

## **“Optimización de Producción por Aplicación de Lazo de Control”**

Ing. Miguel Andrés Curtti; PLUSPETROL S.A. [mcurtti@pluspetrol.net](mailto:mcurtti@pluspetrol.net)

Ing. Sergio Gabriel Nobello; PLUSPETROL S.A. [snobello@pluspetrol.net](mailto:snobello@pluspetrol.net)

Ing Mariano Montiveros; Pluspetrol S.A. [mmontiveros@pluspetrol.net](mailto:mmontiveros@pluspetrol.net)

Ing Lucas Echavarría; Pluspetrol S.A. [lechavarria@pluspetrol.net](mailto:lechavarria@pluspetrol.net)

Ing Fernando Martín Coeli Pluspetrol S.A. [fcoeli@pluspetrol.net](mailto:fcoeli@pluspetrol.net)

### **Sinopsis**

El presente trabajo expone el análisis, la implementación y los resultados obtenidos al optimizar el régimen operativo de los pozos productores mediante la activación de una aplicación controladora denominada “Lazo de Control” en los yacimientos del Área Rio Colorado, Distrito Sur de Pluspetrol SA.

Dicho área está formada por los yacimientos El Corcobo Norte, Jagüel Casa de Piedra, Cerro Huanul Sur, El Renegado y Puesto Pintos, productores de la Formación Centenario, Cuenca Neuquina.

Se trata de Reservorios de Arenas no consolidadas, con crudos de 18° API de densidad y explotados con el concepto CHOPS (petróleo pesado con producción de arena), manteniendo de manera deliberada la producción de arena a lo largo del tiempo, utilizando el Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP) como Sistema de Extracción.

Al mes de julio de 2012, se cuenta con 470 pozos productores y 260 pozos inyectores, con una producción neta de 4500 m3/d y 73% de corte de agua. De los 470 pozos productores, más del 50% posee un sensor de presión y temperatura en fondo y es el responsable de transmitir los datos desde el fondo del pozo a superficie. En superficie, se cuenta con un variador de frecuencia en donde el dato del sensor es convertido y utilizado para la variación automática de la velocidad.

La aplicación que se expone en el presente trabajo, consiste en la fijación de una presión dinámica de fondo objetivo y en el automatizado de un intervalo de frecuencias, máxima y mínima, en donde de acuerdo al aumento o disminución de la presión de fondo, se logra un mayor o menor caudal de producción, respectivamente.

Con esto se logra tener el pozo explotado a la presión dinámica deseada, con una producción controlada y con un mayor nivel de protección.

### **Introducción**

Este trabajo se ha realizado en los yacimientos El Corcobo Norte y sus aledaños, Jagüel Casa de Piedra, Cerro Huanul Sur, Puesto Pinto, El Renegado y Gobernador Ayala Este, se encuentran en las áreas CNQ-7/A, CNQ-7 y Gobernador Ayala III, ubicadas al norte del Río Colorado en las provincias de Mendoza y La Pampa.

La compañía Petro Andina Resources Ltd. inició la operación en estas áreas en el año 2004, adquiriendo el 50% de los bloques exploratorios en el margen NE de la cuenca Neuquina. Se conformó un grupo societario con Repsol-YPF en el área CNQ-7/A y con Repsol-YPF y Petrobras en el bloque CNQ-7. En 2007 obtuvo la operación de Gobernador Ayala III en sociedad con Enarsa y Raiser. En el año 2009 Petro Andina Resources Ltd vendió sus activos en Argentina a Pluspetrol S.A., la actual operadora.

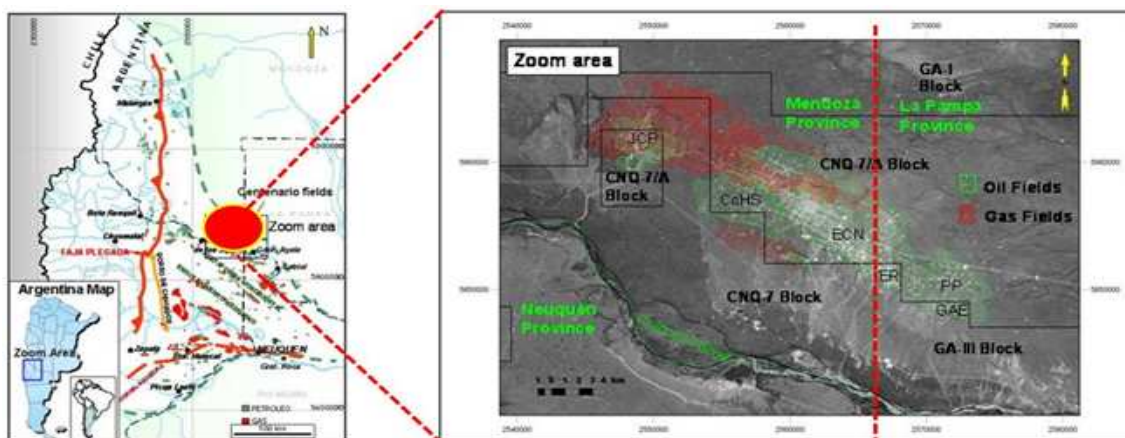
La exploración en estas áreas comenzó en 1964, siendo el pozo Jagüel Casa de Piedra (JCP) .x-3, perforado por YPF en 1984 el primero en evidenciar la presencia de petróleos pesados en condiciones de subpresión y en reservorios no consolidados proclives a producir arena. La magra producción resultante y la escasa dimensión de la acumulación definida por 3 pozos de avanzada (JCP.a-4, a.5 improductivos y a.6 el que ensayó petróleo y agua) llevaron a que esta región de borde de cuenca quedara fuera del interés exploratorio.

El hallazgo de petróleo del pozo JCP.x-3, circunscripto a un pequeño cierre estructural fue la base de una intensa campaña de exploración iniciada por Petro Andina Resources Ltd. en 2004 que tomó ventaja de que los objetivos son someros, siendo la primera etapa exploratoria con resultados económicos. En esta etapa se descubrieron trampas estratigráficas que superan los 550 MMBs de petróleo original in situ (POIS).

Los reservorios principales en el área son areniscas no consolidadas de la Fm. Centenario, con un 60% de las reservas en el Mb. Inferior y el resto en el Mb. Superior. Los reservorios de mejor calidad tanto del miembro Superior como Inferior, corresponden a depósitos de canales fluviales de planicie costera, la profundidad promedio de los reservorios es 600 m. La porosidad promedio es 30% y la permeabilidad varía entre 0.5 y 4 Darcy, siendo el promedio 1 Darcy. El espesor útil promedio es 8 m, siendo el mayor espesor de 18 m. El mayor volumen de crudo tiene una gravedad API de 18° y viscosidad in situ entre 160 y 270 cP, si bien han sido hallados crudos pesados de varios rangos.

La estrategia de trabajo aplicada desde el inicio de la explotación surgió a partir del estudio de la exploración y desarrollo de los campos análogos de petróleo pesado del oeste de Canadá, decidiendo probar todas las tecnologías que habían demostrado ser exitosas en cada acumulación descubierta, en un período menor a 3 años. En base a esto se implementaron dos técnicas simultáneas en todos los campos: la producción en frío con arena (“Cold Heavy Oil Production with Sand”, CHOPS) y el mantenimiento de presión mediante inyección de agua. Además, se realizó un piloto con inyección continua de vapor, 4 pilotos con inyección cíclica de vapor y 1 piloto de perforación horizontal, los cuales se realizaron en paralelo a la etapa de delineación y fueron descartados para la etapa de desarrollo.

El cierre de producción de todas las áreas a octubre de 2012 fue de 4527 m<sup>3</sup>/d de neta con 470 pozos productores activos. La inyección ascendió a 18600 m<sup>3</sup>/d distribuida en 269 pozos inyectoros. Adicionalmente, en el yacimiento se genera toda la energía consumida, para lo cual se utiliza el gas asociado a la producción de petróleo y el producido en 11 pozos de gas libre del Grupo Neuquén.



## Desarrollo

Como se comentó anteriormente, se implementó un sistema realimentado para controlar la presión dinámica de fondo de pozos con sistema de extracción PCP, fijando una presión objetivo o Set Point (SP), y una serie de parámetros específicos.

El principio de operación del sistema básicamente consiste en regular la velocidad de bombeo mediante el uso de un Variador de frecuencia (VSD), través del monitoreo constante de la presión dinámica de fondo, formando

de esta manera un sistema realimentado, de manera tal que si se fija el SP a un nivel mínimo, se lograría aprovechar al máximo la productividad del pozo sin exceder los límites de sumergencia establecidos para la bomba.

Por otro lado, con esta aplicación es posible evitar el fenómeno de cavitación en las PCP's, el cual implica un llenado insuficiente de las cavidades de la bomba debido una inadecuada combinación Régimen/Sumergencia (La velocidad de bombeo es mayor a la tasa con la que el fluido puede fluir dentro y hacia arriba de las cavidades), esta relación dependerá de cada pozo, en función al corte de agua, diseño de fondo y modelo de bomba. Para evitar la cavitación es necesario llevar la Sumergencia de la bomba al mínimo posible tratando en lo posible de operar a bajas RPM. Por lo tanto el valor del SP deberá estar ligado a un valor de sumergencia que dependerá de cada pozo en particular.

Esta aplicación se llevó a cabo, sobre pozos con una respuesta de secundaria franca, con profundidades comprendidas entre 700/650 m, presión de reservorio promedio  $31.5 \text{ Kg/cm}^2$  (450 PSI), cuyas temperaturas rondan los  $35^\circ\text{C}$  y con caudales de extracción comprendidos entre 8.7 y  $131 \text{ m}^3/\text{d}$ .

La implementación de este sistema se realizó con la idea de extender los resultados obtenidos en otros Yacimientos operados por Pluspetrol (El Porvenir y Aguada Baguales). Entre Mayo y Julio de 2012 se colocaron en lazo de control 13 pozos de los cuales al 31 octubre del 2012 se encuentran operativos 9.

