



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

Estudio paramétrico del proceso de roscado de conexiones ‘Premium’

Jorge Muract, Julio Massa y José Stuardi

Departamento de Estructuras – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba – Casilla de Correo 916, (5000) Córdoba, Argentina
E-mail: jmuract@efn.uncor.edu

RESUMEN

Debido a la tendencia creciente a explotar yacimientos petroleros a mayores profundidades y de más difícil acceso, las empresas fabricantes de tubos están continuamente tratando de mejorar sus productos. En la actualidad existe enorme interés por producir productos de mayor calidad y en consecuencia se realizan grandes esfuerzos en el área que se ocupa de las conexiones propietarias de alta performance llamadas “conexiones Premium”.

Las conexiones Premium, a diferencia de las conexiones convencionales API (Buttress, Round Thread, etc.), presentan tolerancias más restringidas y poseen diversos tipos de sellos, que aseguran su estanqueidad a altas presiones internas causadas por la gran profundidad de los yacimientos. Una limitante a la reducción de las tolerancias, es la capacidad del proceso productivo de las conexiones.

El proceso más utilizado para el mecanizado de extremos roscados, debido a su versatilidad se realiza a través de tornos. Habitualmente se busca reducir al mínimo el tiempo de mecanizado, por medio de mayores velocidades de corte y menor cantidad de pasadas, pero esto va en detrimento de las tolerancias y de la estabilidad del proceso.

En este trabajo se realiza un estudio paramétrico preliminar para determinar las principales variables que afectan las dimensiones constructivas de las conexiones, tales como, el diámetro primitivo, conicidad y diámetro de sello en un torno en particular. El estudio se realiza, a modo de ejemplo, sobre un tubo de 4,5 pulgadas de diámetro y 6,35 mm de espesor bajo las especificaciones dimensionales definidas en las normas API5CT y API5B.

Palabras Claves: Roscado, Tornos, Mecanizado y Mordazas

1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las conexiones Premium, a diferencia de las conexiones convencionales API (Buttress, Round Thread, etc.), presentan tolerancias más restringidas, del orden de la mitad de estas conexiones convencionales. La estabilidad del proceso es función directa de las tolerancias del producto. En la medida que las tolerancias son restringidas, parámetros que tenían un peso no relevante en la calidad del producto, pasan a ser factores de inestabilidad del proceso [1,2]. Por ese motivo, en este trabajo se presentan los esfuerzos preliminares, para obtener un modelo que permita estudiar el efecto del apretado de las mordazas que sujetan el tubo durante el proceso de roscado y su interacción con el espesor del tubo.

Este modelo preliminar simula la configuración tridimensional de mordazas, espesor y cuerpo del tubo. La implementación se realizó con el programa comercial ABAQUS [3], con materiales y condiciones de apoyo lineales. Los elementos utilizados para el modelado fueron tetraedros de 4 nodos, lineales. A continuación se describe el tipo de conexión seleccionado, como así también grados de acero, dimensiones del tubo, etc.

1.1 Conexión

A los fines de tener una aproximación razonable de las dimensiones de una conexión Premium, se tomaron las dimensiones de una conexión API Buttress y la mitad de sus tolerancias dimensionales. El sello metal con metal no fue tenido en cuenta en este modelo preliminar. El cuerpo del tubo fue seleccionado de las dimensiones estándares, listadas en la norma API5CT [4].

1.1.1 Grado del acero empleado

La tensión de fluencia del material del tubo fue obtenida de la Tabla C.6 de la norma API5CT. De esa tabla, no se consideran los grados de acero H40, J55, K55 y M65, ya que normalmente no son utilizados en las conexiones Premium. De la tabla se puede resumir, que la mínima tensión de fluencia del tubo es 552MPa, que corresponde a un grado de acero N80 y L80.

1.1.2 Diámetro y espesor del tubo

La Tabla 1 es un resumen de la tabla C.24 de la norma API5CT, donde se seleccionaron los menores espesores posibles de tubos para conexiones Buttress. Además, se incluyen las tolerancias del diámetro, según norma API5CT sección 8.11.1. Por otro lado, según las especificaciones de la sección 8.11.2 de esa norma, el espesor mínimo permitido es el 87,5 % del espesor nominal. Los resultados mostrados más adelante en este trabajo corresponden al primer producto de esta tabla (tubo de 4 ½ pulgadas que está sombreado en amarillo).

