

AUTOMATIZACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO.

**Eugenio Ferrigno, Sebastián Madsen
LUFKIN Argentina S.A.**

- **Abstract**

La extracción de Petróleo a través de las Unidades de Bombeo Mecánico, denominados AIB's es un proceso complejo, donde el nivel de tecnología alcanzada justifica la implementación de procesos y sistemas inteligentes que optimicen la producción.

Para ello, nosotros tenemos a nuestro alcance "Controladores de Pozo Inteligentes y sistemas de Supervisión y Control".

Los controladores de pozos inteligentes son dispositivos electrónicos, denominados anteriormente: Pump Off Controllers "POC" pero con una nueva tecnología que obtiene la dinamometría del pozo, controla el pozo a partir de la carta dinamométrica de superficie, la de fondo, o del consumo de corriente del motor.

Se obtiene en forma precisa los datos necesarios para detener el AIB ante la primera señal de un llenado incompleto de la bomba, como puede ser: un golpe de fluido, bajo nivel de fluido, detención por mal funcionamiento en: varillas, bomba dañada, pérdidas en tubing, reconocimiento de cambios en el pozo ya sea por incremento o descenso de la producción.

Muchas Compañías de producción en sus áreas de desarrollo han adoptado o empiezan adoptar esta innovadora tecnología.

Experiencias en P.A.E., Chevron, Tecpetrol, dan muestra de la implementación y actual crecimiento de estos nuevos sistemas operativos inteligentes.

- **Objetivo**

En este documento queremos demostrar las ventajas que se obtienen al instalar este tipo de sistemas, mostrar todo su potencial, y exponer los beneficios económicos que se obtienen al utilizar los controladores de pozos inteligentes.

- **Desarrollo**

El Controlador de Pozo Inteligente utiliza una nueva y potente plataforma de hardware, implementando un único algoritmo de control. El Controlador de Pozo Inteligente combina el la tecnología de control de superficie de un simple punto y la tecnología del control de la carta de fondo de la bomba. Los nuevos avances debido a la tecnología de los sistemas informáticos fueron a dicho controlador.



Un resumen de las capacidades de este controlador veremos a continuación.

Modos de operación

El Controladores de Pozo Inteligente posee tres modos de operación:

- Host (Estacionario): El Controlador de Pozo Inteligentes arranca y detiene la unidad de bombeo basado en un comando del usuario. El operario es el que decide cuando lo detiene y cuando lo vuelve a poner en marcha. En el modo Host están disponibles muchas funciones, como capacidad de control mínima de la carga mínima y carga máxima, simplemente para ser utilizado como control. Es el primer intento para ser usado en el sistema SCADA.
- Timed (Lapsos de tiempo): El Controlador de Pozo Inteligente determinará los lapsos de tiempo por ciclos determinado por el usuario programando los tiempos de marcha y los tiempos de paro. En el modo Timed están disponibles muchas funciones, como capacidad de control mínima de la carga mínima y carga máxima, simplemente para ser utilizado como control.
- Normal : El Controlador de Pozo Inteligente ofrece todas las ventajas que discutiremos en los siguientes puntos. Este es el modo “normal” de uso.

