

# ESTUDIO, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE FLUJO EN UN SISTEMA AVANZADO DE REGISTROS (ALS)

Rafael Eduardo Romero Morales, Ing.  
Corrales Luis, PhD  
Escuela Politécnica Nacional

## RESUMEN

En este proyecto se ha desarrollado una solución para el Sistema Avanzado de Registros (ALS) de producción que permite evaluar el volumen de producción de un pozo de petróleo en una prueba de producción de superficie con bomba jet, modificando el sistema y añadiendo un medidor de flujo de turbina.

Para la adquisición de la señal de la etapa de inyección se empleó un medidor de flujo de turbina Halliburton de 2". La señal de salida del medidor de flujo se acondicionó a los niveles que maneja el sistema con la incorporación de un acondicionador de señal basado en el circuito operacional LM311 y además se añadió un dispositivo para aislar la señal, consiguiendo de esta manera proteger tanto a la tarjeta de interfaz de los medidores de flujo que forma parte del Panel de Adquisición de Señales (SAP) del sistema ALS de producción y al medidor de flujo de turbina.

Para el caso específico de la prueba de producción de superficie con bomba jet, aprovechando el sistema modular que ofrece el sistema ALS de Producción, se adoptó la configuración del sistema que utiliza dos separadores conectados a una estación GEO 4000, en la cual las dos estaciones están enlazados a una estación GEO 5000 en modo de colector y con conexión a una estación de trabajo, con la opción de añadir otras estaciones al sistema.

Una vez que se incorporó la señal de la etapa de inyección al sistema ALS de Producción y se dispuso al sistema con la configuración apropiada, el programa de aplicación se arregló de tal forma que la etapa de inyección corresponda a uno de los separadores conectados en paralelo y que la etapa de retorno corresponda al segundo separador.

Para determinar el volumen total producido se requirió tomar los datos de las etapas de

inyección y de retorno. Para esto el sistema adoptado toma datos desde los medidores de flujo y, por medio del Panel de adquisición de señales (SAP), se los envía a las estaciones para que el programa de aplicación realice los cálculos y los almacene en una base de datos que al final es aprovechado por el personal que elabora los reportes finales.

Pruebas realizadas demostraron que el sistema ALS de Producción implementado para el caso de una prueba de producción con bomba jet resultó adecuado para el cálculo del volumen total de petróleo producido. Esto se puede afirmar luego de comparar los valores finales de los volúmenes obtenidos después de 10 horas que duró una prueba y que corresponden a 966 barriles para la prueba real y 984 barriles para la prueba simulada, lo que arroja un error del 1.82% que es un valor aceptable para este tipo de pruebas.

## INTRODUCCIÓN

La importancia económica que representa la utilización del petróleo en la actualidad hace que los procesos involucrados en su extracción sean de interés en el campo de la ingeniería, ya que para aprovechar de mejor manera los yacimientos se requiere de eficientes ejecuciones en la construcción de los pozos productores, así como de pruebas confiables que den un diagnóstico certero de la capacidad del yacimiento.

Para algunos de los pozos del Oriente ecuatoriano, debido a sus bajas presiones se utiliza como medio para la realización de las pruebas de superficie el método de bombeo jet, el cual trae consigo dificultades el momento de evaluar el volumen total de petróleo producido.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar a los técnicos de la empresa que posea el Sistema Avanzado de Registros de Producción (ALS) un recurso que posibilite utilizar toda la capacidad del referido sistema para los casos en que se encuentren con pozos de bajas presiones en los que se deba utilizar bombeo

---

Luis Corrales, luisco5049@yahoo.com

jet durante la prueba de producción de superficie. De tal manera los datos estarán disponibles durante cualquier instante de tiempo durante la prueba y facilitarán la realización del reporte final que debe ser entregado al cliente.

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PRUEBA DE SUPERFICIE

La Figura 1 permite explicar la secuencia de funcionamiento del equipo de prueba de producción en el desarrollo de la prueba de superficie.

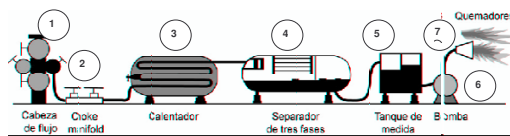


Figura 1. Proceso de una prueba de superficie

El árbol de pruebas (1) en el pozo primario controla la presión que llega al equipo de pruebas.

