

Título: ¿Que hay de nuevo en Tubería Flexible?

Autor: Miguel Di Vincenzo

Institución: ICoTA – Asociación Internacional de Coiled Tubing

Empresa: Pride – San Antonio

Sinopsis

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental analizar los principales avances tecnológicos, asociados a la actividad de Tubería Flexible (TF), a nivel mundial.

Para ello estudiaremos la evolución del equipamiento y las herramientas, desde los comienzos de las operaciones con TF hasta la fecha, poniendo especial atención en los desarrollos ocurridos en los últimos 10 años, donde esta tecnología ha alcanzado crecimientos en sus niveles de actividad superiores al 11 % por año.

Este trabajo también incluye el análisis de cuatro publicaciones técnicas realizadas recientemente, donde se presentan importantes resultados obtenidos en las siguientes operaciones con Tubería Flexible:

- Perforación de pozos de reentradas, a partir de pozos existentes (Alaska).
- Perforación de pozos de reentrada multilaterales, bajo balance (Arabia Saudita).
- Perforación y terminación de pozos Bajo Balance (Argelia).
- Perforaciones de pozos verticales, a más de 1500 mts. de profundidad (Canadá).

El análisis detallado de estas aplicaciones nos permitirá confirmar que las ventajas fundamentales que ha demostrado el uso de TF, en los últimos tiempos, son las siguientes:

- Seguridad en las operaciones, donde se reduce notablemente el manipuleo de herramientas y el número de personas en la boca de pozo.
- Operaciones con control de presión permanente en superficie, que permite circulación continua durante viajes, especialmente para trabajos en bajo balance.
- Mejoras de penetración y tiempos de viaje, comparado con tubería convencional.
- Ventajas en montaje y movilización de equipos, y reducción del tamaño de localizaciones, al disminuir los volúmenes y el número de las cargas requeridas.

Como conclusión de este trabajo, podemos decir que los éxitos alcanzados recientemente con esta tecnología, y la confiabilidad lograda en las herramientas y equipos de última generación, nos permite pensar que la TF será una “herramienta” que tendremos que vigilar muy atentamente en el futuro, para determinar en que momento alguna de estas ventajas operativas, ya demostradas, puedan tener aplicación en nuestros proyectos.

Introducción

El presente trabajo incluye un análisis de los avances más importantes de las tecnologías asociadas al uso de Tubería Flexible (TF) en las operaciones de Perforación y Terminación de pozos de petróleo y gas.

El trabajo se dividirá en dos secciones. En la primera analizaremos la **Evolución del Equipamiento y Herramientas que impulsaron el crecimiento sostenido de la actividad de TF**. Durante este análisis nos ocuparemos de los avances técnicos más relevantes, desde las primeras aplicaciones comerciales, en 1962, hasta la fecha.

Es muy importante marcar que el Número de Unidades de TF, a nivel mundial, ha crecido a una tasa anual promedio del 8 % entre el año 1990 y el 2003, alcanzando un promedio de crecimiento del 11 % anual en los últimos cuatro años.

En el mes de Junio del año 2007, el número total de unidades de TF operando a nivel mundial era “1535” (Fig. 1).

En la segunda sección, analizaremos varias publicaciones que se ocupan de los **Avances registrados recientemente en las Operaciones de Perforación Direccional, Bajo Balance, con TF**. Dichas publicaciones demuestran que esta tecnología puede ser una herramienta clave para, solucionar problemas operativos, y para optimizar muchos proyectos, asociados a la perforación y terminación de pozos.

Las publicaciones que analizaremos en esta sección son una recopilación de los trabajos más importantes presentados en las Conferencias Anuales de ICoTA (Asociación Internacional de Coiled Tubing e Intervención de Pozos).

1) Evolución de la Actividad de Tubería Flexible, a nivel mundial

Inicios de la actividad comercial de la Tubería Flexible (1962-1980)

Si bien las primeras Tuberías Flexibles se fabricaron durante la segunda guerra mundial (1944) para transportar combustibles desde Inglaterra a la Europa Continental (proyecto PLUTO), las primeras aplicaciones en la industria petrolera las encontramos en California en el año 1962 con la fabricación de la primera Unidad de Tubería Flexible.

