

# Diseño y desarrollo de prototipo de “FOX T-REAMER” para optimización del trabajo de apertura de ventana haciéndolo en una sola corrida

Autores: A. E. Gómez, Maple Oil Tools, B. S. Gómez, Maple Oil Tools, J. L. Gamboa, Maple Oil Tools Categoría: Marque con una “X”

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022, ACIPET  
 Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.  
 Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

## RESUMEN

El completamiento de pozos con control de arena, usando empaquetamiento de grava en un wellbore ensanchado, es una práctica común en especial en los campos de la cuenca Llanos Orientales en Colombia. La operación incluye la corrida de una herramienta de corte de revestimiento (section mill) y una herramienta de ensanchamiento de la arena productora (underreamer). Ambas corridas se realizan en viajes independientes.

Con el diseño del Fox T-Reamer se buscó optimizar el desarrollo de la operación, realizando el corte y el ensanche de la ventana en una sola corrida con las dos herramientas en tándem. Para lograr lo anterior, la herramienta de ensanche fue diseñada para permitir que se activen los dos equipos de manera independiente y secuencial de acuerdo al requerimiento de la operación (corte – ensanche).

El presente paper muestra el proceso de diseño, validación y prototipado de la herramienta Fox T-Reamer que incluye la selección de las variables de entrada obtenidas en la experiencia operacional, la validación del diseño mediante análisis de elementos finitos y las pruebas de funcionalidad, obteniendo como resultado el cumplimiento de las especificaciones de operación y funcionamiento, siendo auditados los resultados por medio de una entidad certificada.

El diseño del “Fox T-Reamer” demostró ser viable para la optimización del trabajo de apertura de ventana, con una operación confiable y segura aún en pozos horizontales.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del desarrollo de este diseño fue resolver la necesidad de ahorro de tiempo para la apertura de una ventana de casing, teniendo en cuenta el ahorro en tiempo representa ahorro en energía lo cual contribuye en reducción de emisiones, adicional permite mejorar la curva de tiempo de completamiento del pozo, colocando en producción el pozo en un menor tiempo.

En cuanto a la función de la herramienta, en el mercado internacional existen otras que permiten realizar este tipo de trabajos, pero con diferentes diseños que requieren parámetros de trabajo diferentes a los planteados con el diseño del Fox T-Reamer, adicional los otros diseños existentes presentan limitaciones, siendo indicados para pozos verticales o con desviaciones muy bajas, por su mecanismo de activación.

Con este trabajo se quiere mostrar la fase de diseño y prototipado de la herramienta de ensanche Fox T-Reamer, la cual permite con la herramienta ubicada arriba de un Section Mill, realizar la función de corte y ensanche de casing y formación en un solo viaje, mostrando los resultados obtenidos durante este desarrollo, los cuales implicaron conocimiento del trabajo actual que se realiza en los campos colombianos con este tipo de herramientas y las ventajas que se querían obtener con esta herramienta para lograr mayores eficiencias en tiempo.

## Metodología y Datos

El Underreamer es una herramienta utilizada en perforación la cual permite ensanchar un hueco existente durante la perforación de un pozo o posterior a esta, como son los casos de control de arena en los que se realiza una ventana cortando el casing existente y después ensanchando el hueco sobre el casing cortado, esta última operación implica dos viajes con diferentes herramientas, primero un Section Mill para el corte y después el Underreamer para el ensanche. Partiendo del planteamiento de realizar estos dos trabajos de corte y ensanche en una sola corrida, se realizó un diseño de un nuevo Underreamer llamado Fox T-Reamer, el cual parte del concepto básico de ensanche, en el que la herramienta cuenta con unas cuchillas que se abren al OD del hueco que se desea dejar ensanchado, convencionalmente entre 14 y 16 pulgadas. Para esta apertura la herramienta cuenta con un mecanismo interno el cual por medio de

potencia hidráulica realiza la apertura de las cuchillas, permaneciendo abiertas al mantener el fluido motriz actuando sobre mecanismo de activación y realizando el ensanche mediante rotación y avance de la sarta, manteniendo parámetros en superficie.

Con este principio de funcionamiento se desarrolló un diseño conceptual el cual debía permitir en una primer fase que el fluido pasara a través del underreamer sin que su mecanismo fuera activado, desviando el fluido a fondo para la activación del Section Mill, una vez terminando el corte, se debía restringir el paso del fluido a fondo y activar el mecanismo del Underreamer para pasar al trabajo de ensanche, para esto se diseñó el sistema por esfera para detener el fluido y activar esta sección superior, con el condicional que la esfera activara el mecanismo pero una vez activado no dependiera de la esfera para poder ser utilizado en pozos horizontales. Se realizó el diseño en SolidWorks y se probó la funcionalidad mecánica de la herramienta, para esto se revisó que no hubiese interferencias en el diseño y que las tolerancias estuvieran ajustadas en las partes móviles que así lo requirieran, se estableció el material de acuerdo con las especificaciones API 7-1.

