

Pan American Energy LLC
Unidad Golfo San Jorge

Experiencia con Bombeo Electrosumergible
Yacimiento Cerro Dragón

Pan American Energy

Diego Leiguarda
Ricardo Mazzola
Miguel Colla
Mariano Ciapparelli
Enrique Leiden

Wood Group ESP

Daniel Santos
Juan Carlos Segnini

Sinopsis:

El presente trabajo describe la experiencia realizada en el yacimiento Cerro Dragón con el sistema de extracción Bombeo Electrosumergible.

A partir del año 2000 la compañía decidió implementar un plan de explotación agresivo, con el objetivo de optimizar y maximizar la producción y el Desarrollo de las reservas existentes. Este plan contempló el desarrollo de nuevos yacimientos en el área, la implementación de nuevos proyectos de recuperación secundaria y la expansión de los existentes. La inyección de agua aumentó un 240% y la producción de petróleo un 175% en 6 años.

Debido a las limitaciones entre otras, a los caudales a extraer, a las mayores profundidades de perforación de los pozos nuevos, buscando nuevos prospectos, el bombeo mecánico empezó a ser planteado como una limitación al momento de establecer producir altos regímenes a altas profundidades. Es así que se introduce como estrategia de explotación la utilización del bombeo electrosumergible como una de las soluciones. Los motores serie 400 eran los utilizados hasta ese momento. Fue entonces cuando se introdujo en el área los motores serie 375 encamisados. Esta tecnología permitió instalar los equipos por debajo de la totalidad de las zonas productivas, optimizando al máximo la producción.

Además, al operar con bajos niveles dinámicos, en muchos casos las zonas poco consolidadas incrementaron su aporte de sólidos al pozo, provocando inconvenientes a la integridad del equipo. Como mejora operativa se implementó la estrategia “soft start” para el arranque de pozos problema, utilizando variadores de frecuencia. A mediados del año 2005 se comenzó también una prueba piloto con desarenadores ciclónicos, instalados y empaquetados en la parte inferior de las camisas de refrigeración.

La profundización de equipos generó un importante incremento de la temperatura de operación. Esto generó fallas prematuras, principalmente por problemas con el barniz y la aislación de los motores eléctricos. En enero de 2006 se comenzó una prueba piloto con motores bobinados con Peek, tecnología que posee mayor resistencia mecánica y a la temperatura que el Kapton, pudiendo soportar temperaturas operativas de hasta 450°F.

Estos cambios y desafíos tecnológicos en la gestión del gerenciamiento del sistema artificial de bombeo electrosumergible, está permitiendo producir altos caudales, a grandes profundidades y con condiciones severas de operación de temperatura, abrasión y depósitos de finos precipitados.

Introducción:

El yacimiento Cerro Dragón, se encuentra ubicado en la cuenca del GOLFO SAN JORGE, en las provincias de Chubut y Santa Cruz, Argentina. Cuenta con 860,000 acres de extensión explotado desde 1958. Actualmente posee 2,214 pozos productores de petróleo y gas con una producción de 14,490 m3opd, 119,222 m3wpd y 7.7Mm3pd de gas. Cuenta con 410 pozos inyectores y 115,750 m3wipd. 1,793 pozos producen con Bombeo Mecánico y el resto se distribuye entre ESP (381 pozos), PCP, gas lift, plunger lift y surgente.

Esta Unidad de Gestión comprende 2 yacimientos ubicados en la provincia de Santa Cruz, el Yacimiento Koluel Kaike y Piedra Clava. Entre ambos suman 481 pozos productores de petróleo y gas con una producción de 1,600 m3opd, 52340 m3wpd y 23,4 Mm3pd de gas . En este Yacimiento se inyectan 50,470 m3wipd. 268 pozos producen con Bombeo Mecánico, 205 pozos producen con ESP y los 8 restantes con PCP.

Debido al avance de los proyectos de recuperación secundaria se ve incrementada la penetración del sistema Electrosumergible en el parque de pozos productores. A su vez las exigencias que debe soportar este sistema se tornan cada vez mayores, motivo por el cual los desarrollos en este sentido dieron origen a esta presentación.

Desarrollo:

El trabajo enfoca los aspectos fundamentales del análisis en tres puntos fundamentales que tuvieron que ser analizados:

1. Pérdidas de cargas (camisas de refrigeración)
2. Fluidos más abrasivos (Producción de arena)
3. Altas Temperaturas (mayores profundidades)

Estudio de pérdidas de carga

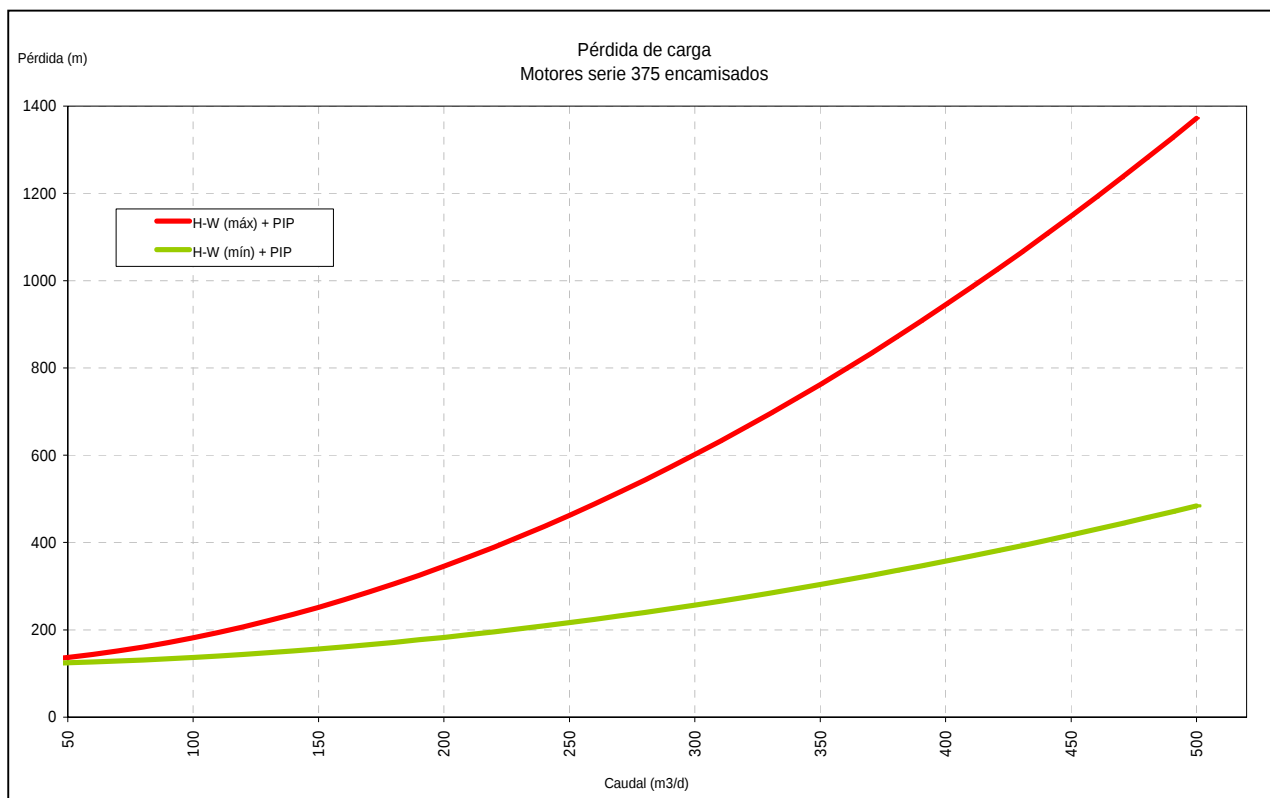
Como se mencionó anteriormente, a partir del año 2000 se migró de la instalación de motores serie 400 a motores serie 375 encamisados. Dichas camisas provocan una pérdida de carga, ya que el fluido debe recorrer todo el espacio entre la camisa y el casing y luego entre la camisa y los motores antes de llegar al intake de la bomba.

