

OPTIMIZACIÓN DE POZOS UTILIZANDO CONTROLADORES INTEGRADOS PARA UNIDADES DE BOMBEO DE CARRERA LARGA

Aplicación de Tecnologías para Optimización de Pozos

Autores

Rudy Zamora, YPF, rudy.zamora@ypf.com

Renné Benavides, YPF, renne.benavides@ypf.com

César Gustavo Fernández, WEATHERFORD, cesar.fernandez@weatherford.com

Introducción

La exploración de horizontes profundos en yacimientos operados por YPF S.A. en la Cuenca del Golfo San Jorge, ha dado como resultado el descubrimiento de reservorios sobre presurizados cargados con petróleo liviano y abundante gas. Estas características han generado retos para el staff de ingeniería de producción, ya que estos pozos nuevos han requerido un sistema de extracción lo suficientemente versátil para trabajar inicialmente en estado semi surgentes hasta llegar a una etapa de producción más estable. Este comportamiento de pozo llevó a la elección del sistema de extracción bombeo mecánico de carrera larga con controladores integrados como la solución más viable considerando las tecnologías aplicadas en nuestros campos. Durante la vida productiva de los pozos a estudiar no se ha tenido ninguna intervención de fondo, únicamente se ha trabajado con incrementos y decrementos de régimen ejecutados por el controlador integrado con el objetivo de mantener el máximo rendimiento en cada embolada de producción.

Con los resultados favorables en pozos nuevos con alto GOR, se decidió ampliar la aplicación para intentar solucionar las fallas repetitivas en un pozo de alto caudal bruto que maneja alta tasa de sólidos que se producía anteriormente con electro sumergible.

A continuación, se describirá la automatización de unidades de carrera larga en tres pozos nuevos profundos con alto GOR y la extensión de la aplicación para un pozo que cambio de sistema de extracción de electro sumergible a bombeo mecánico por problemas operativos, logrando la optimización de la producción y la operación, procurando cuidar tanto las instalaciones de superficie como las de fondo.

Los controladores integrados para bombeo mecánico están especialmente diseñados para optimizar la producción de petróleo y gas, seteando parámetros diseñados para este fin, adaptándose a cada condición de funcionamiento de los pozos, disminuyendo los esfuerzos instantáneos en la sarta de varilla, bomba y unidad de superficie.

Como ventajas principales de los controladores integrados, es que pueden trabajar con velocidades ascendentes y descendentes diferentes, mejorando el llenado de la bomba en cada embolada, llevando al pozo a un régimen óptimo de producción.

También tienen la posibilidad de realizar los cambios de carrera a menor velocidad que la velocidad ascendente y descendente, lo cual conlleva a poder incrementar la velocidad promedio máxima hasta en un 25% de las unidades de carrera larga, con respecto a una unidad sin un controlador integrado.

Las unidades de carrera larga tienen como ventaja una mejor relación de compresión de gas en la bomba en pozos con una relación gas-líquido (GLR) hasta 300, menor ciclo de bombeo y fatiga para las varillas, velocidad de bombeo aproximadamente constante en las carreras ascendente y descendente.

El siguiente trabajo estará enmarcado en cinco secciones:

- 1) Diagrama general de la instalación.
- 2) Optimización de pozos nuevos de alto GOR.
- 3) Aumento de MTBF en pozo con producción de alta tasa de sólidos.
- 4) Resultados.
- 5) Lecciones aprendidas y recomendaciones

1) Diagrama general de la instalación.

Los variadores se comenzaron a instalar en Yacimiento El Trébol en el año 2017, continuando en Yacimiento Manantiales Behr, con un total de 4 pozos, 2 en cada área.

La unidad de carrera larga está conectado al tablero de alarmas, al speed sentry y al controlador integrado, donde este último es el que procesa toda la información, tanto de superficie como de fondo y toma las decisiones en función del funcionamiento del pozo y de las protecciones seteadas.

A continuación, se describe el diagrama general con todas las señales necesarias para el funcionamiento de las unidades de carrera larga y del controlador integrado.

El sistema completo consta de:

- Unidad de carrera larga
- Speed Sentry
- Tablero de alarma
- Controlador integrado