Durante la década del 70 la tecnología contaba con tuberías de 1” de diámetro, de longitudes inferiores a los 1000 mts., e Inyectores de Tubería de 30.000 libras de capacidad.

Las Unidades de TF se utilizaban básicamente para Limpiezas de Arena y para Reparación de Pozos, asistiendo trabajos de pesca dentro de la tubería de producción.

Desarrollo del Equipamiento de Superficie para Operaciones con TF (1980-1990)

En la década de los 80's se produjo la llegada gradual de tuberías de mayor diámetro ($1\frac{1}{4}$ " , $1\frac{1}{2}$ " , $1\frac{3}{4}$ "), con capacidades almacenamiento superiores a 3.000 ft.

Este avance fue posible gracias a que en el año 1983, salieron al mercado Tuberías Flexibles fabricadas a partir de láminas de acero (desarrolladas en Japón), que no requerían soldaduras intermedias. Este desarrollo fue muy valioso para la industria, no solo por las profundidades y las resistencias alcanzadas, sino por la capacidad de estos materiales para soportar los esfuerzos de fatiga, que determinan la vida útil de la TF

En esta década también se produjeron avances importantes en el Desarrollo de Programas (Software) para la Simulación de Operaciones y para el Control de Vida Útil de la TF.

Los Programas para Simulación de Operaciones resultaron un gran aporte para minimizar problemas asociados a los esfuerzos que se generan en la TF durante las operaciones (arrastre, torque, etc.), convirtiéndose en una herramienta fundamental para prevenir inconvenientes (aprisionamientos, pescas, etc.) que se generaban en el pasado.

Por otro lado, los Programas para Controlar la Vida Útil de la TF, han logrado eliminar gran parte de las roturas imprevistas generadas por efecto de los Esfuerzos de Fatiga y por las falta de predicción de ciclos de vida remanente de la TF.

En este periodo además se desarrollaron varias Herramientas de Diámetro Reducido para operar dentro de las tuberías de producción ($3\frac{1}{2}$ " , $2\frac{7}{8}$ " y $2\frac{3}{8}$ "), tales como: Motores de Fondo, Herramientas para Pesca y Control de Arena, y Packers Inflables.

Apoyados en estos adelantos tecnológicos, podemos decir que las aplicaciones resaltantes de este periodo, fueron los siguientes:

- Estimulaciones acidas en pozos verticales y dirigidos
- Operación con motores de fondo (pescas y limpiezas de tubería)
- Cementaciones para aislar zonas y para abandono de pozos
- Intervenciones en pozos Horizontales: Operaciones de Registro asistidas con TF, Estimulaciones Selectivas y Operaciones con Packers Inflables
- Instalaciones para Control de Arena, dentro de la tubería de producción.

Inicio de las Operaciones de Perforación y Terminación de Pozos Verticales (1990-2000)

Durante este periodo se introdujeron al mercado las tuberías de 2", 2 3/8", 2 5/8", 2 7/8 y 3 1/2, que permitieron un fuerte desarrollo de las operaciones de Perforación, Terminación y Estimulación de Pozos.

Al mismo tiempo se aumento notablemente la capacidad de las Unidades de TF, que con sus nuevos Inyectores 80.000 libras de capacidad de tracción, permitieron aumentar notablemente el campo de acción de la TF (fig. 2).

Una de las aplicaciones que más creció en este periodo fueron las Estimulaciones (Fracturas) Selectivas Multi-Capas realizada en el Oeste de Canadá.

La clave fundamental para el éxito de estos proyectos fue el desarrollo de Unidades de TF con Mástil incorporado. Dichas unidades fueron un gran aporte para la Seguridad y Eficiencia de las operaciones, porque al tener el Inyector instalado en el mástil se evitaron más del 50 % de las tareas de manipuleo durante el montaje y desmontaje de la unidad.

Con la llegada de los mayores diámetros se desarrollaron los Sistemas de Monitoreo Continuo que permiten inspeccionar el espesor y la geometría de la tubería a medida que la misma pasa por el Inyector.

Este control ha sido muy importante para minimizar los problemas que se pueden generar imprevistamente en la tubería, por problemas tales como: defectos de fabricación, fallas de almacenamiento o errores en el control de la vida útil de al tubería.

