tracción o compresión, presiones externas o de colapso, presiones internas o de estallido, flexión o "bending" todo dentro de un requerimiento de servicio estático con relativamente baja sollicitación de torsión o sobre-torque.

Por otro lado se tienen las opciones que ofrecen las conexiones Premium del tipo Integral. Estas pueden ser del tipo "flush" las cuales presentan una eficiencia a los esfuerzos axiales inferior al 100% así como también una reducida capacidad de tolerar esfuerzos de torsión, por ambas razones no son una opción atractiva para utilizarlas en escenarios típicos de una perforación.

Las conexiones integrales con recalque o “upset” en cambio pueden ser muy efectivas en operaciones de perforación o ensayos de pozos que demanden tareas de altas cargas dinámicas y torsión.

2.1- Limitaciones de las conexiones típicas con cuplas:

El principal limitante en estos tipos de diseños está dado por la presencia de una zona sensiblemente proclive a fallas por fatiga localizada en el pin, más precisamente en el área en donde los filetes del mismo empiezan a desvanecerse. La falla ocurre normalmente en algún lugar de esta área conocida como zona de “filetes negros” o “filetes incompletos”.

Así de esta forma, el valor del factor de concentración de tensiones (SCF) que poseen estas conexiones hace que se limite necesariamente el valor de flexión al cual pueden trabajar, o bien su uso se destine a un limitado número de ciclos.

Otro factor en juego es la relativamente baja capacidad de tolerar esfuerzos de torsión que tienen estas conexiones.

Así, con el propósito de superar estas limitaciones en el desarrollo de conexiones se busca robustecer al producto mediante el desarrollo de perfiles de rosca con tolerancias mas ajustadas, contando con filetes que posean contacto entre flancos o al menos un reducido desplazamiento relativo entre los mismos a los efectos de reducir al máximo posible el huelgo entre *pin* y *box*. Adicionalmente se trata de contar con hombros de torques más robustos capaces de tolerar esfuerzos compresivos relevantes y otorgar resistencia al sobre-torque.

3.- Requerimientos evaluados en el diseño:

En la Figura 1 se observa el concepto de conexión Premium de alta performance propuesto para aplicaciones de alto requerimiento.



Figura 1 – Conexión TenarisPJD

El uso de este particular diseño se ha aprobado luego de haber evaluado una serie de requerimientos que se enumeran a continuación:

3.1- Resistencia a la fatiga:

La capacidad de tolerar cargas cíclicas es sin duda una condición fundamental que debe poseer una conexión destinada a trabajos de alta demanda, la cual principalmente es debida a largas sesiones de rotación en pozos cuya trayectoria posean una inclinación o dog-leg importante.

Debido al dog-leg se producen tensiones diferentes en fibras diametralmente opuestas del tubo y la conexión, por esto es que cuando la sarta rota durante la perforación todo el perímetro es afectado pasando por momentos de carga y descarga. La cantidad de estos momentos de carga y descarga, o ciclos, que puede tolerar una conexión determinan su vida a fatiga.

A los efectos de evaluar la respuesta de la conexión en solicitaciones de este tipo, una serie de ensayos a plena escala fueron realizados sobre tuberías OD 4 ½" 12.7# (6.88 mm wt) P110.

El ensayo fue realizado en un dispositivo usualmente utilizado para evaluar tubulares a tipo "risers" en plataformas submarinas y consiste en la aplicación de bending en 4 puntos, de manera independiente de la carga axial estática actuante y con una frecuencia máxima de 5 Hz. En la Figura 2 se observa un esquema del dispositivo.