Tabla 1: Resumen de tabla C.24 y sección 8.11.1 de la norma API5CT

Nombre	Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Tolerancia
4 1/2	114,30	6,35	
5	127,00	6,43	
5 1/2	139,70	6,98	
6 5/8	168,28	7,32	+10 % D
7	177,80	8,05	-0,5 % D
7 5/8	193,68	8,33	
8 5/8	219,08	8,94	
9 5/8	244,48	8,94	

1.1.3 Dimensiones de la conexión

En la Figura 1 se esquematizan las dimensiones principales de la conexión Buttress, extraídas de la norma API5B [5] para el tubo de 4,5 pulgadas que se utiliza en este trabajo, cuyas características se resumen en la Tabla 2.

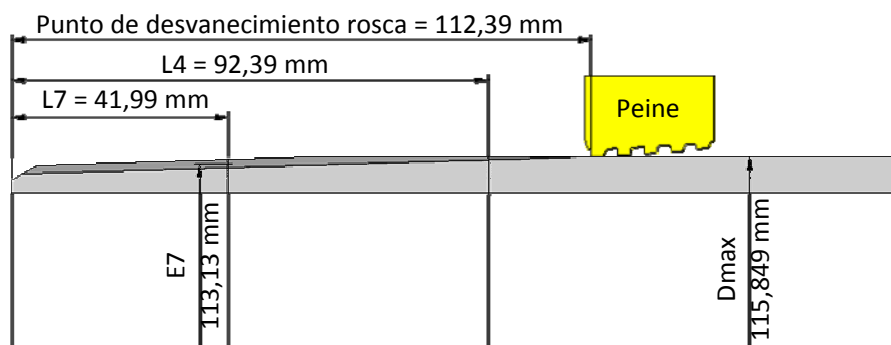


Figura 1: Esquema de las dimensiones características de la conexión Buttress 4,5 y el peine Ceratizit Buttress 4.807

Tabla 2: Resumen de las dimensiones de la conexión Buttress de 4,5 pulgadas según la norma API5B

Descripción	Valor
D	4,500" (114,3 mm)
Diámetro externo del tubo (D4)	4,516" (114,71 mm)
Número de hilos por pulgada	5,000" (127 mm)
Longitud de rosca perfecta (L7)	1,6535" (42 mm)
Longitud desde el frente hasta el punto de desvanecimiento (L4)	3,6375" (92,39 mm)
Diámetro primitivo (E7)	4,454" (113,13 mm)

1.1.4 Medición del 'stand-off'

La norma API5B especifica que el stand-off de las roscas API debe ser medido con "ring gauge". Las tolerancias definidas en la sección 6.1.4 de la API5B especifican una tolerancia en el stand-off de (+p/2, 0). Si asumimos que la conicidad y el paso están en su valor nominal, respectivamente 0,0625 y 5TPI, la tolerancia sobre el diámetro primitivo es de (+0,16 mm; 0). Si asumimos que las conexiones Premium tienen la mitad de la tolerancia de una conexión API, el diámetro primitivo tiene una tolerancia de (+0,08 mm; 0).

1.1.5 Perfil de la rosca

El peine Ceratizit 4.807 de 5 dientes Buttress [6] fue seleccionado para la simulación. Este peine en particular tiene una superficie de corte muy grande, lo que genera potenciales problemas de vibración. Por este motivo, se busca reducir al mínimo el voladizo del tubo, factor que reduce el efecto de la vibración.

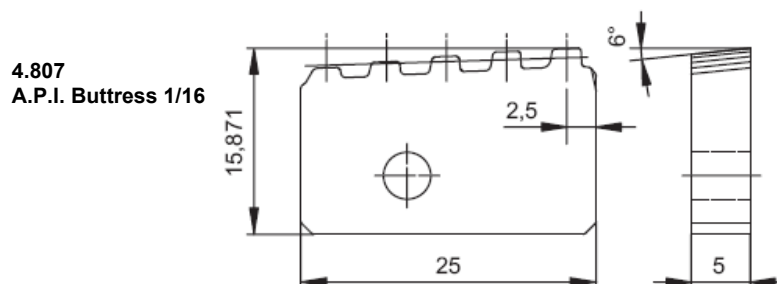


Figura 2: Dimensiones del peine Buttress 4.807 del Catálogo Ceratizit

1.2 Definición de la salida del peine – ‘run-out’

La distancia axial de salida del peine tiene relación directa con la velocidad de mecanizado, el avance de la herramienta, el setup de aceleraciones de los servomotores, la masa de torretas y porta-herramientas y el algoritmo que el CNC utiliza para realizar esta operación. Un valor típico, que salvaguarda todos estos factores es 2,5 mm axial y 5 mm (diametrales) en la dirección radial.