En esta década también se desarrollaron las primeras Herramientas de Perforación Direccional para TF. Los elementos críticos de este desarrollo fueron las Herramientas de Medición de Direccional y las Herramientas de Orientación necesarias para dirigir los Conjuntos de Fondo durante la perforación.

En principio estas herramientas se operaron con Pulsos de Fluido, pero a medida que los Proyectos de Perforación Bajo Balance fueron requiriendo medición continua, operando con fluidos bifásicos, fue necesario desarrollar Tuberías Flexibles equipadas con conductores eléctricos e hidráulicos en su interior (fig.3).

Los nuevos trabajos realizados en este periodo pueden resumirse de la siguiente manera:

- Perforación y Terminación de Pozos Verticales Someros.
- Estimulaciones Múltiples en Pozos Someros, a través de TF.
- Profundizaciones de Pozos Existentes, verticales y horizontales.

Desarrollo de Unidades Híbridas y Perforación de Pozos de Reentrada Multilaterales Bajo Balance (2000 – 2007)

A partir del año 2000 se completaron los desarrollos de las Herramientas de Perforación Direccional para TF que permitieron el desarrollo de las grandes campañas de Perforación de Pozos de Reentrada, Bajo Balance.

Las primeras experiencias con esta tecnología se realizaron durante la perforación de los pozos de reentrada de Alaska. Varias de las herramientas desarrolladas para este proyecto, adaptadas luego para su uso en condiciones de Bajo Balance, permitieron llevar adelante proyectos en otros lugares de mundo (Arabia Saudita, Omán, Argelia).

En este periodo también se produjeron grandes avances en la construcción de Equipos Híbridos que pueden operar simultáneamente con TF y con Tubería Convencional. Los primeros equipos de este tipo se fabricaron para las operaciones de Perforación de Pozos Verticales en Canadá, pero rápidamente su uso se extendió hacia Estados Unidos donde se fabricaron equipos de mayor capacidad que pueden perforar pozos de hasta 2000 mts. de profundidad.

Apoyado en las mejoras que acabamos de detallar, podríamos decir que las aplicaciones más importantes de este periodo, son:

- Perforación de Pozos de Reentrada, a través de la tuberías de producción.
- Perforación y Terminación de Pozos de Reentrada Multilaterales, Bajo Balance.
- Punzado y Estimulación con TF, en Zonas Múltiples.
- Perforaciones Verticales y Dirigidas, a más de 1550 mts. de profundidad.

2) Avances recientes en la utilización de Tubería Flexible

A continuación se presentan cuatro casos reales asociados a la utilización de TF, que nos ayudaran a entender la evolución de varios elementos que de alguna manera fueron marcando el constante crecimiento de esta tecnología, en los últimos años. Las experiencias que analizaremos, son las siguientes:

- Pozos de Reentradas a través de instalaciones de producción existentes (Alaska).
- Perforación de Reentradas Múltiples, Bajo Balance (Arabia Saudita)
- Perforación de Pozos de Reentrada – Bajo Balance (Argelia)
- Perforación de pozos vertical con Unidades Híbridas (Canadá, USA)

Pozos de Reentradas a partir de Pozos Existentes

SPE/IADC Paper # 92392 - Drilling Conference - Ámsterdam - 2005.

Una de las aplicaciones mas exitosas en la Perforación con TF, es la campaña de pozos de reentradas realizada en el campo Prudhoe Bay, en Alaska, iniciada el año 1993.

Las razón mas importantes que impulso el desarrollo de este proyecto fue la posibilidad intervenir los pozos con TF, sin necesidad de retirar la instalación de producción.

Debido a los altos costos de operación y logística de Alaska, esta posibilidad de trabajar sin utilizar un equipo de reparación convencional, significo un ahorro muy significativo que permitió la fabricación de dos Unidades Multipropósito, diseñados especialmente para estas operaciones. Dichas Unidades operan en forma continua, y son capaces de perforar y completar tres pozos por mes (ver figura 4)

Una típica operación de reentrada consiste en fijar una cuña desviadora en la tubería de producción de 4 ½" a una profundidad aproximada de 3.800 mts. Luego se procede a cortar una ventana 3,8" a través de la cual se realiza la perforación de un pozo lateral (horizontal) de 3 ¾" de diámetro, con una extensión horizontal de 365 mts.