El sistema básicamente se compone por 2 conjuntos:

#### 1) Equipamiento de fondo

- Mandril porta sensor
- Sensor de fondo
- Cable TEC

##### **Mandril porta sensor:**

Básicamente es un tubing pup joint de 1.4 [m], con un bolsillo roscado en uno de sus extremos. La función principal que cumple es la de alojar y proteger al sensor y el punto de unión con el cable TEC, de las vibraciones o golpes con el Casing, que puedan ocasionarse durante la operación del sistema de bombeo. La ubicación de este elemento se encuentra en la mayoría de los diseños, 1 o 2 tubings ( $\pm 20 \text{ m}$ .) por encima del estator de la bomba, para resguardar aún mas la integridad del equipamiento de fondo.



Fig1. Mandril porta sensor

### **Sensor de fondo:**

Es de tipo piezoeléctrico, es decir, convierte una señal de presión en una eléctrica (En este caso tensión). En los pozos productores se utilizan sensores con un rango de  $210 \text{ Kg/cm}^2$  (3000 PSI). Este tipo de sensores puede utilizarse tanto para pozos productores como inyectoras, mediante un adaptador (Sensing Adapter) que permite sensar la presión por directa o por entre columna, según el caso. Para los pozos productores resulta de interés la presión por entre columna, ya que a partir de ella será posible determinar la Sumergencia de la bomba, por lo cual se utiliza un adaptador de Casing (Casing Sensing Adapter), que al enroscarse en el “Housing” del sensor y en el bolsillo del mandril, vincula la entrada del sensor a la presión de entre columna y la aísla de la directa. Un detalle a tener en cuenta con estos dispositivos es que tienen un error del 0.15% del fondo de escala, (para 3000 PSI el error se encontraría en torno a  $\pm 5 \text{ PSI}$ ) y además miden presión absoluta, es decir cuando la lectura del sensor se encuentra por debajo de 15/20 PSI no tendríamos referencia de presión y en el caso de una aplicación en lazo de cerrado se perdería el control del sistema. Para la mayoría de los casos (salvo que el pozo tenga un caudal de extracción recomendado), se toma como SP un valor entre  $2.45 - 2.1 \text{ Kg/cm}^2$  (30 – 35 PSI), valor con el cual se tendría una sumergencia de 52 m. desde la succión de la bomba (Para el caso de la de mayor tamaño y considerando que el mandril se encuentra a 2 tubings por encima de la bomba).



Fig 2. Sensor de fondo

### **Cable TEC (Tubular Encapsulated Cable)**

Su función es la de transmitir la señal del sensor de fondo a la superficie. Básicamente consiste de un conductor central, un dieléctrico y una armadura de acero inoxidable, la cual además de proveerle rigidez y protección mecánica, inmuniza la señal del sensor del ruido electro magnético. Este componente, se instala mediante la colocación de grampas y protectores en las cuplas de los tubings y sunchos de flejes de acero inoxidable en el cuerpo de los mismos y se empaqueta en la boca de pozo en la salida por anular.



Fig 3. Cable TEC

## 2) Equipamiento de Superficie

- Interfaz del sensor de fondo
- VSD

### Interfaz del sensor de fondo

Se encarga de procesar y almacenar la señal del sensor de fondo, para ser visualizada por el usuario. A su vez posee 2 salidas analógicas de corriente (4-20 [mA]), configurables según el valor de presión y temperatura del sensor de fondo. En esta aplicación, se usa la salida configurada con el valor de presión como señal de realimentación al VSD. Por otro lado, el rango de esta señal de corriente debe ser proporcional al rango de presión del sensor de fondo.



Fig 4. Interfaz del sensor de fondo

### VSD

Se encarga de proporcionar y modificar la frecuencia de alimentación del motor del sistema de bombeo (y en consecuencia modifica el caudal de extracción). El control de la velocidad del motor, se realiza mediante el método “Control Vectorial de Flujo”, el cual permite tener un control de velocidad manteniendo el torque constante en todo el rango de operación (incluso muy bajas RPM). Además posee una serie de funciones de protección que permiten resguardar la integridad de las varillas limitando el torque máximo que puede entregar el sistema, detección de condiciones de bajo torque, o bajas RPM, baja presión de fondo, fallas o alarmas externas, etc. El control de velocidad puede realizarse en forma manual o automática. En el modo manual, el usuario establece la frecuencia de operación, mientras que en el modo automático, la frecuencia se modifica siguiendo un método de control definido en base a una variable externa modificada por el VSD (presión dinámica de fondo). De esta forma, se tiene un sistema de control en lazo cerrado, en donde el VSD, establecerá la frecuencia de operación (dentro de un rango definido) según la diferencia entre el valor de la presión de fondo y la presión objetivo (SP). Se debe tener en cuenta que, la velocidad, precisión y estabilidad de dicho control se determina a través de un algoritmo PID, el cual debe ser sintonizado según el comportamiento de cada pozo.



Fig 5. VSD

### Descripción operativa

Para poner en funcionamiento la aplicación, previamente es necesario establecer los siguientes parámetros.

- Presión objetivo (SP)
- Velocidades máximas y mínimas ( $RPM_{MAX}$  /  $RPM_{MIN}$ )
- Presión mínima ( $P_{MIN}$ )
- Presión mínima de arranque ( $P_{START}$ )
- Tiempo entre arranques ( $T_{RSTART}$ )
- Tiempo de detección de baja presión ( $T_{LP}$ )
- Presión de gas en el anular
- Sintonización PID

Presión objetivo: Es la presión dinámica en la que el sistema debería estabilizarse

Velocidades máximas y mínimas: Determinan el rango de velocidades dentro del cual sistema debe alcanzar la presión objetivo.

Presión Mínima: Es la presión por debajo de la cual el sistema debe detenerse para evitar dañar el equipo de fondo.

Presión mínima de arranque: Es la mínima presión que debe alcanzarse por encima de la presión mínima, para arrancar nuevamente el sistema luego de esa condición.

Tiempo entre arranques: Es el tiempo que debe transcurrir luego de alcanzar la presión mínima para arrancar nuevamente el sistema.

Tiempo de detección de baja velocidad: Es el tiempo que debe transcurrir luego de detectarse una condición de baja presión, para detener el sistema.

Presión anular: Determina la presión originada por la presencia de gas en el espacio anular del pozo. Dependiendo de la situación, este valor puede ingresarse en forma manual (solo si el aporte de gas es conocido y estable), o bien puede instalarse un transmisor de presión en la boca de pozo y enviar otra señal de corriente al

VSD y calculará la diferencia entre estas dos presiones determinando la presión de fondo compensada. Esta última es la que se toma como referencia de comparación con el SP para realizar el control.

Sintonización PID: Mediante el ajuste de las constantes PI, se determina la velocidad, precisión y estabilidad del sistema de control (el término derivativo no suele usarse). Si bien, estos valores se deberían fijar según cada pozo (Se debería modelar la respuesta del pozo frente a un escalón de RPM en el sistema de extracción). Para la mayoría de los casos, inicialmente se evalúa el comportamiento con una ganancia media (Término P), y un tiempo de integración muy grande (Término I), y se procede como se indica a continuación.

- Si se alcanza el SP con estabilidad se conservan los parámetros ingresados.
- Si se observa inestabilidad en torno al SP, se disminuye la ganancia (P).
- Si no se alcanza el SP (sin llegar a las máximas RPM), se disminuye el término integral (I) hasta corregir el error en estado estable.
- Si no se alcanza el SP y trabajando a las máximas RPM (saturación), se sube el límite superior de RPM.
- Si no se alcanza el SP trabajando a las mínimas RPM, y el nivel dinámico continúa bajando, se disminuye el límite inferior de RPM.

El siguiente esquema representa a la disposición de los elementos mencionados anteriormente.

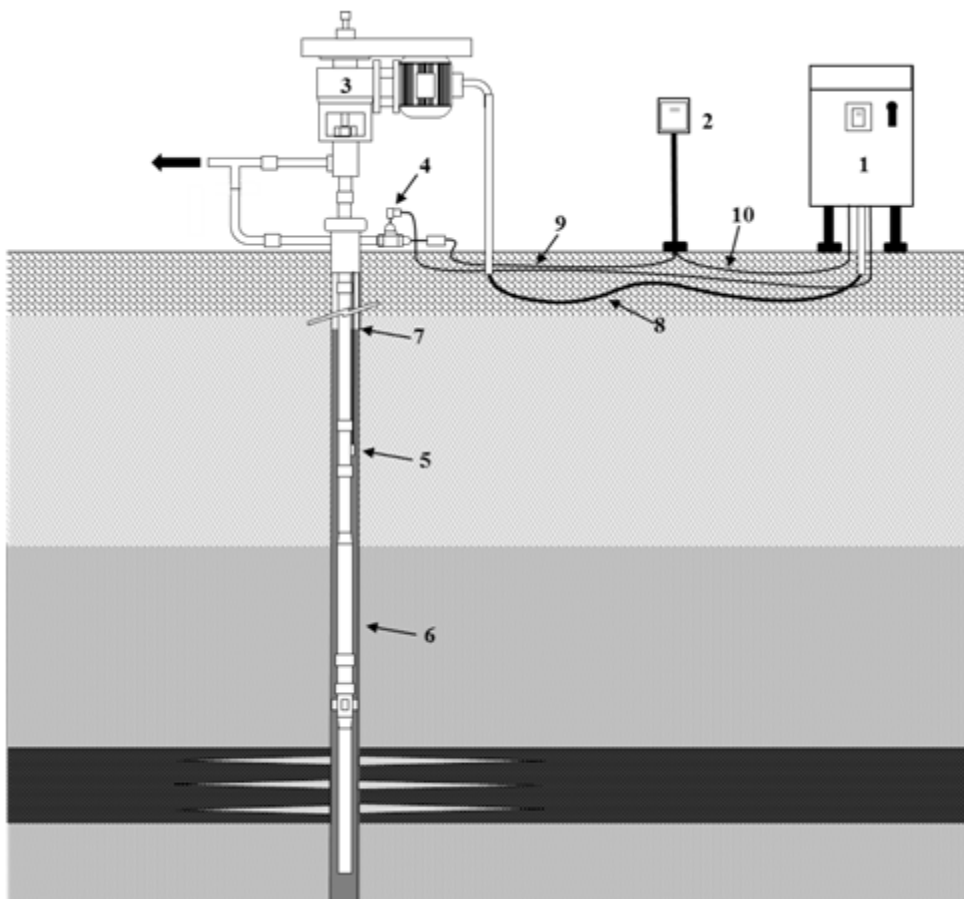


Fig. 6. Disposición de los elementos del sistema

## Referencias:

- 1: VSD
- 2: Interfaz del sensor de fondo
- 3: Equipo de superficie (Motor, Cabezal, Stuffing box, puente de producción).
- 4: Transmisor de presión.
- 5: Mandril porta sensor + sensor de fondo.
- 6: Equipo de bombeo (PCP, Niple de paro, Ancla anti torque, caños de cola).
- 7: Sumergencia o nivel dinámico.
- 8: Señal de frecuencia variable (Alimentación del motor)
- 9: Señal del sensor de fondo
- 10: Señal de corriente (4-20 [mA]).

