

Evolución y Automatización del Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP) en Áreas El Porvenir y Aguada Baguales, provincia de Neuquén.

Ing Mariano Matías Montiveros; PLUSPETROL S.A. mmontiveros@pluspetrol.net
Ing Alejandro Juan Sampaol; PLUSPETROL S.A. asampaol@pluspetrol.net

Sinopsis

El Objetivo de este trabajo es exponer la optimización alcanzada por medio de la aplicación de las PCP como sistema de extracción mediante la utilización de un sensor en fondo de presión y temperatura, comunicado a un controlador de velocidad en superficie.

La aplicación es llevada a cabo en yacimientos maduros que presentan capacidad de extracción por bombeo mediante cavidades progresivas con caudales brutos inferiores a 200 m³/día, cuyas temperaturas en fondo resultan inferiores a 50 °C, están bajo influencia de recuperación secundaria, se verifica producción de finos de formación y se hallan a profundidades inferiores a los 1100 metros.

Dado un valor de presión de fondo, ingresado por el operador, el controlador de velocidad modifica la frecuencia de salida, llevando a incrementar o disminuir la velocidad de la bomba hasta alcanzar el valor deseado. De esta manera, se logra una sumergencia mínima límite en la bomba recomendada por el fabricante, protegiendo el equipamiento de fondo y al mismo tiempo dando una mejor respuesta al comportamiento del reservorio en proyectos de secundaria.

Hasta el 31 de Octubre de 2009, se han equipado 13 pozos con sensor de presión y temperatura en fondo. En el presente trabajo, se expondrán los motivos por los cuales se decidió adoptar esa instalación y resultados alcanzados en cada uno de ellos.

De esta manera, se logró un incremento promedio alrededor del 30% de producción neta, sin aumentar la frecuencia de intervenciones en el pozo debido a problemas inherentes al nuevo equipamiento de fondo.

Introducción

El presente trabajo, se ha desarrollado en su totalidad en las áreas hidrocarburíferas “El Porvenir” y “Aguada Baguales”, pertenecientes a la Cuenca Neuquina, sitas en la Provincia de Neuquén.

Las mencionadas áreas, se encuentran en explotación desde mediados de los años '40 y '60 respectivamente y bajo influencia de recuperación secundaria desde mediados de los '90.

A partir de ese momento resultó necesario comenzar a mover un incremento sustancial de producción bruta. Para lo cual, fue necesario implementar otros métodos de extracción capaces de absorber este incremento. Por lo cual, el sistema PCP (*Bombeo por Cavidades Progresivas*) fue tomando una relevancia considerable; mayormente en el área El Porvenir.

En la actualidad, se producen con PCP 5500 m³/día de bruta, lo que representa el 50% de la producción del campo. Asociado a ello, se tienen 145 m³/día de neta, lo que representa el 40% del total. El caudal promedio que se produce con este tipo de sistema está en el orden de los 120 m³/día de bruta, para un total de 47 pozos.

En Aguada Baguales, se cuenta con 4 pozos equipados con PCP que extraen una producción bruta de 125 m³/día que representa el 11% del total; asociado a ello se tienen 12 m³/día de neta, que equivalen al 5% del total.

Dentro del marco de este trabajo, se tienen 13 pozos en El Porvenir y 2 pozos en Aguada Baguales equipados con sensor de presión y temperatura en fondo y sistema de lazo de control en superficie; que serán objeto de este estudio.

El sistema de control en general está compuesto por un equipo de fondo y un equipo en superficie. A continuación, se detallarán todos y cada uno de los componentes.

Desarrollo

Componentes de la instalación

El sistema controlador con sensor en fondo, cuenta con dos componentes básicos:

- Equipo de fondo: lo conforman el sensor y el mandril porta sensor; además del cable TEC (*Tubular Encapsulated Conductor*) que es el encargado de hacer de interfase entre el fondo y la superficie.
- Equipo de superficie: lo conforman el variador de frecuencia y la unidad de adquisición de datos.

Sensor:

Es del tipo piezoeléctrico, el cual convierte una presión en una señal de tensión. La presión ejercida, es producto de la columna de fluido del anular por sobre el sensor. Está alojado en el mandril porta sensor, el cual se encuentra instalado a una distancia de 20 metros aproximadamente del equipo de fondo. Esta longitud de separación radica en que es necesario, para una mejor calidad de medición y mayor durabilidad del instrumento, alejar al sensor de la zona de mayores vibraciones.

Están calibrados para una presión máxima de 210 kg/cm² (3000 psi) y 70 °C de temperatura. El error de medición, se halla aproximadamente al 0.15 % del fondo de escala; es decir, en torno a las 5 psi.

La secuencia lógica de funcionamiento es la siguiente:

Estipulado un valor de P_{wf} (*Presión Dinámica de Fondo*), se calibran velocidad máxima y mínima de rotación. Eso genera un intervalo de velocidades posibles. Entonces, dado el valor de presión objetivo mencionado, el variador de frecuencia acelera o desacelera la bomba de tal manera de lograr primero la presión objetivo y luego, mantenerla. El detalle de la lógica, puede verse en la figura 1; y en la figuras 1 a y 1 b puede observarse el sensor de fondo propiamente dicho.

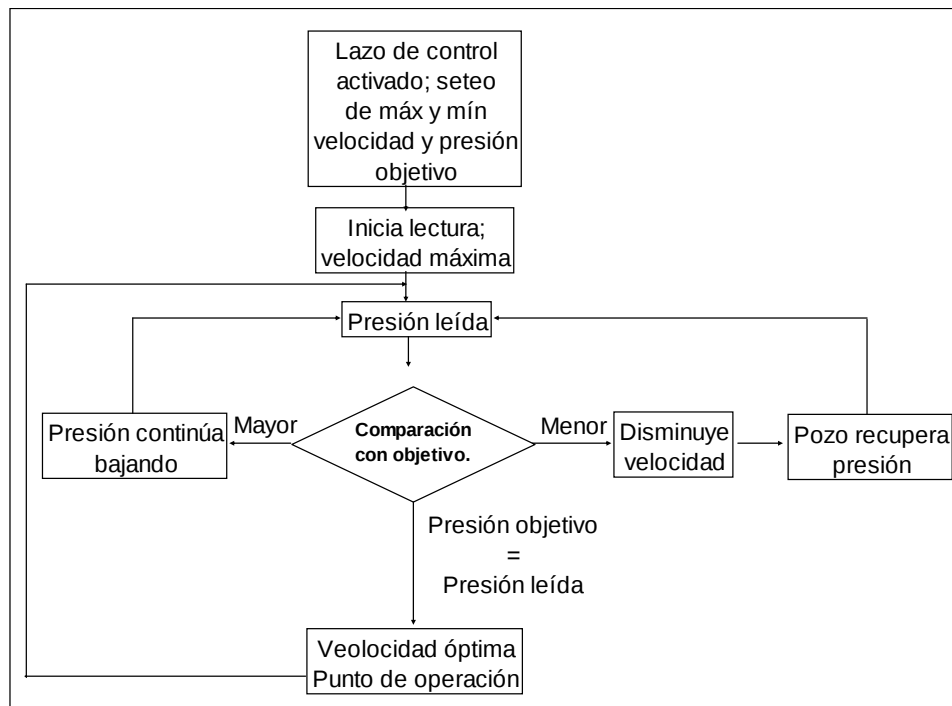


Figura 1: lógica del sistema



Figura 1 a: Sensor de fondo

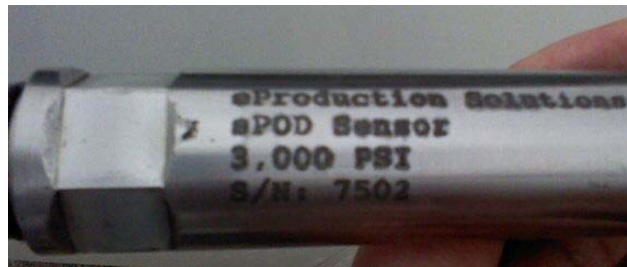


Figura 1 b: Sensor de fondo; detalle de la máxima escala

Mandril porta sensor:

Similar a los mandriles utilizados para pozos inyectoros. La diferencia radica en que el bolsillo alojamiento se encuentra por fuera de la línea de flujo. Allí, se halla una rosca en la parte inferior del alojamiento. La separación entre la rosca y el bolsillo alojamiento es necesaria para permitir que la presión de entre columna actúe sobre el sensor. En las figuras 2 y 2a, puede apreciarse el detalle mencionado.