1.3 Voladizo

Con las definiciones citadas en las secciones anteriores, se calculó un voladizo de 140 mm para una conexión Buttress 4 1/2". La configuración final es mostrada en la Figura 3.

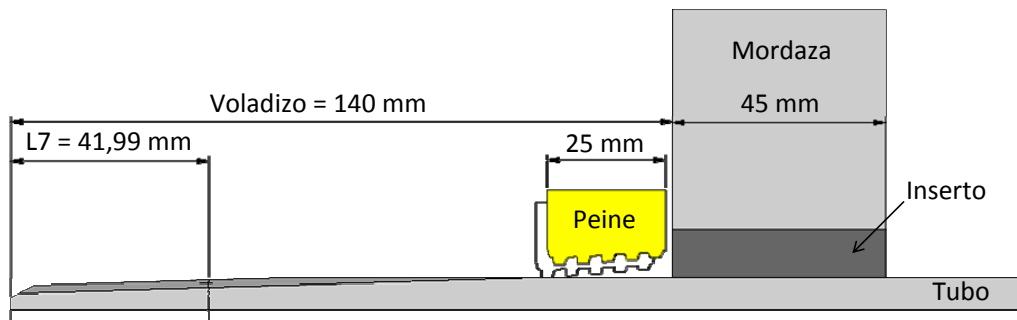


Figura 3: Configuración de roscado y cálculo del voladizo

1.4 Mordazas multipunto

Las mordazas multipunto tienen la finalidad de lograr una distribución homogénea de la fuerza de sujeción del tubo. Un modelo típico de estas mordazas se muestra en la Figura 4. El modelo corresponde a la empresa Machinery Canada. Los insertos dentados de sujeción están distribuidos a 60° uno de otro.

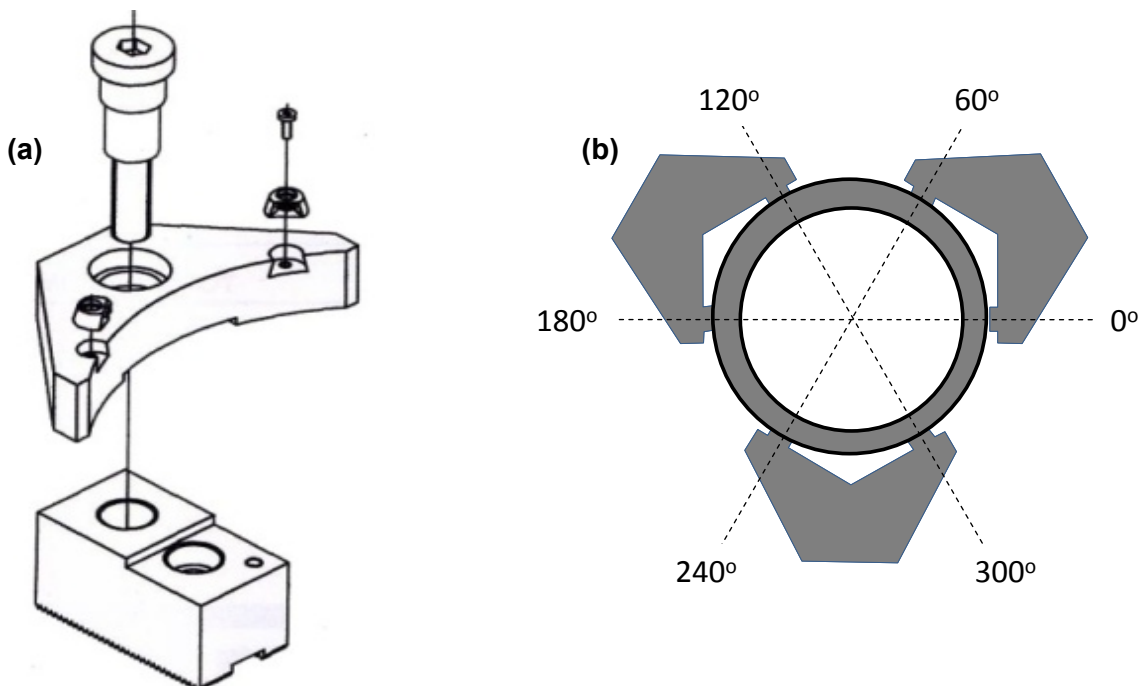


Figura 4: Modelo de mordazas multipunto

(a) Vista explotada de una mordaza. (b) Esquema de la distribución de los insertos de la mordaza.