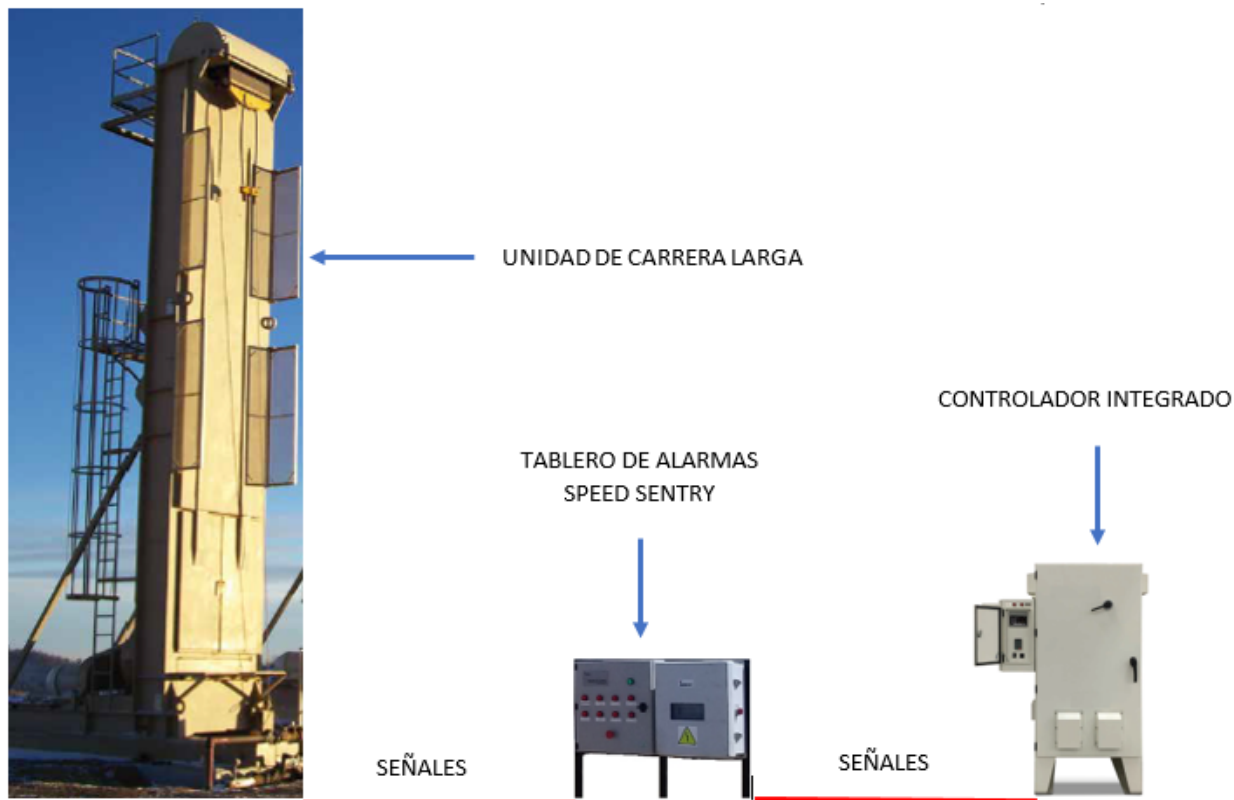


Fig. 1 – Diagrama general de la instalación

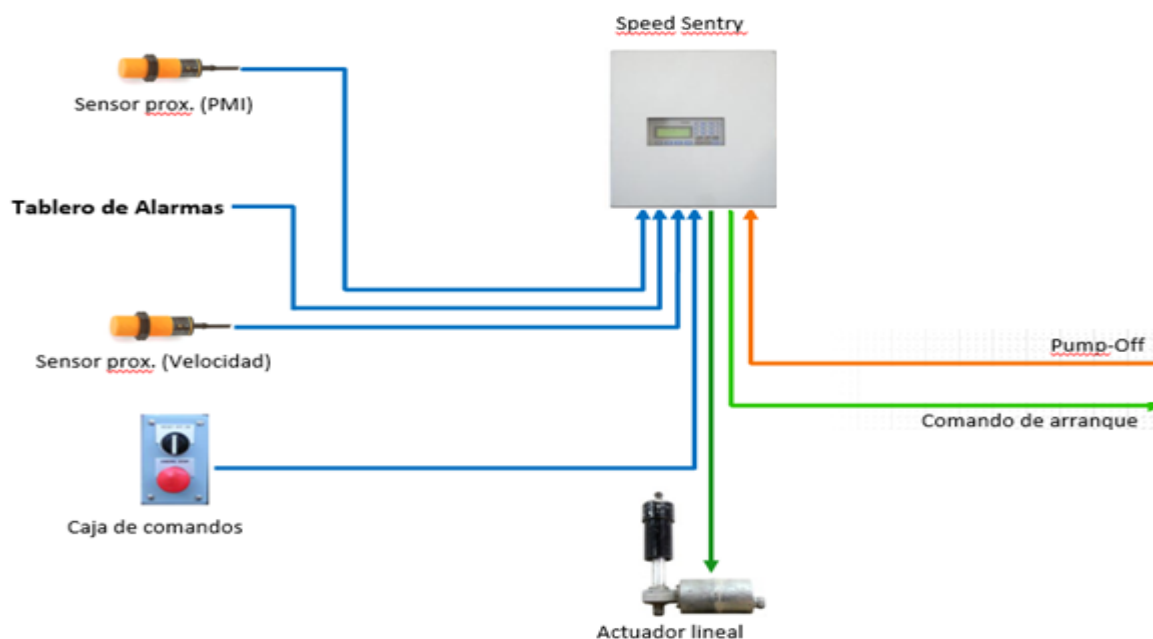


Fig. 2 – Conexiones Speed Sentry

El Speed Sentry es el encargado de recibir las siguientes señales:

- Sensor de corona (PMI)
- Sensor de velocidad (disco)
- Paro de emergencia
- Señal del tablero de alarmas

Su función principal es actuar y detener la unidad de bombeo si cualquiera de las señales se activa, a través del actuador lineal sobre el disco de freno.

