

ACIPET

## Título: Bomba Jet Smart MPLT

Autor(es): Wilson Alcaciega, Ricardo Nuñez, Luis Felipe Cepeda, Carlos Sebastián Soler, Faunier Zapata. *Sertecpet De Colombia S.A.*

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).

### Abstract

The Jet Smart MPLT Pump is a developed technology that allows production logs to be run while the artificial lift system assisted by Jet-type hydraulic pumping is operating. This document presents the results obtained in the pilot project, a well with complete selective "Well A", belonging to the basin of the eastern plains, where the origin of the sudden water cut was identified, evaluating the efficiency of the production completion, excluding holes in the pipe, damage to the selective liners, damage to the packer.

### Resumen

La Bomba Jet Smart MPLT, es una tecnología desarrollada que permite correr registros de producción, mientras está funcionando el sistema de levantamiento artificial asistido por bombeo hidráulico tipo Jet, en este documento se presentan los resultado obtenidos en el proyecto piloto, realizado en un pozo con completamiento selectivo "Pozo A", perteneciente a la Cuenca De Los Llanos Orientales, donde se identificó la procedencia del repentino corte de agua, evaluando la eficiencia del completamiento de producción, permitiendo descartar huecos en la tubería, daños en las camisas selectivas y daños en el empaque.

### Introducción

Para las empresas operadoras o extractoras de petróleo y gas, entender la procedencia de los fluidos producidos desde la cara de las formaciones, y los cambios que experimentan en sus propiedades dichos fluidos a lo largo del pozo, hasta llegar a las facilidades de superficie, representa un gran valor para los intereses financieros de estas compañías.

Los registros de producción PLT por sus siglas en inglés "production logging test", son una herramienta confiable, que permiten evaluar el comportamiento real de los fluidos al largo del pozo, al permitir desplazar sensores memorizados o en tiempo real, cuando el pozo se encuentra en condiciones dinámicas. Se hace referencia a registros PLT cuando los pozos evaluados, son productores y registros ILT cuando los pozos a evaluar son inyectoras, por sus siglas en inglés "injection logging test".

Una sarta de registro de producción, permite realizar la medición de una o más variables en función de la profundidad y su diseño puede variar de acuerdo a los parámetros que se deseen identificar; sin embargo, para su aplicación, se requiere de un cable semiconductor "Wire line" cuando es el caso de los registros en tiempo real; también se puede realizar registros memorizados MPLT por sus siglas en inglés, "memorized production logging test" por medio de un cable liso de "Slick line". Basados en lo anterior, los registros de producción a pesar de ser una potente herramienta, no pueden ser corridos en todos los pozos, debido a que no todos los completamientos de producción permiten el desplazamiento del cable mientras se encuentra en condiciones dinámicas.

En este documento se detalla los resultados obtenidos en la aplicación en un pozo piloto "Pozo A" perteneciente a la Cuenca De Llanos Orientales, de un registro memorizado MPLT adaptado al método de levantamiento artificial asistido por la Bomba Jet Smart MPLT, como una oportunidad de dar solución a la caracterización de pozos en condiciones dinámicas.

## Metodología

La metodología que se utilizó en esta publicación, está basada en guiar al lector a través del estado del arte de los elementos necesarios que conllevan a entender la implementación de la tecnología Smart Jet MPLT y finalmente evidenciar los resultados obtenidos en un pozo piloto de la Cuenca De Los Llanos Orientales. La metodología explicada se realizó en las siguientes fases:

1. **Evaluación de registros de producción en métodos de levantamiento artificial.** En esta fase se verificó cada uno de los métodos de levantamiento artificial convencionales existentes y determinó la posibilidad de la aplicación de registros de producción, mientras el pozo se encuentra en condiciones dinámicas.
2. **Identificación y características de resultados en un registro PLT.** En la segunda fase se evalúan los resultados que se pueden obtener mediante la aplicación de un registro de producción, específicamente PLT.
3. **Sistema Bomba Jet Smart MPLT.** Se hace referencia al funcionamiento del sistema de levantamiento artificial y del avance tecnológico respecto a su antecesor.
4. **Aplicación en el Pozo A, de la Cuenca De Los Llanos Orientales.** Se explica los antecedentes del pozo piloto previo a la discusión y resultados.