El diagrama en bloques mostrado a continuación, permite ver más intuitivamente como opera el lazo de control. Partiendo de una presión o nivel dinámico, el sensor de fondo proporciona la señal correspondiente a la interfaz, la que genera una señal de [4-20 mA] al VSD. El VSD, primero resta de este valor el proporcionado por el transmisor de presión de gas anular (Opcional), obteniendo la presión de fondo compensada ( $P_c$ ). Posteriormente, se compara la  $P_c$  con el SP, obteniendo la señal de error [ $e(t)$ ]. A continuación el controlador PID genera la señal de referencia (Ref), la que aumentará o disminuirá según el valor y signo del error, estableciéndose la frecuencia (Frec) para el motor del equipo de superficie que a su vez determinará las RPM para modificar el caudal de extracción de la bomba y en consecuencia la presión o nivel dinámico, este proceso se realiza iterativamente hasta que estos se igualen al valor del SP.

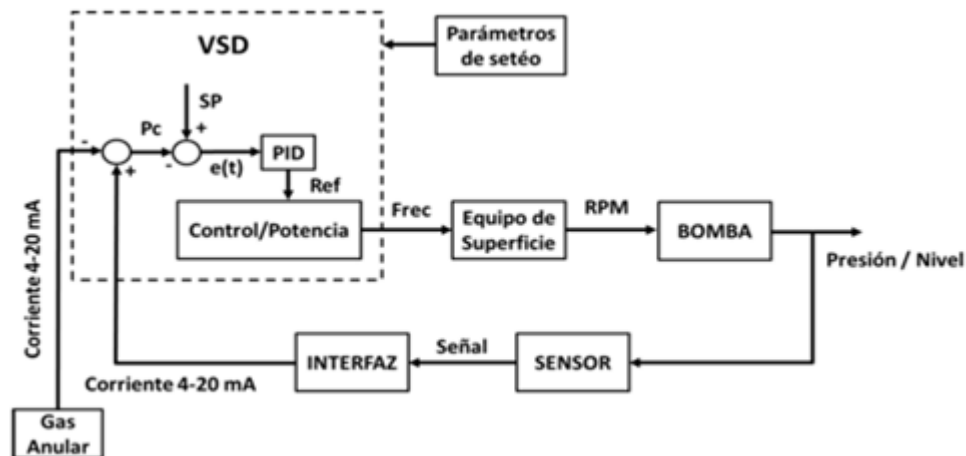


Fig. 7. Diagrama en bloques del sistema

Este sistema evita hacer trabajar al sistema de fondo a muy bajos niveles dinámicos. Para ello debe fijarse como se mencionó anteriormente, una presión mínima ( $P_{MIN}$ ), presión de reinicio  $P_{START}$  y los tiempos de detección de baja presión y reinicio,  $T_{LP}$  y  $T_{RSTART}$  respectivamente. La gráfica mostrada a continuación detalla cómo funciona esta aplicación.

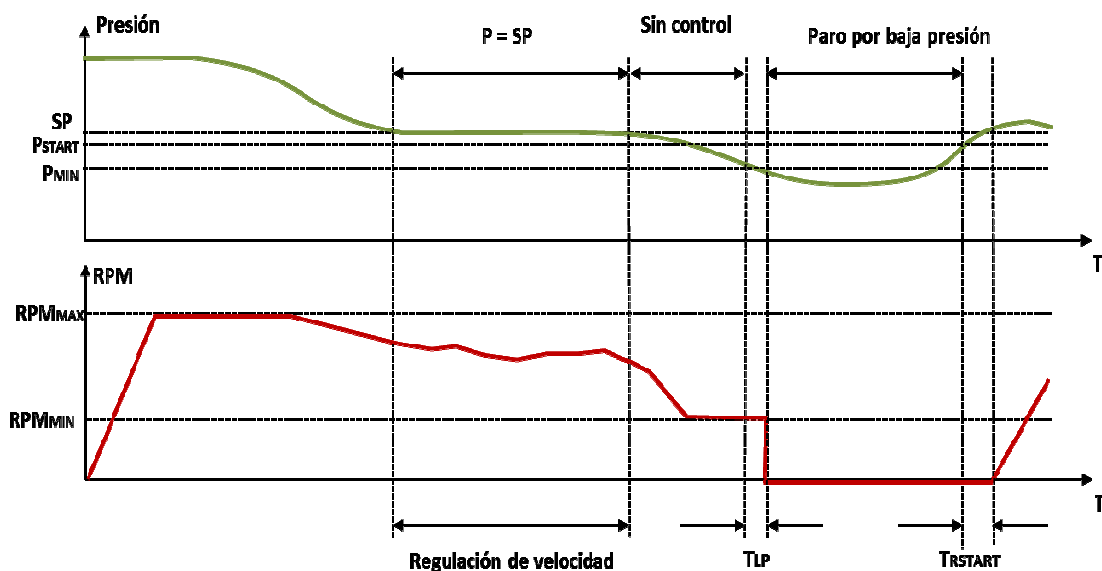


Fig. 8. Diagrama temporal de funcionamiento del sistema

## Implementación – Evolución

Como se comentó anteriormente, desde marzo de 2012 se pusieron en lazo de control 13 pozos quedando operativos con esta aplicación un total de 9 pozos a Octubre de 2012. Los pozos en cuestión y los parámetros de funcionamiento se detallan a continuación:

|            | Pozo     | Bba size  | RPM máximas | RPM Mínimas | Presión SET POINT (psi) | Alarma Baja Presion (psi) | Q Limit [m3/d] |
|------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------------------|---------------------------|----------------|
| Operativos | JCP-0015 | G 55-1200 | 280         | 210         | 60                      | 20                        | 120            |
|            | JCP-0007 | G 92-1500 | 160         | 100         | 35                      | 20                        | 120            |
|            | ECO-0005 | G 24-2000 | 200         | 160         | 30                      | 20                        |                |
|            | PP-0023  | G 22-1700 | 130         | 100         | 35                      | 20                        |                |
|            | PP-0033  | G 41-1700 | 135         | 100         | 30                      | 20                        | 50             |
|            | PP-0014  | G 6-1200  | 200         | 150         | 35                      | 20                        |                |
|            | PP-0007  | G 22-1200 | 400         | 260         | 35                      | 20                        |                |
|            | ER-0006  | G 41-1700 | 75          | 60          | 25                      | 17                        |                |
|            | ECN-1002 | G 10-2000 | 250         | 200         | 30                      | 20                        | 35             |

Tabla 1. Pozos operativos en lazo de control

|               | Pozo    | Bba size    | Comentario / Causa              |
|---------------|---------|-------------|---------------------------------|
| No operativos | PP-0004 | G 17-2000   | Canalizado                      |
|               | PP-0038 | 100-TP-1200 | Bomba con baja eficiencia       |
|               | PP-0054 | G 40-1700   | Problemas con ruido EM / sensor |
|               | PP-0110 | G 10-1200   | Problemas con ruido EM / sensor |

Tabla 2. Pozos no operativos en lazo de control

## JCP-15

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- Límite de extracción: 120 m<sup>3</sup>/d (definido por Ing. Reservorios)
- RPM<sub>MAX</sub>: 280 RPM
- RPM<sub>MIN</sub>: 210 RPM
- SP: 4.2 Kg/cm<sup>2</sup> (60 PSI)
- P<sub>MIN</sub>: 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

Este pozo al tener un caudal de extracción recomendado en 120 m<sup>3</sup>/d, la velocidad máxima de bombeo deberá estar sujeta a esta condición. El cálculo de dicho límite se realiza de la siguiente manera.

$$\text{RPM}_{\text{MAX}} = \frac{\text{Caudal Recomendado} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]}{\text{Ef}_{\text{bomba}} * \text{Desplazamiento}_{\text{bomba}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]} * 100 \text{ RPM}$$

Por lo tanto, considerando una eficiencia del 78% y una bomba con un desplazamiento de 55 m<sup>3</sup>/d @ 100 RPM, para obtener el caudal máximo la velocidad a la que funciona la bomba debería ser 280 RPM. Sin embargo la limitación en caudal implica también una limitante para el control de la presión, puesto que si la bomba se encuentra extrayendo el caudal recomendado y por efecto de algún inyector o pozo asociado al pattern, la presión se incrementa, no sería posible subir aún más las RPM, perdiéndose el control del sistema.