Para realizar lo mencionado, al Speed Sentry se setean las siguientes dos alarmas:

- Under speed
- Over speed



Fig. 3 — Speed Sentry

El over speed (valor máximo de velocidad permitido para la instalación en GPM) sirve para proteger al equipo ante una aceleración repentina del carro de contrapesos y detener la unidad a través del actuador lineal del disco de freno. Esta situación se puede dar ante una posible pesca en la sarta de varillas y/o aprisionamiento.

El under speed (valor mínimo de velocidad permitido para la instalación en GPM) sirve para proteger al equipo ante una desaceleración repentina del carro de contrapeso y detener la unidad a través del actuador lineal del disco de freno. Esta situación se puede dar ante un posible aprisionamiento de la bomba y/o flotación de la herramienta.

Otro dispositivo de seguridad que cuenta todo el sistema es el tablero de alarma, al cual llegan todas las señales de los sensores instalados en la unidad de carrera larga y son las siguientes:

- Sensores de puertas abiertas
- Sensores de banda desplazada
- Murphy vibración superior
- Murphy vibración inferior
- Nivel de aceite de la caja reductora
- Sensor ecológico
- Selectora Run/Off/Reset
- Falla del controlador integrado
- PTC del motor

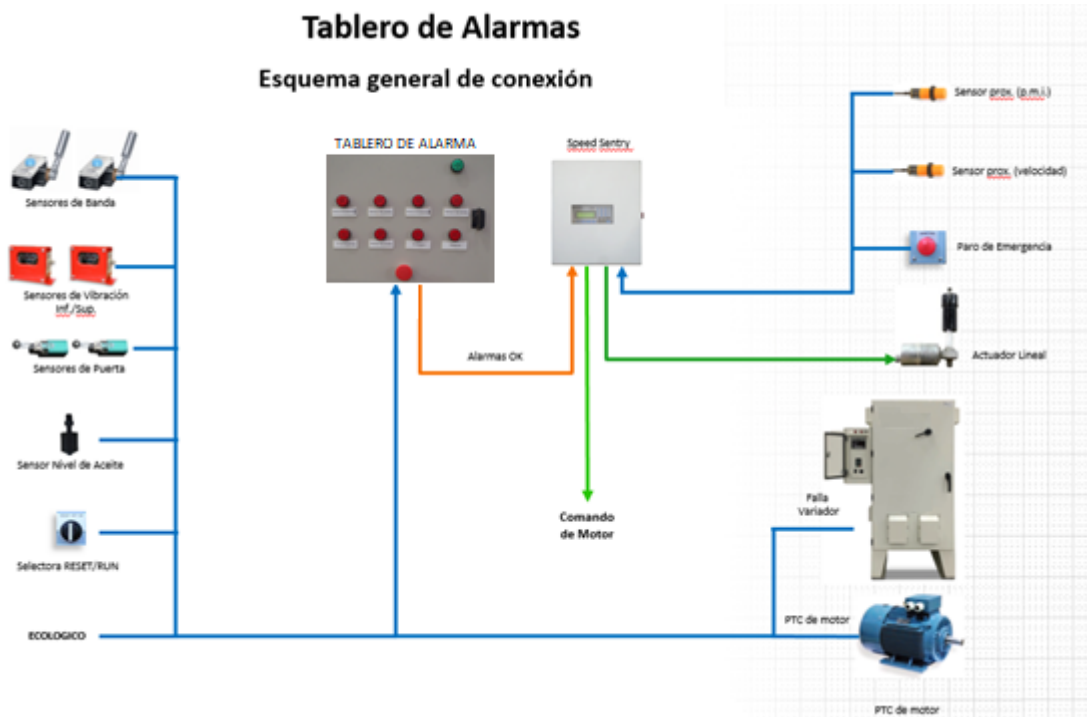


Fig. 4 – Tablero de alarma y sensores

Todas estas señales protegen al equipo ante cualquier evento inesperado, aumentando la seguridad de las personas, la instalación y del equipo.

Tiene una forma visual mediante luces testigos por cada tipo de alarma y un paro de emergencia.



Fig. 5 – Tablero de alarma

El controlador integrado, es quien optimiza la producción del pozo, en función del llenado de bomba seteado y los rangos de funcionamiento de velocidades máximas y mínimas. El controlador calcula en cada embolada el llenado de la bomba con la carta de fondo en tiempo real. En función del valor instantáneo del llenado de bomba, lo compara con el setpoint y decide si disminuir la velocidad hasta que el pozo recupere nivel o llevarlo a un régimen mayor una vez

que el pozo empiece a recuperar nivel. Adicionalmente y trabajando a velocidad mínima, si el pozo se queda sin nivel, se puede setear un llenado de bomba mínimo para que el pozo se detenga por un determinado tiempo y vuelva a re arrancar para llevarlo nuevamente al régimen óptimo de funcionamiento en función de los parámetros seteados.