## Aplicaciones de registros PLT en métodos de levantamiento artificial

Para la aplicación de registros PLT se requiere que el pozo sea productor y pueda evaluarse mientras este se encuentre en condiciones dinámicas y producción estable. Por lo tanto, una limitante para la aplicación de registros de producción es en aquellos pozos, cuyas formaciones abiertas a producción no tienen la energía suficiente para desplazar los fluidos de manera natural hacia superficie y tengan un sistema de levantamiento artificial que impida el desplazamiento de cables de slick line o wire line. En la industria extractiva de hidrocarburos, se conocen cinco (5) métodos de levantamiento artificial convencionales los cuales se describen a continuación, teniendo en cuenta las características que permiten la implementación de registros de producción.

- **Bombeo Mecánico.** Consiste en una sarta de varillas con una válvula viajera instalada en la punta, que realiza un movimiento recíprocante, transmitido por un motor. Este método de levantamiento artificial, no permite bajar herramientas de slick line o wire line, cuando el pozo se encuentra en producción o incluso cuando el pozo se encuentra en condiciones estáticas debido a la restricción generada por la sarta de varillas.
- **Bombeo por cavidades progresivas.** El bombeo por cavidades progresivas, consiste es una bomba de desplazamiento positivo compuesta por una sarta de varillas conectadas a un rotor en forma de tornillo, al cual se transmite movimiento por medio de un motor en superficie. Este método de levantamiento artificial no permite el paso de un cable de slick line o wire line, por lo tanto, no se puede correr registros de producción en este método de levantamiento artificial.
- **Bombeo electro sumergible.** El bombeo electro sumergible es un método de levantamiento artificial el cual consta de una bomba centrífuga, instalada en fondo de pozo, su diseño puede variar en etapas de acuerdo a la presión requerida para desplazar los fluidos y el movimiento es transmitido por medio de un cable eléctrico grapado a la tubería; sin embargo, cuando existe un completamiento especial y es instalada un Y-tool es posible realizar registros de producción a través del bypass.
- **Bombeo hidráulico.** El bombeo hidráulico consiste en una bomba con piezas inmóviles, instalada en una camisa de circulación o cavidad en fondo de pozo, su principio de funcionamiento está basado en el efecto Venturi, por medio de la inyección a altas presiones y altos caudales de fluido motriz, generalmente agua o crudo. Este método de levantamiento artificial al tener una bomba obstruyendo la tubería imposibilita bajar herramientas de slick line o wire line para la toma de registros de producción.
- **Levantamiento por gas lift.** Este sistema de levantamiento artificial, consiste en inyectar por medio de arreglos de válvulas, gas, con el fin de alivianar la densidad de los fluidos contenidos en la columna hidrostática del pozo. Este método de levantamiento artificial, permite que sean corridos registros; sin embargo, no es muy utilizado debido a que se evaluaría la eficiencia de las válvulas.

En la tabla “ver tabla 1” se resumen los métodos de levantamiento artificial que permiten realizar la corrida de registros de pozo. Antes de la implementación de la tecnología Smart MPLT.

| Metodo de levantamiento artificial | Obstrucción                 | Aplicaciones de registro        |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Bombeo mecánico                    | Sarta de varillas           | No aplica                       |
| Bombeo electro sumergible          | Bomba centrífuga            | No aplica / opcional con Y-tool |
| Bombeo por cavidades progresivas   | Rotor con sarta de varillas | No aplica                       |
| Levantamiento por gas lift         | Tubería libre               | Aplica, ILT                     |
| Bombeo hidráulico                  | Bomba de fondo              | No aplica                       |

Tabla 1. Aplicaciones de registros de producción en métodos de levantamiento artificial.

## Aplicaciones de registros PLT

En la industria de hidrocarburos existen varios tipos de registros, los cuales se puede jerarquizar en dos categorías, los registros huecos abierto y los registros en hueco revestido por sus siglas en ingles “Open Hole and Case Hole” respectivamente.

Un PLT se categoriza como un registro a hueco revestido y este es realizado mediante el desplazamiento de una sarta de sensores, configurada de acuerdo a las necesidades y los parámetros que se requiera caracterizar. Por medio de los parámetros o variables medidas se puede obtener determinar mediante el análisis e interpretación cualitativa y cuantitativa los siguientes:

- 1) **Evaluar.** La distribución de los perfiles de producción y la productividad en las zonas de interés.
- 2) **Monitorear.** Cambios en los perfiles de producción y los tipos de fluidos.
- 3) **Rediseñar.** Simulaciones, modelos de presiones, correlaciones PVT.
- 4) **Diagnosticar.** Fuentes de altos cortes de agua y gas.
- 5) **Planificar.** Estimulaciones, aislamientos, trabajos de Workover.