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas.

PROPIEDADES MECANICAS	
PROPIEDAD	VALOR (Min.)
YIELD STRENGHT	110.000 psi (759 Mpa)
TENSILE STRENGHT	130.000 psi (900 Mpa)
% Elongación	13%
HBW (Dureza)	285

*Fuente: API SPEC 7-1.*

**Tabla 2.** Propiedades químicas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA								
C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Cu	Ni
0,42 - 0,54	0,65 - 1,40	0,025 Max.	0,025 Max.	0,15 - 0,55	0,75 - 1,5	0,15 - 0,35	0,55 Max.	0,45 Max.

*Fuente: API SPEC 7-1.*

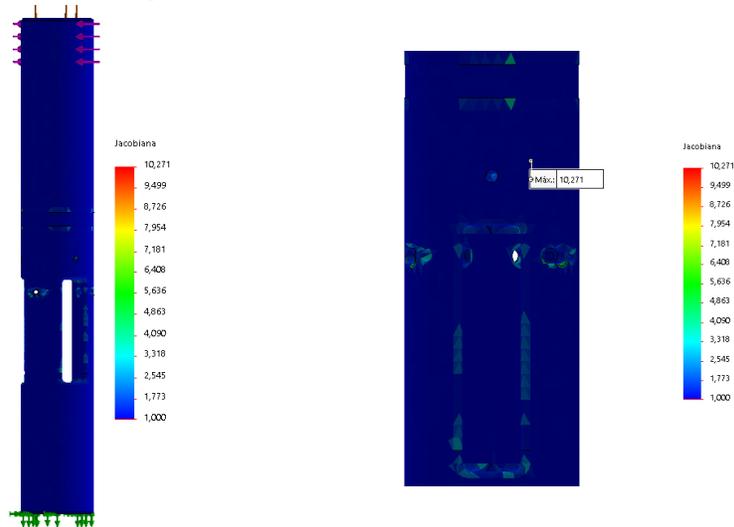
Se establecieron los límites operacionales basados en las herramientas existentes en el mercado, siendo estos límites 44.961 lbf de tensión, 17.984 lbf de compresión y 9000 lbf-ft de torque y para el estudio se analizaron dos situaciones, un primer caso con la herramienta en compresión y torsión y un segundo caso en tensión y torsión (ver figura 1), se realizó el análisis de elementos finitos en SolidWorks por medio del análisis de esfuerzo Von Mises con una escala de 110.000 psi (760 Mpa) basado en el Yield del material, adicional el análisis de calidad de la malla establecido fue el Jacobiano (ver figura 2).