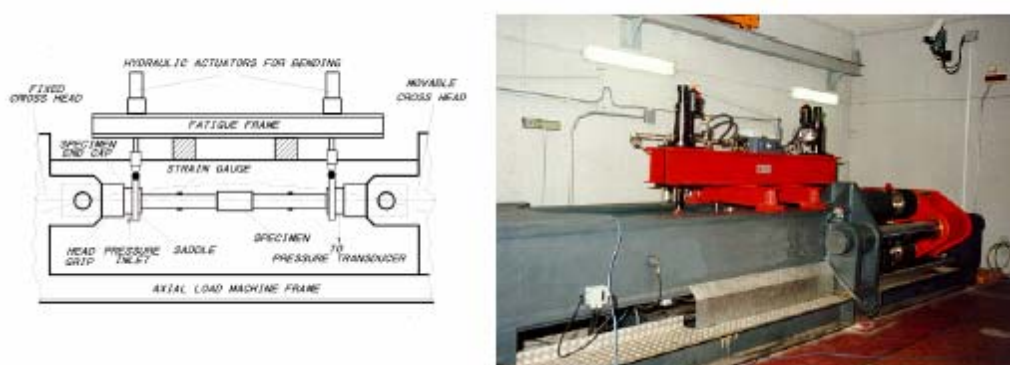


Figura 2 – Esquema y Foto del dispositivo de fatiga

Se ensayaron 4 probetas con una carga axial equivalente al 50% del peso de una columna de 3000 m (9840') con diferentes valores de flexión en expresados en °/100'. Cada ensayo tuvo una duración de 2×10^6 de ciclos.

El armado de cada probeta se realizó con las conexiones ajustadas a un torque 300% superior al torque óptimo recomendado de apriete en campo.

No se observó ninguna falla en las probetas 1, 2 y 3 luego de la cantidad de ciclos estipulada, mientras que la probeta 4 sufrió una rotura por fatiga en el cuerpo del tubo, coincidente con la zona de agarre de mordazas, la falla ocurrió a los 920000 ciclos. La probeta fue soldada y reparada continuando el ensayo

hasta aproximadamente 1200000 de ciclos, momento en el cual ocurrió una nueva falla en la soldadura. Considerando el elevado nivel de dog-leg al cual se había sometido la probeta 4 el ensayo se dio por concluido de manera satisfactoria. En la tabla siguiente se presentan los ensayos de manera resumida:

Probeta #	Tensión aplicada [KN]	DLS [°/100']	Número de ciclos	Resultado
1	245	10	2000000	Sin fallas
2	245	15	2000000	Sin fallas
3	245	20	2000000	Sin fallas
4	245	30	1181354	Falla en el cuerpo (1)

(1) Falla localizada en zona de mordazas

La totalidad de las muestras luego fueron desenroscadas con el objetivo de evaluar los pines y los boxes mediante ensayo NDT, sin encontrar evidencias de fisuras.

Este comportamiento bajo cargas dinámicas puede atribuirse al alivio de tensiones sobre la zona roscada que resulta de la aplicación simultánea de cargas en los hombros de torque externo e interno luego del apretado de la conexión. Como puede verse en la Figura 3, con la correcta aplicación de precarga durante el ensamble de la conexión, la zona de la rosca se carga compresivamente contrarrestando de esta manera las cargas de tracción que son perjudiciales desde el punto de vista de la fatiga de materiales.

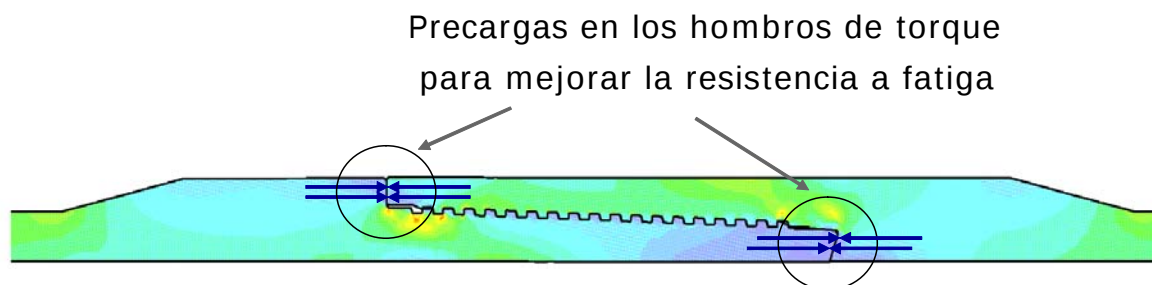


Figura 3 – Mapa de tensiones de la conexión precargada luego del apretado

La Figura 3 muestra el mapa de tensiones de la unión obtenido por simulación numérica a través del Método de los Elementos Finitos, siendo el rojo el color que evidencia las tensiones positivas (tracción) más elevadas. En cualquier caso, dicho valor está siempre por debajo de 2 lo que significa que las tensiones en la conexión nunca llegan a duplicar las tensiones aplicadas sobre el cuerpo del tubo.