Lo que en primera instancia motivó el estudio de las pérdidas de carga fue el hecho que en los equipos serie 375 encamisados existía una gran diferencia entre los niveles dinámicos realizados con ecómetro y los niveles dinámicos calculados a partir de los parámetros de la bomba. Esta diferencia genera una dificultad importante para definir el potencial del pozo y por ende su condición óptima de explotación.

El primer estudio realizado fue el cálculo teórico de las pérdidas de carga. Se utilizó la correlación de Hazzen-Williams. Los tramos se estudiaron por separado de acuerdo al siguiente detalle:

- Espacio entre casing y camisa
- Espacio entre casing y cuplas de camisas
- Espacio entre camisa y motor
- Espacio entre camisa y sellos
- Intake de la bomba

Además se tuvo en cuenta un PIP de 12 kg/cm^2 . Para la realización de los cálculos teóricos se utilizó como fluido “agua”. Los resultados se presentan en el siguiente gráfico:



La curva verde representa el caso en que las tuberías sean nuevas, sin ningún desgaste. La curva roja muestra las pérdidas para tuberías desgastadas y con algún nivel de incrustaciones.

Puede observarse que para un caudal producido de $300 \text{ m}^3/\text{d}$ de fluido se necesitará una altura de entre 250 y 600 metros para vencer la totalidad de las pérdidas de carga y lograr que la bomba produzca sin cavitarse. Esto explica la diferencia entre los valores de niveles dinámicos de fondo calculados y medidos con ecómetro. A su vez las pérdidas de carga marcan el límite mínimo de sumergencia con el cual puede trabajar el equipo electrosumergible encamisado, sin permitir la optimización de la producción del pozo.

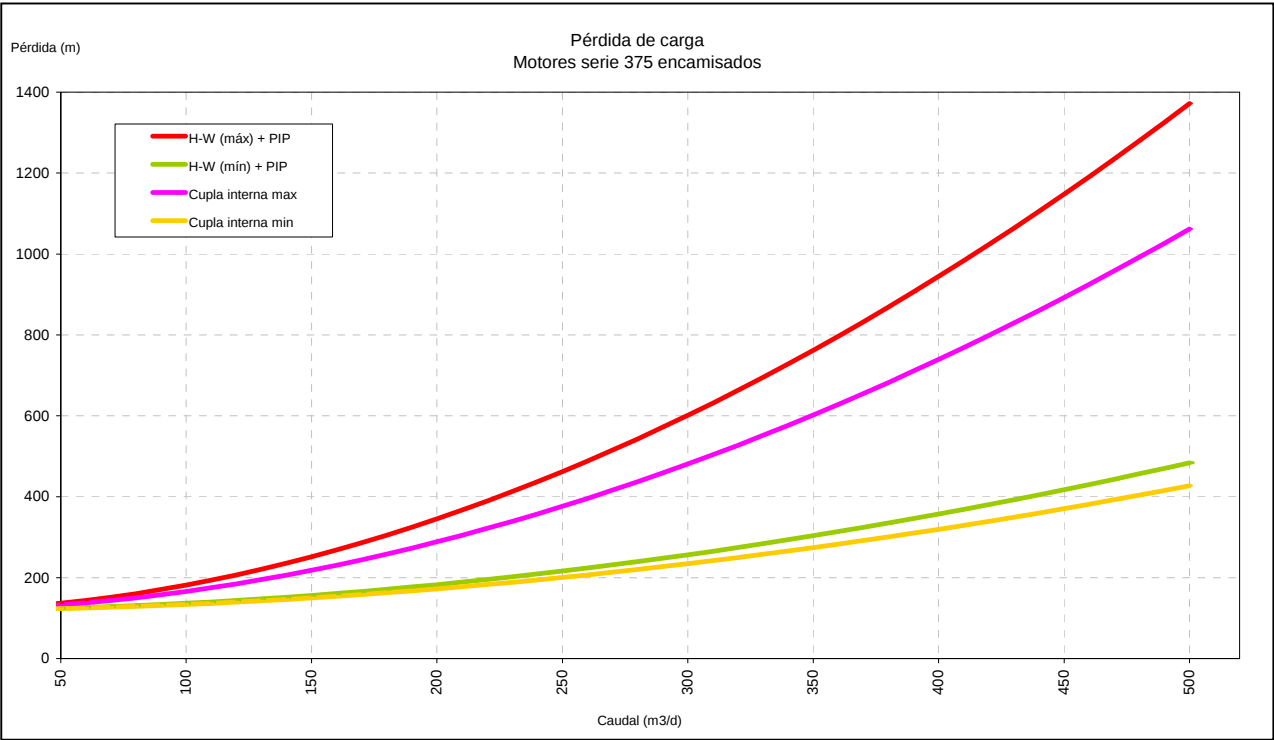
A partir de las conclusiones de este estudio, se comenzaron a evaluar alternativas para disminuir las pérdidas de carga y optimizar la producción de los pozos (bajar el nivel dinámico de fondo).