**Figura 1.** Diagrama de cuerpo ampliador.



*Fuente: MOT.*

**Figura 2.** Evaluación de calidad de la malla – Jacobiano.

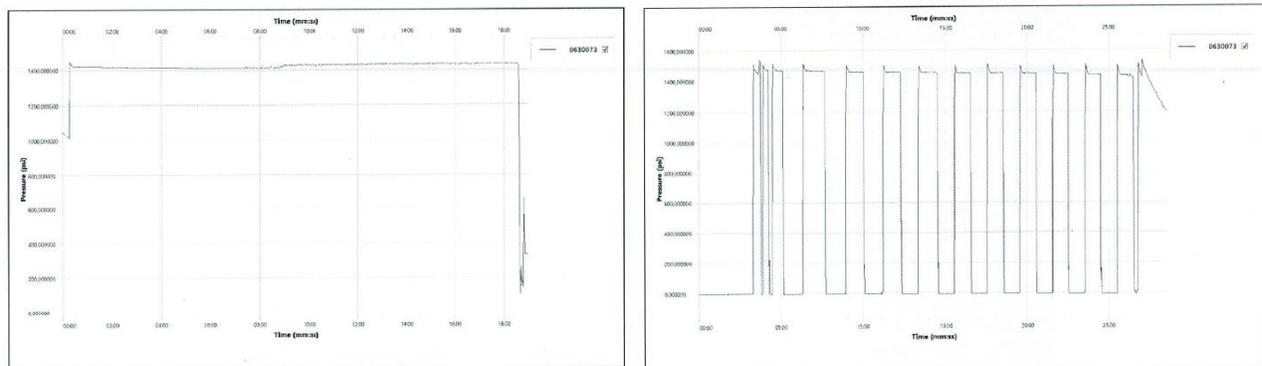


*Fuente: MOT.*

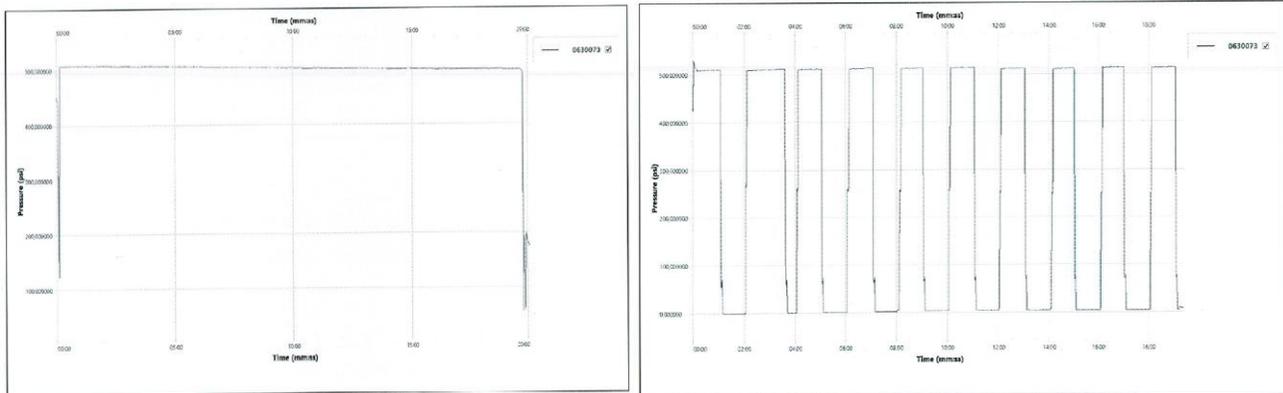
Adicionalmente se fabricó un prototipo y se le aplicaron cargas de tensión y presión simultaneas de 45600 lbf y 1470 psi, realizado una aplicación de carga cíclica en 11 etapas de un minuto cada una y cargas sostenidas de 15 minutos; se aplicó carga de compresión y presión simultanea de 19240 lbf y 500 psi aplicación de carga cíclica en 10 etapas de un minuto cada una y cargas sostenidas de 15 minutos, por último se aplicó torque máximo de 9800 lbf-ft sobre las cuchillas del underreamer en 18 etapas con una presión de 350 psi, (Ver figura 3) después de esto se realizaron pruebas no destructivas para validar el diseño.

**Figura 3.** Prueba de Diseño

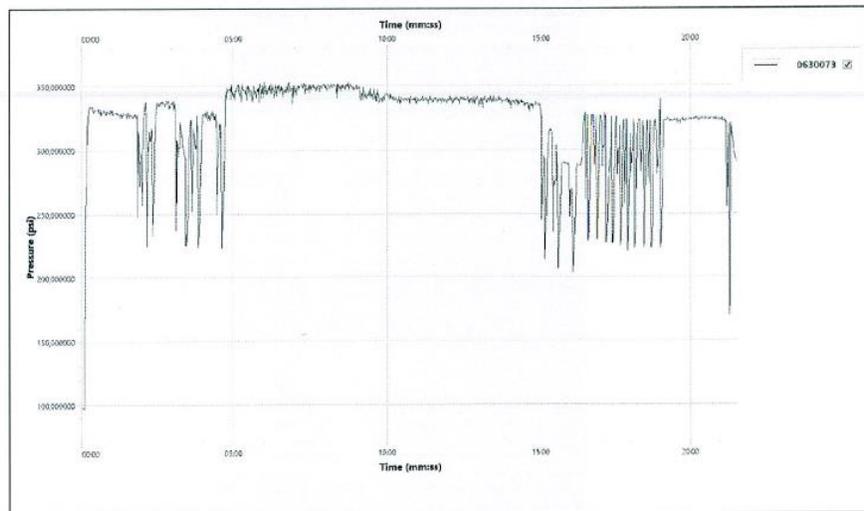
a) Carga Axial Tensión



## b) Carga Axial Compresión



## c) Torque aplicado



**Fuente:** MOT.

Po ultimo se realizó una prueba de funcionalidad, donde se realizó el ensamble tipo usado para apertura de ventanas, ubicando un taper mill en la punta, un section mill estándar y el underreamer Fox T Reamer en la parte superior, se ubicó el ensamble en posición horizontal, se procedió a bombear agua a través del ensamble con un promedio de 500 psi y 3.3 bpm observando la apertura del section mill manteniendo el Underreamer Fox T Reamer cerrado (Ver Figura 4), después de esto se procede a lanzar la esfera y presurizar hasta 2670 psi observando caída de presión e incrementando parámetros hasta activar el Underreamer manteniendo el section mill en posición cerrada, con unos parámetros promedio de 3.3 bpm y 500 psi. (Ver figura 5).