3.2- Sellabilidad:

La conexión identificada como #3 fue nuevamente ensamblada al mismo nivel de torque de apriete y se sometió a una serie de ensayos de tracción y compresión mas presión interna de manera de alcanzar el 95% de la fluencia nominal del material.

Los ensayos consistieron en aplicar combinaciones de carga en el extremo de la capacidad estructural de la conexión, con el objetivo de evidenciar posibles pérdidas de estanqueidad que pudieran resultar como consecuencia del ciclado dinámico. En la Figura 4 puede verse la elipse de von Mises con los puntos de carga a los que fue sometida la conexión (identificados numéricamente del 1 al 9) con combinaciones posible de tracción o compresión con presión interna.

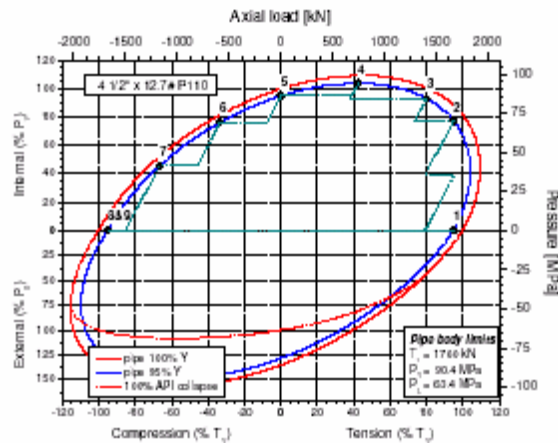


Figura 4 – Elipse de von Mises testada en TenarisPJD 4 ½" 12.7pp P110

Cabe destacar que la conexión pasó sin ninguna pérdida dicho ensayo de sellabilidad corroborando de esta manera la robustez de la misma para aplicaciones similares en el campo.

3.3- Capacidad de sobre-torque:

Con el objetivo de evaluar la capacidad de sobre-torque y la sellabilidad de la unión en condiciones de alto torque, se efectuaron ensayos en 3 probetas adicionales de OD 4 ½" 15.2# (8.56 mm wt) P110.

La primer probeta fue ensayada mediante 5 secuencias de enrosque y desenrosque con valores de torque incrementales hasta el 300% del valor de torque de apriete óptimo. La muestra luego fue sometida a un control dimensional sin encontrar evidencias de deformación.

Las 2 probetas restantes fueron sometidas a una secuencia de ensayos como sigue:

Probeta 2		Probeta 3	
Ensayos de M&B		Ensayos de M&B	
Torque a 300% T _{opt}		Torque a 300% T _{opt}	
Sellabilidad		Sellabilidad	
Desenrosque + Inspección		Desenrosque + Inspección	
Torque a T _{min}		Torque a T _{min}	
Sellabilidad		Sellabilidad	
Tracción hasta rotura		Compresión hasta rotura	

En ninguna de las secuencias de los ensayos de sellabilidad se observaron pérdidas en la conexión.

Los ensayos de rotura mostraron la robustez de la conexión dando resultados 140% por encima de la capacidad de la conexión en el caso de la tracción, mientras que para el ensayo de la compresión los esfuerzos estuvieron limitados a un 138% por encima de la conexión debido a la tendencia al pandeo del cuerpo de la probeta.

3.4- Facilidad de “emboque”:

Las nuevas técnicas de perforación usualmente requieren equipos automáticos en los cuales las tuberías son tomadas y posicionadas en forma vertical mediante el uso de un brazo mecánico. Por lo tanto las conexiones deben poseer un emboque fácil con baja tendencia al cruce de rosca.

La conexión TenarisPJD posee un filete de rosca trapezoidal tipo Buttress con sus crestas y valles paralelos a la conicidad de la rosca que facilita el emboque de la conexión. En particular, para el caso de los diámetros mayores a 4 ½” se ha utilizado un perfil de rosca con un ángulo de emboque de 25° que facilita aún más el ensamble de la unión.