El controlador integrado, dispone de una función de control de carga instantánea (RLC), protegiendo a la unidad de bombeo por excesos de cargas o flotabilidad de la herramienta, disminuyendo proporcionalmente la velocidad en función de la cantidad de carga excedida. Para esta función, se seta un valor de carga máxima y mínima, y de esta forma realizar el control RLC. Así mismo, se setean las siguientes alarmas para la carta de superficie y que el pozo se detenga en forma temporal o definitiva cuando se cumple alguna de ellas:

- Low Load Limit
- Low Low Load Limit
- High Load Limit
- High High Load Limit
- Low Load Span
- Low Average Load Limit

Estas alarmas pueden trabajar en forma simultánea con el control de carga RLC de la siguiente manera:

Una vez excedido el valor de High Load Limit hasta el valor High Load Limit 2, el controlador comienza a disminuir la velocidad proporcionalmente a la cantidad de carga excedida del valor High Load Limit. La misma situación sucede cuando el valor de la carga cae por debajo del valor seteado en Low Load Limit.

Las alarmas High High Load Limit y Low Low Load Limit, se utilizan para detener la unidad, ya que se setean con valor muy críticos para el funcionamiento de las unidades de bombeo. Los valores típicos seteado son cuando se excede la carga máxima que puede trabajar la unidad especificada por el fabricante y el valor mínimo cuando ocurren pesca de varillas.

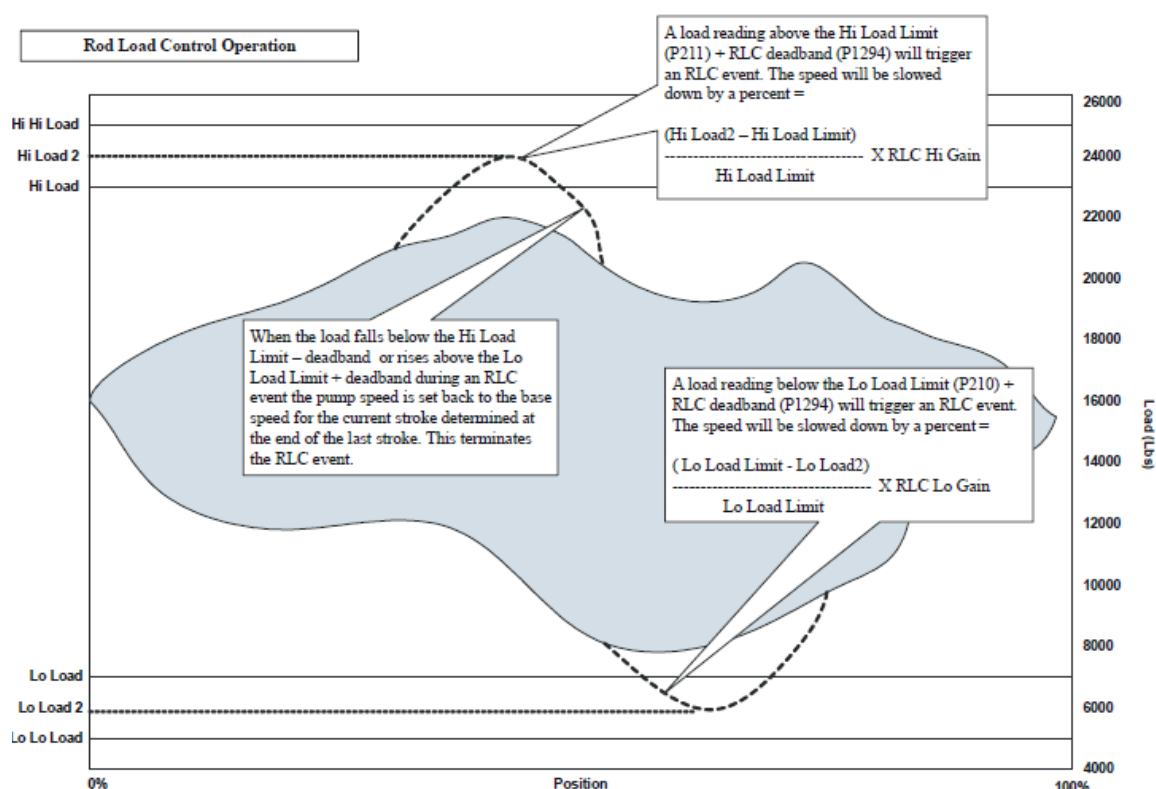


Fig. 6 – Carta de superficie, diagrama de cargas

Otra característica muy importante que tienen los controladores integrados es el seteo de los ángulos para los cambios de velocidad. Esto es fundamental por varias razones:

- Evitar golpes de bombas y estiramiento de varillas en los cambios de carrera
- Cuidar la alineación del carro inversor
- Incrementar la velocidad máxima promedio de funcionamiento de la unidad hasta un 25% mas

Al poder configurar los ángulos de disminución de velocidad antes de que llegue al fin de la carrera ascendente y cuando comienza la carrera descendente, esto es una gran ventaja para cuidar la instalación de fondo y de superficie. Lo mismo se puede realizar cuando se está llegando al fin de la carrera descendente y al comienzo de la ascendente. En este último caso se evitan los golpes de bombas excesivos y estiramiento de varillas, prolongando su vida útil. Al ser los cambios de velocidad más suaves, las ruedas que se utilizan para la alineación del carro inversor no sufren tanto desgaste ni deterioro.