1. By-pass a las camisas de refrigeración
2. Construcción de las camisas con cupla interior

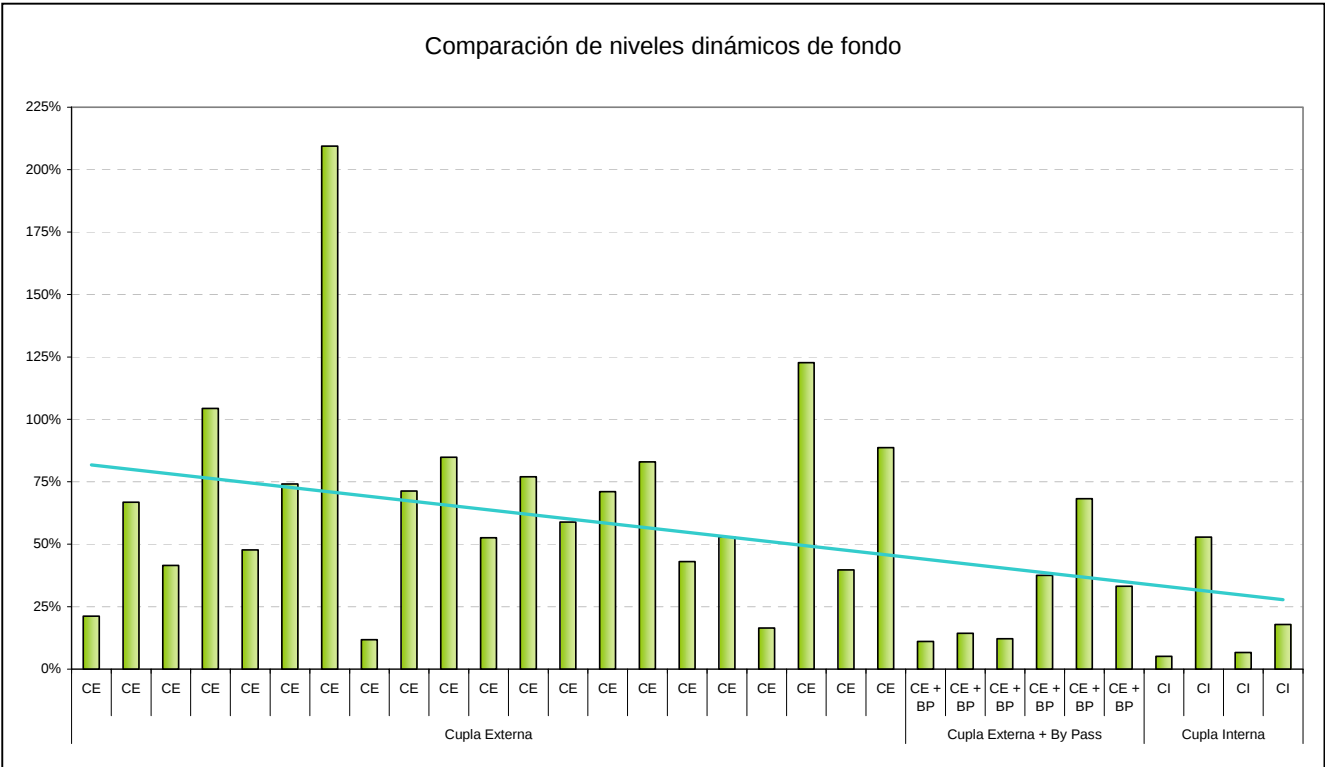
La primera modificación tecnológica fue la introducción de un by-pass a las camisas de refrigeración. Es decir, se colocó un segundo intake modificado, por fuera de las camisas. Esto

genera que parte del fluido producido entre directamente a la bomba sin pasar por los motores. Este segundo “intake” debe ser regulado con extremo cuidado según las condiciones de cada pozo, ya que se corre el riesgo que los motores queden sin la refrigeración necesaria.

La segunda modificación fue la colocación de las cuplas de las camisas en el interior de las mismas. Con este cambio de diseño se logró disminuir la pérdida de carga, ya que se aumentó considerablemente el área de pasaje entre la camisa y el casing. Además se evitó que existan recalques por fuera de las camisas, lo que generaba una condición propensa a la deposición de sólidos o incrustaciones, aumentando aún más las pérdidas de carga. Los resultados teóricos del cambio de diseño se presentan en el siguiente gráfico:



A continuación se presenta un gráfico con los resultados parciales obtenidos en campo, tanto para el modelo con by-pass como para el modelo con camisas de cupla interna:



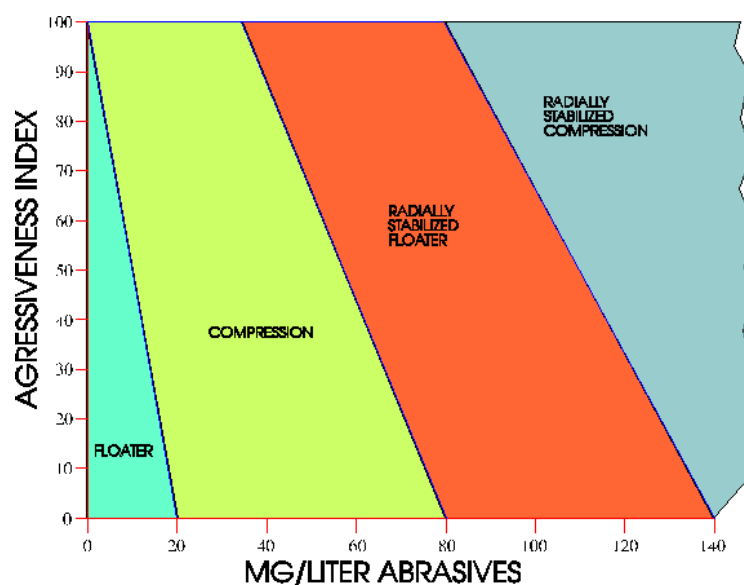
Finalmente, como beneficio adicional esta modificación permitió calibrar el pozo con un conjunto de 116 mm de diámetro, en lugar de hacerlo con el calibre tradicional de 120,5 mm. Esto ha permitido instalar Bombas electrosumergibles en pozos en donde antes no era posible por contar con el pasaje mínimo por problemas de casing.

Producción de fluidos abrasivos

En algunos yacimientos del área, se ha empezado a manifestar aportes de sólidos, que acompañan a la apertura de nuevas zonas, a las respuestas de la inyección de agua de formación, a la reducción de niveles dinámicos, y en los pozos nuevos con fracturas hidráulicas durante la completación.

Esto incrementó el índice de falla al no contemplar en el diseño esta variable. Fue entonces que se tomó la decisión introducir una nueva tecnología en las bombas, que permitiesen manejar, no solo grandes caudales, sino también condiciones abrasivas.

Como primera medida se introdujeron al yacimiento las bombas AR y ARC resistentes a la abrasión. Este tipo o modelo de bombas permitió aumentar el manejo de sólidos del sistema, de una proporción aproximada de 20 ppm a una proporción aproximada de 80 ppm (dependiendo del índice de agresividad).



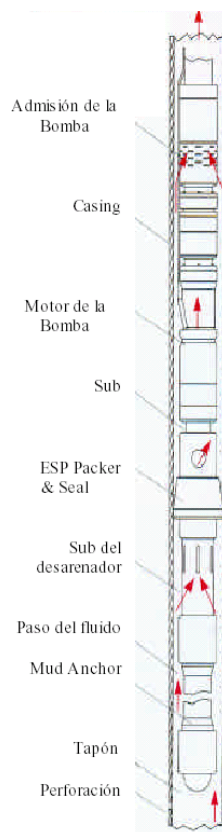
Para producciones aún mayores de sólidos o con un mayor índice de agresividad, se encuentra en proceso de implementación la utilización de bombas con etapas nitruradas, dando más dureza y por ende mayor resistencia a la abrasión.

Como segunda mejora operativa, se incrementó la utilización de variadores de frecuencia, aplicando la estrategia “soft start”. Es decir, arrancar los pozos a baja frecuencia para mitigar la incidencia negativa de los sólidos sobre la bomba, e incrementar el régimen paulatinamente hasta llegar al punto óptimo de producción.

Por último, en septiembre de 2005 se comenzó con la utilización de desanders ciclónicos. Colocándolos y empaquetándolos por debajo de las camisas de refrigeración para el manejo de arena. Hasta el momento se han instalado 8 desarenadores con muy buenos resultados.