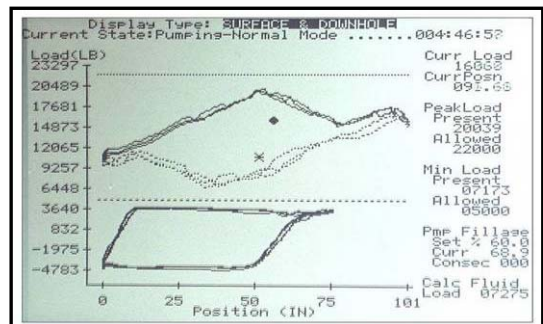
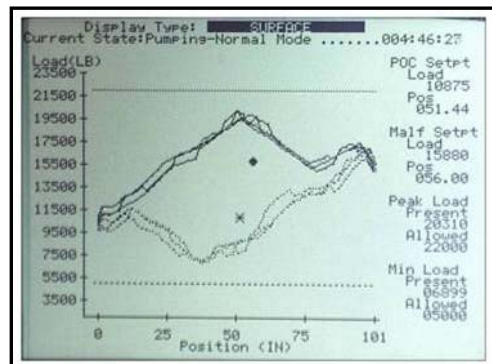
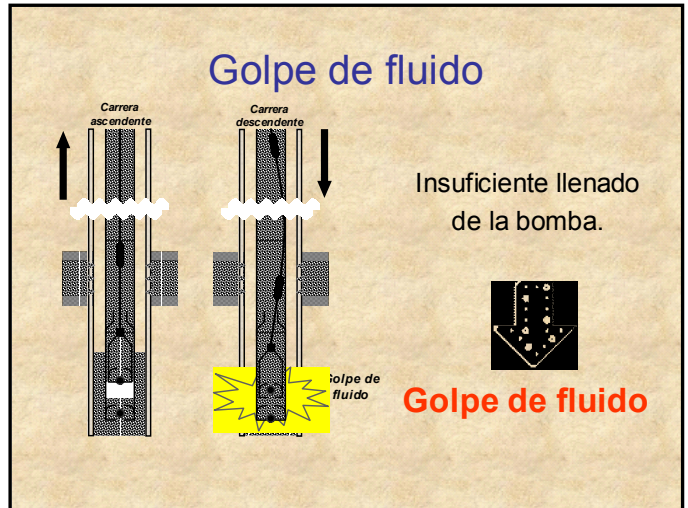
Ventajas del Controlador de Pozo Inteligente

Control Primario

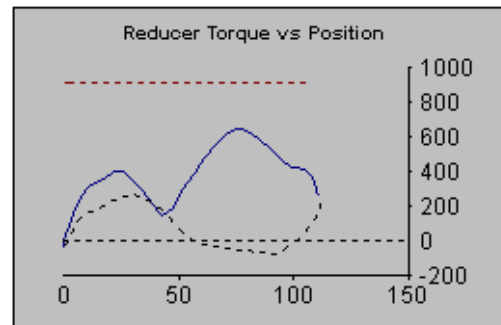
El propósito básico de este controlador es determinar cuando el nivel de fluido en la bomba ha hecho que la bomba no tenga un llenado completo debido a una insuficiente presión de entrada en la misma, para completar el llenado de la bomba con fluido durante la carrera ascendente. Este llenado incompleto de la bomba reduce la eficiencia de la operación de bombeo y generando como resultado un golpe de fluido, desgaste y rotura de la bomba, del tubing y de los elementos de superficie. El deseo normal del ingeniero de producción es extraer la mayor cantidad de fluido disponible, por lo cual a veces se diseña un sistema con mayor capacidad que la requerida. Esta mayor capacidad de extracción, con el tiempo, hace que el nivel de fluido baje al punto que la bomba no es llenada en forma completa y por lo tanto resulta el golpe de fluido, es decir el pozo es extraído en forma incompleta.

El Controlador de Pozo Inteligente puede seleccionar tres métodos disponibles para detectar el llenado incompleto de la bomba:

- Control de un simple punto basado en la carta de superficie utilizando la carga de las varillas y la carrera de la unidad.
- Porcentaje de llenado de la bomba basado en la carta de fondo utilizando la carga de las varillas y la carrera de la unidad.



- Potencia del motor utilizando los datos de entrada (Efecto Hall) del eje del motor y de la manivela.