Concluida la perforación, se baja un Colgador Hidráulico con una tubería de revestimiento de 3 ½".

Es importante resaltar que este proyecto, que hasta la fecha lleva perforados más de 500 pozos, ha permitido grandes avances en las herramientas de perforación direccional para diámetro reducido. En el comienzo de esta campaña, el control direccional se realizaba con herramientas operadas por Pulsos de Fluido (tipo MWD), pero a partir del año 2002 se incorporaron los conjuntos de fondo para control direccional que operan con un cable conductor instalado en el interior de la TF. Esta tecnología, que permite una medición continua en tiempo real, ha sido clave para el desarrollo de las operaciones de Perforación Direccional Bajo Balance..

A modo de resumen podemos decir que este proyecto ha demostrado que el uso de TF puede ofrecer muchas ventajas para operar en áreas sensibles, donde los costos de localizaciones, transporte de equipos y tiempos de operación, son altamente significativos.

Perforación Direccional - Bajo-Balance, en Sajaa Field (Arabia Saudita).

SPE/ICoTA Paper # 89644 - ICoTA Coiled Tubing Conference - Houston - 2004.

Los problemas operativos durante la perforación convencional (perdidas masivas de fluido, aprisionamientos, etc.), la fuerte declinación en la presión de fondo, y la necesidad de conectar zonas de gas que no entraban en producción con los pozos verticales, hizo pensar que la perforación de Pozos Multilaterales en la modalidad de Bajo Balance podría ser la solución mas apropiada para este yacimiento.

Los pozos de reentrada se programaron fijando un cuña desviadora en la tubería de producción de 5", a aproximadamente 3900 mts. de profundidad. A continuación se

perforo una ventana de 3,8", a través de la cual se perforaron los pozos laterales de 3 3/4". Para ello se utilizo un conjunto de fondo de 3", con una TF de 2 3/8". La mayor parte de las terminaciones fueron realizadas a pozo abierto.

Los pozos multilaterales de la primera etapa incluían tres pozos dirigidos perforados desde una sola ventana, pero a medida que se fue ganando experiencia se llegaron a perforar hasta ocho pozos laterales (dirigidos) a partir de una sola ventana. Debido a la dificultad que significa operar en "bajo balance" con fluidos de dos fases (90 % N2 / 10 % Agua) con herramientas de pulso convencional (MWD), fue necesario utilizar un conjunto de fondo para perforación direccional, con transmisión en tiempo real, que utiliza un cable conductor dentro de la TF.

El proyecto significo un gran éxito técnico y económico, ya que varios de los pozos perforados en la última etapa (con 8 pozos dirigidos) tuvieron producciones que cuadruplicaron las producciones de los pozos verticales originales.

Además de las mejoras de producción, quedaron demostradas las ventajas que presenta la perforación bajo balance, con TF, para mejorar las penetraciones y para minimizar los problemas de perdidas de fluidos, que se venían registrando en los últimos tiempos con la perforación convencional.

Otro tema favorable para la eficiencia del proyecto, fue el ahorro tiempos de movilización y transporte que llegaron a 2, 5 días al finalizar la campaña. Esto es especialmente importante si lo comparamos con los 9 días que tomaba este proceso con los equipos de perforación convencional.

Por ultimo debemos mencionar que el logro mas importante de este proyecto fue que en los 200 días que duro esta fase, y con mas de 203.000 horas hombre, no hubo un solo día perdido por accidentes.

Esta es sin duda una de las mayores ventajas de las Operaciones con TF, que al operar con Control Remoto, reduce considerablemente el manipuleo de herramientas y el número de personas en la boca de pozo.

Perforación de Pozos de Reentrada Bajo Balance, en Hassi Messaoud (Argelia) SPE/ICoTA Paper # 106907 - ICoTA Coiled Tubing Conference - Houston – 2007

El objetivo de este proyecto fue perforar pozos laterales de reentrada bajo balance a partir de pozos existentes.

Para ello se realizo una campaña donde se perforaron cuatro pozos de Radio Corto (41° c/ 30 mts), con una extensión lateral de 330 mts.