También cabe la posibilidad de sensar la lectura en la línea de flujo. Dependerá de la aplicación del equipamiento utilizar una u otra alternativa. Sin embargo, para todos los casos, lo que se toma como referencia es la presión dinámica de fondo; o sea, la “sumergencia” de fluido por sobre el sensor.



Figura 2: Mandril porta sensor



Figura 2 a: Detalle de bolsillo porta sensor

Cable TEC:

Es un cable formado por un conductor aislado y encapsulado dentro de un tubo capilar de 6.25 mm de diámetro exterior. Dicha cobertura exterior o capilar es de acero inoxidable. La función de este recubrimiento, además de protección mecánica es evitar “ruidos” y contaminación de la lectura del sensor.

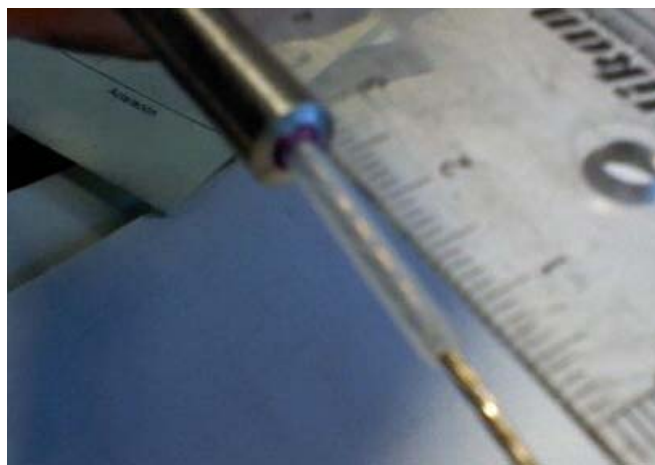


Figura 3: Cable TEC

Variador de Frecuencia:

Es el comando del motor. Manualmente o de manera automática, puede variar a voluntad y entre ciertos límites la velocidad de rotación del motor. Dichos límites están dados por los armónicos que se inducen y por la temperatura de trabajo del motor, siendo el máximo de 75 Hz y el mínimo de 25 Hz. Por ende, se traduce en velocidad de rotación del rotor de la bomba, provocando modificaciones en el caudal de extracción del pozo.

Por otra parte, es en el variador en donde se programan las protecciones y alarmas del sistema.

Las principales protecciones son:

- Protección por torque: dada por la resistencia de las varillas.
- Protección por baja velocidad: dada por la mínima frecuencia de operación del motor.

Sin embargo, estas dos protecciones van en conjunto; dado que un incremento de torque conlleva a una disminución de la velocidad.

En la figura 4, puede verse uno de los modelos de variadores utilizados. En este caso, no son del tipo unidad compacta, puesto que el dispositivo adquisidor de datos está ubicado fuera del gabinete del variador.



Figura 4: Variador 40 HP

Unidad adquisidora de datos:

Es en donde se toma la lectura de presión y temperatura de fondo y a la vez es transferida hacia el variador. Posee una memoria capaz de almacenar los datos elegidos por el operador a lo largo de 30 días; según el intervalo de tiempo especificado (por ejemplo velocidad de rotación, presión y temperatura en fondo, consumo de corriente, torque en las varillas).

Toma una potencia de 3.5 W a una tensión de 24 Vdc; entregando una corriente de salida (señal) de 4 a 20 mA. Esta señal de salida, es comunicada al variador de frecuencia en el cual se produce el lazo de control.

En la figura 4 a, puede observarse uno de los modelos de unidad adquisidora de datos. Puede apreciarse el visor de lectura y la conexión para la bajada de los datos a una PC portátil.



Figura 4 a: Unidad adquisidora de datos

Implementación – Instalaciones

El primer equipo con sensor en fondo, fue instalado en el pozo NA-172 el 09 de Septiembre de 2007. El esquema de instalación de puede ver en la figura 5.

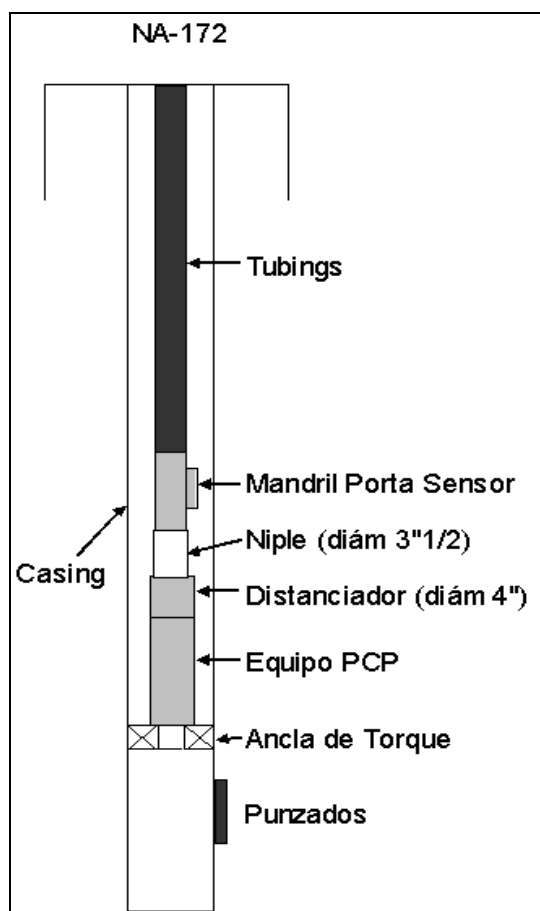


Figura 5: Esquema instalación de primer sensor; NA-172

Luego de 58 días de funcionamiento, se pierde la señal del sensor. Se realizaron ensayos previos al cable y se determinó la zona de pérdida de continuidad.

Luego de realizada la intervención en el pozo, se verificó que el cable TEC estaba seccionado en tres partes, todas ellas en la zona próxima al equipo de fondo; causas atribuidas, luego del análisis de falla, a la vibración producida en el equipo de fondo.

Por otra parte, se verificó una corrosión excesiva en las grampas protectoras y en el mandril porta sensor. En ese momento, el material de todos estos componentes era Acero grado N – 80.

Entonces, en virtud de lo observado se optó por realizar las siguientes modificaciones:

- Proteger grampas y mandril porta sensor contra la corrosión. Desde ese momento y hasta la actualidad se construyen en acero grado J – 55 niquelado.
- Alejar el sensor de la zona de mayor vibración; colocando el mandril porta sensor unos 20 metros (2 tubings) por encima de la descarga de la bomba. El esquema actual de la instalación puede verse en la figura 6.