## Bombeo hidráulico tipo Jet

El Bombeo hidráulico tipo Jet, es un método de levantamiento artificial que consiste en inyectar fluido motriz por medio de una bomba recíprocante, generando una caída de presión a la formación, llamada “Draw Down” esta caída de presión es provocada mediante el efecto Venturi, cuando el fluido motriz es llevado hacia el arreglo boquilla, garganta. Los componentes del método de levantamiento artificial asistido por bombeo hidráulico se describen a continuación junto con el funcionamiento de cada uno de sus componentes como se ilustra en la figura 1 y figura 2.

- **Bomba de superficie:** Es una bomba recíprocante, de desplazamiento positivo la cual se caracteriza inyectar a altos caudales y altas presiones, Las presiones pueden varias entre los 800psi y los 3900psi de acuerdo a la configuración de la bomba jet o bomba de subsuelo, igualmente ocurre con el caudal que puede varias entre los 900 Bfpd y los 4000 Bfpd.
- **Fluido motriz:** El fluido motriz es el encargado de alimentar energizar el mecanismo de bombeo hidráulico e impulsar los fluidos de formación. El fluido motriz puede ser agua o crudo dependiendo del corte de agua. Una característica del fluido motriz, es que no entra en contacto con la formación.
- **Tanque de almacenamiento:** El tanque de almacenamiento es un recipiente en el cual se conecta la succión de la bomba de superficie, donde alimenta el sistema de fluido motriz, en el caso de trabajar en sistema cerrado, este mismo tanque puede ser el encargado de recibir la mezcla de fluido de producción con fluido de inyección.
- **Camisa de circulación:** La camisa de circulación cumple la función de comunicar o aislar el espacio anular respecto a la tubería de producción o comunicarlos al ser operada mediante herramientas de slick line. También cumple la función de alojar la Bomba Jet.
- **Empaque:** El empaque es el encargado de brindar un sello entre la tubería y el revestimiento, gracias a este mecanismo se puede separar las presiones de fondo fluyente respecto a las presiones hidrostáticas que actúan en el sistema.
- **Niple de asentamiento:** Es un dispositivo que permite colgar de herramientas de control de pozo.
- **Standing valve:** Es una herramienta de activación hidráulica, la cual cumple la función de aislar la presión de la columna hidrostática y la presión de fondo fluyente.
- **Bomba Jet:** Es una Bomba sin piezas móviles, que se instala en la camisa de circulación; A través de esta, se inyecta fluido motriz a altas presiones y altos caudales, originando mediante el efecto Venturi, la caída de presión en la formación, “Draw Down”, este efecto genera, que los fluidos contenidos en las formaciones productoras sean transportados junto con el fluido motriz. Los diseños de la Bomba Jet se realizan de acuerdo a parámetros de fluidos a producir, tasa de producción esperada, al diámetro y la longitud de la camisa de circulación, el índice de productividad del pozo.
- **Boquilla:** Componente interno de la bomba Jet, mediante él se produce la transformación de energía potencial a energía cinética.
- **Garganta:** En esta pieza, ocurre un aumento de presión y la mezcla de fluido motriz con el fluido de formación.

## Bomba Jet Smart MPLT.

La Bomba Smart MPLT, es un diseño especial de bomba jet, que se desarrolló con el propósito de permitir desplazar un cable de slick line y de esta manera realizar registros de pozo en condiciones dinámicas, con producción estable. Esto se logró gracias a un diseño especial que permitió instalar hacia un costado la geometría de la bomba o arreglo boquilla garganta, en la figura 3. Se evidencia el diseño de una bomba, donde se puede apreciar el desplazamiento del Venturi de la bomba. Los diseños realizados para esta bomba, pueden ser implementados en completamientos de 3 ½” y 4 ½” manteniendo el mismo arreglo boquilla Garganta. El principio de funcionamiento de esta bomba esta basado en brindar un sello interno con el cable de slick line, el cual puede variar entre 0.125” y

0.187" de acuerdo al diámetro del cable, permitiendo desplazar a diferentes velocidades la sarta de registro y realizar la medición de variables en función de la profundidad. El desarrollo tecnológico de la Bomba Jet Smart, se encuentra en la primera versión y los registros obtenidos son memorizados, a esto se atribuye el nombre de Bomba Jet Smart MPLT