El fluido producido pasa por el Desander a través de las ranuras de admisión y la acción centrífuga creada dentro del mismo separa las partículas sólidas del fluido, las mismas se depositan por

gravedad en los tubings de cola. Para ser utilizado en el bombeo electrosumergible se requiere la utilización de un packer como se muestra en la figura.



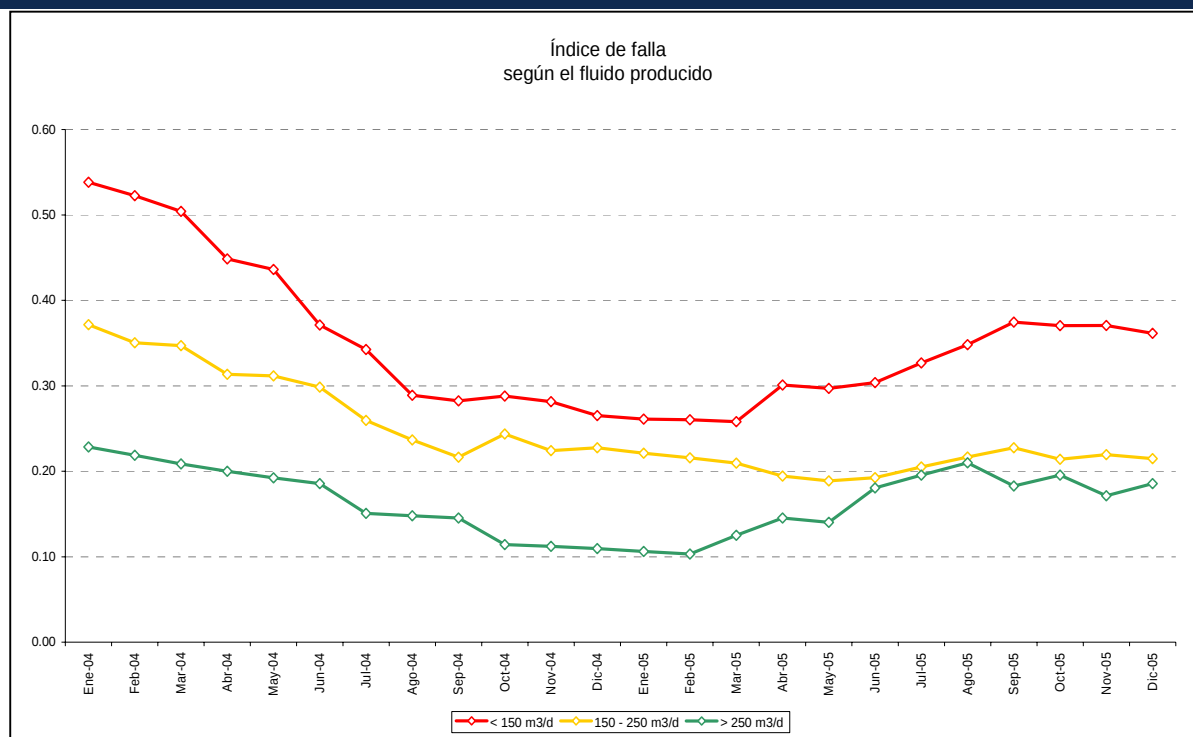
Base de datos ESP RIFTS

En enero de 2006 se cargaron la totalidad de los datos del yacimiento Cerro Dragón en la base de datos ESP RIFTS (C-FER).

Esta Base de datos agrupa información de las principales compañías productoras internacionales que operan este sistema de explotación. Vuelcan sus estadísticas de una manera estandarizada, que permite realizar comparación de performance y curvas de aprendizajes de otros yacimientos, permitiendo también evaluar tecnología aplicadas, benchmarking de acuerdo a las condiciones con las se deseé realizar la comparación (profundidades, caudales, diámetros de cañería, tipos de fluidos, rangos de aplicación, costos, tiempos de intervención, etc.)

En términos generales, la herramienta permite:

- o Mejorar los tiempos de vida de las aplicaciones existentes.
- o Pronosticar la confiabilidad de nuevas instalaciones (What if model).
- o Mejorar el entendimiento de los factores que afectan los tiempos de vida de los equipos.
- o Aprender de las experiencias de otras operadoras.
- o Realizar reportes gerenciales con avanzadas herramientas estadísticas.



Temperatura:

Entre los factores importantes para la definición del tipo y modelo de los motores eléctricos del Sistema de Bombeo Electrosumergible (SBE), se encuentra la Temperatura del pozo asociada a la profundidad de instalación del equipo. En dependencia de esta condición debemos establecer la tecnología más adecuada.

Los pozos productores de nuestras operaciones en el Golfo San Jorge tienen zonas productoras en un rango de profundidad que varía entre los 1500 a 2,500m para el caso de los Yacimientos del Área Cerro Dragón (Provincia de Chubut) y entre 800 a 1700m en los yacimientos Piedra Clavada y Koluel Kaike (Flanco Norte de la Provincia de Santa Cruz). La cantidad de arenas productoras que se punzan, oscilan entre 15 y 30, con espesores entre 2 a 10 m cada una. El rango de temperatura varía desde 60°C hasta 120°C dependiendo de las profundidades antes mencionadas.

En estas condiciones, se plantea una serie de dificultades al momento de seleccionar la profundidad de instalación del equipamiento de producción. En especial cuando se combinan en el mismo pozo, arenas de producción por primaria, presencia de gas y zonas productoras en recuperación secundaria con diferentes niveles de desarrollo y barrido.

El diámetro del casing de entubación es una restricción también al momento de definir y seleccionar los modelos de motores eléctricos. Para los casos que estamos tratando, las entubaciones son 5.1/2" y 7" OD.

Bajo las condiciones hasta ahora mencionadas, los motores Serie 375 y Serie 400 son los que actualmente están siendo utilizados. En el caso de los primeros, son instalados encamisados con un liner que exige al fluido del pozo ingresar por el espacio anular entre los motores y el interior de la camisa para forzar la refrigeración de los mismos. En el segundo caso, se los instala sin camisa de refrigeración por encima de los punzados del pozo en casing de 5 1/2"OD, y si es casing de 7"OD se utilizan las camisas de refrigeración para llevar el equipo a mayor profundidad por debajo de los punzados.

En ambos casos, lo que se busca es asegurar la circulación de fluido requerido que garantice la refrigeración de los motores, evitando su sobrecalentamiento y consiguiente falla.

La Temperatura asociada a los fluidos producidos, resulta una variable importante dependiendo de las características de los mismos. Al aumentar la temperatura de los fluidos de producción, la presión de burbuja desciende en la admisión del equipo lo que genera, ayudado por las pérdidas de carga en la succión; una condición indeseable e intermitente limitando la eficiencia del equipo.

Por otro lado, al aumentar la temperatura de los fluidos y dependiendo de sus características, logramos un descenso de la viscosidad, beneficiando las condiciones de operación del equipo.

Entendemos entonces, que el primer caso expuesto anteriormente es el que se produce en la mayoría de los pozos en nuestra área.

Para atacar la problemática de la temperatura en los motores de los equipos debemos conocer los factores que influyen en la misma y para esto será necesario conocer con detalle el proceso térmico producido.