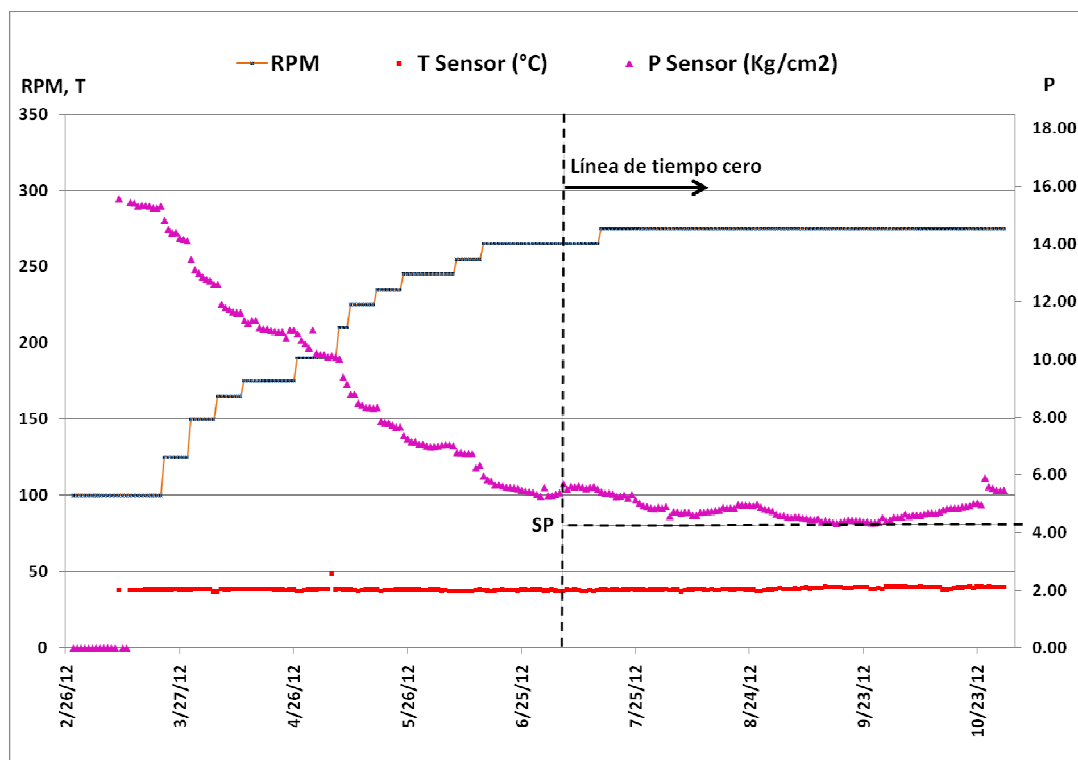


Fig. 9. Datos operativos de JCP-15

## JCP-7

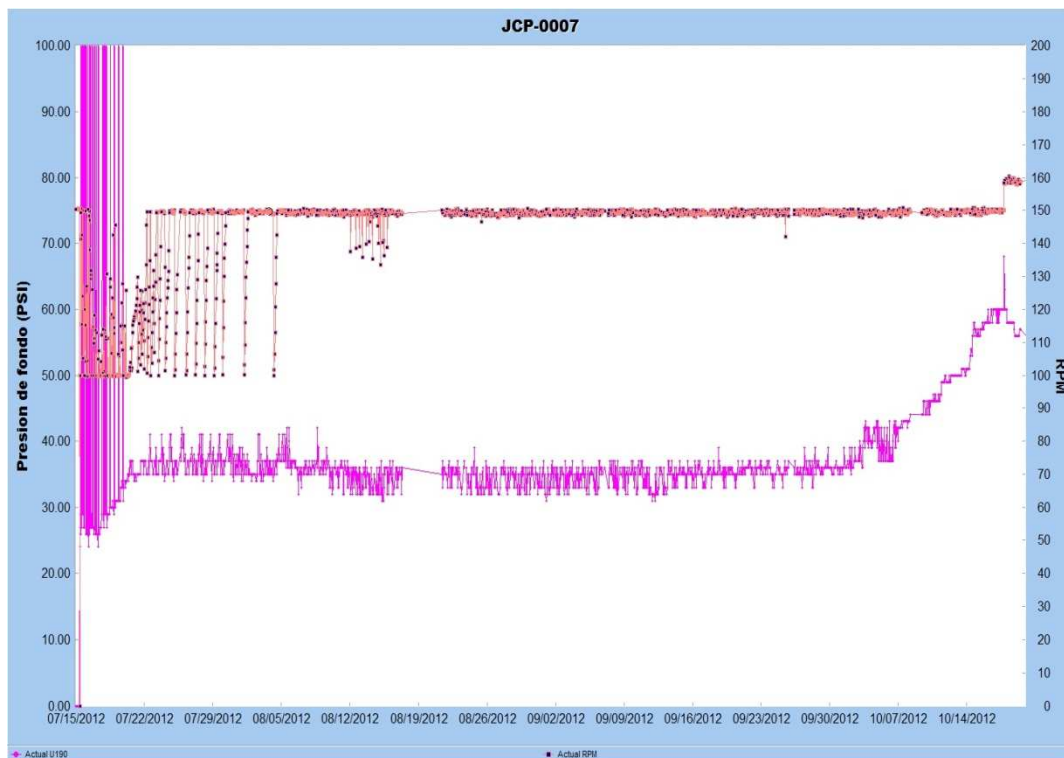
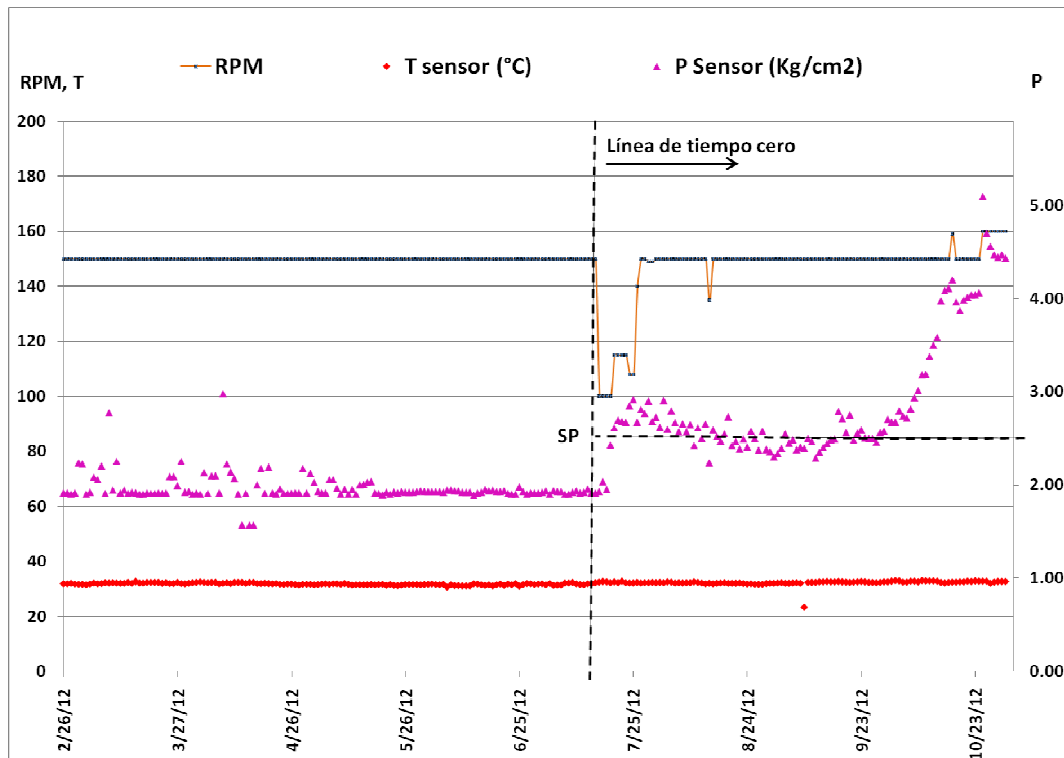
Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- Caudal recomendado: 120 m<sup>3</sup>/d
- RPM<sub>MAX</sub>: 160 RPM
- RPM<sub>MIN</sub>: 100 RPM
- SP: 2.45 Kg/cm<sup>2</sup> (35 PSI)
- P<sub>MIN</sub>: 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

Al igual que en el caso del JCP-15, este pozo se encuentra limitado en 120 m<sup>3</sup>/d, razón por la cual las máximas RPM, limitan el control del sistema. Sin embargo antes de la puesta en lazo de control, en este pozo el nivel dinámico ya se encontraba en un valor bajo [1.87 Kg/cm<sup>2</sup> (27 PSI)], con un caudal de extracción de bruta por debajo del recomendado, con lo cual se cuenta con un margen para obtener el SP mediante la regulación de velocidad de bombeo, estableciéndose como rango de RPM el intervalo [100-150 RPM] y 26 Kg/cm<sup>2</sup> (37 PSI) como SP.

Un detalle a tener en cuenta es que la fig. 10 representa los datos operativos diarios del pozo. Esta información no permite ver y determinar el comportamiento de ciertos datos debido a la frecuencia con la que dichos datos son tomados.

Con un sistema de telemetría o bien con una RTU (remote terminal unit) para almacenar los datos operativos con mayor frecuencia, sería posible analizar con mayor precisión el comportamiento del sistema. La Fig. 11 Muestra el comportamiento de las RPM y la presión dinámica de este pozo almacenados mediante un sistema de tele supervisión de pozos, demostrando que en la etapa de regulación (etapa inicial), el lazo de control se encontraba en un estado de inestabilidad, oscilando entre las máximas y mínimas RPM (100-150) (se observa que la frecuencia de oscilación de las RPM es mucho mayor que en la figura 10.). En este caso fue necesario sintonizar correctamente el VSD a través de los parámetros del controlador PID, disminuyendo la ganancia y aumentando el tiempo integral, hasta lograr la estabilización. Como puede observarse en este caso al igual que en el JCP-15 la aplicación de lazo no pudo ser explotada debido a las limitaciones de estos pozos en cuanto a extracción bruta.



## ECO-5

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- $RPM_{MAX}$ : 200 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 160 RPM
- SP: 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> (30 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

En este caso se tomó como SP 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> y como límite superior 200 RPM. Puede observarse en la fig. 12, que con 190 RPM, fue posible alcanzar una presión de 2.45 Kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto al límite inferior se seleccionó 160 RPM. En dicha figura, también puede verse que luego de la línea de tiempo cero, el VSD comenzó a regular inestablemente la velocidad de bombeo dentro del rango de RPM establecido, por lo cual se sintonizó correctamente el controlador PID del VSD. Un detalle a tener en cuenta es que se observan reiterados paros, ocasionados por el motogenerador que alimentaba el pozo.