La operación de Reentrada se inicio colocando una cuña desviadora en el cañería de revestimiento de 5", a una profundidad de 3450 metros. A continuación se perforo una ventana de 3 3/4", a través de la cual se realizo la perforación direccional la extensión lateral.

Para este proyecto se utilizó una unidad de TF de 2 3/8", equipada con una tubería capilar hidráulica, para orientar el conjunto de fondo, y un cable conductor para el control direccional del Conjunto de Fondo.

Durante el desarrollo del proyecto se pudieron comprobar las siguientes ventajas operativas: 1) es posible perforar pozos de radio corto de 41° c/ 30 mts., con TF, 2) la penetración aumento en forma considerable comparada con la perforación convencional y se eliminaron los problemas de pérdidas de fluido y pegas por presión diferencial, y 3) la producción de los pozos, que se mantuvo durante toda la operación de perforación, fue comparable a los mejores pozos del yacimiento.

Aun cuando quedan temas por mejorar, tales como las vibraciones en el conjunto de fondo, este proyecto demostró que el balance entre costos de perforación e incremento de producción fue altamente favorable.

También quedo demostrado que las herramientas para perforación direccional, bajo balance, han alcanzado muy alta confiabilidad luego de un largo proceso de desarrollo.

Del mismo modo que habíamos visto en el análisis de Sajaa Field (en Arabia Saudita), este proyecto confirmo que la perforación de Pozos de Reentrada - Bajo Balance, con TF, puede ser una solución muy exitosa para campos maduros, que reúnan las condiciones de reservorios adecuadas.

Perforación de Pozos Verticales con Tubería Flexible

CADE – Canadian Association of Drilling Engineers – eNews – March 2007

La utilización de TF ha tenido un gran desarrollo en la perforación de los pozos verticales, en el Oeste de Canadá, a partir del año 2000. Como ejemplo podemos mencionar que solo en el año 2005 se perforaron con TF , en Canadá, más de 2700 pozos verticales a una profundidad promedio de 800 mts.

Una de las principales desventajas de la perforación vertical fue la limitación de profundidad que se podía alcanzar con las unidades de TF convencionales. Los recientes avances asociados a la fabricación de la Unidades Híbridas, de última generación, han permitido alcanzar profundidades de 1500 mts., durante una campaña de cuatro pozos de gas, verticales, perforados en el año 2006.

Las ventajas principales que han mostrado estas Unidades Híbridas es la habilidad de operar con TF y con Tubería Convencional, con tiempos muy cortos de adaptación entre un sistema y otro. Esto se logra porque la unidad cuenta con un Inyector de TF y con un sistema de "Top Drive" en el mismo mástil de maniobras, lo que permite bajar las tuberías de revestimiento y las instalaciones finales, una vez que se completa la etapa de perforación con TF. Es importante destacar los ahorros de tiempos de movilización y montajes alcanzados con estos Unidades Híbridas al compararlos con las Unidades de TF convencionales (fig.5 y 6).

Uno de las limitaciones más importantes para la Perforación de Pozos, a 1500 mts., fue el control de verticalidad. Para solucionar este problema se desarrollaron Sistemas de Navegación Rotativos (RSS) que pueden utilizarse tanto en perforación vertical como dirigida. Estos sistemas operados por pulsos de fluido han demostrado muy buenos resultados al utilizarlos en combinación con las herramientas de medición tipo MWD.

A modo de conclusión podemos decir que la profundidad máxima que se puede alcanzar perforando pozos verticales con TF esta avanzando muy rápidamente, y es posible pensar que con la llegada de las nuevas Unidades Híbridas que puedan operar con TF de 3 ½", se va a poder superar la barrera de los 2000 mts., a corto plazo.