En principio debemos considerar que el motor se encuentra dispuesto debajo de la admisión de la bomba y que el gradiente geotérmico definirá de acuerdo con la profundidad de la instalación la temperatura del medio ambiente de operación del equipamiento, con lo cual podremos afirmar que teóricamente, está será la mínima temperatura a la que se encontrará el motor.



Mediciones del gradiente geotérmico realizada en diferentes pozos del Yacimiento.

Si consideramos al equipo en condiciones de operación estacionarias, y hacemos un balance de energía tomando como sistema de control la zona del motor limitada por una superficie imaginaria dentro del reservorio, donde la temperatura es infinitesimalmente superior a la temperatura del reservorio (definida por el gradiente geotérmico) sin considerar a la bomba e inferimos que la energía que ingresa al sistema es igual a la que sale del mismo podremos establecer cualitativamente que:

- Energía que ingresa al sistema:
 1. Calor que ingresa con el caudal de producción desde los punzados (dependiendo de si los punzados se encuentran bajo la instalación, o en caso contrario el fluido que ingresará tendrá menor temperatura)
 2. Energía eléctrica
 3. Potencia hidráulica referida a la admisión de la bomba
- Energía que egresa del sistema:

1. Calor que egresa con el fluido de producción hacia la admisión de la bomba
2. Potencia en el eje
3. Potencia hidráulica referida en la admisión de la bomba
4. Calor que se transmite por conducción y convección a través del límite del sistema

Igualando la energía que ingresa y egresa, concluimos que el calor que ingresa con el fluido desde el reservorio más la energía eléctrica será igual a la potencia en el eje más el calor que egresa con el fluido de producción hacia la admisión más el calor que se transmite hacia el reservorio.

Ahora si cambiamos nuestro sistema de control por una unidad de masa de fluido que atraviesa el sistema y observamos las transferencias de energía a las que se ve expuesta cualitativamente llegaremos a la siguiente conclusión.

- La unidad de masa conserva su potencia hidráulica en todo el proceso hasta que llega a la admisión de la bomba. (despreciamos las pérdidas por fricción que se transforman en calor)
- La unidad de masa toma calor del motor por conducción y convección.
- La unidad de masa entrega calor al reservorio por conducción y convección.

En esta transformación consideramos que la unidad de masa aumenta su energía interna y por lo tanto su temperatura.

Teniendo en cuenta que los procesos de conducción y convección para la transferencia de calor, se producen gracias a un diferencial térmico y donde tenemos que asegurar que el calor que genera el motor debe ser evacuado totalmente (condición estacionaria) será conveniente, para minimizar el diferencial térmico; aumentar la velocidad del fluido en contacto con el motor y de esta forma mejoraremos los procesos de conducción y convección.

Del primer caso inferimos que cuanto menor sea la energía entregada al reservorio a través de los límites del sistema en forma de calor para la misma potencia en el eje, mayor será el calor que saldrá hacia la admisión de la bomba junto con la producción. De esta manera para evacuar ese calor por los límites del sistema se precisará menor superficie acercando los límites al contorno del equipo, y cuanto más cerca se encuentre este límite del equipo menor será la temperatura de operación del motor.

Por otra parte debemos considerar que el motor genera calor debido que trabaja con una cierta eficiencia energética, esto implica que la energía eléctrica que consume la transforma en potencia en el eje y calor, cuanto mayor sea la eficiencia con la que trabaje el motor menor será el calor que entregue, debido a esto será necesario trabajar con las curvas de eficiencia del motor para evitar generar más calor del necesario.

Del análisis anterior se desprenden los factores a tener en cuenta para controlar la temperatura de operación del motor que son:

1. Eficiencia operativa
2. Velocidad del fluido en contacto con el motor
3. Capacidades caloríficas de la formación
4. Geometrías del pozo y equipamiento
5. Profundidad de la instalación
6. Profundidad de los punzados productivos
7. Tipos de fluidos de producción

Antes de concentrarnos en cada una de las variables que influyen en la temperatura de los motores creemos conveniente detallar porqué resulta imperativo centrar nuestra atención en la temperatura.

Como sucede en la mayoría de las industrias, los límites operativos de los elementos a altas temperaturas generan elevados estándares para asegurar la integridad de las instalaciones y obtener de éstas performances técnico-económicas aceptables derivando en mayores costos.

En lo que respecta a nuestro SBE deberemos exponer las limitaciones que definen nuestro interés:

Debido a que las producciones que se deben manejar son cada vez mayores en función del Plan de Desarrollo del área (proyectos de recuperación Secundaria), y a que nuestros horizontes productivos son cada vez más profundos es necesario incrementar nuestros requerimientos de potencia en las instalaciones de producción.

• **Profundidad de instalación:** la profundidad de instalación de los equipos ha ido incrementado gradualmente, no solo por la optimización de los diseños sino también por la profundidad de perforación de los pozos nuevos.

Año	Prof. Promedio
2002	1948
2003	1997
2004	2076
2005	2159
2006	2141

• **Sistema de refrigeración:** La instalación de equipos con motores TR3 por debajo de la totalidad de las zonas productivas, implica la utilización de camisas para asegurar la refrigeración de los motores.

Año	TR3	TR4
2002	75%	25%
2003	77%	23%
2004	79%	21%
2005	88%	12%
2006	84%	16%

Año	Sin camisa	Con camisa
2002	23%	77%
2003	22%	78%
2004	9%	91%
2005	5%	95%
2006	3%	97%

• **Pozos nuevos:** Pozos nuevos con alto potencial son completados directamente con SBE para minimizar el tiempo de optimización del pozo.

Año	Pozo nuevo
2002	0
2003	4
2004	13
2005	25
2006	9

A continuación haremos hincapié en la evolución de los índices de falla en función de las variables más significativas a tener en cuenta en la temperatura de operación. Analizaremos los factores que definen la temperatura del motor y las consideraciones para cada caso:

1. Eficiencia Operativa:

El motor que entrega potencia a las Bombas Electrosumergibles es un conjunto de motores tipo jaula de ardilla conectados en serie y cuyos bobinados se conectan en Configuración Estrella en la base universal del motor de fondo.

Como se explicó anteriormente, será necesario maximizar la eficiencia de estos motores para producir menor calor por unidad de potencia en el eje y bajar la temperatura de operación del motor.

A continuación mostramos el circuito equivalente simplificado de un motor de este tipo

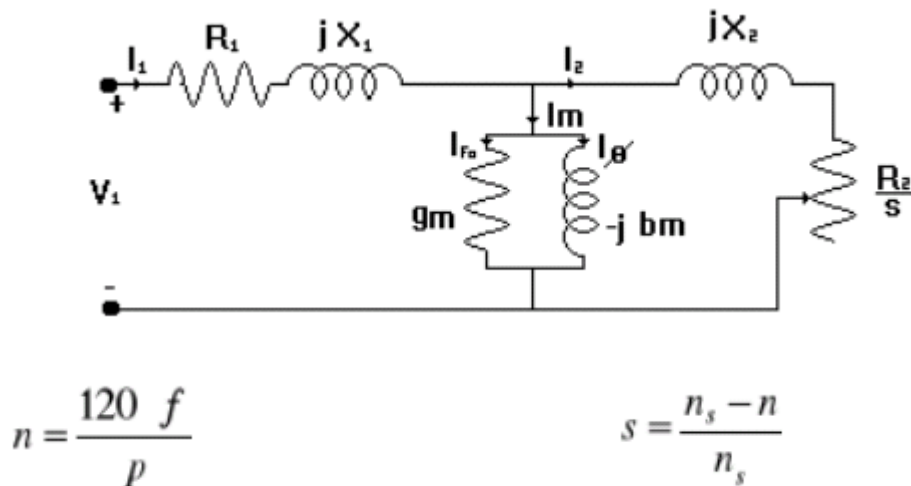


Fig. 6. Circuito equivalente final

Del circuito se aprecia que la potencia total transferida por el estator a través del entrehierro es:

$$P_c = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2 / s$$

Donde P_c : Potencia del campo giratorio.