**Figura 4.** Activación Section Mill.



**Figura 5.** Activación Fox T Reamer

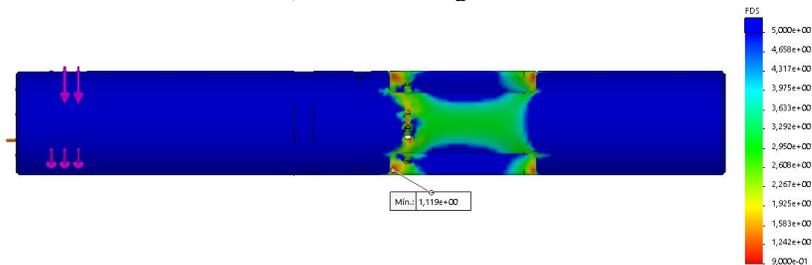


**Resultados**

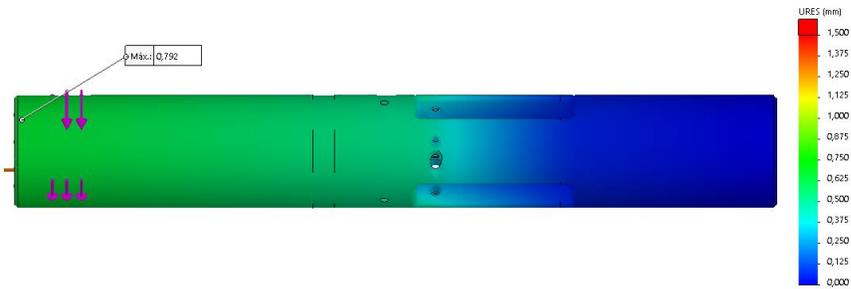
Los resultados fueron los siguientes, para el diseño en Solidworks se obtuvo un factor de seguridad de 1.12 para el caso 1 y de 1.18 para el caso 2, en cuanto a deformación se observaron desplazamientos de máximo 0.8 milímetros (ver figura 6).

**Figura 6.** Diagrama de desplazamientos caso 1.

a) Factor de seguridad.



b) Desplazamientos.



*Fuente:* MOT.

Para el prototipo los resultados de cargas aplicadas y posterior NDT los resultados fueron que no se observó crack en ninguna de las piezas o indicios de que las cargas superaban la capacidad de la herramienta.

**Figura 4.** Presentación y NDT de la herramienta.



*Fuente:* MOT.

Por último la prueba de funcionalidad fue exitosa, al tener la activación de las herramientas de manera secuencial según lo esperado y con los parámetros operativos óptimos para la ejecución del trabajo de apertura y ensanche de ventana.

## Discusión

El dimensionamiento de la herramienta cumple con las expectativas de límites operacionales, teniendo en cuenta la exigencia del API 7-1 en cuanto al material seleccionado para la fabricación. Con la fabricación del prototipo y pruebas realizadas se pudo revalidar el análisis de elementos finitos realizados y cumpliendo con los requisitos necesarios para la óptima funcionalidad de la herramienta.

Con la prueba en superficie se pudo determinar que la herramienta funciona de manera secuencial de acuerdo con lo diseñado, activándose únicamente después del lanzamiento de la esfera de 11/16" y posterior corte de los pines, aplicando presión al sistema, adicionalmente los puertos configurados en el diseño permiten la correcta circulación del fluido para el levantamiento de los cortes generados hasta superficie, sin interferir la longitud del ensamble y espaciamiento entre herramientas.

La prueba se realizó en posición horizontal, lo cual garantiza el correcto funcionamiento en pozos horizontales o altamente desviados.

## Conclusiones

La herramienta Fox T-Reamer puede ser utilizada en las aplicaciones que requieren corte y ensanche, como lo son operaciones de control de arena y abandono de pozos, tanto en pozos verticales como en pozos desviados u horizontales, permitiendo hacer estos dos trabajos en una sola corrida, mediante la activación secuencial de las herramientas, primero el Section Mill ubicado en la parte inferior del ensamble y después el underreamer diseñado para este fin.

Al poder realizar la activación secuencial de la herramienta, se refleja un ahorro en tiempos operativos de mínimo 12 horas,

correspondientes a la corrida de una herramienta, tiempo estimado corriendo una herramienta a una profundidad estimada de 3000 ft, el ahorro en tiempo es reducción en consumo de energía (Potencia del equipo), la reducción de energía representa una reducción en las emisiones de carbono.

### **Referencias**

- American Petroleum Institute. Specification for rotary drill stem elements ANSI/API SPEC 7-1 (1th ed. --). API. (2006). USA.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. J. ;. D. Mecanica de materiales (5a. ed. --.). México D.F: Mc Graw Hill. (2010).
- Maple Oil Tools. P-GP-002 Procedimiento de diseño y desarrollo (V1). (2021).

### **Reconocimientos y/o agradecimientos**

Se agradece a Maple Oil Tools por el soporte en el diseño de la herramienta y los recursos para el avance en el prototipo y pruebas del mismo.