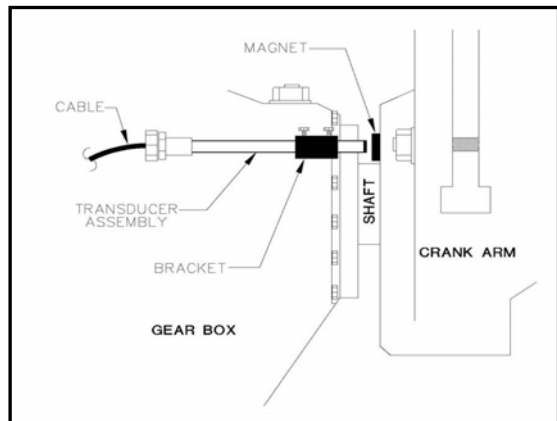
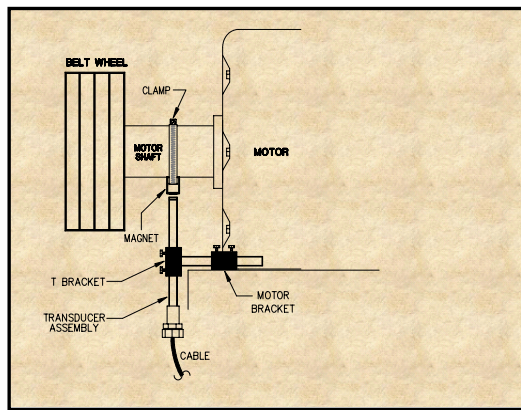
Opciones de entrada de la posición y de la carga

El Controlador de Pozo Inteligente está diseñado para aceptar entradas y cargas de distintos mecanismos. Brevemente, la señal de carga puede ser montada por un medidor de esfuerzo (strain gauge) en la viga balancín o con una celda de carga en las varillas. La señal de la posición puede ser análoga de un inclinómetro; digital de dos sensores de Efecto Hall, un sensor colocado en el eje del motor y el otro en la manivela d la caja reductora; o de una señal digital colocada en el final de la carrera. Cualquier combinación de señales de carga y posición puede ser usada. Algunos controles secundarios de funciones erróneas, no están disponibles con distintas combinaciones de señales de entrada (Ver otras funciones de control)

Celda de carga, cables y conectores



Transductores de motor y manivela
Ubicación de los transductores en el motor y en la manivela



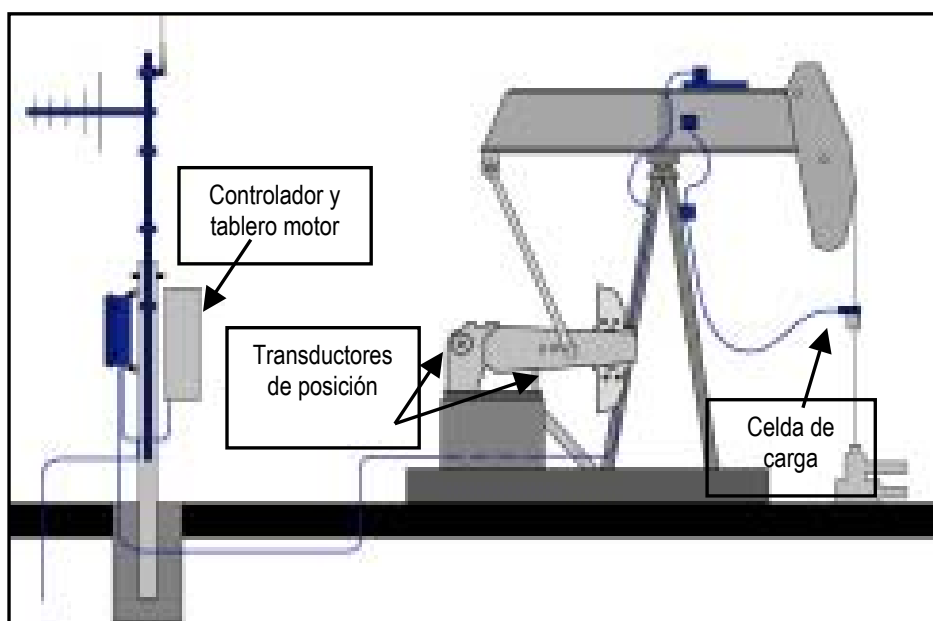
Inclinómetro

Medidor de esfuerzo (strain gauge)