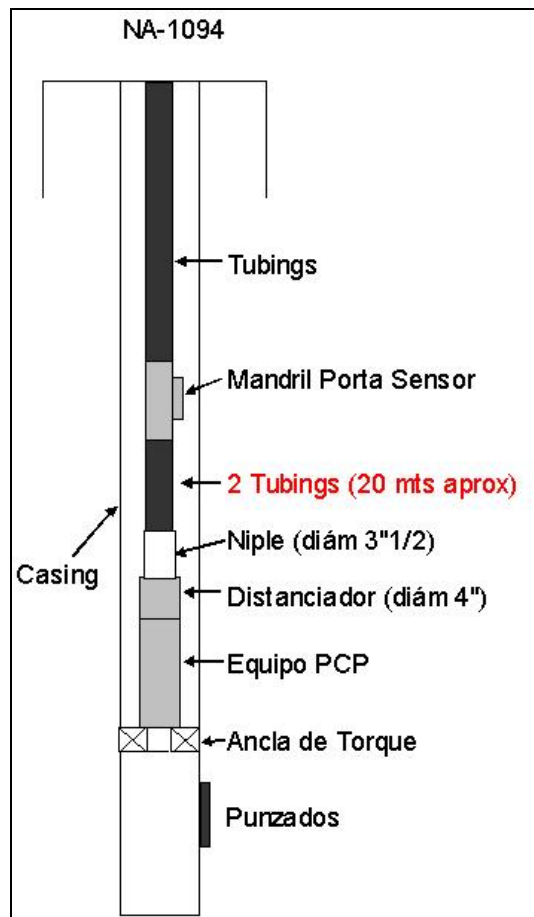


Figura 6: Esquema instalación de segundo sensor; NA-1094 (adecuación)

Posteriormente, luego de la falla mencionada líneas arriba y tomando los recaudos necesarios para el caso, se instaló el segundo sensor de fondo en el pozo NA-1094 el día 22 de Octubre de 2007.

Evolución

Desde ese momento (22 / 10 / 2007) y hasta hoy, se tienen instalados la cantidad de 13 sensores en El Porvenir y 2 sensores en Aguada Baguales. En la figura 7, puede verse la progresión de la instalación; en la misma se incluye un sensor más, que es el que se bajó en NA-172 (el cual hoy no se encuentra).

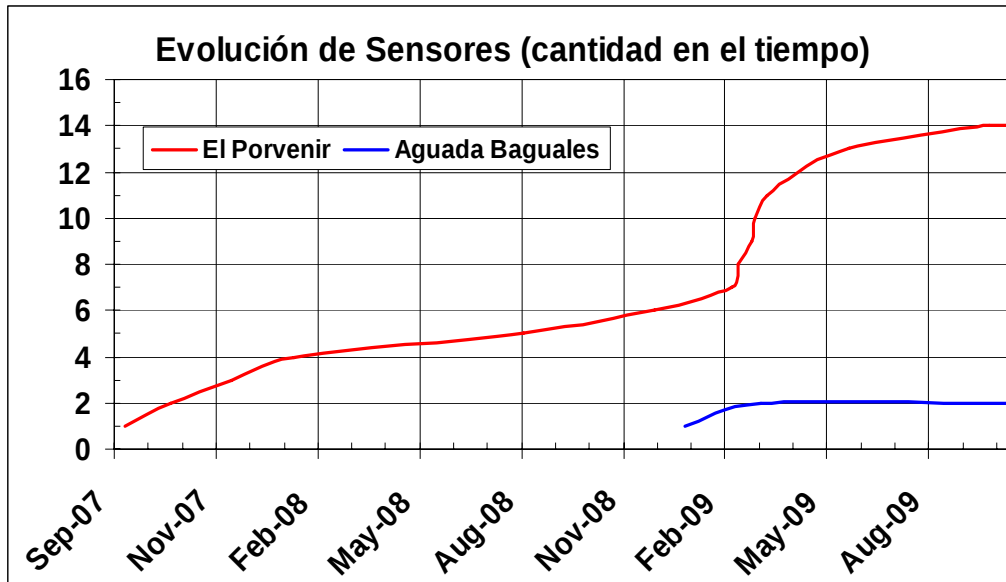


Figura 7: Evolución temporal de la cantidad de Sensores

Aplicación – Resultados

En un primer momento y dada la falla prematura en el pozo NA-172, no se pudo evaluar con certeza la performance de esta aplicación. Sin embargo, luego del análisis de falla realizado; y detectadas las causas, se realizó la segunda instalación en el pozo NA-1094 (como fue mencionado arriba).

Allí, si se pudo verificar la conveniencia y las bondades de esta instalación, obteniendo en este pozo un incremento del 100 % de producción neta (ver figura 22); con una evolución en la Pwf desde los 28 kg/cm² hasta los 8 kg/cm² que se registran en la actualidad. En un primer momento, se evaluó una Pwf objetivo de 11 kg/cm². Luego, observando la estabilidad del sistema y las prestaciones del equipamiento de fondo, se decidió disminuir ese objetivo a los 8 kg/cm². Consecuentemente, con una ganancia en producción. En la figura 8, puede observarse la evolución de la Pwf a lo largo del tiempo. No se recomienda ir por debajo de ese valor, ya que traducido a presión sobre el sensor, entra en juego el error de medición; pudiendo esto, traer aparejado algún inconveniente.

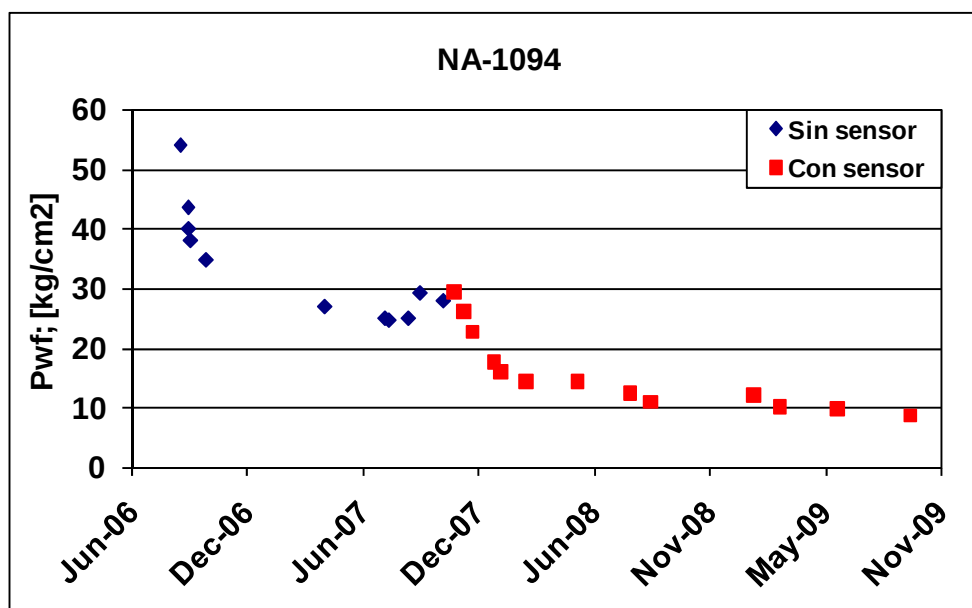


Figura 8: Evolución temporal de Pwf

Dada la performance observada en el NA-1094, y del comienzo de la respuesta de secundaria en otras zonas del Yacimiento, es que se optó por adoptar este dispositivo para las instalaciones de pozos a los que se les realizaría cambio de sistema de extracción y a los pozos de la campaña de perforación.

A continuación, se expondrán los resultados obtenidos en cada unos de los pozos que fueron adecuados a una instalación con sensor de fondo.