4.- Experiencias de Campo:

Los excelentes resultados percibidos en las pruebas de laboratorio fueron confirmados en las experiencias de campo realizadas por un operador en México de las cuales resaltamos los siguientes casos de perforación o terminación de pozos:

4.1- Perforación:

Ubicación: Norte de México.

Sección perforada: 1575 m a 2570 m (995 m)

Velocidad de rotación: 140 rpm

Tiempo de rotación: 39 horas

Peso sobre el trépano: 5 t

La tubería seleccionada para este trabajo fue OD 3 ½” 9.3# N80, la cual se utilizó en una primera etapa perforando hasta 2138 metros, se retira la columna para inspección, los tubos se desenroscaron indicando valores de torque de apertura del orden de los 8000 a 9000 ft-lb (el torque de ajuste utilizado fue de aproximadamente 3250 ft-lb), sin observarse ninguna anomalía en las uniones.

Seguidamente se continuó perforando con la misma columna hasta los 2570 metros, en donde la misma fue cementada (Pozo tipo “Tubingless”). El pozo actualmente produce gas sin problemas.

4.2- Terminación y reparación de pozos:

Se presentan 3 casos también evaluados en México:

Pozo #1

Ubicación: Sur de México.

Viajes realizados: 24
Tiempo total de rotación: 91 horas
Tubería: 3 ½" 9.3# N80
Peso sobre el trépano: 6 t (máximo)
Velocidad de rotación: 100 rpm (máximo)
Sección: 3117 m a 3726 m

Pozo #2
Ubicación: Sur de México.
Viajes realizados: 30
Tiempo total de rotación: 215 horas
Tubería: 3 ½" 9.3# N80 y 12.95# C95
Peso sobre el trépano: 7 t (máximo)
Velocidad de rotación: 90 rpm (máximo)
Sección: 4717 m a 5306 m

Pozo #3
Ubicación: Sur de México.
Viajes realizados: 28
Tiempo total de rotación: 268 horas
Tubería: 3 ½" 9.3# N80 y 12.95# C95
Peso sobre el trépano: 7 t (máximo)
Velocidad de rotación: 120 rpm (máximo)
Sección: 4640 m a 5494 m

En los 3 casos mencionados, la tubería se dejó cementada e instalada en los pozos como tubería final de producción de gas.

5.- Conclusiones:

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y a las experiencias registradas en operaciones de campo bajo aplicaciones de alta demanda de cargas, es posible con un adecuado diseño contar con una conexión que combine excelente resistencia a fatiga y sobre-torque requerimiento necesario para las nuevas técnicas de perforación a la vez que se garantice sellabilidad en pozos de alta presión y temperatura aún con alto grado de inclinación.

Este concepto ha sido evaluado y aprobado exitosamente hasta 7" con resultados similares lo cual lo hace una alternativa para aplicaciones hasta casing de diámetros medios.

Las conexiones integrales, con doble hombro de torque son recomendadas para este tipo de aplicaciones debido a que cuentan con un factor de concentración de tensiones inferior a 2,0.

Los resultados analíticos y experimentales permiten garantizar sellabilidad a altas presiones aún en condiciones severas de sobre-torque.

Este tipo de concepto permite avanzar con las nuevas técnicas de perforación en pozos mas desafiantes y problemáticos.

6.- Referencias:

Paper OTC 17221. "Premium & Semi-premium Connections Design Optimization for Varied Drilling-with-Casing Applications" by Néstor J. Santi, Tenaris; Gabriel E. Carcagno, SPE, Tenaris; Rita Toscano, Centro Investigación Industrial. Mayo 2005.

"FATIGA EN CONEXIONES DURANTE LA PERFORACIÓN CON CASING: COMO AFECTA Y COMO SE EVALÚA". Autores: Néstor Santi (Tenaris Connections) y Fabián Benedetto (TenarisSiderca). Congreso de Perforación 2005. 3 al 5 de Octubre, Buenos Aires, Argentina.

Paper SPE 97584. "The Design of Tubing and Casing Premium Connections for HTHP Wells" by Gabriel Carcagno, SPE, Tenaris.

ISO 13679:2002, Petroleum and Natural gas Industries-Procedures for Testing Casing and Tubing Connections", 2002.

Recommended Practice for Evaluation Procedures for Casing and Tubing Connections; API Recommended Practice 5C5 2nd Edition, November 1996.