Instalación básica

En el gráfico se observa los diferentes transmisores de carga usuales utilizados en el Controlador de Pozo Inteligente



Ventaja de los métodos de control

El control de la carta de la bomba de fondo es el más exacto de los tres métodos mencionados y es capaz de controlar pozos con problemas que con el control de la carta de superficie resultaría complicado. El control de la carta de fondo requiere datos precisos de la unidad de bombeo y del diseño de la varillas a ser programados en el Controlador de Pozo Inteligente. Este tipo de control también incluye la información de la carga de fluido.

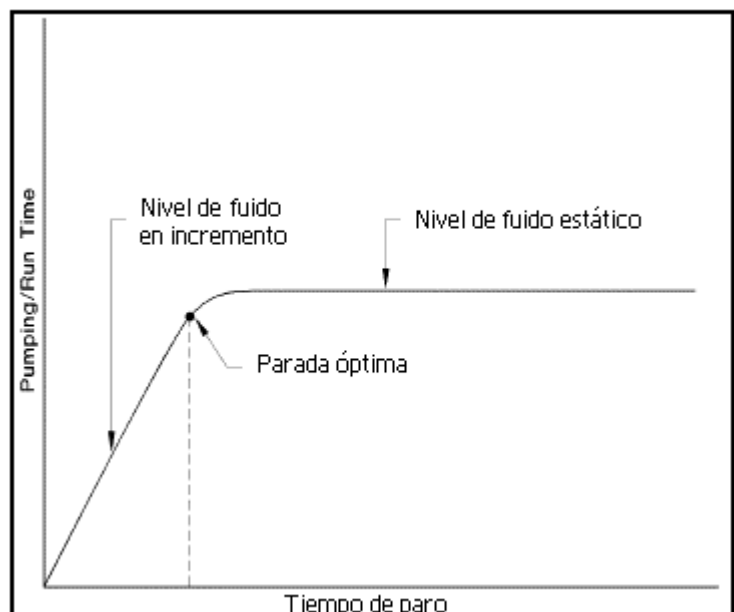
El control de un simple punto en la carta de superficie es fácil para ser usado en pozos simples. Hay factores que hacen que la carta de superficie sea difícil de analizar en algunos pozos.

El control de la potencia del motor es el método menos sofisticado. Es aplicable a pozos de condiciones estables o que no tengan presencia de gas. Las cartas dinamométricas no están disponibles, por lo tanto los análisis son mínimos. Para este caso la celda de carga no es requerida. El control de la potencia del motor es un método de control que recurre cuando no la señal de entrada de la celda de carga es perdida.

Acción sobre la detención del bombeo (Pump Off)

Cuando una condición de detención del bombeo es detectada , el Controladores de Pozo Inteligente es capaz de detener la unidad de bombeo o de ajustar la velocidad del motor por medio de un variador de velocidad o frecuencia.

Para los controles de los ciclos, ajustar los correctos tiempos de paro es una tarea bastante importante. El tiempo de paro de la unidad es a veces dado por la experiencia del personal de producción o de los test realizados. El Controlador de Pozo Inteligente ofrece una función denominada “Auto Downtime” o tiempo automático de parada, para ayudar al usuario a determinar el tiempo óptimo de parada de la unidad de bombeo. El algoritmo Auto Downtime determina una serie de períodos de detención y graba el promedio del tiempo de bombeo en cada período. El resultado de estos datos, visualizados en un gráfico, se analiza para encontrar el punto el cual indica que el nivel de fluido en el pozo es aproximadamente el nivel estático de fluido y el tiempo de detención es el óptimo.



Actualmente, estos controladores pueden conectarse, mediante una placa de expansión, a un variador de frecuencia, el cual provee una salida análoga variable a una entrada de control de velocidad del variador. El algoritmo de control optimiza la velocidad



de la unidad basada en el llenado de la bomba de fondo o en un set point de la carta de superficie. En estos casos se varía la velocidad sin necesidad de cambiar la polea del motor.