2 MODELO NUMÉRICO

Se simuló por medio de elementos finitos tridimensionales un tubo de 4 ½" de espesor 6,35 mm, apretado por tres mordazas multipunto. Se tomó un tubo de 500 mm de largo y se colocaron las mordazas a los 140 mm del extremo libre. El otro extremo fue empotrado para lograr la estabilidad del modelo. Para modelar el empotramiento se consideró una distancia suficientemente larga como para que el efecto del empotramiento no modificara los resultados en la otro extremo del tubo. Para generar la fuerza de agarre de las mordazas (perpendicular al eje axial del tubo), se aplicó una presión (P), como se muestra en la Figura 5.

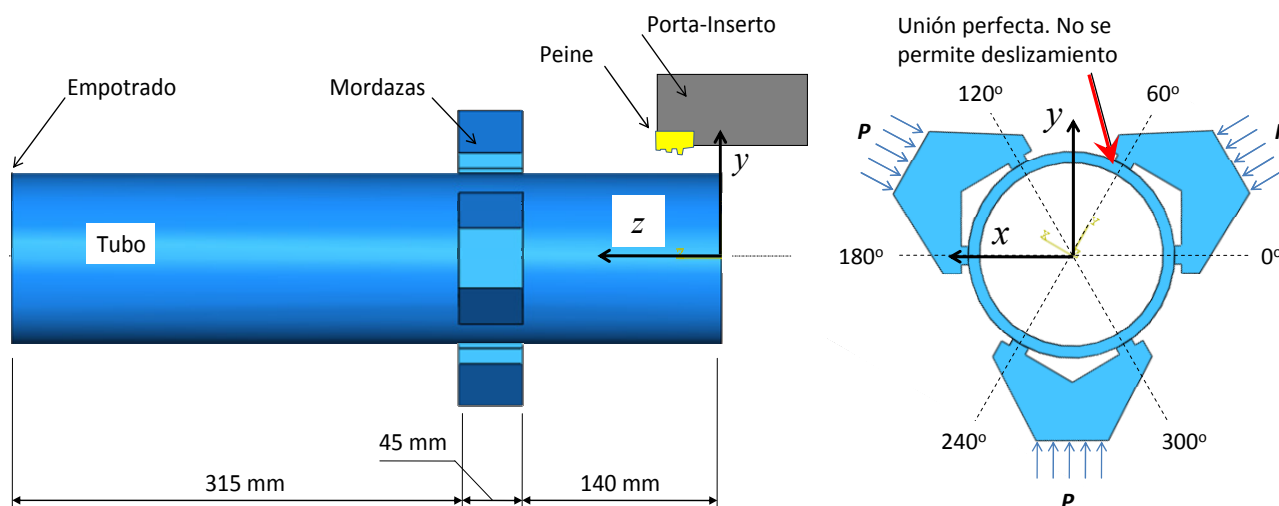


Figura 5: Configuración del modelo numérico del tubo de 4 ½ pulgadas de diámetro y 6,35 mm de espesor

2.1 Casos estudiados

En un proceso estándar de roscado no se conoce la ubicación del punto de menor espesor del tubo, por ello, su ubicación con respecto a las mordazas es completamente aleatoria, siendo una variable de proceso no controlada. A los fines de cuantificar el efecto que tiene esta variable sobre los parámetros de la rosca, en especial el diámetro primitivo, y determinar la condición más desfavorable, se simularon 4 configuraciones, las cuales se muestran en la Figura 6.

El caso 1 simula un tubo 'perfecto', de espesor constante. Obviamente, en este caso no es importante la posición de las mordazas. Los casos 2, 3 y 4 simulan un tubo con la reducción de espesor máxima (12,5 % del espesor), alineada con el eje x . En el caso 2, el punto de menor espesor coincide con el centro del cuerpo de la mordaza 2. En el caso 3, el punto de menor espesor coincide con uno de los insertos de la mordaza 2. Finalmente, el caso 4 tiene el punto de menor espesor en el medio de las mordazas 2 y 3.