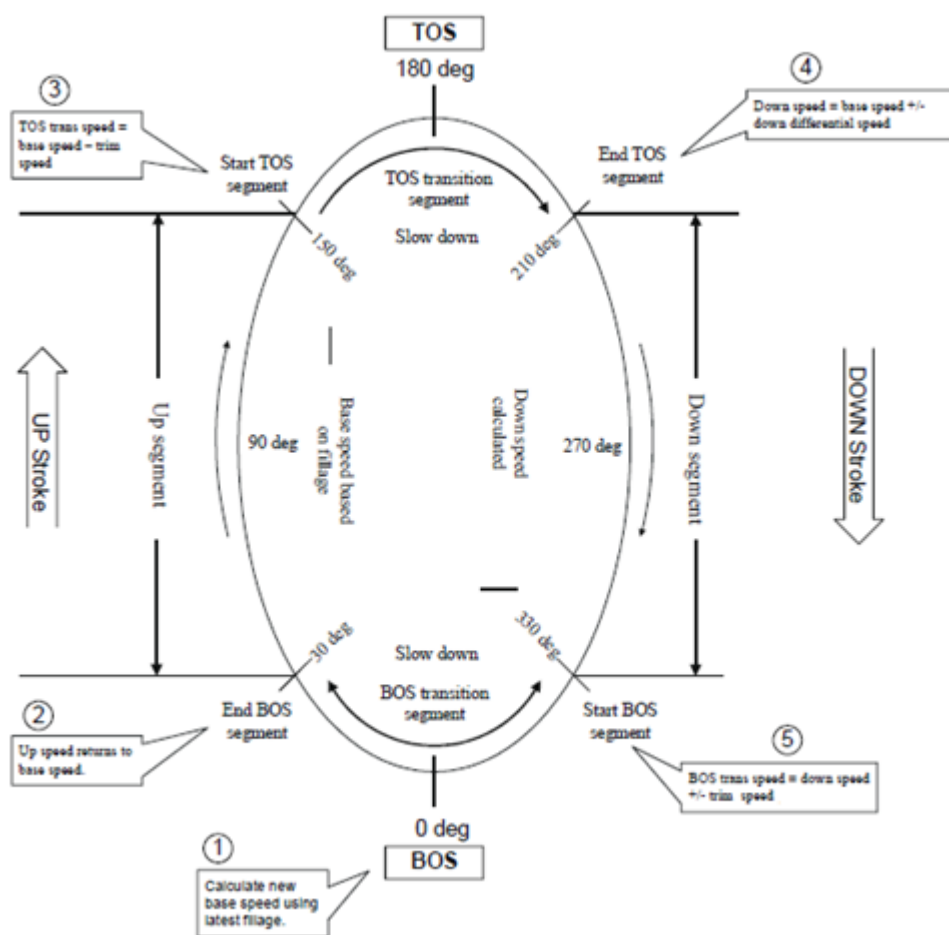


Fig. 7 – Ángulos de trabajo

Los controladores integrados poseen entradas digitales para poder colocar presostatos, teniendo la posibilidad de detener la unidad por alta y/o baja presión de línea. Esto es una gran ventaja, ya que evita un daño en la línea por exceso de presión o que se queme la empaquetadura por baja presión. En todos los pozos donde se utilizan los controladores, también se instalaron a la entrada del tablero de alarma, el paro por ecológico.

Una de las mejoras que se implementó, fue la utilización de celdas de carga inalámbricas. Al principio hubo reiterados paros de pozo por cortes de cable de celda y la consecuente pérdida de producción.

Otra característica que posee el sistema es que cuando se pierde la señal de celda de carga y/o posición, se puede configurar el controlador para que quede trabajando en forma manual si así lo desea el cliente.

2) Optimización de pozos nuevos de alto GOR.

Para optimizar las unidades de bombeo de carrera larga, el controlador integrado se puede configurar para que trabaje de tres formas diferentes o combinaciones de ellas:

- Llenado de bomba
- 3 velocidades STA
- Control de carga RLC

Para ver cuál es la mejor configuración de cada uno de los pozos con los tres modos de funcionamiento del controlador, se detalla a continuación las características de los pozos:

Tabla 1 – Característica de los Pozos								
Pozos	Profundidad de Bomba (m)	Presión de Reservorio (PSI)	Tipo de Bomba	Densidad del Crudo	Corte de Agua (%)	Producción Bruta (m3/d)	Producción Neta (m3/d)	GOR
Pozo A	1930	2200	25-200-R-W-B-CUP-34-0	35° API	29	221	157	500
Pozo B	1937	2500	25-200-R-W-B-CUP-34-0	39° API	24	50	38	481
Pozo C	2730	3200	25-175-R-W-B-CUP-36-0	35° API	4	125	120	326