Estos dispositivos son ideales para aquellas situaciones en donde detener la unidad, afecte la operación de la producción, como ser:

- problemas con depósitos de arena,
- petróleo muy viscoso,
- parafina,
- operaciones con vapor, etc.

obteniendo por lo tanto la certeza de que estamos extrayendo la totalidad de la producción

Otras funciones de control

Controles de fallas

El Controlador de Pozo Inteligente realiza muchas funciones de control secundarias para detectar las fallas del equipo de bombeo, y ayuda a protegerlo contra los danos de cualquier tipo. El Controlador de Pozo Inteligente detecta además fallas de señales de entrada. También permite programar un número de intentos cuando algunas de las fallas ocurren. En la primera aparición, el controlador detiene la unidad en relación a los intentos que uno le ha asignado. Si la condición ha sido eliminada, el Controlador de Pozo Inteligente, librerá las cuentas consecutivas y continuará con su normal operación. Si la condición persiste para el número de intentos programados, el controlador detendrá la unidad debido a un estado de falla y requerirá que el operador intervenga para visualizar la misma, y volver a poner en marcha la unidad. Estas fallas de las funciones pueden ser habilitadas o inhabilitadas en forma individual.

Las fallas incluyen:

- Carga máxima: detiene el pozo si la carga máxima de la varilla supera el límite de carga máxima permitido. Requiere una señal de carga.
- Carga mínima: detiene el pozo si la carga mínima de la varilla está por debajo del límite de carga mínimo permitido. Requiere una señal de carga.
- Punto de falla: detiene el pozo si la carta de superficie en la carrera ascendente cae fuera del punto de falla para el número consecutivo programado de golpes. Detecta fallas en el equipo como varillas o válvula viajera abierta. Requiere una señal de carga y posición.

- Baja carga de fluido: detiene el pozo si el nivel de fluido calculado de la carta de fondo cae por debajo del nivel mínimo permitido para el número programado de golpes permitidos de detención de bomba (Pump off).La carga de fluido es calculada por la resta del promedio de la carga descendente de la carta de la bomba y del promedio de la carga de la carrera ascendente de la carta de la bomba. El chequeo de la carga de fluido es un método alternativo para detectar fallas como rotura de varillas, o válvula viajera abierta. También permite detectar altos niveles de fluido, ya que el mismo reduce la cantidad de la carga de fluido en la bomba. Requiere una señal de carga y de posición. Solamente disponible cuando el método de la carta de fondo es seleccionado.
- Torque máximo: detiene la unidad el torque máximo calculado para una carrera excede el torque permitido. El controlador calcula el torque de la curva de velocidad/torque del motor y las señales digitales del eje del motor y de la manivela. Requiere señales de posición Efecto Hall. Disponible con los métodos de control de superficie o de fondo.
- Pérdida de detección de las RPM del motor: detecta la señal de pérdida de las RPM del motor. Sin esta señal de entrada el controlador tiene muy limitadas sus funciones, por lo tanto hay que llamar al operador para arreglar dicha falla. Disponible solamente con las señales de posición Efecto Hall.
- Pérdida de detección de la señal de la manivela: detecta la pérdida de la señal de la manivela. Sin esta señal de entrada el controlador tiene muy limitadas sus funciones, por lo tanto hay que llamar al operador para arreglar dicha falla. Disponible solamente con las señales de posición Efecto Hall.
- Bajas RPM del motor: el controlador detendrá la unidad si las RPM del motor caen por debajo del mínimo límite permitido. Provee protección contra condiciones de atascamientos. Requiere las señales de posición Efecto Hall.
- Resbalamiento de correas: el Controlador de Pozo Inteligente cuenta las RPM del motor en cada carrera de la unidad. Si ese número cae por debajo del set de referencia del límite del porcentaje permitido, una alarma notificará al operador que hay resbalamiento de correas. Ninguna acción de control es tomada. Requiere las señales de posición Efecto Hall.
- Expresiones lógicas: el controlador tiene la capacidad de controlar el pozo más allá de la carga y de la posición. señales análogas y digitales de una variedad de sensores pueden ser usadas para monitorear presión en la línea o temperatura, presión en el casing, pérdidas en la boca de pozo, transmisores de nivel en una batería de un tanque local, por nombrar algunas. Una expresión lógica puede ser programada en el controlador usando estas entradas para tomar decisiones para arrancar o detener la unidad, o para accionar una salida digital para arrancar un bombeo de productos químicos, sonar una alarma, etc.