Las pérdidas del cobre del rotor son:

$$PCU_R = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Por lo tanto, la potencia mecánica desarrollada por el motor es:

$$P_m = P_c - PCU_R = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2 / s - m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Luego

$$P_m = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \cdot (1 - s) / s$$

$$P_m = (1 - s) \cdot P_c$$

Las pérdidas en el cobre también se pueden expresar como:

$$PCU = s \cdot P_c$$

Para un motor trifásico $m_1=3$.

Aquí se puede ver que de la potencia total suministrada al rotor, la fracción $(1 - s)$ se convierte en potencia mecánica y la fracción s se disipa en las pérdidas en su propio cobre en forma de calor. Por lo tanto, un motor de inducción que trabaja con gran deslizamiento es necesariamente de muy bajo rendimiento.

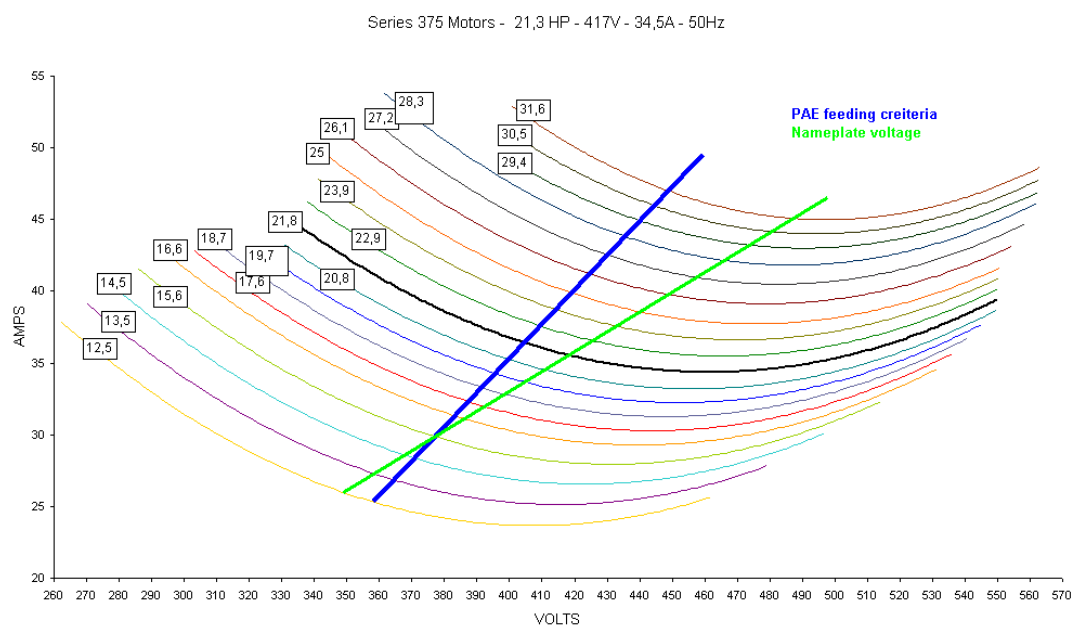
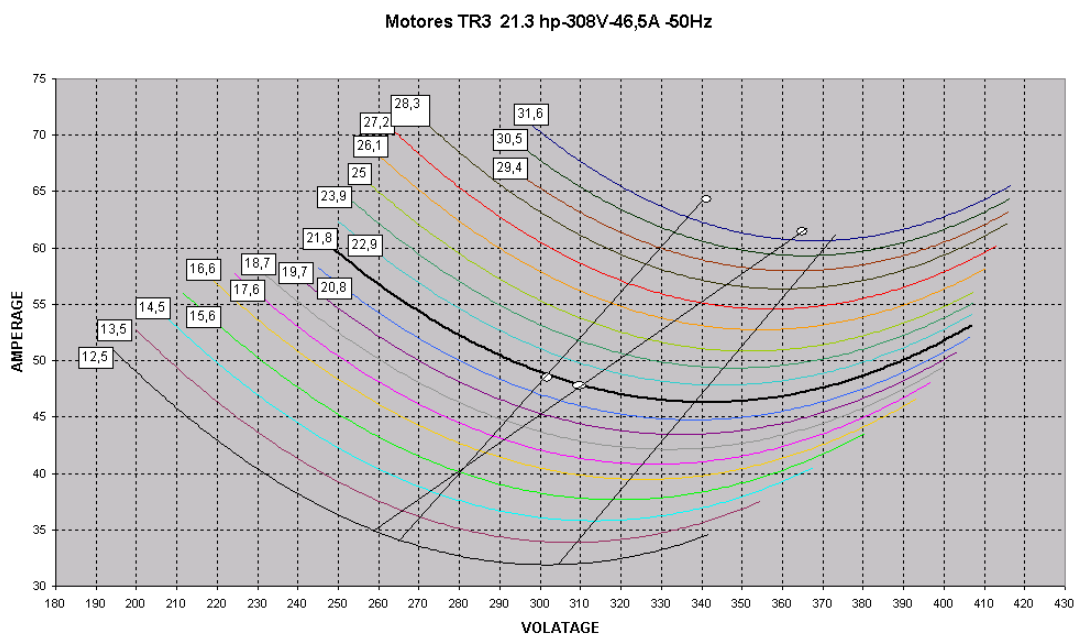
Cabe considerar que el motor se encuentra inmerso en un baño de aceite que cumple la función de transportar eficientemente el calor y lubricar las zonas de rotor bearing y cargas axiales en los

sellos, estas zonas lubricadas también generan calor que son función de las rpm las cuales podremos considerar constantes.

Si bien la temperatura de operación afecta las características resistivas e inductivas del circuito equivalente podremos concluir que el calor generado en los motores resulta mayormente dependiente de la carga a la que se encuentra sometido y a la eficiencia en la cual se encuentra trabajando.

Si queremos minimizar el calor generado, podremos trabajar sobre las características eléctricas (V, A) de operación de los motores de forma tal de operar con la mayor eficiencia para la carga propuesta, y para el mismo tipo de bomba la carga requerida será función de la productividad del pozo; por lo cual no podremos manejar esta variable a voluntad.

Hemos definido entonces las consideraciones siguientes:



En los gráficos anteriores se puede apreciar el comportamiento de los diferentes tipos de motores de acuerdo al porcentaje de carga (estas curvas son relevadas empíricamente).