El múltiple (2) regula el flujo, lo reduce a los niveles de operación del separador.

El calentador (3) es usado para aumentar la temperatura del fluido por sobre el punto de hidratación de la formación para reducir la viscosidad.

El separador (4) es la pieza principal del equipo de prueba de superficie. Este separa las tres fases del fluido las cuales pueden ser medidas y muestreadas individualmente.

Los tanques de medición (5) son usados para calibrar los medidores de flujo de líquido del separador, y para medir el flujo en caso de tener bajas ratas de flujo de petróleo.

La bomba de transferencia (6) provee energía al petróleo almacenado en los tanques para asegurar una atomización adecuada a las cabezas del quemador.

El petróleo es llevado hacia el quemador de petróleo (7) localizado al extremo de los mecheros para reducir las radiaciones de calor hacia la estructura de la instalación.

El gas es quemado de manera separada en el quemador de gas (7).

### 2. BOMBAS HIDRAULICAS TIPO JET

Las Bombas Jet son miembros de la familia de bombas hidráulicas, en las cuales los caudales de producción de fluido en movimiento se controlan mediante una configuración de boquilla y tubo "venturi". Diferentes configuraciones geométricas se utilizan para controlar la luz o el espacio entre los orificios de la boquilla y el tubo de mezcla.

Dependiendo de los parámetros calculados por el computador se determina la geometría exacta, para lograr los caudales deseados de producción.

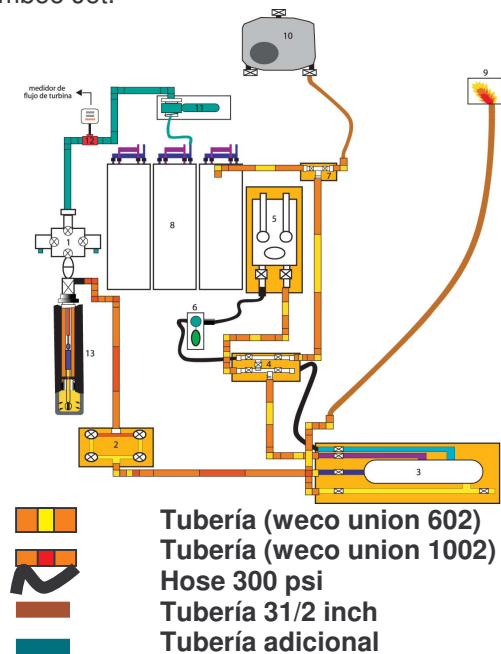
### 3. PRUEBA DE PRODUCCIÓN MEDIANTE BOMBEO JET

Las conexiones se realizan de forma similar a una prueba a flujo natural con la incorporación de una bomba para inyectar el fluido, tubería adicional y la bomba jet dentro del pozo.

En este tipo de pruebas se recogen datos del proceso en las etapas de inyección y de retorno para determinar así la producción que se obtiene mediante cálculos.

Para la inyección se puede usar una bomba de presiones altas, como la de transferencia.

En la Figura 2 se muestra la disposición del equipo en una prueba de producción mediante bombeo Jet.



- 1. Cabeza de Flujo ( X-mas tree)
- 2. Choke manifold 5K - 3K
- 3. Separador 600 psi
- 4. Oil manifold 5 direcciones
- 5. Gauge tank
- 6. Bomba de transferencia
- 7. Oil manifold 3 direcciones
- 8. Tanque (Rig tank)
- 9. Flare
- 10. Tanque (Boot tank)
- 11. Bomba de inyección
- 12. Medidor de flujo de turbina
- 13. Bomba jet

Figura 2. Prueba de producción con bomba jet

#### 4. EL ALS DE PRODUCCIÓN

Para recopilar la información que arroja una prueba de producción se utilizan métodos que emplean dispositivos mecánicos y dispositivos eléctricos.

En el caso de que se utilice dispositivos mecánicos, para obtener datos de presión y volumen se requiere la participación de operadores que estén verificando cada cierto tiempo las variaciones de los parámetros para almacenar la información. Por ejemplo, si lo que se desea es obtener datos de volumen se debe medir de manera manual el nivel en los tanques cada cierto tiempo, siendo estos datos de gran importancia en una prueba de producción.