Administración de la energía máxima

Los productores de petróleo pueden tener contratos con las compañías eléctricas para minimizar el consumo de energía durante los picos de demanda haciendo más atractivo el costo promedio. El controlador tiene una función que permite al usuario detener la unidad durante los picos máximos de demanda. La administración de la energía máxima permite programar el período deseado y sobre qué días habilitar esta función. Todas las funciones de operación normal son suspendidas al activar este estado.

El Controlador de Pozo Inteligente también tiene la habilidad de responder a una serie de comandos emitidos por un sistema SCADA para requerimientos de situaciones de emergencia que deba ser detenido.

Medidas adicionales de registro y rendimiento de pozos

Producción inferida

El controlador incluye un algoritmo de producción inferida (IPA) para calcular la producción de fluido total de la unidad de bombeo. La habilidad de detener el bombeo una vez que la producción de fluido ha alcanzado el nivel permitido está incluido como una parte del algoritmo IPA. El Controlador de Pozo Inteligente utiliza los golpes por minuto, la carrera de la unidad, el diámetro de la bomba y una longitud de la carrera de la bomba inferida de la carta dinamométrica. Este método es determinado según el tipo de control seleccionado. Los controles de fondo utilizan la carta de la bomba y los controles de superficie infieren la carrera del pistón de la bomba. El IPA tiene un factor K para ajustar la pérdida alrededor de la bomba o del volumen del fluido debido a la presencia de gas.

Volumen y promedio del flujo de gas AGA

Embebido en la memoria del controlador están las ecuaciones para realizar los cálculos de volúmenes y promedios de la American Gas Association AGA . Un contador de placa orificio funcionando con un transmisor Delta-P midiendo la presión caída entre la placa orificio es requerido. Para datos más precisos, un transmisor de línea de presión y un transmisor de temperatura pueden ser agregados. Una placa de expansión de entradas análogas debe ser agregada para estas funciones.

Cálculo de potencia de la bomba (PHP) y la varilla de bombeo (PRHP)

El controlador calcula la PRHP de la carta de superficie y la PHP de la carta de fondo en cada carrera. El operador puede colocar la PRHP de referencia inmediatamente después de un tratamiento de Hot Oil. El controlador marcará la entrada de referencia con el día y la hora. También calcula el límite máximo de PRHP. Si el PRHP calculado excede el límite máximo programado, una alarma alertará al usuario que tal vez es tiempo de un tratamiento contra la parafina.

Contador ciclos de bomba y de varillas

El controlador cuenta con dos contadores separados del número de ciclos que está funcionando la bomba y el número de ciclos que están funcionando las varillas. Este es un dato estadístico muy importante.

Memoria estadística diaria

El controlador mantiene un documento de las 24 horas previas de lo siguiente:

- Un documento de los 1440 minutos indicando si la bomba fue detenida o no,
- Un documento del nivel de salida de control de la velocidad hacia un variador de frecuencia para los 1440 minutos previos.