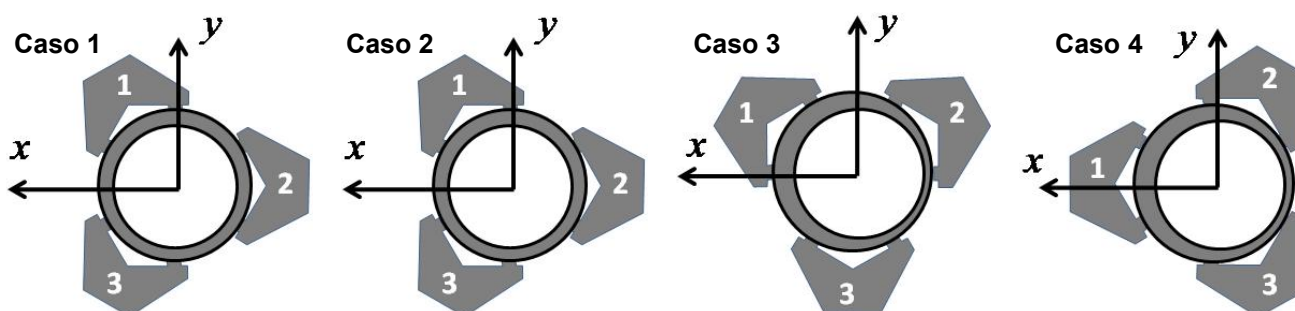


Figura 6: Cuatro casos simulando diferentes ubicaciones de las mordazas respecto al mínimo espesor del tubo

3 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para los cuatro casos estudiados. Los resultados son analizados sobre dos secciones diferentes, perpendiculares al eje del tubo, *i*) en la posición donde se define el diámetro primitivo (L7) y *ii*) en la posición de desvanecimiento de la rosca (L4). Además, se incluye el estudio de la máxima deformación del caso 4 en función de la fuerza de agarre del tubo.

3.1 Punto de desvanecimiento de la rosca

En la Figura 7 se muestra un corte transversal del tubo a la posición de desvanecimiento de la rosca ($L4 = 92,39$ mm). Como muestran los resultados, el caso más desfavorable es el caso 4, en el cual el punto de menor espesor se encuentra entre dos mordazas contiguas. En contrapartida, como es de esperar, la menor deformación corresponde al caso 1, en el cual el tubo es perfecto, teniendo espesor constante.