Al utilizar sensores eléctricos, los datos de presión, temperatura y volumen se obtienen directamente en forma de una señal eléctrica que debe ser procesada para que sea de fácil interpretación.

Geoservices ha desarrollado el Sistema Avanzado de Registros para Pruebas de Producción (ALS), (Advanced Logging System) el cual entrega resultados de la prueba de producción de una manera rápida, exacta y confiable.

#### 5. CONEXIONES DEL MEDIDOR DE TURBINA Y DEL ACONDICIONADOR DE SEÑAL

La instrumentación del proceso de inyección en una prueba de producción de superficie con bomba jet se desarrolló incorporando un medidor de flujo de turbina ajeno al sistema ALS de Producción haciendo que la señal que se transmite desde el medidor hasta el ALS de Producción se ajuste a los niveles que maneja su unidad de adquisición de señales. Debido a que la señal del medidor de flujo de turbina ha sido incorporada como una señal de pulsos en el sistema, el tratamiento es similar al de las otras señales del mismo tipo.

En la Figura 3 se aprecia las conexiones de los dispositivos que intervienen en la adquisición y acondicionamiento de la señal que entrega el captador magnético o pick up.



**Figura 3.** Diagrama de conexiones del medidor de turbina y acondicionadores

- La señal del medidor de flujo de turbina se puede tomar directamente del captador magnético o a través del analizador de flujo si este está montado junto a la turbina y tiene conexión directa con el captador magnético..
- Se debe conectar la entrada del acondicionador de pulsos a los terminales del captador magnético o a los del analizador de flujo. El acondicionador de pulsos debe ser instalado en la cabina de supervisión de la prueba, para lo que se requiere de varios metros de cable para transportar la señal (100 metros de cable blindado de dos hilos con sus respectivos conectores).
- Para las conexiones se debe utilizar conectores de tipo militar que cumplan con las especificaciones de trabajo en lugares remotos.
- La salida del acondicionador de pulsos se acopla con el convertidor y aislador de señal UPAC. Es importante usar este dispositivo debido a que el SAP envía una señal regulada de 24 voltios para los sensores de pulsos del ALS a través de 2 hilos y a través de los mismos se recibe la señal de corriente de 4 a 20 mA.
- La salida del aislador de señal se convierte en una señal estándar de 4 a 20mA la cual se conecta en una de las entradas de la Unidad de terminales de Conexión (UTC). Para la prueba se usa el terminal Vs FLOC como entrada, usualmente en este terminal se conecta la señal de uno de los medidores de flujo propios del separador.

#### 6. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA ALS PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN PRODUCIDO

La producción total de petróleo de la formación en una prueba de superficie con bomba jet se determina haciendo una diferencia de volúmenes entre el fluido que sale de la formación y el fluido que es inyectado.

La Ecuación 1 calcula este valor y una representación gráfica se puede apreciar en la Figura 4.

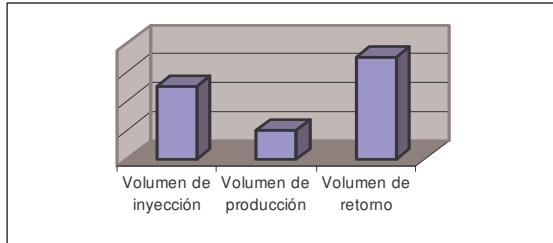


Figura 4. Balance del volumen de producción

$$V \text{ prod} = V \text{ rtn} - V \text{ iny} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

V prod: Volumen de producción, corresponde al volumen total de petróleo producido por la formación

V iny: Volumen de inyección, es el volumen de fluido inyectado.

V rtn: Volumen de retorno, es el petróleo que sale del pozo una vez que se ha inyectado el fluido.

El programa del ALS de producción es el encargado de realizar los cálculos de la tasa de flujo y volúmenes de gas, agua y petróleo que produce la formación.

El hardware del sistema para la prueba de producción con bomba jet se configuró con dos separadores conectados a una estación GEO 4000, ambos enlazados a una estación GEO 5000 en modo de colector con conexión a una estación de trabajo WTS/TDC, con la opción de incorporar otras estaciones al sistema dependiendo de los requerimientos del cliente. Esta configuración se muestra en la Figura 5 en un esquema de bloques.