NA-1085; adecuación:

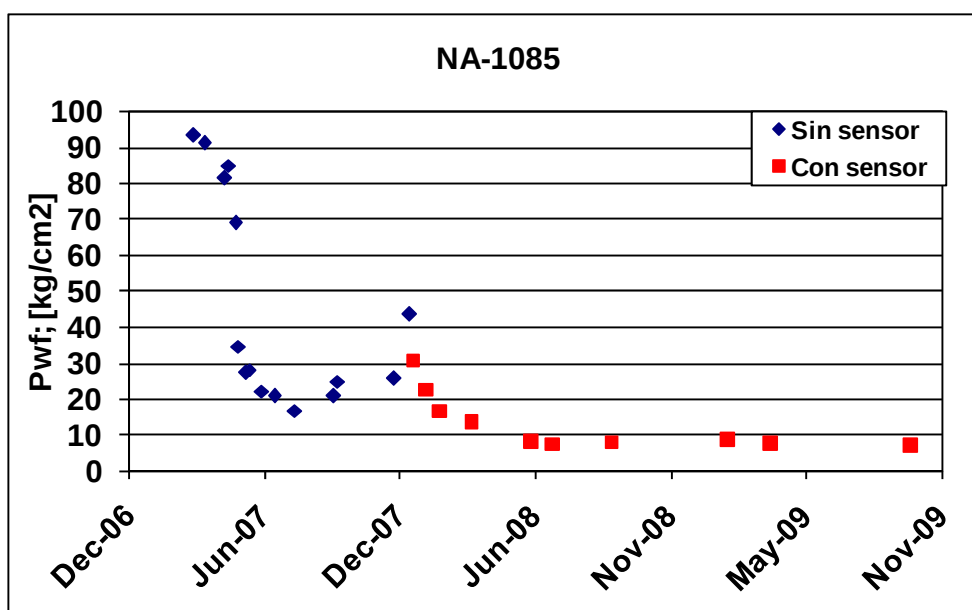


Figura 9: Evolución temporal de Pwf

NA-1111; adecuación:

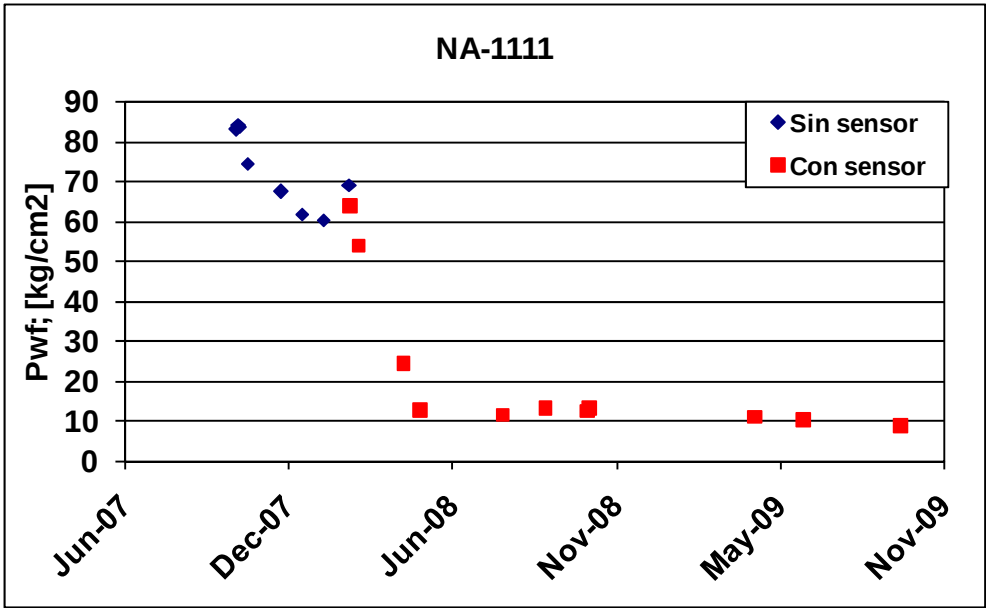


Figura 10: Evolución temporal de Pwf

NA-1126; pozo campaña perforación 2008:

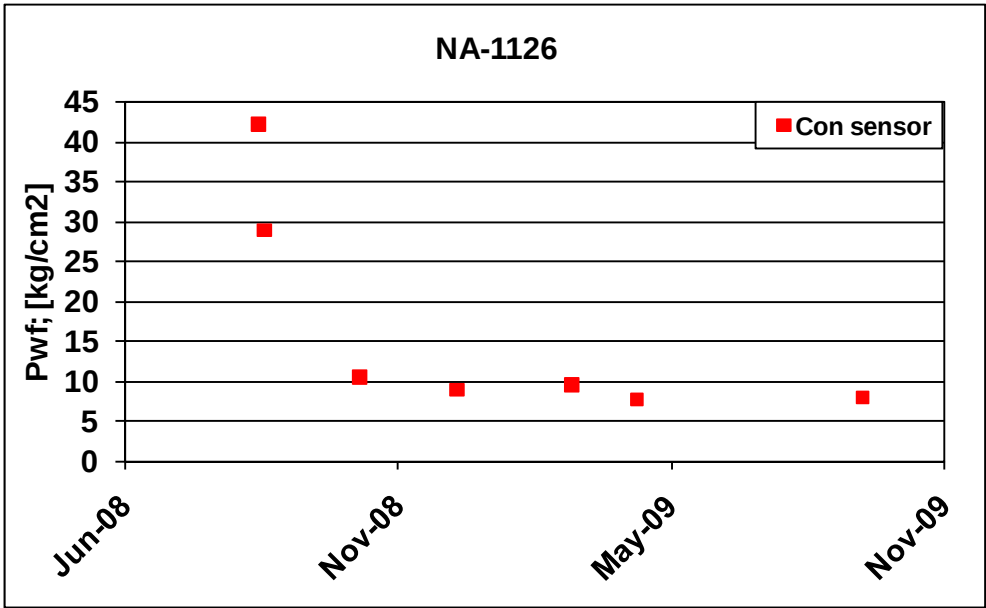


Figura 11: Evolución temporal de Pwf

NA-1080; adecuación:

En este caso, cabe la siguiente aclaración:

No se ha alcanzado el valor de Pwf objetivo, debido a que existen 5 paquetes de punzados separados por una distancia de, aproximadamente, 40 metros. Por lo tanto, y debido a que el sensor se encuentra unos 30 metros por encima del punzado superior, es que la Pwf considerada al punzado medio es mayor que la objetivo. Y por otro lado, no se puede bajar más el valor de sumergencia sobre el sensor debido a que, como se comentó oportunamente, se estaría en riesgo de caer en un valor cercano al error intrínseco del dispositivo.

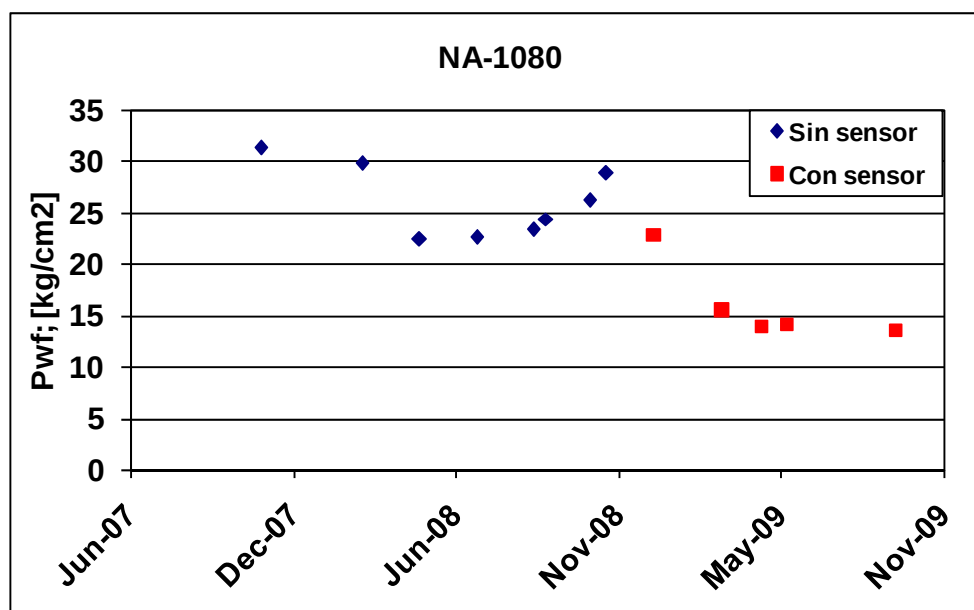


Figura 12: Evolución temporal de Pwf

NA-1050; adecuación:

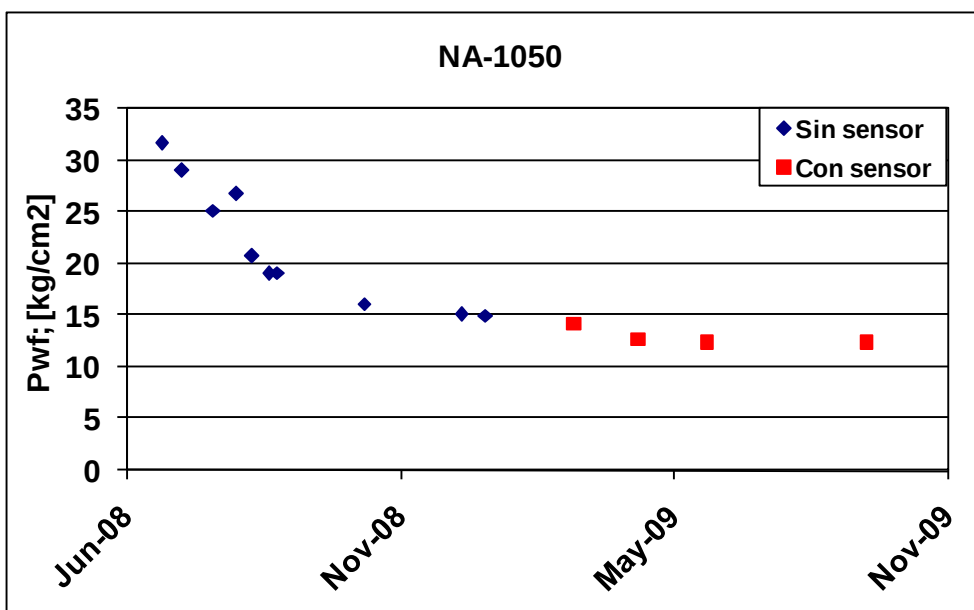


Figura 13: Evolución temporal de Pwf

NA-1132; pozo campaña de perforación 2009:

En este caso, aún no se ha alcanzado la Pwf objetivo; ya que el pozo está situado en zona de acuífero activo. Sin embargo, se muestra una clara tendencia a que el objetivo será logrado.

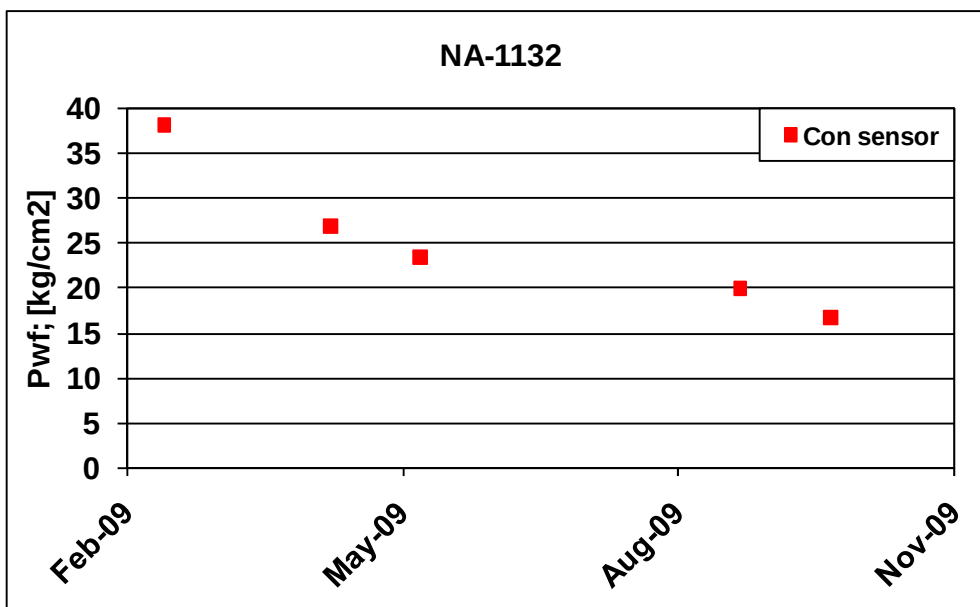


Figura 14: Evolución temporal de Pwf

NA-1131; pozo campaña de perforación 2009:

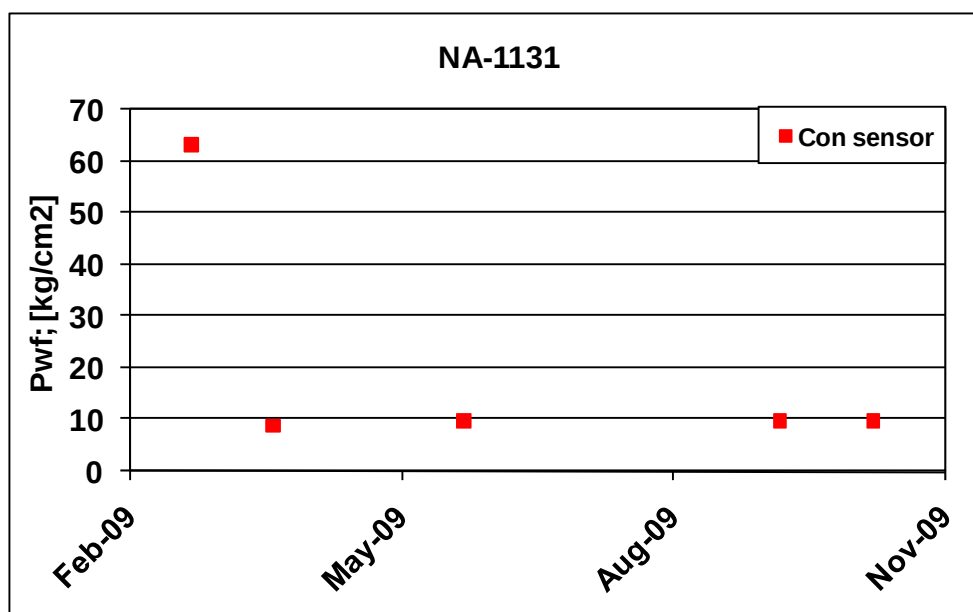


Figura 15: Evolución temporal de Pwf

NA-156; adecuación:

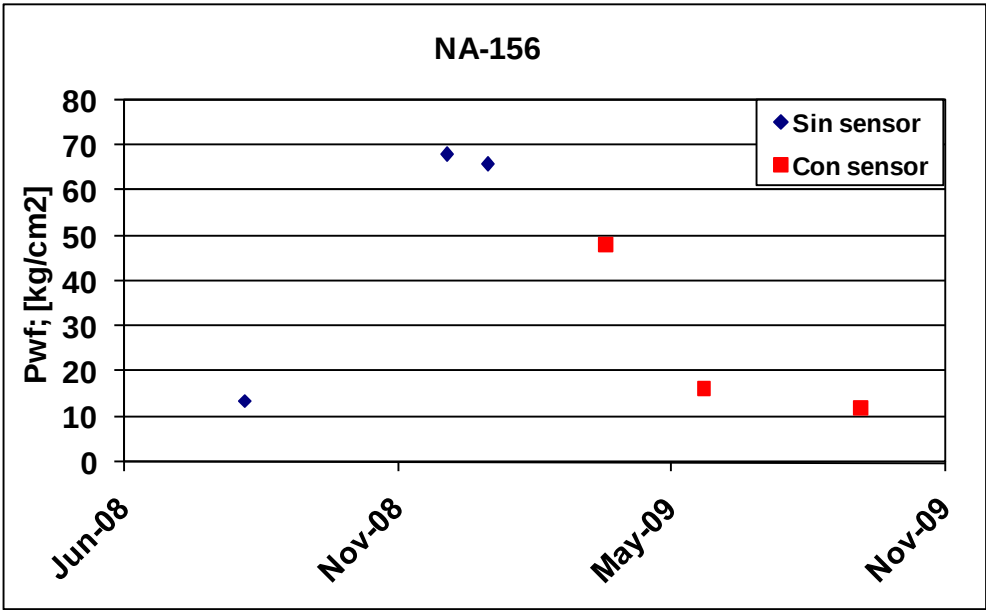


Figura 16: Evolución temporal de Pwf

NA-1124; pozo campaña de perforación 2009:

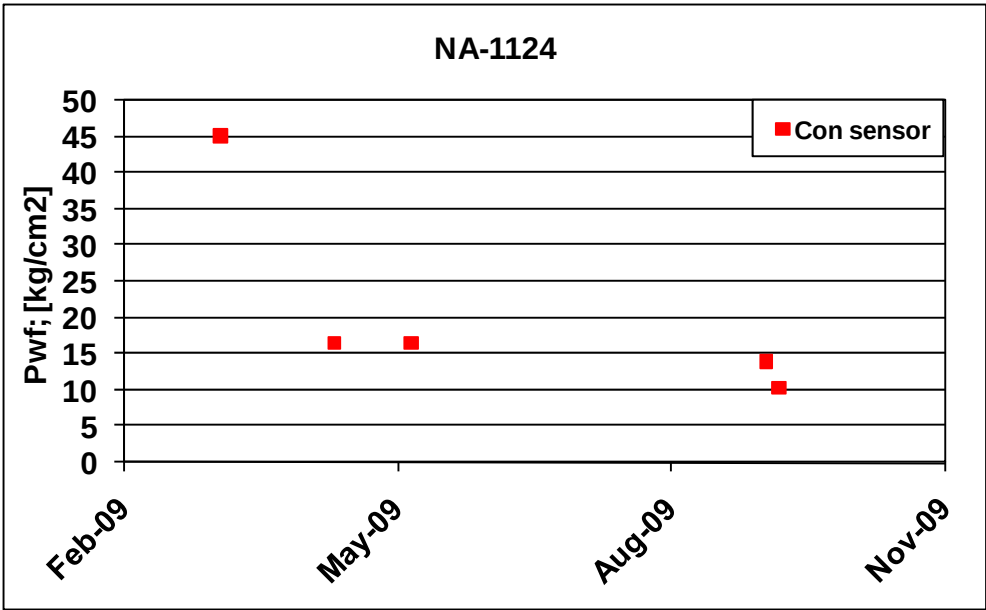


Figura 17: Evolución temporal de Pwf

NA-106; adecuación

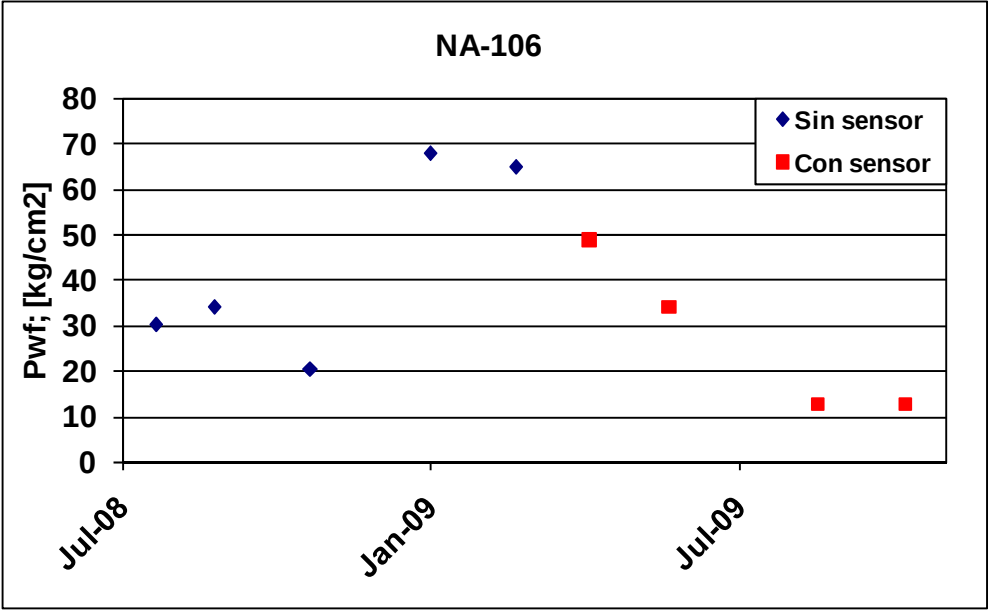


Figura 18: Evolución temporal de Pwf

NA-1044; adecuación:

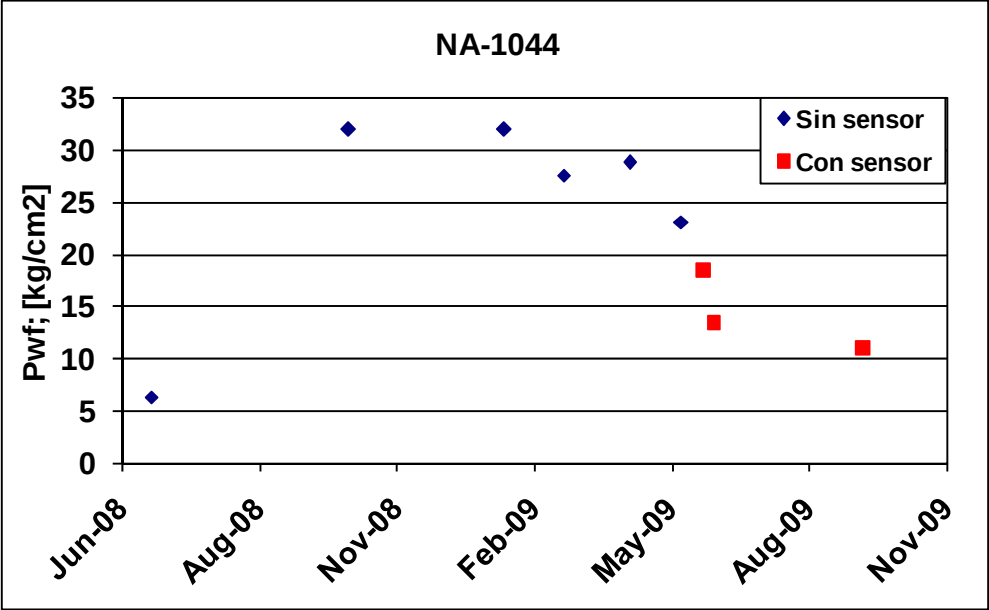


Figura 19: Evolución temporal de Pwf

NA-1129; pozo campaña de perforación 2009 y adecuación:

Este pozo, aún se encuentra en la etapa de estabilización. Falta terminar de adecuar.