Tabla 2 – Incrementos de Producción y Régimen												
Régimen / Producción sin Controlador				Régimen con Controlador				Producción con Controlador				
Pozos con Variador	GPM	Bruta (m3/d)	Neta (m3/d)	Ascend. (GPM)	Descend. (GPM)	Cambio de Carrera (GPM)	Promedio (GPM)	Bruta (m3/d)	Neta (m3/d)	Llenado de Bomba (%)	Incremento Producción Neta (m3/d)	Incremento GPM
Pozo A	2	24,2	19,36	4	4.3	3.5	4	40,13	32,1	100	12,72	2
Pozo B	1,8	42	37,5	2.6	3	2.8	2.8	49	39,5	100	2	1
Pozo C	3	45	38,25	4.3	4.5	3.5	4.5	59	51,92	100	13,67	1.5

Una vez terminada la etapa de semi surgencia los pozos, empiezan a trabajar con las 3 funciones del controlador, control por llenado de bomba, control de 3 velocidades STA y control de carga RLC, aumentando su régimen después de evaluar las distintas condiciones prefijadas sin la necesidad de ningún recurso externo.

Al poco tiempo se desactiva la función de control de carga RLC debido a que en varias oportunidades se encontraban pozos parado debido a este control. El controlador indicando que se había superado inferiormente la carga mínima. Después de un análisis se concluyó que esta condición se debía a breves momentos de semi surgencia de los pozos.

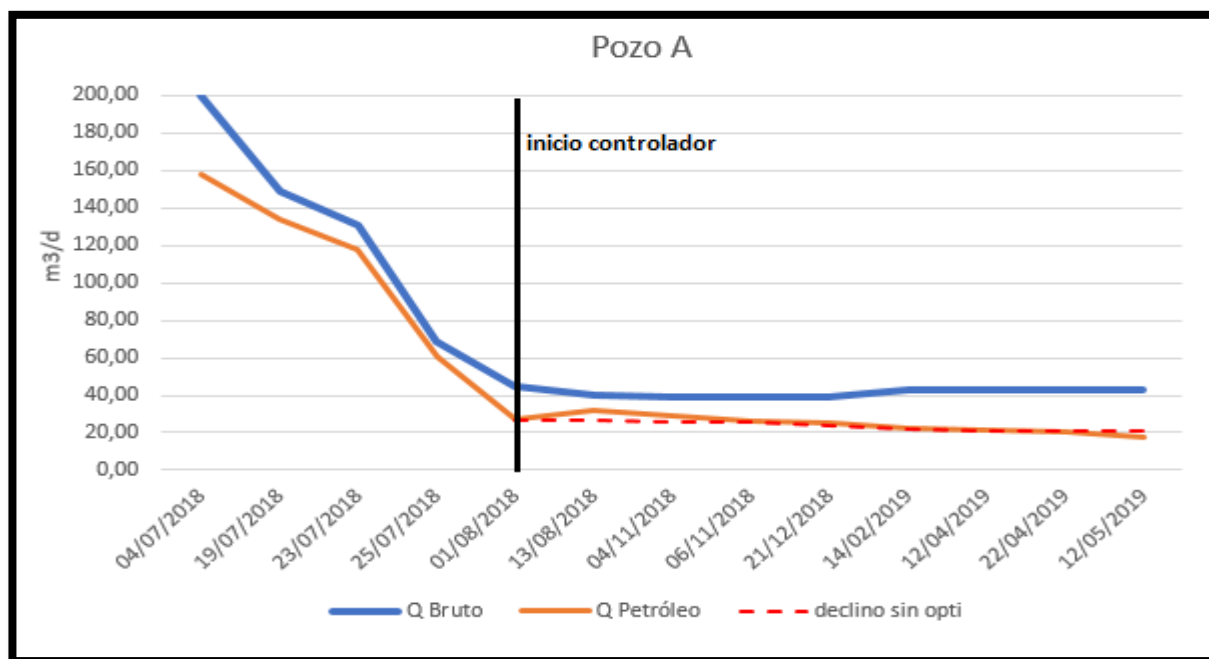


Fig. 8 – Producción pozo A

Tanto el pozo B y pozo C empezaron a declinar y el controlador empezó a trabajar nuevamente con las 3 funciones del controlador, pero disminuyendo el régimen cuando supere las “n” cartas consecutivas que tengan un llenado de bomba por debajo del porcentaje “m” (tanto “n” y “m” son definidos por el usuario). En el caso puntual del pozo B, se encuentra actualmente a mínimo régimen 1gpm y cuando supera las 10 cartas consecutivas que tengan un llenado de bomba por debajo del 65%, el pozo se detiene una hora para recuperar nivel y luego re arrancar automáticamente.