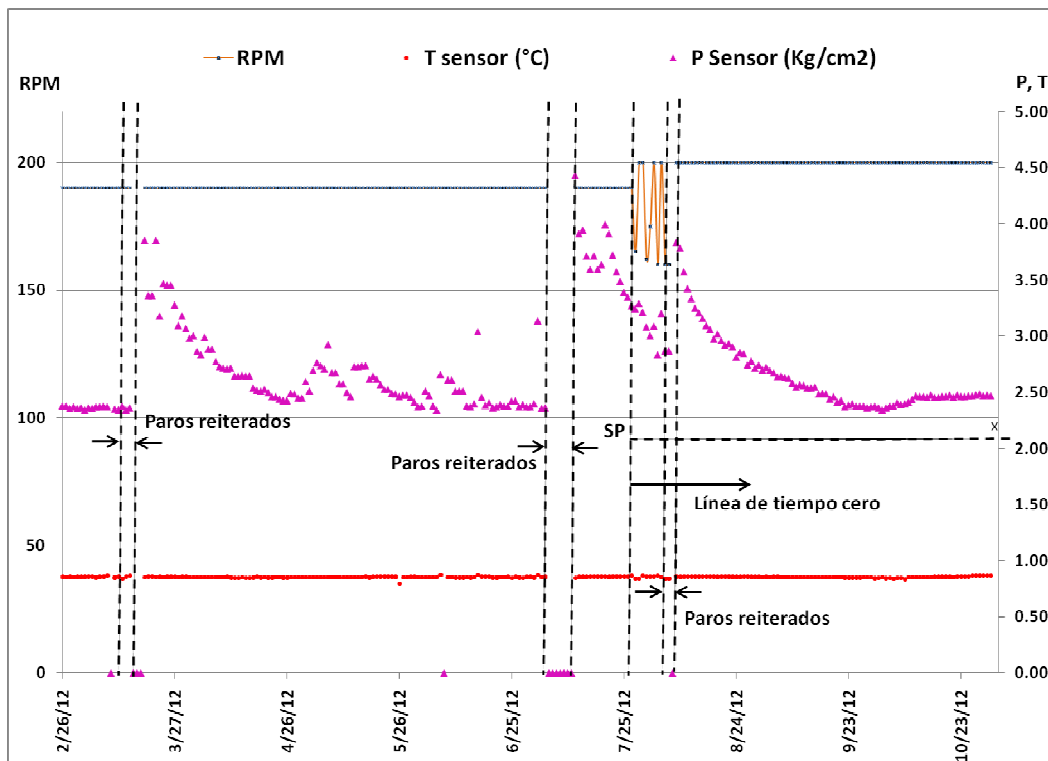


Fig. 12. Datos operativos y controles de ECO-5

## PP-23

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- $RPM_{MAX}$ : 130 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 100 RPM
- SP: 2.45 Kg/cm<sup>2</sup> (35 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

En la figura 13, puede verse que en este pozo se alcanzó la presión objetivo.

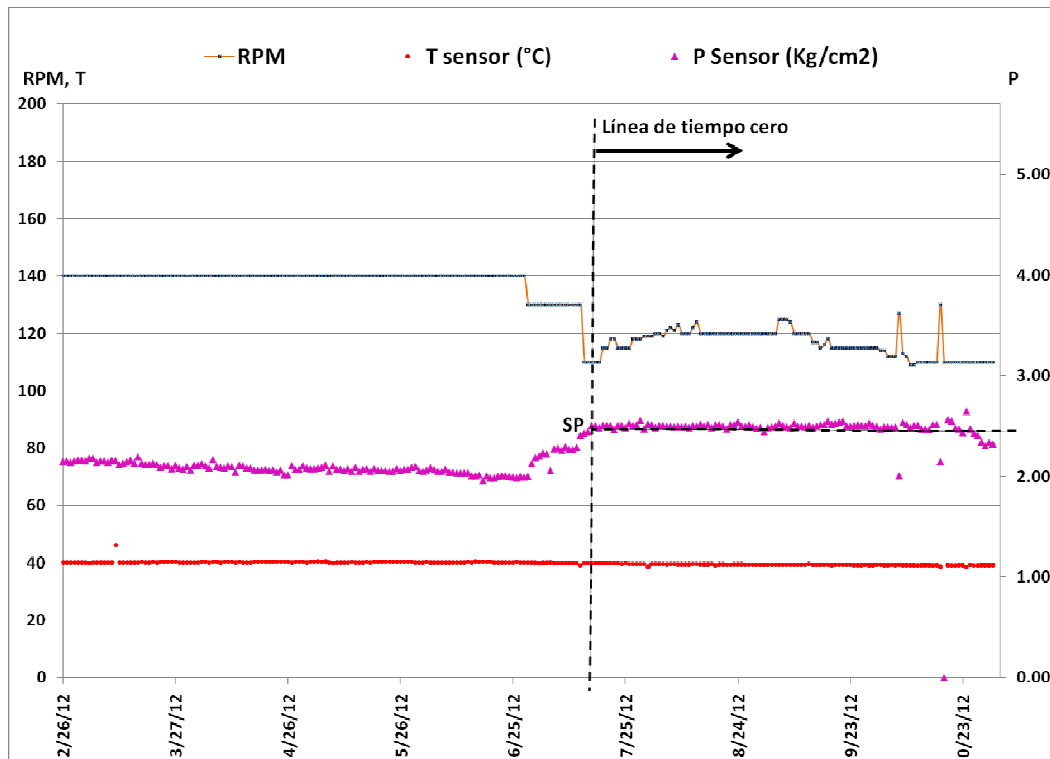


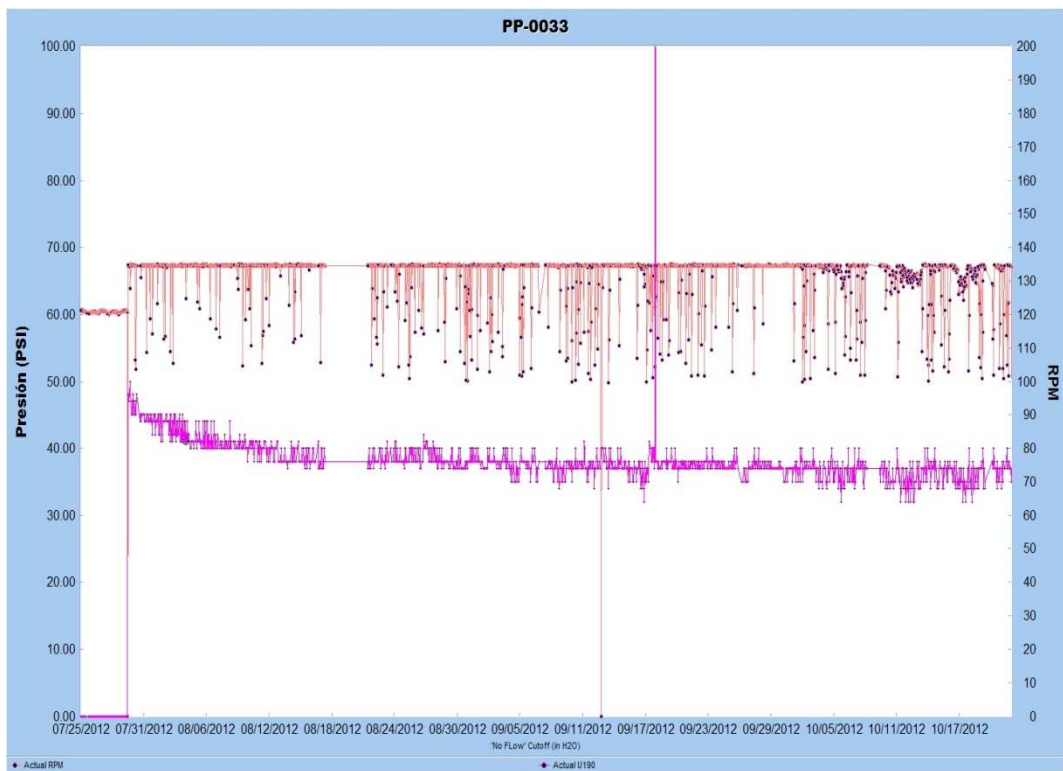
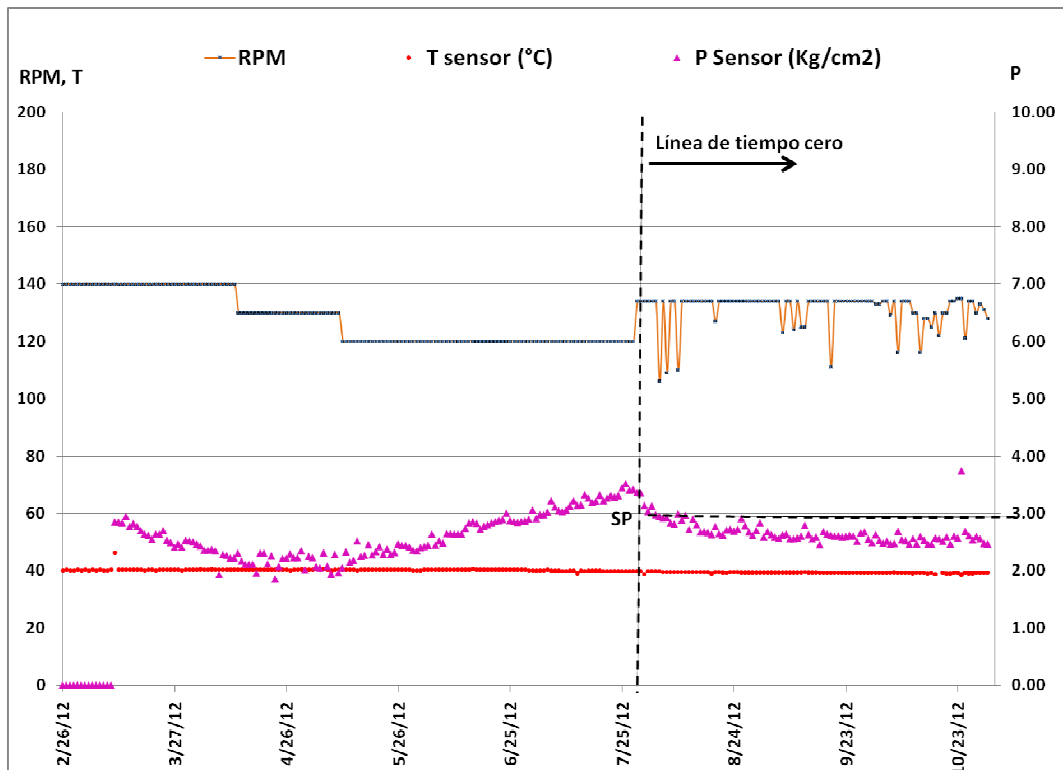
Fig. 13. Datos operativos y controles de PP-23

## PP-33

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- Caudal recomendado: 50 m<sup>3</sup>/d
- $RPM_{MAX}$ : 135 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 100 RPM
- SP: 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> (30 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

En este pozo el comportamiento observado fue bastante similar al del PP-23, como se muestra en la figura 14. Aunque en este caso fue necesario sintonizar nuevamente el controlador ya que el mismo regulaba entre las RPM máximas y mínimas. En la figura 15 puede observarse que, la sensibilidad del controlador frente a las variaciones de presión es muy alta, lo cual provocó estas oscilaciones.