Conclusiones

Luego de analizar la evolución de la actividad de TF, en los últimos 10 años, y teniendo en cuenta los éxitos alcanzados en las operaciones descriptas en este trabajo, podríamos decir que las ventajas más importantes que ha demostrado esta tecnología, son las siguientes:

- Seguridad en las Operaciones: se reduce notablemente el manipuleo de herramientas y el número de personas en la boca de pozo. Las operaciones se comandan a control remoto (fig. 7).
- Operaciones con control de presión permanente en superficie: el uso de una Tubería Continua permite la circulación continua de fluidos, aun con la tubería en movimiento. Esta es una ventaja muy importante, especialmente para trabajos Bajo Balance.
- Mejoras de penetración y tiempos de viaje: la TF se puede mover en promedio cuatro veces más rápido que una tubería convencional (15 m/min.).
- Ventajas en montaje y movilización: se reduce notablemente el peso y el número de cargas requeridos, comparado con un equipo convencional.
- Reducción de áreas para localización: equipos mas compactos
- Herramientas para Perforación Direccional, independiente de los fluidos de perforación: la utilización de TF con cable conductor interior, permite la medición de dirección y la orientación del conjunto de fondo en Operaciones Bajo Balance que requieran información en tiempo real.

Tomando en cuenta estas ventajas, y considerando las aplicaciones que siguen generándose en todo el mundo, es posible concluir que la actividad de Tubería Flexible va a seguir creciendo a un ritmo muy sostenido en los próximos años, y seguramente va a ser una "herramienta" que tendremos que vigilar muy atentamente en el futuro, para determinar en que momento alguna de estas ventajas operativas, ya demostradas, pueden tener aplicación en nuestros proyectos.

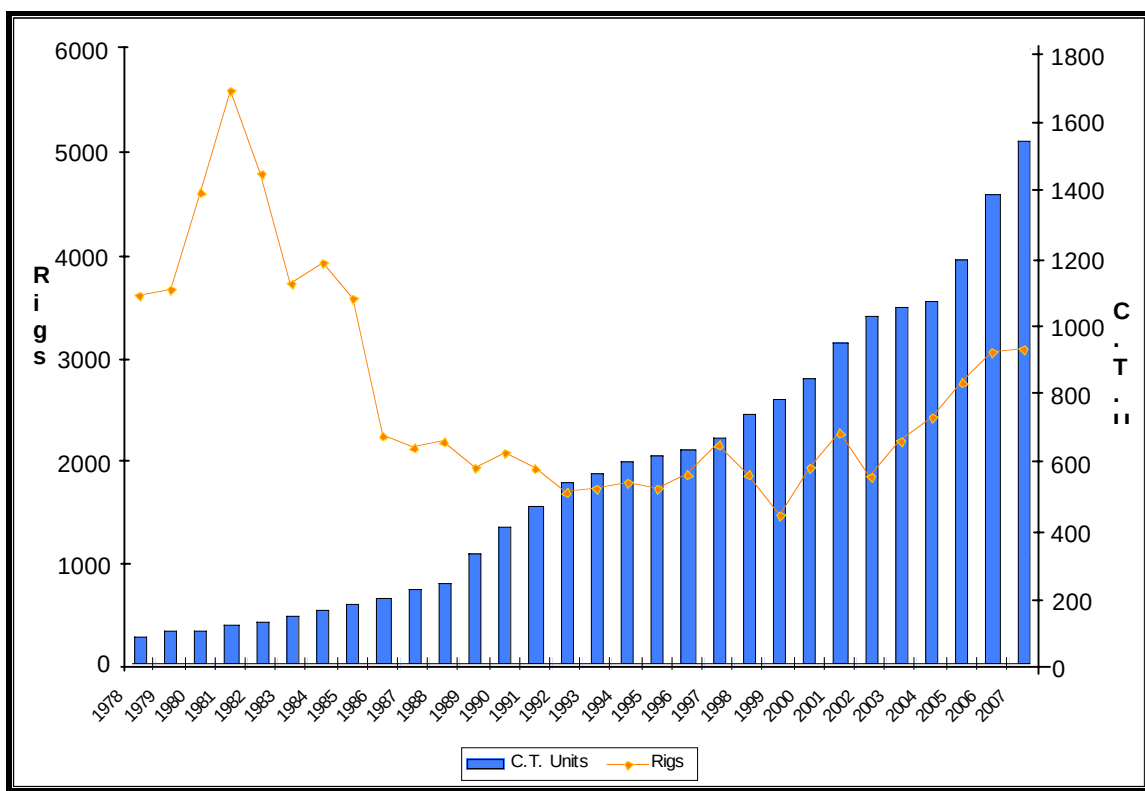


Figura 1 - Evolución de Unidades de Tubería Flexible a nivel mundial, comparada con el numero de Equipo de Perforación (Fuente: ICoTA / Baker Hughes Rig Count)