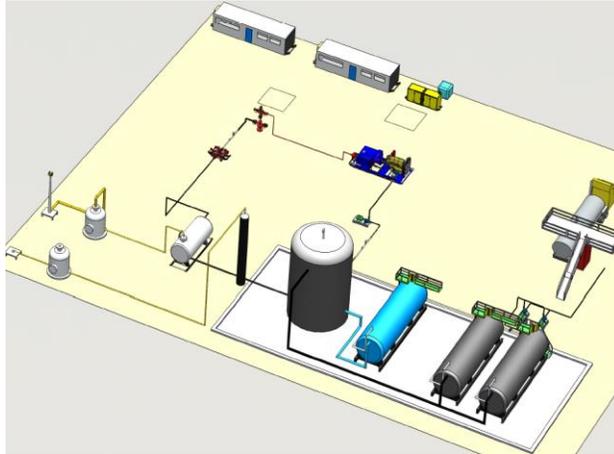


Figura 1. Sistema de levantamiento artificial por bombeo hidráulico.

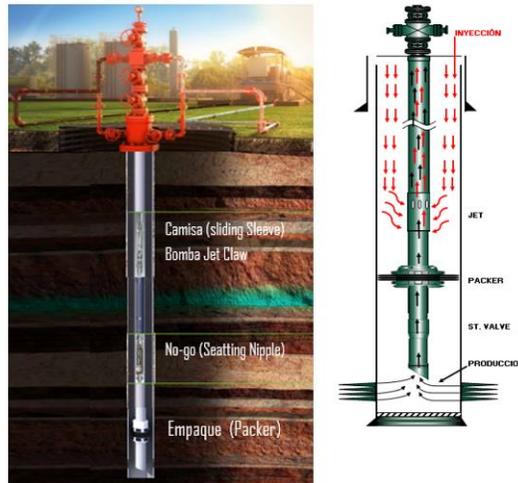


Figura 2. Sistema de levantamiento artificial por bombeo hidráulico.

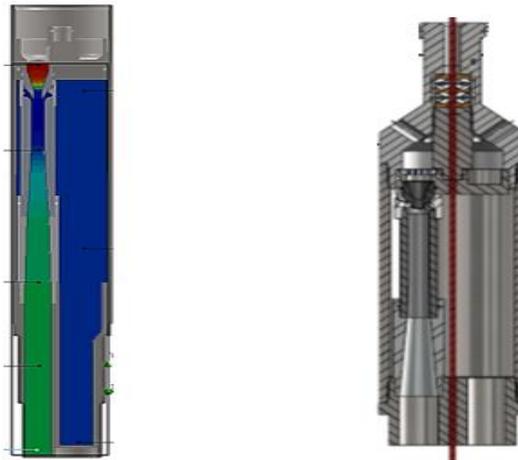


Figura 3. Diseño Bomba Jet MPLT

## Aplicación de la tecnología de Bomba Jet Smart MPLT.

El pozo piloto en el cual se realizó la corrida de la tecnología, Bomba Jet Smart MPLT, es un pozo perteneciente a la Cuenca De Los Llanos Orientales, este pozo “Pozo A” el cual presentó una producción estable de fluido diario de 750BFPD, con un corte de agua del 50% hasta el mes de noviembre del 2021, posterior a esto se incremento exponencialmente el corte de agua hasta el 100% y aumento el fluido total producido a 1200BFPD. Los datos generales del pozo, se resumen la tabla 2.

| Parametros de producción | Promedio noviembre 2019 | Promedio enero 2022 |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| Caudal de producción     | 750                     | 1200                |
| API                      | 25                      | 10                  |
| Corte de agua            | 50                      | 100                 |
| Cloruros ppm             | 6300                    | 15000               |
| Presión en cabeza        | 50                      | 100                 |

Tabla 2. Aplicaciones de registros de producción en métodos de levantamiento artificial.