Memoria estadística de 60 días

El controlador mantiene un documento estadístico de los 60 días previos:

- El tiempo de funcionamiento del día en porcentaje
- La producción inferida del día en barriles
- El máximo valor de la carga de la varilla del día
- El mínimo valor de la carga de la varilla del día
- El volumen de producción de gas en el día en MCF
- El máximo valor de la potencia de carga de la varilla PRHP del día

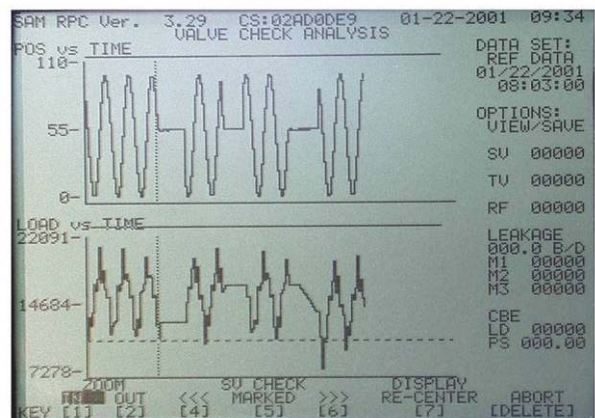
Valores de los últimos 400 datos de cargas

El controlador mantiene en memoria las últimas 400 muestras de cargas previo a la última decisión de detención. Los datos de dinamometría son solo actualizados al final de cada carrera. Una violación de carga máxima o mínima causará la detención antes de que el ciclo sea terminado. La estadística dinamométrica puede entonces no mostrar la violación de carga.

Chequeo de válvulas y contrabalanceo

El controlador documenta la carga de las varillas versus tiempo y lo guarda como un documento para el análisis. Este documento muestrea 1200 puntos de carga como máximo cada 200 mili-segundos. El operador puede grabar 4 minutos de datos. El análisis incluye:

- Datos de los valores de carga de las válvulas fija y viajera



- Calcula la pérdida de la válvula viajera en barriles por día
- Calcula la fricción residual
- Datos del contrabalanceo

Datos de tiempo

El controlador documenta 20 acciones de arranque y parada que acontecen durante su funcionamiento

Documentos de cartas dinamométricas

El controlador posee un display que grafica en tiempo real la actual situación de bombeo. Si el método de control es por carta de fondo, graficará la misma una vez completada la carrera de la unidad.

También posee las siguientes cartas dinamométricas:

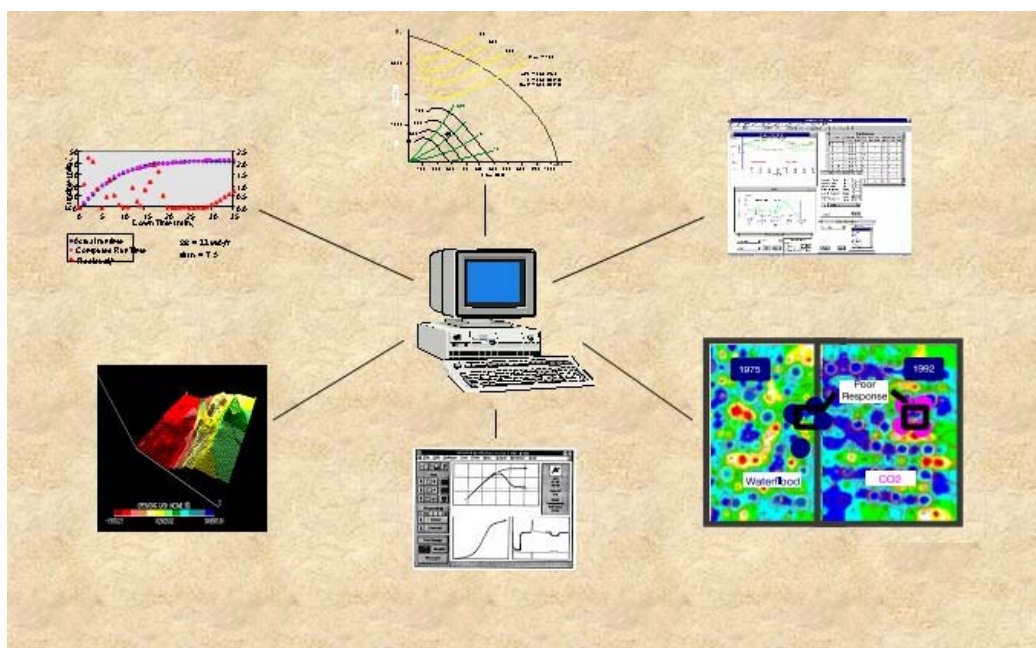
- Cartas almacenadas (Stored card): Las cinco mas recientes cartas dinamométricas
- Carta de bombeo de transición (Pump Up): Una simple carta de la última transición del mínimo GPM de la bomba hacia el bombeo.
- Carta de detención (Shut down card): Las últimas cinco cartas dinamométricas en que la unidad fue detenida separada en dos grupos
- Carta actual (Real time): Carta actual
- Carta estándar (Standard): Un operador graba una carta de referencia
- Carta de comienzo (Start): La carta dinamométrica con lo cual arranca la unidad
- Cartas de referencia (Reference pump cards): Doce cartas de referencia mostrando todos los tipos de problemas.