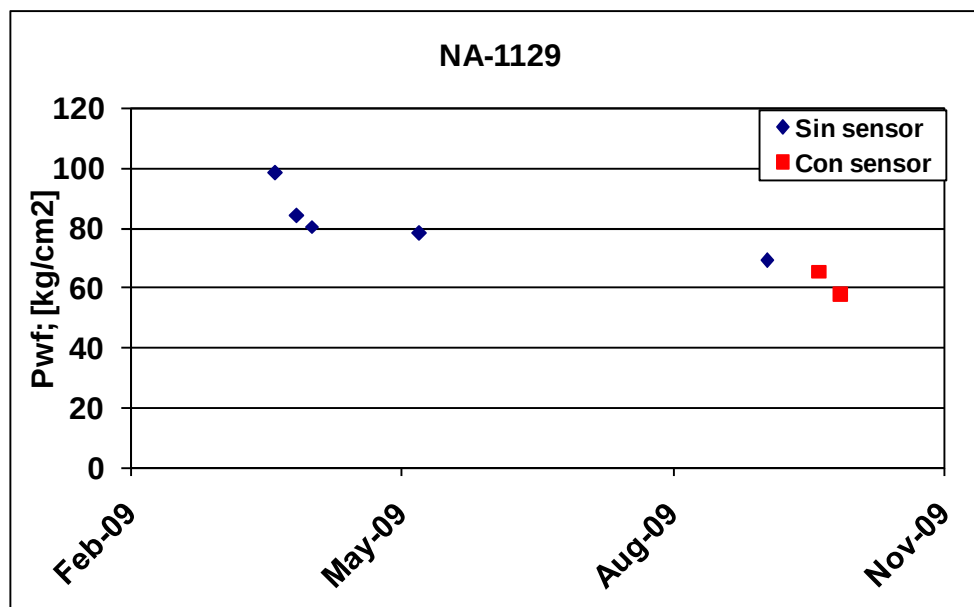


Figura 20: Evolución temporal de Pwf

Resultados

Reducción de Pwf

Se observa una marcada disminución en este parámetro. Se pasó de un promedio del orden de los 40 kg/cm² a un valor estable que tiende a los 10 kg/cm². Lo mencionado, se verifica en la figura 21.

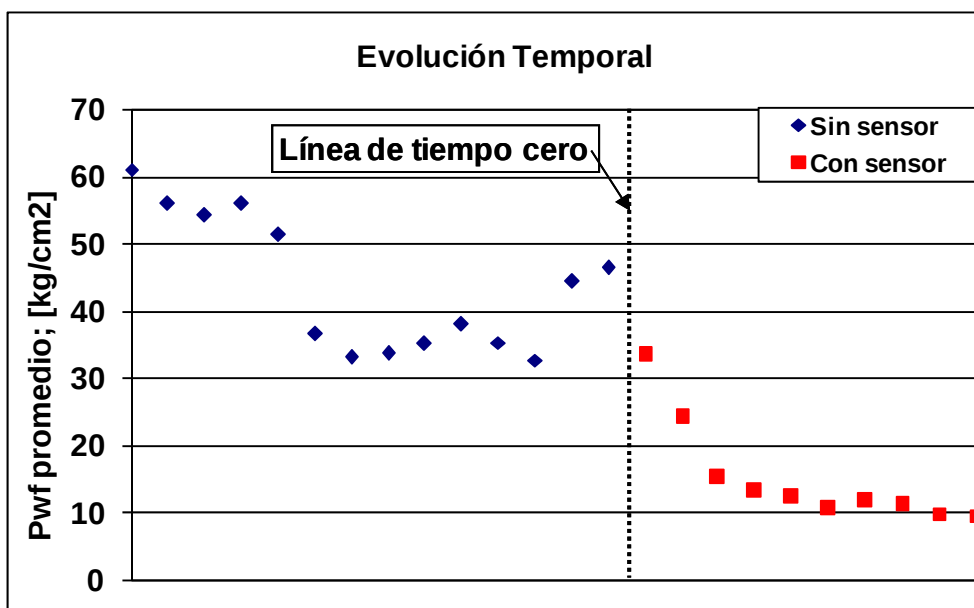


Figura 21: Evolución y disminución de Pwf

Producción - Incrementales

Finalmente y a modo de resumen, se expone en la figura 22, un gráfico en donde se llevan todos los pozos a los cuales de adecuó a instalación PCP con sensor en fondo (9 pozos); promediando controles antes y luego de la colocación del sensor. Por otra parte, en la figura 23y 24, se expone el incremental total de producción referido a un antes y después de una línea de tiempo cero; coincidente con el momento en el cual se colocó el sensor.

