

24.1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"DIAGNOSTICO DE FALLAS EN EL BOMBEO
ELECTROCENTRIFUGO"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A
RICARDO ADRIAN RODRIGUEZ

MEXICO, D. F.

1988.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.	1
I. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.	4
1.1.- Importancia de un buen diseño.	10
II. AMPERIMETRO.	15
III. ANALISIS DE LAS CARTAS DEL AMPERIMETRO.	19
3.1.- Introducción.	19
3.2.- Descripción de las cartas del amperímetro.	20
IV. CAUSAS DE LAS FALLAS EN EL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.	38
4.1.- Introducción.	38
4.2.- Causas de las fallas en el motor.	39
4.3.- Causas de las fallas en la bomba.	43
4.4.- Causas de las fallas en la sección sellante.	45
4.5.- Causas de las fallas en el cable.	45
4.6.- Recomendaciones para una buena instalación.	47
V. LOCALIZACION DE FALLAS EN EL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.	49
CONCLUSIONES.	70
NOMENCLATURA.	71
REFERENCIAS.	73

INTRODUCCION

En la industria petrolera se utilizan diferentes métodos para lograr obtener una explotación racional de los hidrocarburos, entre los que se encuentran los sistemas artificiales de producción. Existen diferentes sistemas artificiales de producción de los cuales los más usados mundialmente son: el electrocentrífuga, el hidráulico, el neumático y el mecánico. Estos son usados a fin de incrementar la recuperación de hidrocarburos a corto, mediano o largo plazo, por tal razón su uso es variado pues pueden aplicarse en pozos productores, en operaciones como inducir un pozo, etc., pero su mayor aplicación es en pozos en donde la energía del yacimiento no es capaz de elevar los hidrocarburos hasta la superficie.

Todos los sistemas artificiales de producción cuando operan están expuestos a fallas que pueden ser el resultado de un mal diseño, defectos de fabricación, malas técnicas de operación, fallas causadas al variar las condiciones del pozo como son: disminución del nivel de fluidos, formación de emulsiones que ocasionan taponamientos en la bomba, aumento de la relación gas-aceite etc. Por tales motivos se producen fallas en los diferentes sistemas artificiales, por ejemplo: En el bombeo mecánico alargamientos de varillas, fugas en la válvula de pie, fuga en la válvula viajera, atascamiento del émbolo, etc. En el bombeo hidráulico tipo pistón taponamientos en la bomba, contaminación del fluido motriz, etc. En el bombeo neumático taponamientos en las válvulas subsuperficiales tanto en la operante como en las de descarga, fallas de compresión de gas

en la superficie, corrosión, etc. En el bombeo eléctrico candado de gas, cortos circuitos, taponomiento de la bomba, fallas en el suministro de energía eléctrica, etc.

Este trabajo tiene como objetivo principal diagnosticar y prevenir las fallas que se presentan en el bombeo electrocentrifugo en base a la interpretación que se haga del registro de corriente eléctrica que proporciona el amperímetro localizado en el tablero de control. Cabe hacer notar que hay varios tipos de tableros de control, los hay desde unidades muy simples con un botón magnético y protección de sobrecarga eléctrica hasta muy complejos equipados con amperímetro y todos sus accesorios que implican un mayor costo, por tal razón es recomendable que al instalar un sistema de bombeo eléctrico se tome en cuenta utilizar un tablero de control con amperímetro, pues si se piensa que puede ser más económico adquirir uno sin amperímetro con el tiempo puede ser desfavorable puesto que un sistema eléctrico sin amperímetro se ve limitado en no proporcionar elementos suficientes para poder diagnosticar las fallas que se presentan o pudieran presentarse durante la operación, en cambio si se adquiere un sistema con amperímetro con el tiempo se podrá justificar su costo pues ayudará a encontrar las mínimas fallas durante la operación y economizar en posibles reparaciones mayores y de mayor costo que se pudiera pensar sean los causantes de la falla.

También se pretende ayudar al lector, a comprender la función del amperímetro y cómo se deberán de interpretar sus cartas que servirán para diagnosticar las fallas de operación. De la misma manera se enlistan las causas por las cuales se presentan fallas en los principales

componentes del bombeo eléctrico como son el motor, la bomba, el cable conductor, el separador de gas y el tablero de control. Así mismo se dan ejemplos de aplicación de las cartas del amperímetro para solucionar fallas o problemas que se presentan durante el bombeo, también se da una guía para localizar problemas apoyándose en los registros proporcionados por el amperímetro.

CAPITULO I

I. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.

Actualmente el sistema artificial de bombeo electrocentrifugo está considerado como un efectivo y económico medio para producir grandes volúmenes de fluidos en pozos de grandes profundidades y de variadas condiciones. Este puede producir gastos desde 200 bl/día hasta 60,000 bl/día de fluidos con profundidades del orden de 15,000 pies. Este sistema es también usado para producir fluidos en pozos con altas viscosidades, altas temperaturas y productores de aceite y gas.

Es necesario mencionar que el comportamiento de este sistema de producción será bastante eficaz cuando se manejen únicamente líquidos. No por esta razón se dejará de intentar su uso en pozos que produzcan cantidades determinadas de gas libre, ya que la bomba centrífuga podrá manejar una cantidad determinada.