Como se evidencia en la figura 5. En el track Well sketch, el pozo presenta un completamiento de tipo selectivo con dos zonas de interés, A y B, de las cuales la única zona abierta a producción es la zona A. En el mes de enero del 2022 se decide implementar el primer piloto para la Cuenca De Los Llanos Orientales de la tecnología Smart MPLT, mediante la configuración de una sarta de registro como se evidencia en la figura 4.

| ESQUEMA  | DESCRIPCIÓN          | Serial No. | Díámetro O.D. (in) | Longitud (ft) | Profundidad (ft) |
|--|----------------------|------------|--------------------|---------------|------------------|
|  | Rope Socket          | n/a        | 1.750              | 2.00          | 0                |
|  | Weight Bar           | n/a        | 1.750              | 5.00          | 2.00             |
|  | Weight Bar           | n/a        | 1.750              | 5.00          | 7.00             |
|  | Knuckle Joint        | n/a        | 1.750              | 0.50          | 12.0             |
|  | Swivel Joint         | n/a        | 1.750              | 0.50          | 12.5             |
|  | In Line Flowmeter    | n/a        | 1.687              | 1.50          | 13.0             |
|  | Gamma Ray CCL        | n/a        | 1.687              | 2.00          | 14.5             |
|  | Pressure-Temperature | n/a        | 1.687              | 2.00          | 16.5             |
|  | Centralizer          | n/a        | 6.50               | 1.50          | 18.5             |
|  | In Line Flowmeter    | n/a        | 1.687              | 1.50          | 20.0             |
|  | Spectral sonometer   | n/a        | 1.687              | 1.87          | 21.5             |
| Total, medida sarta con sensores   |                      | n/a        | 6.5"               | 23.37         | n/a              |

Figura 4. Configuración de sarta de registro.

En la figura 5. Se evidencia, que las curvas obtenidas de flujo muestran la procedencia del fluido producido asociado a la zona A y es validado por el comportamiento de las curvas de conductividad, donde se evidencia el cambio característico para una zona productora de agua; sin embargo el comportamiento obtenido por las curvas de temperatura sugieren que mientras el pozo se encuentran en condiciones dinámicas, presenta un calentamiento anómalo en los perforados que se identifican de color verde en la zona aislada, al realizar un análisis exhaustivo se pudo determinar que el fluido producido proviene de la zona B y esta siendo arrastrado por efectos de la caída de presión ejercida por la bomba generado hacia la zona A.

## Resultados

Mediante la implementación del piloto se obtuvo los siguientes resultados.

- El agua producida proviene de la formación B.
- El agua contenida en la formación B, está siendo transportada hacia la zona superior o Zona A, cuando el pozo está en condiciones fluyentes, ocurre detrás del revestimiento.
- Se asocia el comportamiento a una mala cementación o pérdida de la calidad del cemento.

- La Bomba Jet Smart es capaz de replicar las condiciones fluyentes de la bomba estándar, permitiendo evaluar las condiciones reales del pozo.