## PP-14

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- $RPM_{MAX}$ : 200 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 150 RPM
- SP: 2.45 Kg/cm<sup>2</sup> (35 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

En este pozo inicialmente se seleccionó un rango de velocidades comprendido entre 140-160 RPM, pero debido a que el límite superior no fue suficiente para compensar el incremento de presión registrado entre Julio y Agosto, se decidió modificar este rango a 150-200 RPM, logrando de esta manera alcanzar el SP de manera estable.

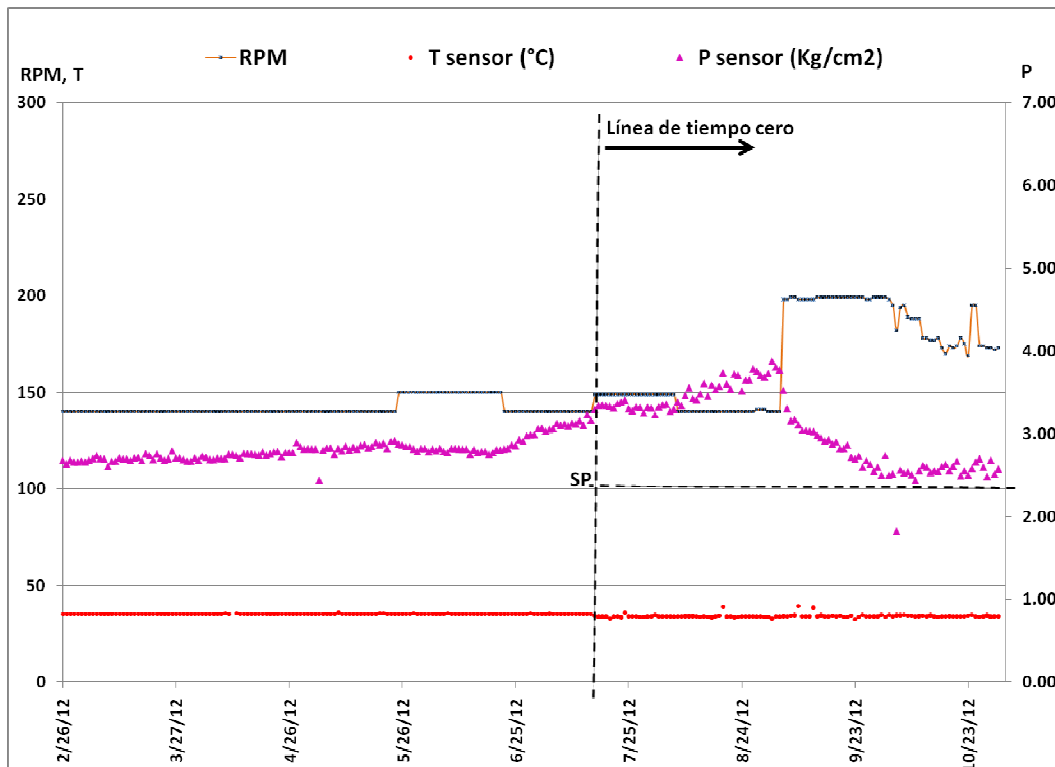


Fig. 16. Datos operativos y controles de PP-14

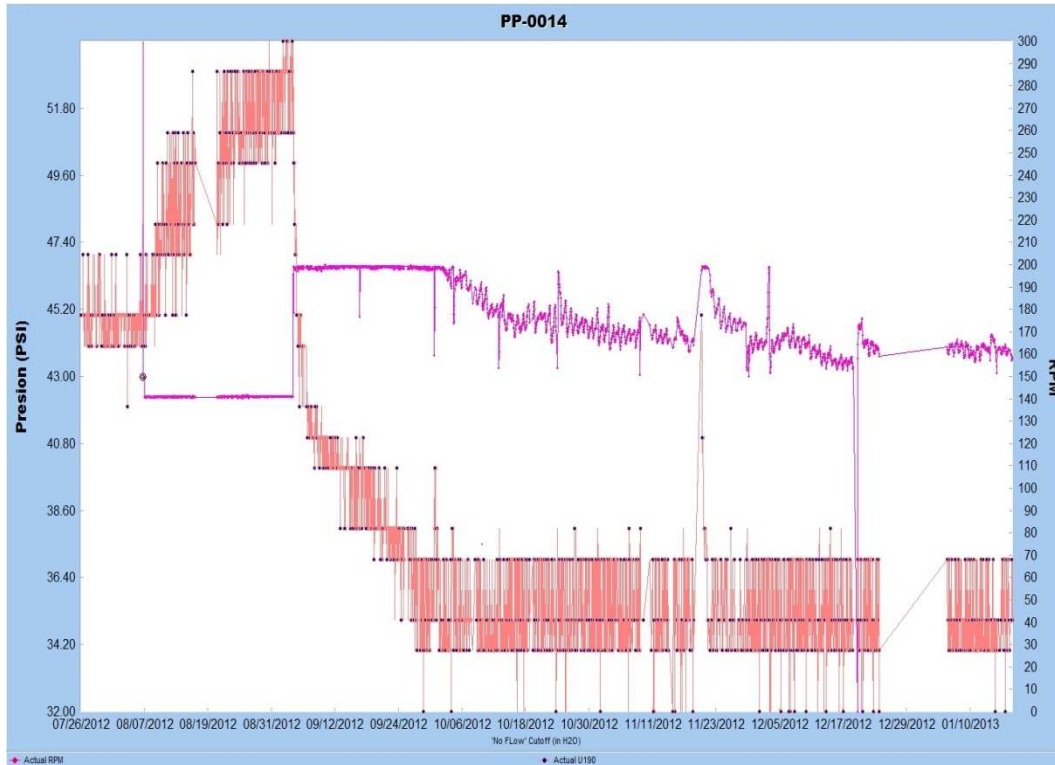


Fig. 17. Datos de presión y velocidad almacenados de PP-14

## PP-7

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- $RPM_{MAX}$ : 400 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 260 RPM
- SP: 2.45 Kg/cm<sup>2</sup> (35 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

En este pozo fue necesario incrementar el límite superior de velocidad en dos ocasiones, desde 350 a 400 RPM, puesto que la presión dinámica permanecía prácticamente constante debido a que la instalación de producción se encuentra sub dimensionada para este pozo. Con este rango, la presión dinámica comenzó a decaer con tendencia a estabilizarse cerca del SP.

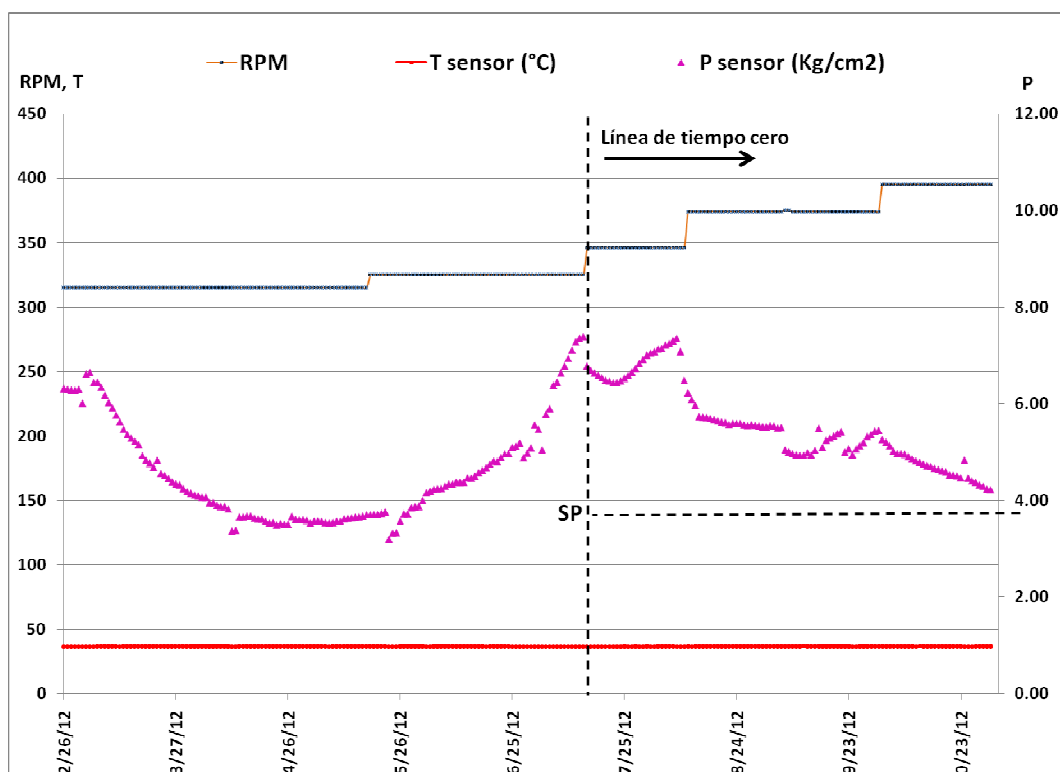


Fig. 18. Datos operativos y controles de PP-7

## ER-6

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- $RPM_{MAX}$ : 75 RPM
- $RPM_{MIN}$ : 60 RPM
- SP: 1.75 Kg/cm<sup>2</sup> (25 PSI)
- $P_{MIN}$ : 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

Este pozo fue reactivado en Julio de 2012, y se produjo una disminución brusca en su aporte a los pocos días, disminuyendo el nivel dinámico desde 2.87 a 1.4 Kg/cm<sup>2</sup>. Se decidió implementar el lazo de control como un medio de protección para la bomba y evitar que la misma trabaje sin nivel, fijándose los límites detallados arriba. Desde entonces, el pozo estuvo operando en el límite inferior de velocidad con una presión dinámica de 1.4 Kg/cm<sup>2</sup>, a mediados de Agosto, comenzó a registrarse un incremento en la temperatura de fondo pasando de 38°C a 51°C (Un incremento bastante importante, si se considera que la bomba se encuentra 19.2 m debajo del sensor). Este pozo continuó operando de esta forma y con asistencia de bacheos periódicos de agua por entre columna hasta quedar sin producción por aprisionamiento a fines de Octubre. Luego de ser intervenido, se detectó que la bomba se encontraba con signos de vulcanización en su descarga, lo cual se produjo debido al incremento de temperatura por trabajar la bomba sin nivel. Si bien este no fue un caso exitoso, pone en evidencia las limitaciones del sensor de fondo en cuanto a su resolución.