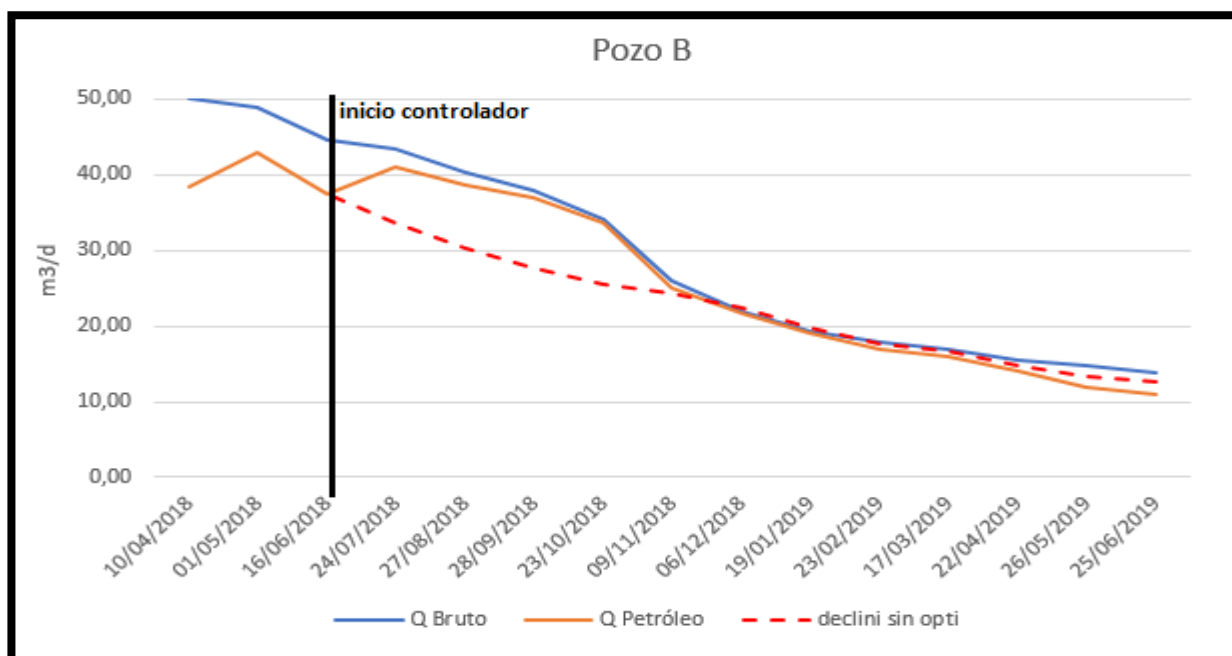


Fig. 9 – Producción pozo B

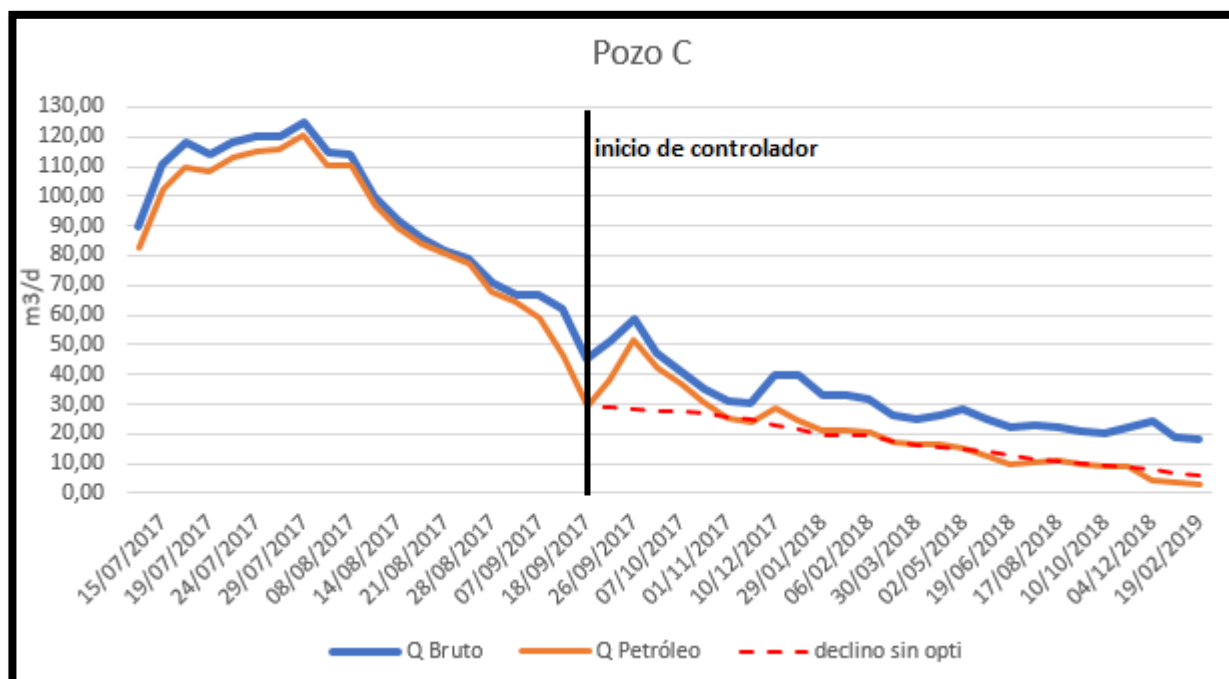


Fig. 10 – Producción pozo C

Actualmente el pozo A, mantiene el régimen de 4gpm promedio debido a que continua con un de llenado de bomba cercano al 100%.

3) Aumento de MTBF en pozo con producción de alta tasa de sólidos.