Las cartas dinamométricas se pueden ver como carta de superficie solamente, carta de fondo solamente o ambas cartas a la vez.

- **Características técnicas**

Puertos de comunicaciones	1 RS 232 local para configuración 1 RS 232 para radio
Protocolo de comunicación	MODBUS con funciones extendidas
Entradas analógicas	2, expandibles hasta 32
Salidas analógicas	0, expandibles hasta 8
Entradas / Salidas digitales seleccionables	8, expandibles hasta 64
Contadores HSC	2, expandibles hasta 8
Protección descargas en línea alimentación	SI
Radio interna	Dispone del espacio libre para albergar radio interna
Seguridad de acceso a datos	Protección mediante Password en dos niveles
Rango de temperatura operación	-40°C a + 85°C
Registro de eventos con indicación horaria	SI
Memoria resguardada por batería	SI
Capacidad de registro	60 días (Plots)
Alimentación eléctrica	120 / 240 Vac
Unidades de medida	Standard o SI
Protección “Splash Guard”	Incluido
Pantalla gráfica 240 x 320 puntos, retroiluminada y teclado numérico con teclas de función	Incluido

Mucha de esta información la podemos visualizar en nuestra pantalla en la oficina de producción mediante un sistema de telesupervisión obteniendo en forma instantánea toda esta valiosa información del pozo, dinamometría on-line e histórica, redundado del análisis dinamométrico, base de datos de las instalaciones, históricos de eventos y fallas, tendencias, reportes y niveles de seguridad controlando de esta manera cualquier posible inconveniente que pudiera originarse.



Estos controladores amortizan su inversión en el corto plazo dado que:

- Incremento medio de la producción en el orden 1% a 4%
- Reducción media en los costos de mantenimiento en el orden 25%
- Disminución media de 20% en paradas no productivas
- Ahorro en consumo específico de energía promedio en el orden 18%

• Usuarios Actuales

Actualmente se han instalado 197 Controladores Pozo Inteligente en un proyecto de Automatización en Pan American Energy / Cerro Dragón hasta el día de hoy se continúa con la instalación adicional de 150 Controladores de Pozo Inteligentes mas. Tambien CHEVRON TEXACO en todas sus áreas (Río Negro Norte / Río Negro, ADQ 2000 / Río Negro, El Trapial / Rincón de los Sauces y El Indio / Río Gallegos) están implementando esta tecnología.

También estamos realizando pruebas en otras áreas dentro de la República Argentina.

• Conclusiones

Hoy tenemos toda la tecnología al alcance de nuestras manos, por lo tanto debemos volcar todas nuestras herramientas posibles hacia los procesos y sistemas inteligentes que optimicen la producción y los recursos, pilares de nuestros objetivos.