El proceso que realiza la configuración adoptada para entregar los resultados de volumen y flujo de petróleo en una prueba de producción con bomba jet se resumen en las siguientes líneas.

El resultado de la tasa de flujo y volumen de fluido que sale del pozo se obtiene del cálculo que se realiza en la primera de las estaciones GEO 4000 que usa como dato la señal que entregan los medidores de flujo del sistema, los cuales se encuentran localizados en las líneas de salida del separador.

El resultado de la tasa de flujo y volumen de fluido inyectado se obtiene del cálculo que realiza la estación GEO 4000 (2). Para esto usa la señal del medidor de flujo de turbina Halliburton que esta ubicado en la línea de inyección y que debe estar debidamente acondicionada.

El cálculo del volumen total de petróleo que produce la formación se realiza en la estación GEO 5000. Esta contiene el programa que realiza la diferencia de los resultados de cada una de las estaciones GEO 4000.

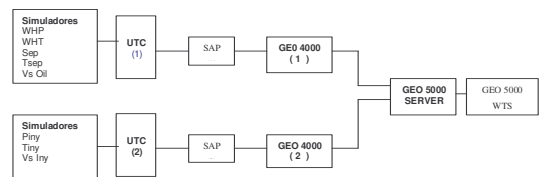


Figura 5. Diagrama de bloques de la configuración del ALS para una prueba de superficie con bomba jet

- Pantalla de resultados totales de Petróleo, gas y agua.

La pantalla de la Figura 6 presenta los principales resultados de la prueba de producción de superficie con bomba jet, que es el caso de estudio. Los resultados que se exhiben son:



Figura 6. Pantalla de resultados totales de la adquisición de datos

- Presión y temperatura en la cabeza del pozo.

- Presión y temperatura en el fondo del pozo.
- Gravedad específica, flujo y volumen acumulado de gas.
- Gravedad específica, flujo y volumen acumulado de petróleo.
- Flujo y volumen de agua.
- Radio de flujo gas – petróleo.
- Radio de volumen acumulado gas-petróleo.

## CONCLUSIONES

- La implementación de un medidor de turbina en el sistema ALS de producción para efectuar pruebas de superficie con bomba jet, ha servido como medio para ilustrar que es posible realizar modificaciones a aplicaciones de instrumentación en equipos de producción de petróleo por un estudiante de Ingeniería Electrónica y Control, quien debió aprender fundamentos mecánicos y de producción de pozos para afianzar conocimientos y poder resolver problemas en la industria del petróleo.
- La automatización de cualquier proceso industrial en cualquier campo de aplicación requiere de una considerable inversión económica; sin embargo, su implementación se justifica si a la larga resulta en beneficios para el sistema, como: facilidad en el manejo, seguridad y consistencia al momento de la entrega de resultados. Este trabajo permitió demostrar que lo indicado es posible.
- Para realizar las modificaciones que permiten realizar el cálculo del volumen de petróleo usando el programa del ALS de Producción, fue necesario conocer a fondo el funcionamiento y los alcances del programa de aplicación, así como familiarizarse con el mismo para adquirir destreza y poder manejarlo con habilidad.
- Se detectó que en la industria del petróleo, las compañías que prestan servicios, en la mayoría de los casos, utilizan tecnología desarrollada por ellos mismos, un ejemplo de ello es el caso del ALS de Producción.
- La implementación de un dispositivo en un sistema requiere de un estudio cuidadoso de las señales que intervienen en el proceso. Para el caso específico de este proyecto, como se trataba de incorporar una señal ajena al sistema, se tomó todas las precauciones añadiendo un aislador como seguridad tanto como para el medidor de flujo así como para las tarjetas de adquisición de señales.
- La modificación del sistema permitió obtener resultados válidos de una prueba de producción con bomba jet en tiempo real, permitiendo conocer los resultados en cualquier instante de tiempo durante las perturbaciones o variaciones dinámicas ejecutadas durante la prueba
- Puesto que en el sistema ALS de Producción los volúmenes de fluido acumulado son grandes, no resulta crítica la velocidad de adquisición de datos; por ende, registrar un dato cada segundo o más es suficiente para obtener las características intrínsecas del parámetro.
- Por tratarse de un sistema propietario los programas GEO 4000 y GEO 5000 no se adaptan fácilmente a los nuevos sistemas operativos y a los paquetes de manejo de datos que se utiliza actualmente; sin embargo, la habilidad del operador hace que los datos puedan ser editados en los paquetes computacionales con que se cuenta en la actualidad.
- Existen en el mercado medidores de flujo de turbina que vienen con sus respectivos analizadores y acondicionadores de señal con señales de salida de voltaje y corriente estandarizadas. La desventaja radica en su alto costo y su inexistencia en el País.
- Para obtener resultados aceptables en el presente proyecto, principalmente en la prueba con simulación, se realizó la prueba ciñéndose a condiciones que cumplan con los requerimientos mínimos impuestos por las referencias que se uso como medio de comparación, siendo esta una de las razones que justifica el error que se obtiene. Además, se debe considerar que los errores se presentan como consecuencia del margen de error propio de todos los equipos utilizados.
- Debe quedar claro que la prueba que utiliza métodos computacionales es el método en el que se incurre en un error menor debido a que los dispositivos electrónicos tienen un grado de precisión mayor al ser comparados con dispositivos de otro tipo en los que existe participación humana para su lectura.