Fig. 2 - Unidad de Tubería Flexible convencional, con Inyector de 80.000 Lbs

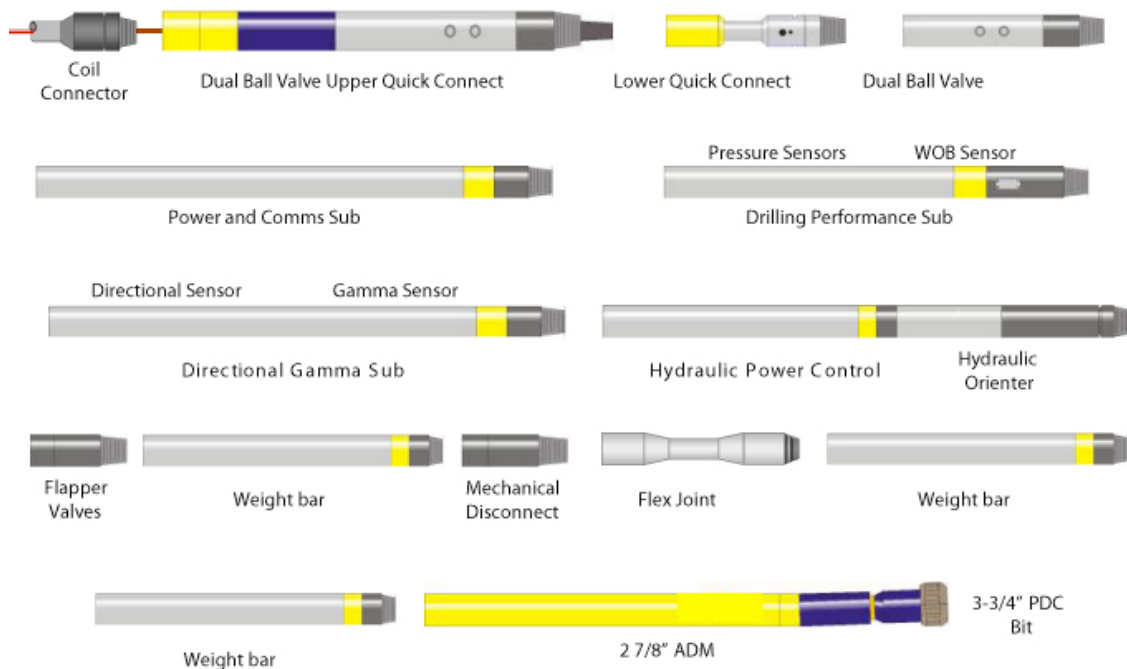


Fig. 3 - Conjunto de Herramientas de Fondo para Perforación Direccional con TF, con cable conductor para transmisión continua.