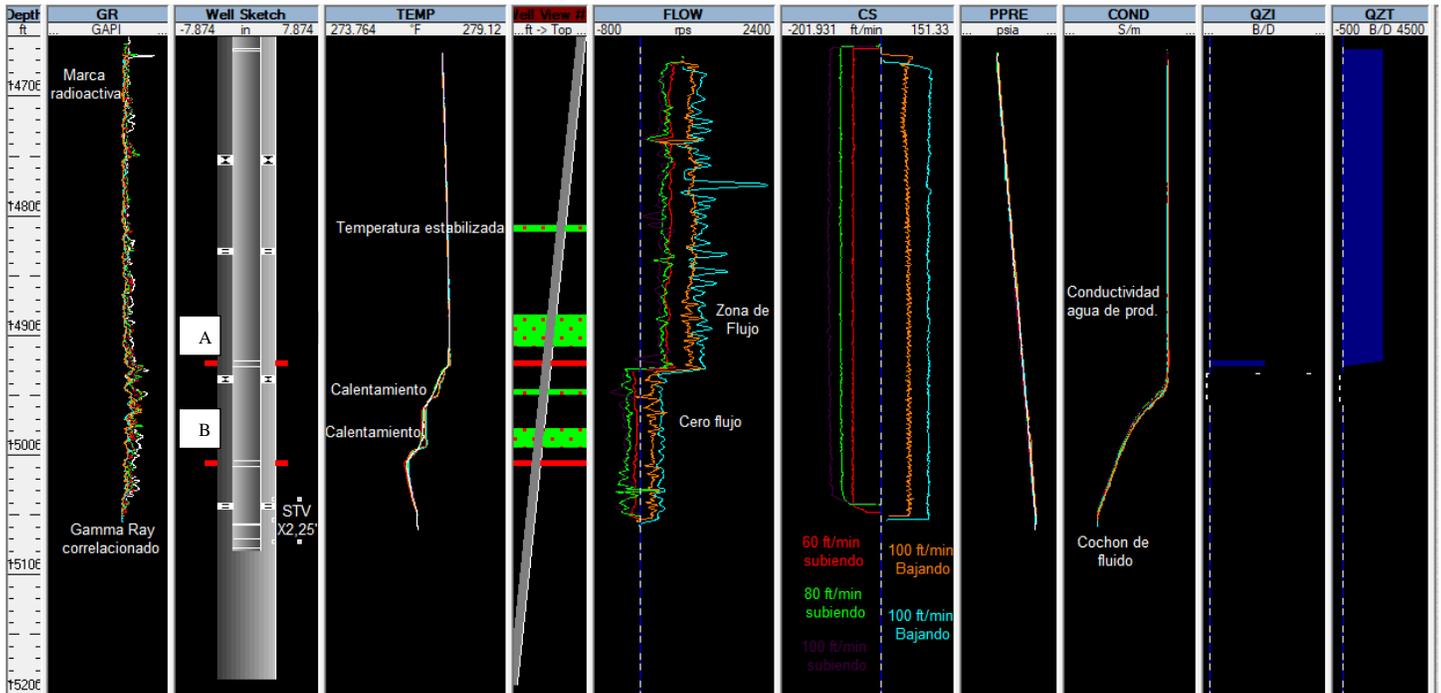


Figura 5. Registro MPLT pozo A de la Cuenca De Los Llanos Orientales

Los resultados obtenidos en la ejecución del piloto en el pozo A. ayudaron a determinar la procedencia del agua producida en el pozo, así mismo se pudo determinar que el fluido proviene de la zona inferior B y esta a su vez migra por detrás del revestimiento, asociado a una mala cementación.

Como alternativa y solución la compañía operadora decidió realizar una cementación remedial, mientras la camisa inferior se encuentra abierta, instalar la herramienta “Down Hole Flow Reductor” la cual es un dispositivo que permite realizar un choke a las zonas que presentan producción inesperada de agua, con el fin de controlar estos volúmenes indeseados en superficie. En la figura 6. Se puede ver la herramienta que permite dar solución a este caso particular

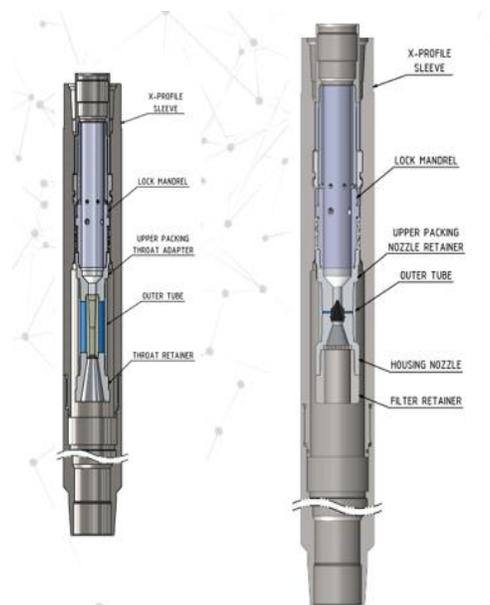


Figura 6. Down hole Flow reductor

## Conclusiones y discusión

Se puede concluir que la tecnología, Bomba Jet Smart MPLT, es una nueva alternativa para la caracterización de pozos con sistemas de levantamiento artificial asistidos por bombeo hidráulico tipo Jet, permitiendo replicar los escenarios de producción mientras se está monitoreando parámetros.

La tecnología de Bomba Smart MPLT brinda una ventaja importante al método de levantamiento artificial tipo jet, sobre los demás sistemas de levantamiento artificial y es que puede ser implementado fácilmente en cualquier etapa del pozo sin tener que incurrir en gastos asociados de Workover y volver a instalar la bomba estándar en el pozo. Tampoco requiere de instalación de herramientas especiales que reduzcan la eficiencia del sistema de levantamiento como es el caso de la bomba electro sumergible con Y-tool.

## Referencias

- James Smolen ,Cased Hole and Production Log Evaluation.
- Dijkers, A. J.,Geology in Petroleum Production.
- Craft & Hawkins,Ingeniería Aplicada de Yacimientos Petrolíferos.
- Bánzer, C., Correlaciones Numéricas P.V.T.
- Magdalena Paris de Ferrer, Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos.
- Iske, A. and Randen, T.,Mathematical Methods and Modelling in Hydrocarbon Exploration and Production.
- Arnold, K. and Stewart, M., Surface Production Operations Vol2.
- Wauquier, J. P., Petroleum Refining I Crude Oil - Petroleum Products - Process Flowsheets