Se prueba la tecnología propuesta en un pozo con un alto caudal bruto con intervenciones frecuentes por falla debido a sólido (3% en volumen) y que previamente fue producido con electro sumergible. El objetivo de la prueba es mantener el alto caudal y aumentar el MTBF.

Para lograr esto, se configura el controlador para trabajar con los 3 controles en simultaneo, llenado de bomba, 3 velocidades y control de carga RLC.

Tabla 3 – Característica pozo D

Pozos	Profundidad de Bomba	Sistema de Extracción	Tipo de Bomba	Producción Bruta (m3/d)	Bruta Esperada (%)	MTBF (días)	MTBF Esperado
Pozo D	1720	BES	DN 1750	100	100%	384	100%
Pozo D	2120	BM controlador	25-200-R-W-B-CUP-34-0	83	83%	788	205%



Fig. 11 – Producción pozo D

Se obtiene como resultado un 83% de la bruta esperada debido a varios episodios de agarre de bomba debido a sólidos, pero el sistema de extracción duplica el MTBF que se tenía con electrosumergible.

4) Resultados

Incremental de producción.

Tanto en el pozo A y B el controlador ha estado en funcionamiento un año, mientras que en el pozo C ha funcionado durante 2 años, el acumulado optimizado de los 3 pozos ha sido 1166m³ en función al declino sin la optimización.

Reducción de fallas.

Los 3 pozos nuevos de alto GOR no han tenido fallas desde la instalación del controlador, resultado que confirma, qué al definir las 3 velocidades de una manera adecuada en cada etapa de producción del pozo, resulta que, además de ser sistema optimizador es un sistema que cuida la integridad de las varillas (reduce el golpe de bomba y sus consecuencias), aumenta el llenado de la bomba de profundidad (evita bloqueos) y cuida el aparato de bombeo.

Con respecto al aumento del MTBF en el pozo C, se consiguió aumentar al doble el MTBF que tenía el pozo cuando se producía con electrosumergible, a pesar de que no se pudo alcanzar la producción bruta que se había planteado. Como comentario adicional, antes de la falla del pozo C se abrieron las protecciones de carga RLC y se maniobró el aparato a distintas velocidades con el objetivo de destrabar la bomba, esta maniobra se realizó sin la utilización de ningún recurso extra.

Reducción de consumo de energía

Se realizaron mediciones para corroborar la reducción energética al utilizar este sistema en comparación con una unidad de bombeo de carrera estándar, se consideró para el estudio instalaciones de fondo a profundidades similares y

caudales extraídos cercanos a los pozos estudiados. Los resultados arrojaron qué, en promedio, se tiene una reducción del 10% de consumo energético. Además de esta reducción, para alcanzar los mismos caudales de los pozos de estudio, los aparatos de carreras convencionales en promedio deberían estar al doble de los ciclos de bombeo, lo que resulta en un incremento de la vida de las varillas por unidad volumétrica extraída.



Fig. 12 — Mediciones de consumo energético

Reducción de tiempos de optimización y recursos utilizados

El software del controlador fue diseñado para la toma de decisiones de aumentar o disminuir el régimen de cada una de las 3 velocidades con el objetivo de maximizar la producción en cada embolada tomando en cuenta el llenado de bomba y las cargas a las que está sujeto el sistema de producción. Este análisis en campo debidamente definido para cada pozo en particular genera una reducción de tiempos sin la necesidad de utilizar recursos adicionales en cuanto a la optimización de la producción como en el decremento de régimen para salvaguardar la integridad del equipamiento de fondo y superficie.

5) Lecciones aprendidas y recomendaciones

Reducción de tiempos de paro

La reducción de tiempos de paro debido a fallas del controlador, se bajaron significativamente con la incorporación de la celda de carga inalámbrica, ya que debido a las condiciones climáticas el principal problema encontrado era el cable cortado. Una vez implementado las celdas inalámbricas, se propuso la modificación de la configuración en el controlador con el objetivo que cuando el sistema pierda la señal de celda de carga o posición, en lugar de parar el equipo acusando falla, se transfiera a modo manual a un régimen preestablecido por producción.

Impacto ambiental

Una de las principales ventajas que tiene el controlador, es que en el caso de que el pozo se quede sin producción se puede configurar la alarma de bajo rango de carga “bajo spam” para parar el pozo evitando fugas al ambiente. El controlador además posee entradas digitales que pueden ser utilizadas para conectar equipamiento destinado a prevenir fugas de producción. En el presente trabajo los pozos estudiados tuvieron instalados sensores de presión con paro de alta y baja presión además de T prensa ecológico.

Recomendaciones

Mejora de la vinculación del controlador en función del stress de varilla y torque en la caja reductora.

Aviso anticipado al SCADA de alguna alarma existente en el controlador de forma independiente, sin esperar a que este sea interrogado por el sistema.

Instalar alarma sonora y luminosa de pre-arranque de pozo.

Debido a los buenos resultados obtenidos en el presente trabajo, el controlador amplió su uso dentro de los yacimientos estudiados y se extendió a otros yacimientos operados por YPF S.A dentro de la Cuenca del Golfo San Jorge.