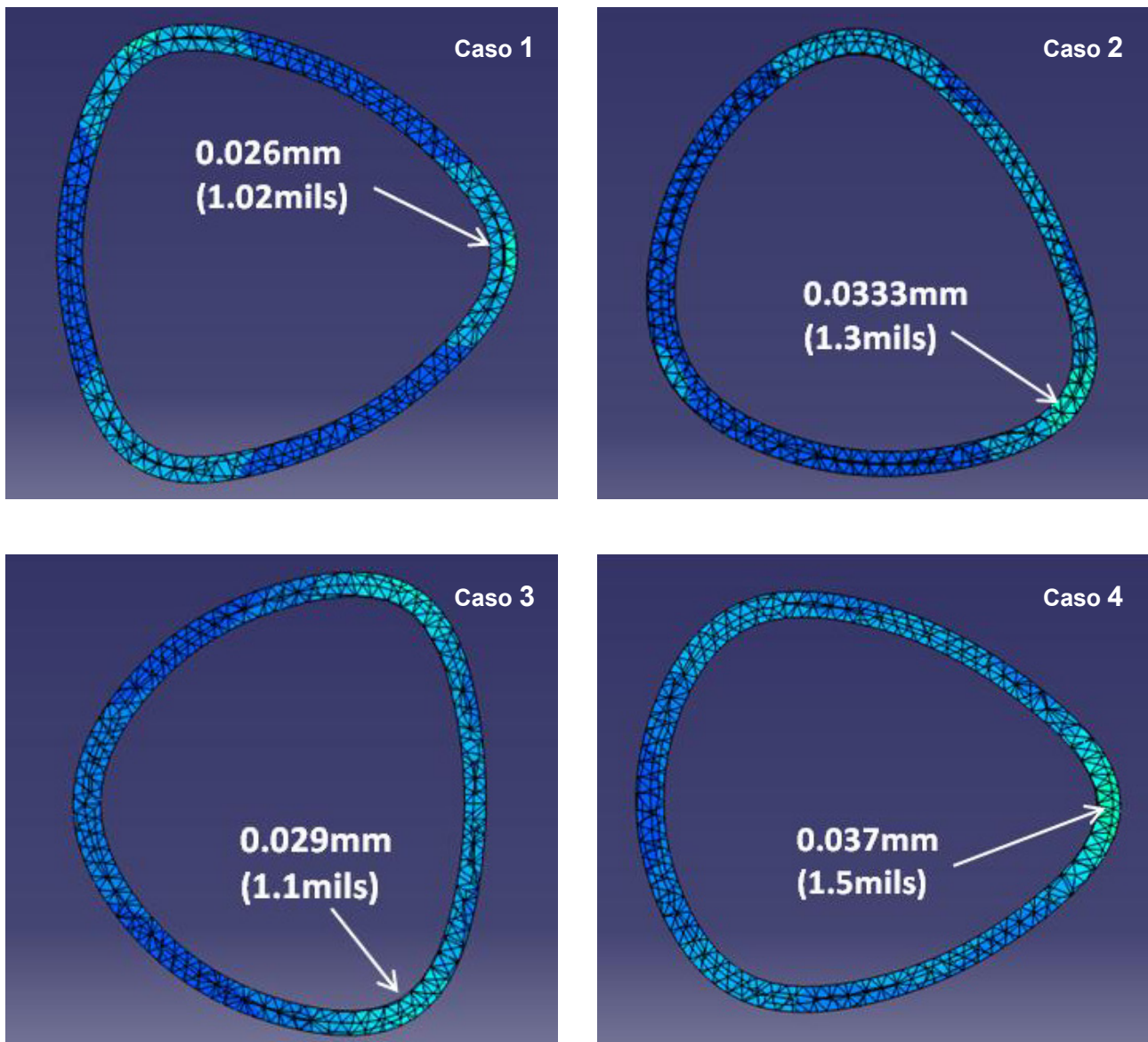


Figura 7: Corte transversal del tubo en la posición de desvanecimiento de la rosca en los cuatro casos simulados

De los resultados se puede concluir, que el efecto de las mordazas en la sección correspondiente al desvanecimiento de la rosca se observa como una triangulación del tubo. Según los instrumentos de medición presentados por API, esta triangulación es medida únicamente por el ring-gauge y se observa como una variación aleatoria del stand-off.

3.2 Punto de medición del diámetro primitivo (L7)

En la Figura 8 se muestran varias secciones transversales del tubo a L7 a fin de evaluar el efecto de las mordazas sobre el diámetro primitivo ($L7 = 42 \text{ mm}$). Como es de esperar, nuevamente la configuración más desfavorable coincide con el caso 4, mientras que el caso 1 es el más favorable. A diferencia de la triangulación que se observa en el punto de desvanecimiento de la rosca, el efecto de las mordazas en este punto se observa como una ovalización del tubo. Para el caso 4 se observa un incremento en el diámetro primitivo de $0,0432 \text{ mm}$, que implica aproximadamente el 25 % de la tolerancia API ($0,16 \text{ mm}; 0$) y un 50 % de la tolerancia Premium ($+0,08 \text{ mm}; 0$).