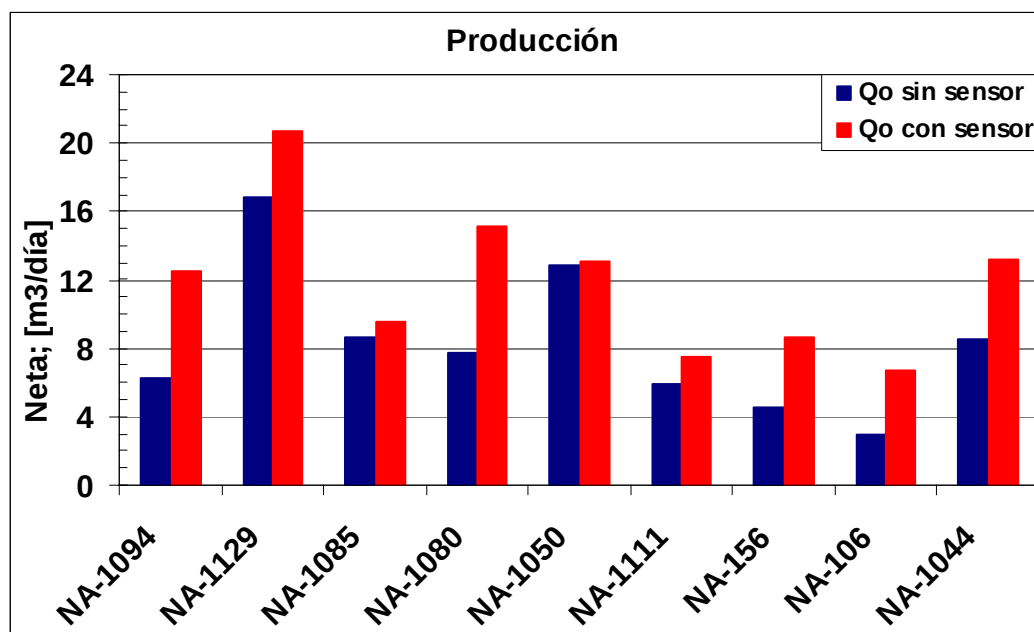


Figura 22: Producción promedio por pozo

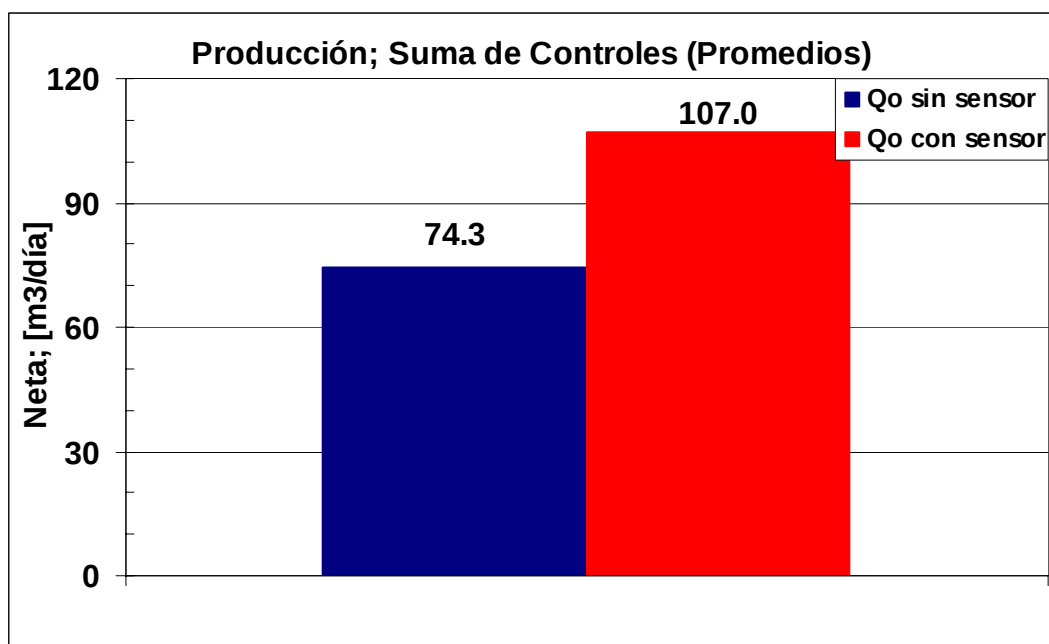


Figura 23: 30% de incremental

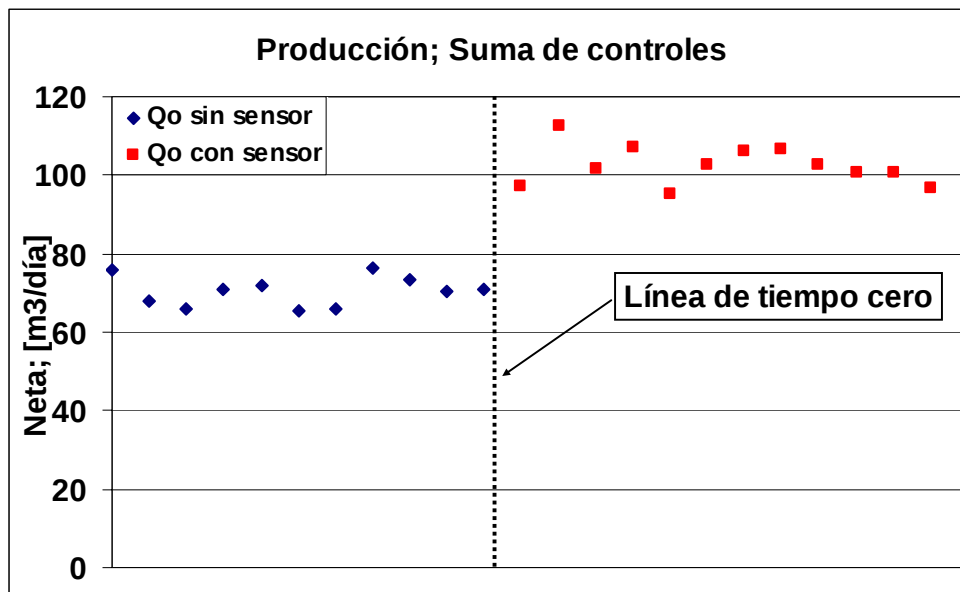


Figura 24: Producción; Suma de controles

Como complemento, puede verse claramente al comparar las figuras 21 y 24, cómo se corresponden la baja en la Pwf con la suba en el caudal.

Como comentario adicional a lo anteriormente expuesto, cabe decir que no siempre con la instalación de este dispositivo se logra incremento de producción. Sin embargo, se gana en confiabilidad y estabilidad de la instalación, puesto que se cuenta con un nivel de protección y automatismo avanzado que permite que los elementos constitutivos del sistema tengan una vida útil mayor, disminuyendo el índice de intervenciones o bien, logrando predecir futuras fallas principalmente en bomba y varillas; como se verá a continuación.

Índice de intervenciones

Respecto de este tema, cabe destacar que no se incrementa el mencionado ítem como producto de fallas en algún componente de la instalación. Los índices de intervenciones, se mantienen o más bien tienden a disminuir, producto de la activación de las protecciones que este sistema trae como complementos. En la figura 25, puede observarse lo comentado.

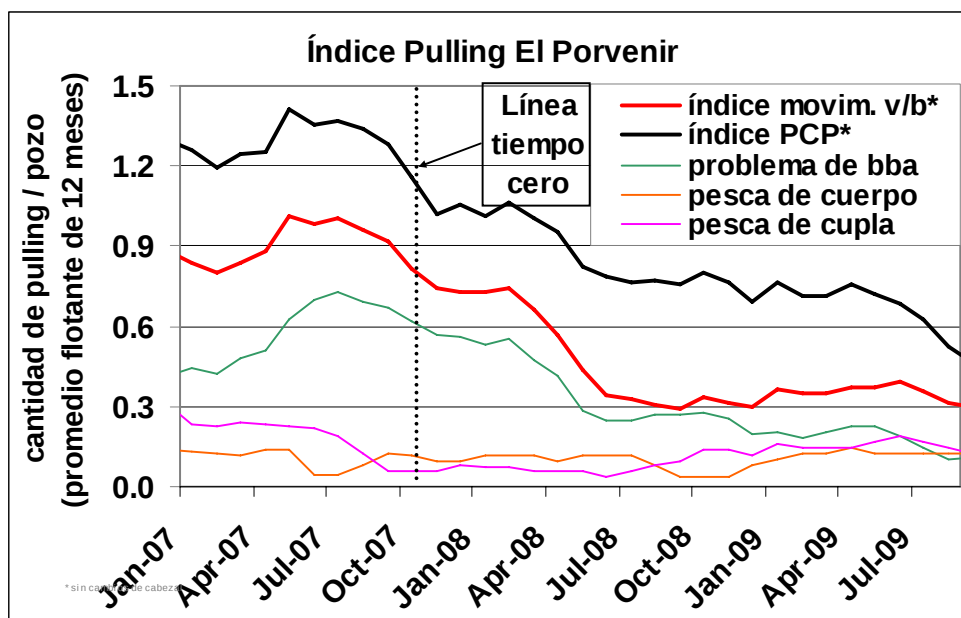


Figura 25: Índices de Intervención

Conclusiones

Con la aplicación de las instalaciones con sensor en fondo del pozo, se logró disminuir la presión dinámica de fondo para cada uno de los casos. Por otra parte, se logró un estado de automatismo por demás superior al que se contaba antes. Dentro de ese automatismo, se cuenta con un nivel de protección más avanzado que el existente hasta ese momento. Además, no se verificó un incremento en intervenciones debidas a fallas en componentes inherentes a la instalación; producto de la activación de las protecciones mencionadas.

También, se verificó para los pozos equipados con modelos de bomba ISO 78-1500 y 88-1500, varillas grado D y caudal superior a los 120 m³/día, que debido al torque aplicado la Pwf no puede llevarse por debajo de los 15 Kg/cm², ya que allí se llega al límite mecánico de la varilla; por lo tanto para esos casos no puede alcanzarse el objetivo de la aplicación.

Y como corolario, producto de una disminución en la Pwf a los niveles indicados, en este tipo de pozos se logró un aumento en la producción neta del orden del 30%.

Reconocimientos

Este trabajo está dedicado a todas las personas que desarrollan tareas en las Áreas El Porvenir y Aguada Baguales. Sin su constante apoyo, esmero, dedicación y buen humor, hubiera resultado imposible de realizar.

Bibliografía

Fichas técnicas de los elementos constitutivos de la instalación; provistas por el fabricante.

Mediciones y datos tomados directamente en el Campo.