- Durante la operación del sistema durante 10 horas, que fue el tiempo de la prueba real en el campo y el de la prueba con los simuladores, los márgenes de errores producidos se muestran en la Tabla 5.1.

CARACTERÍSTICAS	VALOR PRUEBA REAL	VALOR PRUEBA SIMULADA	PORCENTAJE DE ERROR
Volumen acumulado	966	984	1.82 %

**Tabla 5.1.** Cálculo de Errores

Estos resultados permiten concluir que el sistema aquí reportado cumplió de manera satisfactoria su objetivo.

- La solución planteada en este proyecto, permite a la empresa que presta los servicios en una prueba de Producción con bomba jet ofertar a los posibles clientes un servicio completo de monitoreo durante la prueba en tiempo real incluyendo los datos de la etapa de inyección, de la etapa de retorno y los resultados de la producción, con la posibilidad de visualizar en cualquier instante de la prueba los valores del volumen total de petróleo producido y su correspondiente tasa de flujo, lo cual viene a ser una herramienta valiosa para quienes supervisan las actividades durante la prueba.
- La decisión final con respecto a la rentabilidad de un yacimiento es tomada por los técnicos utilizando como un parámetro primordialmente importante el dato de volumen y tasa de flujo total de petróleo obtenido durante las pruebas de producción.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [ 1 ] ALLEN, Thomas O; ROBERTS Alan P. Production Operations Vol 1, Well Completations, Workover and Stimulation, OGCI Oil & Gas Consultants International. Tercera impresión. Inc. Tulsa, Oklahoma. Marzo1981

- [ 2 ] SCHLUMBERGER, Modern Reservoir Testing, Houston, Texas 1994.
- [ 3 ] LESTER, Charles Uren. Ingeniería de Producción de Petróleo, Explotación de los campos petroleros. Primera Edición Español. Compañía Editorial Continental. MEXICO 1965.
- [ 4 ] LESTER, Charles Uren. Ingeniería de Producción de Petróleo, Desarrollo de los campos petroleros. Segunda Edición Español. Compañía Editorial Continental, México 1969,
- [ 5 ] SOISSON, Harold E. Instrumentación Industrial. Tercera reimpresión a la primera edición. Limusa, México. 1990
- [ 6 ] CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. Quinta Edición. Alfaomega & Marcombo. México. 1993
- [ 7 ] ANALOG DEVICES. Transducer Interfacing Handbook. Primera edición. U.S.A. 1980
- [ 8 ] GEOSERVICES. Well Testing Manual, 1998
- [ 9 ] PALLAS ARENY, Ramon. Sensores y Acondicionadores de Señal. Tercera Edición. Ed Alfaomega & Marcombo. Impreso en México. 2001
- [ 10 ] NATIONAL SEMICONDUCTOR, LINEAR/MIXED-SIGNAL Designer's Guide, 1999.
- [ 11 ] WWW.national.com
- [ 12 ] DRESSER OIL TOOLS. Introducción a los Sistemas de Bombeo Hidráulico. Dallas, Texas. 1991
- [ 13 ] GEOSERVICES, GEO 4000/ GEO 5000 ALP USERS MANUAL, 1993