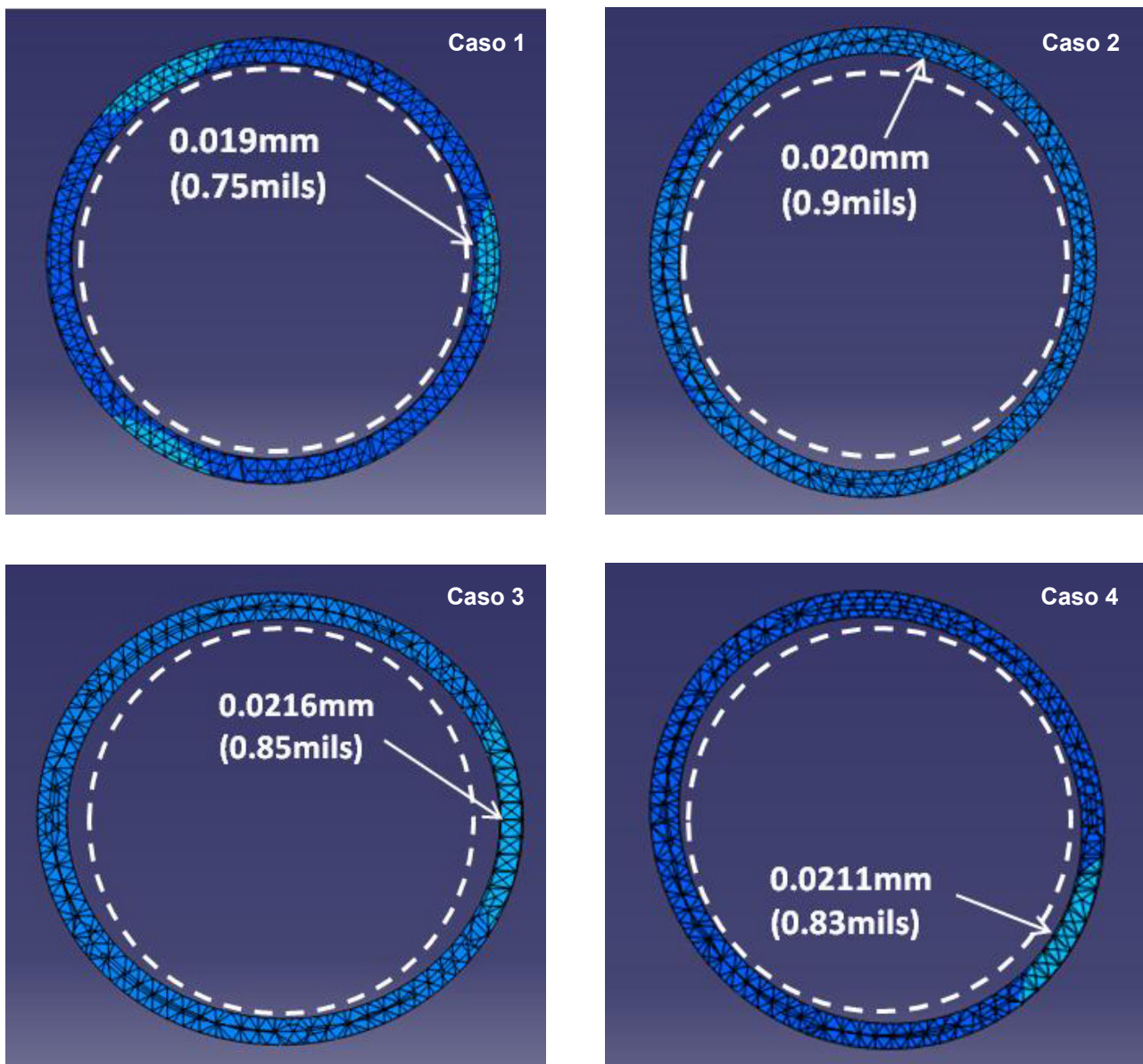


Figura 8: Evaluación del efecto de las mordazas sobre el diámetro primitivo - Varias secciones transversales del tubo a L7

3.3 Deformación máxima en función de la presión

Dado que los resultados muestran que el caso más desfavorable es el caso 4, para este caso en particular, se consideraron tres valores diferentes para la presión que se listan en la Tabla 3.

Tabla 3: Presiones utilizadas en la simulación del caso 4

Presión [bar]	Fuerza de agarre [kN]	Comentarios
3,3	100	
6,0	181	← Recomendada por el fabricante del plato
10,0	300	

Debido a que los elementos utilizados en el modelo son lineales, al igual que el material, se puede anticipar un comportamiento lineal en los resultados de las simulaciones. A los fines de validar el uso de este modelo lineal, se compararon las tensiones máximas en el modelo con la tensión de fluencia de valor 552 MPa para un acero de grado N80 o L80. En la Figura 9 se muestra la variación de la deformación en función de la fuerza de agarre.

El modelo no mostró puntos con tensiones superiores a fluencia ni en la zona de desvanecimiento de la rosca ni en el diámetro primitivo. Por otro lado, en la posición de las mordazas donde las tensiones son máximas, se observó un punto de alta tensión sobre los insertos de las mordazas; por ejemplo para 181 kN se obtuvo una tensión de 800 MPa, lo cual no hace fallar el inserto ya que son de un material aleado, tratados térmicamente.