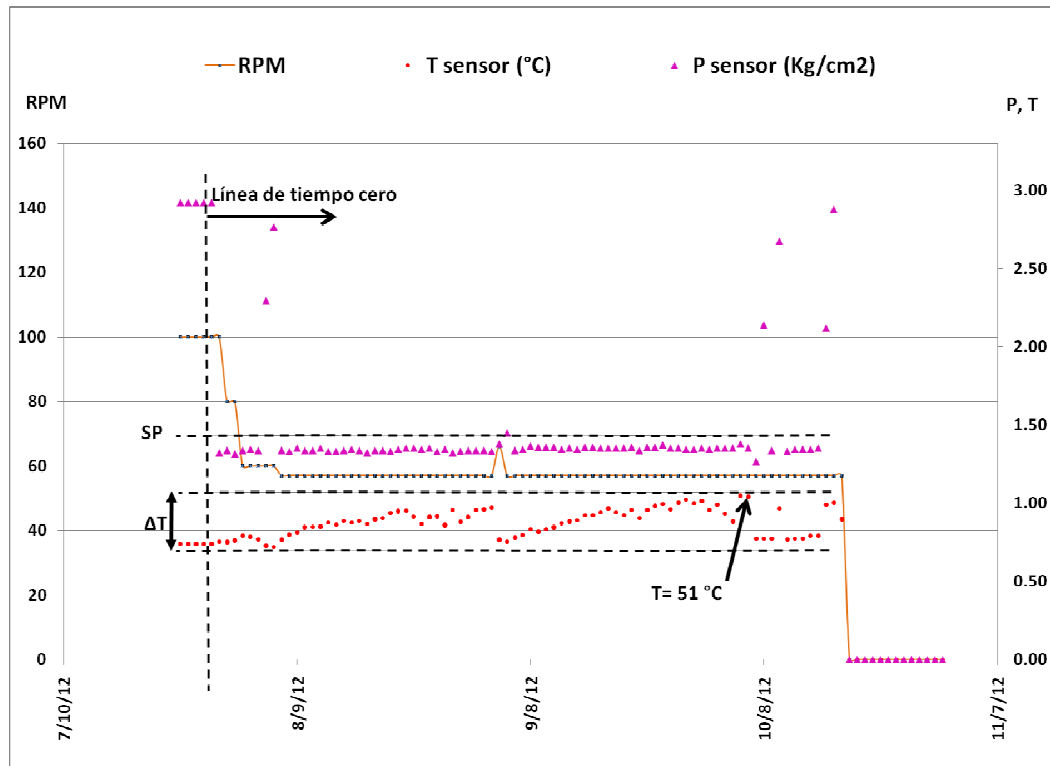


Fig. 19. Datos operativos y controles de ER-6

## ECN-1002

Controles y datos operativos hasta 31/10/2012

- Producción bruta: 20 m<sup>3</sup>/d
- Corte de agua: 76 %
- Producción neta: 5 m<sup>3</sup>/d
- Caudal recomendado: 35 m<sup>3</sup>/d
- RPM<sub>MAX</sub>: 250 RPM
- RPM<sub>MIN</sub>: 200 RPM
- SP: 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> (30 PSI)
- P<sub>MIN</sub>: 1.4 Kg/cm<sup>2</sup> (20 PSI)

Al igual que en el PP-14 y PP-7, se fue incrementando gradualmente el límite superior de RPM desde 150 RPM hasta 250 RPM entre Agosto y Septiembre de 2012 para poder compensar el incremento en la presión dinámica. Como resultado la presión dinámica comenzó a disminuir con tendencia a estabilizarse en torno al SP, aún no se observan suficientes signos de regulación por parte del VSD como para verificar la sintonización del controlador.

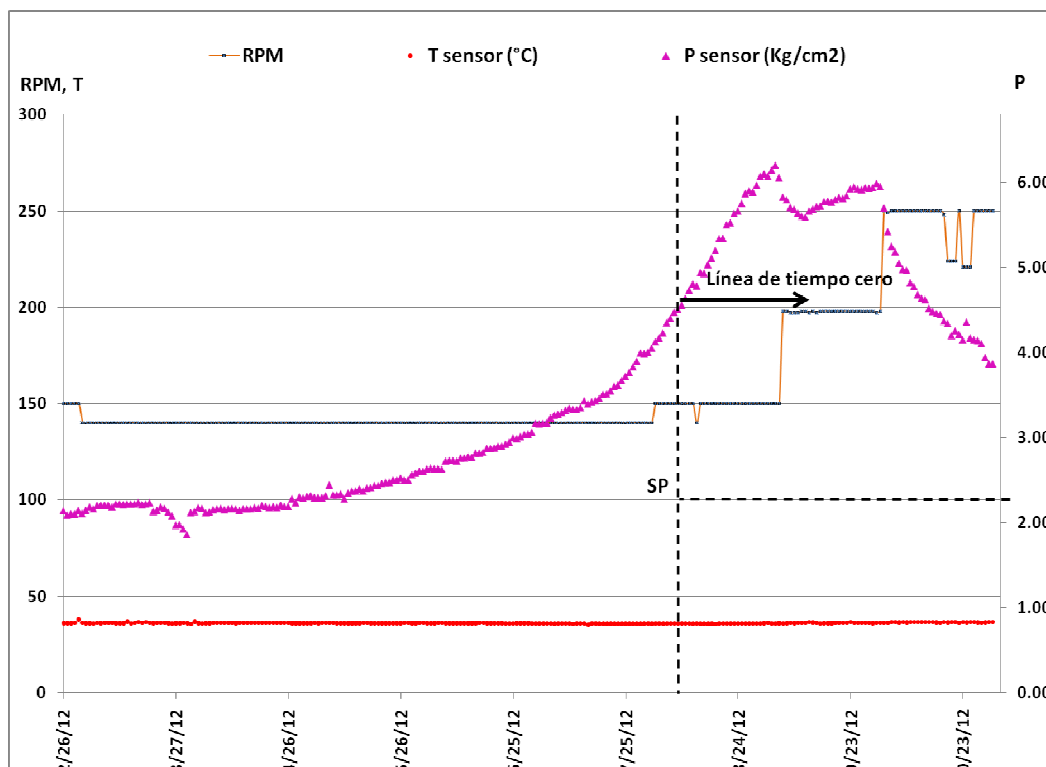


Fig. 20. Datos operativos y controles de ECN-1002

### Producción y niveles

Finalmente se exponen los gráficos de los promedios de controles de producción bruta y neta además de la suma de los controles, desde la línea de tiempo cero. Como puede observarse, se logró un incremento de producción bruta de 17% y 5% en la neta promedio.