Si consideramos que la potencia entregada al motor desde el cable de alimentación es directamente proporcional al producto $V \cdot I$ concluimos que para una potencia dada dicho producto será constante, si graficamos un producto $V \cdot I$ constante en este gráfico representaremos una asíntota equilátera, por lo tanto el lugar geométrico que define la condición de mayor rendimiento se corresponde con las condiciones V e I de las curvas graficadas más “cercanas” a la asíntota correspondiente.

Queda definido entonces en línea azul, las condiciones esperadas de operación según el criterio de establecido en nuestras operaciones. Se procede entonces a variar la conmutación de los transformadores con el fin de regular el voltaje en función del porcentaje de carga de los motores buscando la mayor eficiencia.

2. Velocidad del Fluido en contacto con el Motor

Como hemos detallado anteriormente al aumentar la velocidad del fluido en contacto con el motor, favorecemos la transferencia del calor generado por el motor al fluido de producción, minimizando el calor transferido al reservorio y disminuyendo la temperatura de operación del motor.

Debido a que la admisión de la bomba se encuentra sobre el motor, y como mencionamos anteriormente, existen dos disposiciones:

1° caso: Ubicando la instalación sobre los punzados productivos toda la producción refrigera el motor al pasar por el anular definido entre el anular formado entre el motor y el diámetro interno del Casing.

2° caso: Ubicando la instalación bajo los punzados productivos, toda la producción se dirige hacia el anular definido por el espacio formado entre el OD del motor y el diámetro interior de la camisa de refrigeración.

En ambos casos la velocidad queda definida por la productividad del pozo y las geometrías utilizadas.

La literatura y los fabricantes recomiendan diferentes caudales equivalentes de agua o velocidades mínimas producida para garantizar la refrigeración de los motores. Esto es una velocidad mínima de 1 ft/s.

3. Capacidades caloríficas de la formación

Sobre estas características no podemos influir, solamente tener en cuenta que el reservorio es considerado un foco calorífico y que la zona influenciada por la temperatura elevada de operación del equipamiento posee una inercia térmica considerable, situación que se puede observar en las mediciones de gradiente de temperatura en la zona donde se encontraba el equipo.

4. Geometrías del pozo y equipamiento

Si bien se ha trabajado sobre las geometrías de los equipos no se ha hecho con el fin de minimizar la temperatura de operación, excepto en la aplicación de camisas de refrigeración en los equipos instalados bajo los punzados productivos.

5. Profundidad de la instalación

La profundidad de la instalación en conjunto con el gradiente geotérmico característico del pozo define la mínima temperatura de operación del equipo.

Mejorar la resistencia a la temperatura del equipamiento a instalar, nos permite operar a mayores profundidades, requerimiento que nos impone la evolución de los planes de desarrollo de nuestras operaciones.

6. Profundidad de los punzados productivos

Las consideraciones del Item anterior se corresponden con este, pero cabe destacar que si la producción proviene de una zona de mayor temperatura; se establece una transferencia de calor al reservorio hasta llegar a la succión de la bomba bajando su temperatura. Este descenso de la temperatura, se ve directamente relacionado con el caudal que aporte la zona; debido a que se evidencian los mismos fenómenos de conducción y convección antes mencionados.

7. Tipo de Fluidos producidos

En cuanto a este punto debemos considerar la importancia del fluido de producción y sus capacidades caloríficas, y su comportamiento en cuanto a la Presión de Burbuja y el contenido de parafinas en fluidos viscosos antes mencionado.

En función de todo lo expuesto anteriormente, se ha comenzado desde el año pasado una serie de pruebas para mejorar la performance y los límites operativos de utilización de los motores eléctricos del SBE.

Se han comenzado a probar motores de tecnología PEEK (PolyEtherEtherKertone), eliminando el barniz con que se armaban y cuya función era darle rigidez mecánica y principalmente officar de elemento aislante de los conductores revestidos con Kapton.

Cabe destacar que en la operación para las que fueron diseñados los motores con conductores revestidos con Kapton no hemos evidenciado problemas en nuestra experiencia, es evidente que, debido a las condiciones que nos impone el desarrollo de nuestro yacimiento, fue necesario extender los límites operativos de los motores aplicando esta nueva tecnología con revestimiento PEEK y sin barniz, tecnología que se encuentra en período de prueba y aplicada en las situaciones que así lo exigen.

A continuación detallaremos todos los equipos que se bajaron durante el año 2005 con tecnología

Fecha Instalación	Zona	Serie	# Motores Peek	Profundidad equipo	Duración	Bruta (m3/d)	Oil (m3/d)
06-02-05	ZORRO	TR3	6	2240	480	221.90	9.50
09-02-05	ORIENTAL	TR3	4	2228	510	137.80	22.00
12-08-05	TRIANGULO	TR3	5	2196	326	158.10	21.80
13-08-05	MESETA CATORCE	TR3	5	2079	325	159.20	22.10
25-08-05	PAMPA	TR3	4	2052	313	160.60	2.40
26-08-05	ZORRO	TR3	4	2357	312	100.40	10.60
06-09-05	PAMPA	TR3	3	2067	301	122.30	5.50

PEEK, equipos que hasta el momento no presentaron fallas.

Esta tecnología ofrece un mejor aislamiento, y permite prescindir del barniz cuya temperatura de operación era el factor limitante en la integridad del conjunto motor.

El material PEEK (PolyEtherEtherKertone), es un polímero termoplástico lineal que exhibe durabilidad y resistencia en aplicaciones de alta temperatura. Se encontró que este material es extremadamente resistente a la abrasión, desgaste y presenta alta resistencia química.

El PEEK tiene mayor performance en altas temperaturas, desgaste y resistencia química que cualquier otro diseño de cobertura plástica como el PPS (Polyphenylene Sulfide) o Nylon enriquecidos.

Una comparación entre ambos aislantes se muestra más (PEEK y alambre estándar con aislación de Kapton).

	PEEK	Kapton	
Density	1.26	1.67	gm/cm ³
Water absorption	0.5	0.8	%
Shrinkage	0.7-1.2	0.3	%
Tensile Strength	14,065	7110	psi @ 23° C
Elongation	> 60	70	% @ 23° C
Temperature Rating	260	220	° C
Thermal Conductivity	1.74	0.83	Btu-in/hr-ft ² -°F
Coefficient of Friction	0.34	0.2	
Dielectric Strength	3.3	3.7	Kv/mil

La mezcla es procesada en estado amorfo para proveer un material dúctil durante el bobinado del estator. No existen rellenos, o aditivos en este compuesto ya que estos podrían inhibir la ductilidad del mismo.