En el cuerpo del tubo, las tensiones permanecen por debajo de la tensión de fluencia del material; por ejemplo, una fuerza de agarre de 181 kN genera una tensión máxima de 530 MPa. Para fuerzas de agarre superiores, se observó que el tubo entra en fluencia en algunos puntos, por ello los valores obtenidos para fuerzas mayores a 181 kN no son incluidas en el gráfico de la Figura 9. Para simular valores mayores a 181 kN se necesitaría incluir la no-linealidad del material en el modelo.

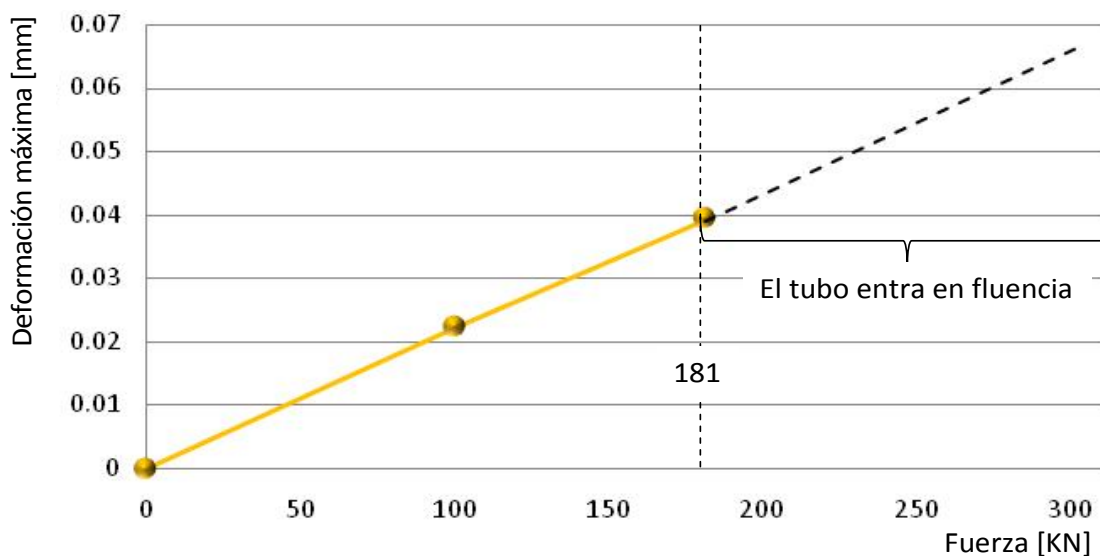


Figura 9: Variación de la deformación en función de la fuerza de agarre para un tubo 4 ½ pulgadas en el punto de desvanecimiento de la rosca.

4 CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo numérico preliminar que permite predecir el efecto de las mordazas sobre los parámetros de la rosca.

Se demostró que las deformaciones generadas por las mordazas tienen una influencia considerable sobre la estabilidad del proceso de conexiones Premium. Para el caso de un tubo de 4 ½ pulgadas y 6,35 mm de espesor, cuando las mordazas se ubican en la posición más desfavorable (denominado caso 4), el efecto de las mordazas sobre el diámetro primitivo es aproximadamente el 25 % de las tolerancias de roscas API y un 50 % de las tolerancias Premium.

El efecto de las mordazas es inversamente proporcional al largo del voladizo del tubo; a mayor voladizo, menor es el efecto. Sin embargo, un incremento del voladizo conlleva a problemas de vibración en los tubos de espesores finos.

5 REFERENCIAS

- [1] SandVik Coromant. *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. SandVik Coromant ISBN: 91-97 22 99-3-0. 1996
- [2] G. Boothroyd and W.A. Knight. *Fundamentals of Machining and Machine Tools* – Taylor & Francis Group, Third Edition . ISBN: 1-57444-659-2. 2006
- [3] ABAQUS/CAE Version 6.7 EF1. *Analysis User's Manual. Volume I: Introduction, Spatial Modeling, Execution & Output*. 2007.
- [4] API5CT. *Specification for Casign and Tubign*. July 2005.
- [5] API5B 15th Edition. *Specification for threading, Gauging and Thread Inspection of Casign, Tubign, and Line Pipe Threads*. April 2008.
- [6] Ceratizit. *Oil field – Threading inserts*. 2001.