Fig. 4 - Equipos Multipropósito con Tubería Flexible - Alaska

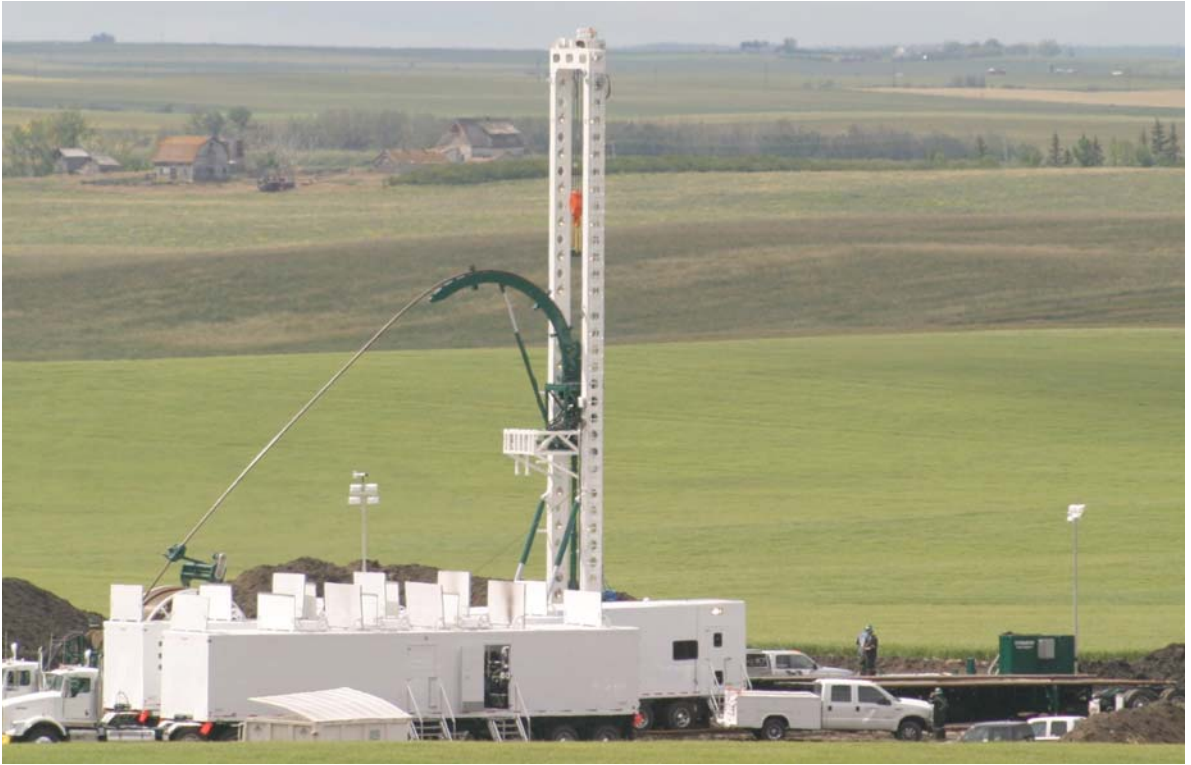


Fig. 5 - Unidad Híbrida de Perforación que opera con Inyector de Tubería Flexible y "Top Drive".

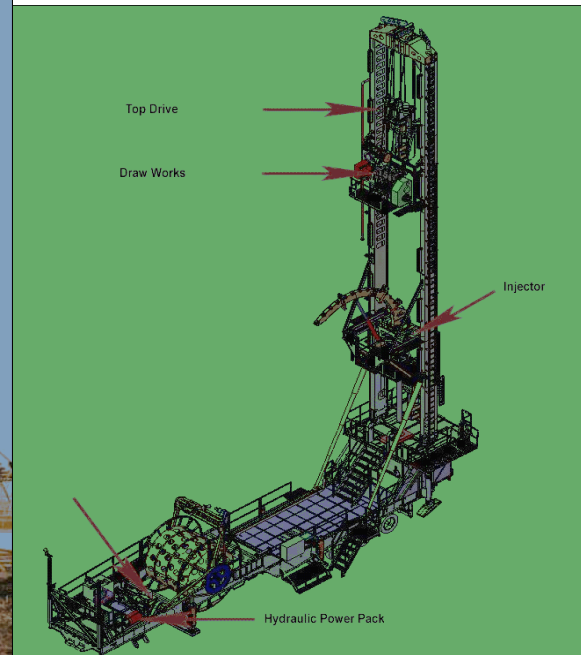


Fig. 6 - Unidad Híbrida de Perforación que opera con Inyector de Tubería Flexible y "Top Drive".



Fig. 7 - Cabina de Control de Unidad de Tubería Flexible

Autor : Ing. Miguel Di Vincenzo

Curriculum:

El Ingeniero Miguel Di Vincenzo es actualmente, Director de Operaciones de Pride–San Antonio para USA y el Norte de Latino América, y Presidente de División Latinoamericana de la Asociación Internacional de Coiled Tubing (ICoTA),.

Di Vincenzo, cuenta con más de 20 años de experiencia en la industria, y ha participado activamente en el desarrollo de las tecnologías de Coiled Tubing en, Argentina, Bolivia, Perú, Venezuela y México.

Es Ingeniero Mecánico de la Universidad de Mar del Plata y tiene estudios de postgrado en, Petróleo y Gas en la Universidad de Zulia (en Venezuela), y Finanzas en la Universidad de Stanford (en California).

Dentro su participación en Organizaciones Técnicas Internacionales podemos destacar los cargos que ocupó como Director de ICoTA Internacional desde el año 2000, y como Presidente del IAPG-Houston en el año 2004.