Una comparación desde el punto de vista de la resistencia química se detalla a continuación:

PEEK:

Petróleo Crudo

Gas Natural

Gas Metano

Agua salada

Gas Sulfuro de Hidrógeno

Agua destilada

Agua de canilla

Agua de mar

Aceite de transformadores

KAPTON:

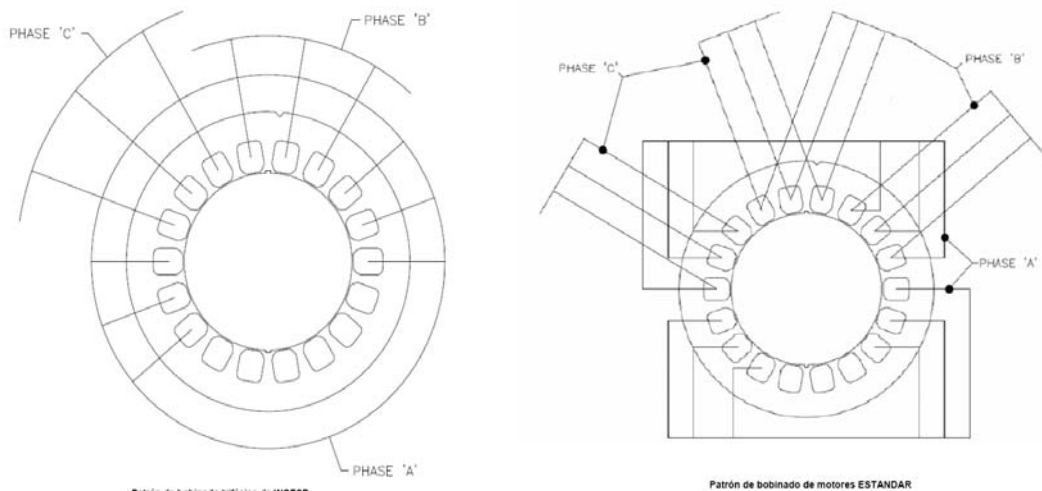
Aceite de transformadores

Agua @ 212F (ph 1-10) pierde el 35% de la extensibilidad, 70-90% de la elongación.

Los motores bobinados con alambre magnético de PEEK ó KAPTON tienen un patrón de bobinados único, comparado con los motores convencionales.

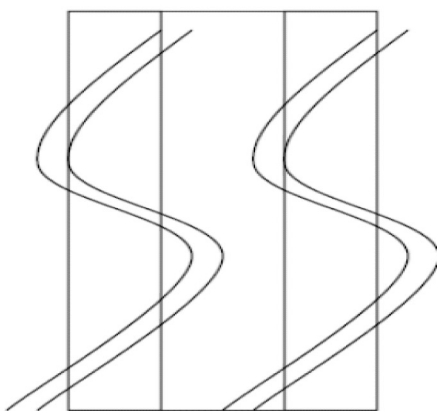
En un motor de este tipo no existen slots compartidos para las fases. Es decir, en cada spot siempre pasará únicamente una y solo una fase y no dos o tres como en los convencionales.

Todas las bobinas son de único slot mientras que el motor convencional, las bobinas ocupan muchos slots y por lo tanto se solapan. La comparación gráfica entre motores PEEK y convencionales se muestra abajo:

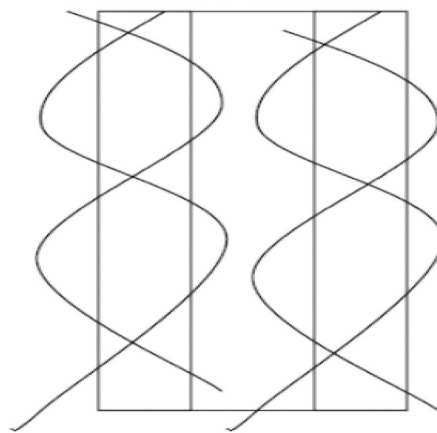


PEEK -KAPTON

Por lo tanto, en los motores PEEK, cuando el motor es energizado por la corriente que fluye, si existe movimiento de los bobinados; estos se moverán todos juntos en la misma dirección de forma coherente. Es decir todos los alambres se moverán juntos en la misma dirección. De esta manera no existirá fricción de alambres en direcciones opuestas.



PEEK -KAPTON



Motores Convencionales

El aceite con el que se llenan los motores PEEK, ingresan en los intersticios en los slots y estator y actúa como un amortiguador hidráulico para cualquier movimiento de alambres.

Debido además que el bobinado PEEK no utiliza barniz existe, sin embargo, espacio suficiente como para que el aceite pueda fluir por entre los slots, permitiendo una mejor capacidad de refrigeración del motor.

La resistencia térmica del motor disminuye aumentando así su capacidad de disipación del calor generado por las pérdidas del bobinado y núcleo. El pasaje de aceite por entre los slots también permite que los alambres estén lubricados, por lo tanto cualquier posible fricción no generaría desgaste alguno de la capa aislante de PEEK. Esto en el Kapton sería imposible ya que la superficie

aislante es irregular (ya que el kapton es una cinta enrollada en el cobre mientras que el PEEK es un tubo uniforme). Esta es la razón principal por la que se pone barniz en el motor con Kapton.

Control de Gestión

Para evaluar la performance del sistema se llevan regularmente un tablero de control con indicadores como:

- 1- Índice de Falla: Relación entre la cantidad de Fallas y la cantidad de Bombas en funcionamiento
- 2- Tiempo medio entre Falla: mide la durabilidad de los equipos que fallan
- 3- Índice de Falla Prematura: tiene como objetivo medir el % de equipos que Fallan antes del año.
- 4- Tiempo de Maniobras de Field Services: Hs que se emplean para realizar una intervención
- 5- Costo de las reparaciones menores y mayores
- 6- Downtime de los pozos con BES, entre otros.

Conclusiones Generales

Podemos afirmar que a través de la gestión del bombeo electrosumergible se está logrando acompañar el plan de desarrollo de la compañía, produciendo altos caudales, a grandes profundidades y con condiciones severas de operación, manteniendo índices de confiabilidad y eficiencia de niveles internacionales.

Consideramos que estamos entendiendo cada vez mejor el comportamiento de las pérdidas de cargas en un sistema electrosumergible, los efectos de la temperatura bajo diferentes condiciones, el manejo de sólidos de distintos orígenes, el porcentaje de petróleo variable y la caracterización de los pozos para definir el equipo adecuado.

El desafío principal consiste en seguir acompañando el plan de desarrollo utilizando todos los recursos disponibles en el mercado. La búsqueda permanente de nuevas tecnologías que permitan mejorar el gerenciamiento del sistema de bombeo electrosumergible en nuestras operaciones. El crecimiento de más de 300 bombas electrosumergibles instaladas en los últimos 3 años en la Unidad de Gestión Golfo San Jorge, es el mejor impulsor para la búsqueda de soluciones a situaciones complejas que se seguirán presentando en el futuro inmediato.

Resulta muy importante mejorar la eficiencia y confiabilidad del sistema para las nuevas condiciones que se vayan presentando, de manera de optimizar los costos operativos asociados al mantenimiento y operación de las bombas.

La limitación de la potencia instalada en los motores de serie 375, es un cuello de botella que debe ser resuelto para aumentar los caudales de extracción a mayores profundidades.

Referencias:

- Manual de Producción Pan American Energy LLC UG GSJ
- Manual de Operaciones de Wood Group ESP
- ESP Current Predictions & Troubleshooting Guidelines BP – Nov-2004
- Well Completion Manual BP – Section 4 – Artificial Lift Methods – Jul – 2003
- Normas, Procedimientos, Instructivos Operativos de Pan American Energy LLC UG GSJ
- Brown, K. E., “The Technology of Artificial Lift Methods”, PennWell (1980)