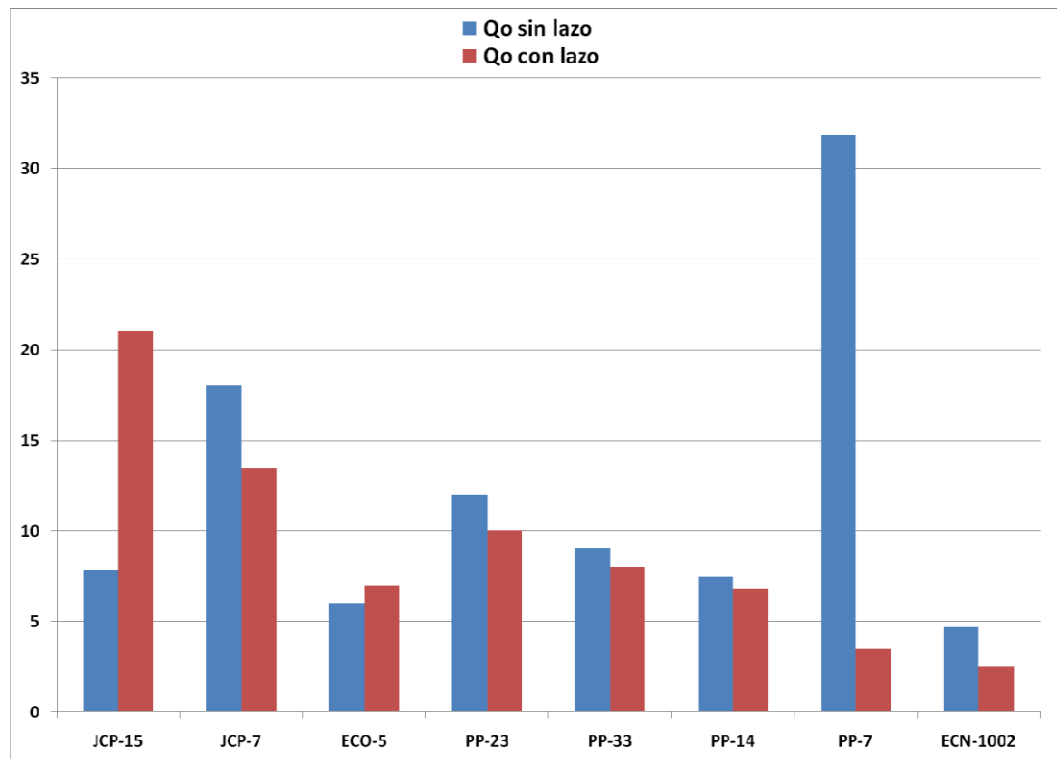


Fig. 21. Producción Neta promedio por pozo

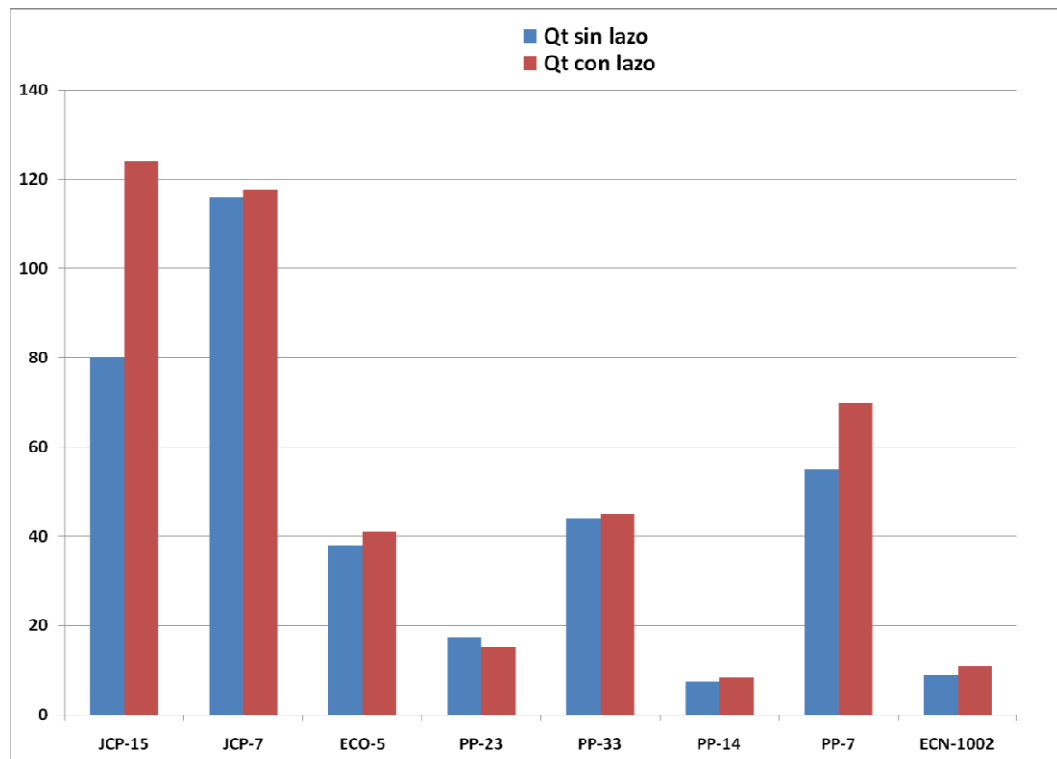


Fig. 22. Producción bruta promedio por pozo

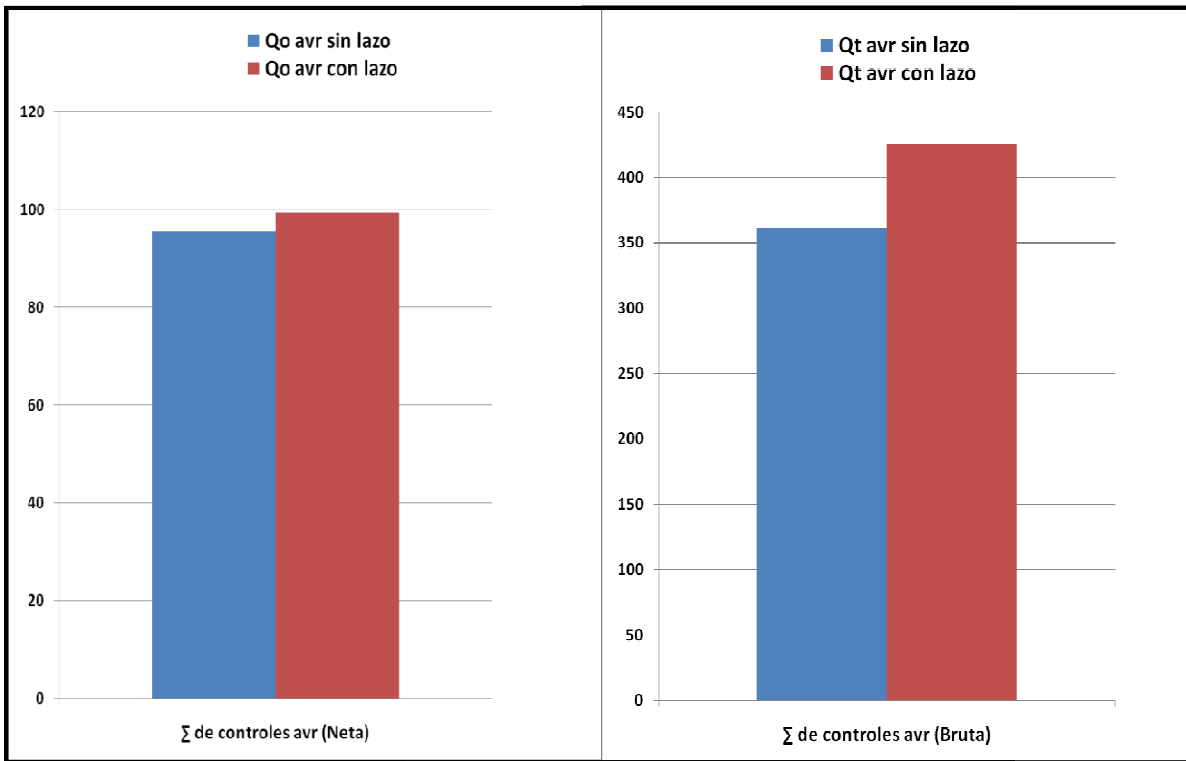


Fig. 23. Producción promedio total

## Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante el uso de esta aplicación ponen en evidencia sus ventajas, limitaciones y las consideraciones a tener en cuenta a la hora de determinar si se justifica su uso.

- Como se vio en los pozos JCP-15, JCP-7 y PP-33 cuando el mismo tiene un caudal recomendado y la producción bruta asociada se encuentra en este valor con una presión dinámica por debajo de 2.1 Kg/cm<sup>2</sup> (30 PSI), se puede usar el lazo de control como una herramienta de protección del equipamiento de fondo. Sin embargo, si la presión dinámica crece considerablemente por efecto de algún pozo inyector o productor asociado, el sistema pierde el control de la misma debido a la limitación de caudal.
- En pozos con límite de caudal y nivel dinámico alto, esta aplicación, incluso el uso de un sensor de fondo resulta poco útil.
- En pozos sin limitaciones de extracción con un nivel dinámico comprendido entre [2.1 Kg/cm<sup>2</sup> – 2.8 Kg/cm<sup>2</sup>] (30 PSI – 40 PSI) como ECo-5 y PP-23, al usar esta aplicación con un SP de 2.45 Kg/cm<sup>2</sup> (35 PSI), lógicamente no se conseguirán incrementos considerables en la producción. En estos casos, mediante la aplicación de lazos de control se obtiene la protección ya mencionada, asegurando la integridad de la bomba PCP.

- Si se cuenta con sistemas de almacenamiento de datos o un sistema de tele supervisión sería posible realizar un seguimiento y análisis mucho más preciso.
- Si el controlador PID del lazo no se encuentra correctamente sintonizado, la inestabilidad en la velocidad de bombeo puede provocar pérdidas en la producción, cuando el rango de velocidades es muy amplio. Por lo cual se recomienda, inicialmente usar un rango bastante acotado o bien usar una ganancia baja con un tiempo integral alto.
- En pozos con un bajo aporte como el ER-6, esta aplicación no es viable debido a las limitaciones del sensor de fondo en cuanto a resolución. Como se comentó anteriormente este mide presión absoluta, es decir que cuando mide  $0.98/1.05 \text{ Kg/cm}^2 \pm 0.35 \text{ Kg/cm}^2$  ( $14/15 \text{ PSI} \pm 5 \text{ PSI}$ ) ya no tendríamos una referencia confiable del nivel dinámico, por lo cual al tener un error de  $0.35 \text{ Kg/cm}^2$  aproximadamente, no se debería tomar como SP valores próximos a  $1.4 \text{ Kg/cm}^2$  (20 PSI).
- Los límites y configuración del controlador del lazo, en la mayoría de los casos debieron ser modificados durante la operación del sistema para obtener los resultados deseados. No se puede definir a priori cómo se comportará cada pozo al usar esta aplicación, razón por la cual se parte de una configuración básica y la misma se ajusta en función a la respuesta de cada pozo.
- Se recomienda usar esta aplicación en pozos con presiones dinámicas superiores a  $4.2 \text{ Kg/cm}^2$  (60 PSI) para poder optimizar completamente el sistema, como se vio con los pozos PP-14, PP-7 y ECN-1002, de manera tal de alcanzar automáticamente el SP con el incremento de producción asociado. Cuando el pozo tenga un límite de extracción, sería conveniente que la extracción se encuentre por debajo de este límite en un 30/50 %.
- Otro factor que resulta de gran importancia, es el mantenimiento de estos equipos. Ya que la presencia de ruido EMC (electromagnetic compatibility) en campo, malas puestas a tierra o condiciones extremas de temperatura pueden ocasionar errores de medición en el sistema. Por lo tanto, la disponibilidad de personal para mantenimiento por parte de la empresa de servicios, juega un papel importante. Como consideración adicional, la presencia de empalmes en las proximidades de boca de pozo puede ocasionar problemas de filtrado en el cable si se realizan bacheos periódicos de agua o petróleo por anular.

## **Bibliografía**

Datos técnicos de los elementos de la instalación.

Experiencia de otros yacimientos

Mediciones y datos tomados directamente en el Campo.

## **Agradecimientos**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que desarrollan tareas en las Áreas El Corcobo Norte, Cerro Huanul Sur, Jagüel Casa de Piedra, El Renegado, Gobernador Ayala Este y Puesto Pinto. Sin su constante apoyo, esmero, dedicación y buen humor, hubiera resultado imposible de realizar.