No obstante que son dos las limitaciones principales del bombeo electrocentrifugo, éste puede instalarse en cualquier tipo de pozo a excepción de uno que produzca totalmente gas.

Limitaciones :

- 1.-) La temperatura de operación y
- 2.-) El gas libre que entra a la bomba.

La primera aumenta a razón de que aumenta la profundidad. Para disminuir su efecto se fabrican cables de diferentes materiales que ayudan a prolongar la vida del equipo y en consecuencia la del sistema.

La segunda limitante es quizás el factor más importante que debe tomarse en cuenta para evitar problemas tales como condado de gas, cavitación, reducción de eficiencia de bombeo, etc. Para controlar estos problemas se puede colocar la unidad de bombeo a mayor profundidad o bien instalar un separador de gas en la succión de la bomba para enviar cierto porcentaje de gas libre al espacio anular entre la tubería de revestimiento y la de producción. Otros factores importantes a tomar en cuenta sobre todo para el diseño de la unidad de bombeo son: el gasto que va a manejar la bomba, las dimensiones físicas del pozo, la profundidad del pozo, las densidades relativas de los fluidos, la presión requerida en la boca del pozo, la relación gas-líquido que manejará la bomba, la viscosidad del fluido, la cual es muy importante para requerimientos de potencia y los datos PVT necesarios.

A continuación se presenta un breve análisis del equipo que compone al sistema de bombeo electrocentrífugo, el cual se muestra en la figura No. 1. Cabe hacer énfasis en que un buen diseño de los componentes del sistema redundará en la producción deseada de los fluidos de la formación.

EQUIPO SUPERFICIAL

El equipo superficial está constituido por un banco de tres transformadores de fase única o un transformador trifásico o un autotransformador, un controlador del motor subsuperficial mejor conocido como tablero de control, una caja de unión o caja de viento, y el cabezal de producción del pozo.

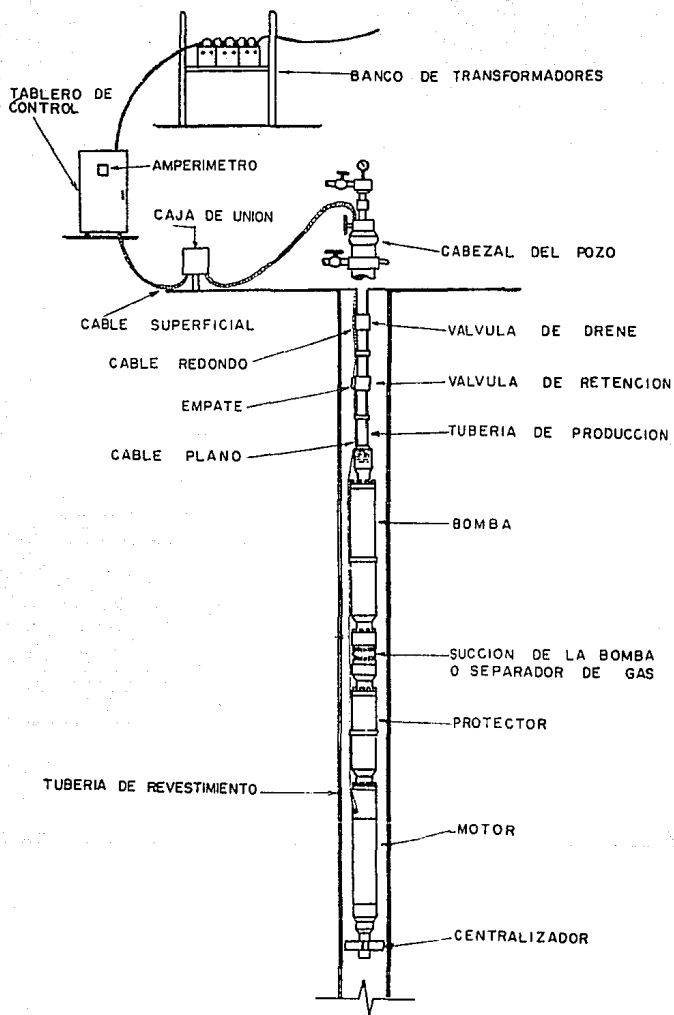


FIGURA No. 4.ª COMPONENTES DEL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO

TRANSFORMADORES

Estas unidades están diseñadas para convertir el voltaje de la línea primaria al voltaje requerido por el motor, éstos están provistos de aceite para lograr un autoenfriamiento. De acuerdo al voltaje disponible en la línea primaria se pueden usar diferentes tipos de transformadores. Los transformadores estándar trifásicos pueden ser usados para cualquier rango de voltaje existente en la línea primaria. Cuando el rango de voltaje en la línea primaria es alto, es más recomendable utilizar tres transformadores de fase única pues su gasto de operación es más económico.

TABLERO DE CONTROL

El tablero de control es el que permite controlar al motor sumergible y en consecuencia el ritmo de bombeo, éste regula el voltaje y amperaje necesarios para los requerimientos del motor. La selección del tablero de control depende de los rangos de voltaje y amperaje necesitados actualmente y de requerimientos de potencia futura.

Existen diferentes tipos de tableros de control, los hay desde unidades muy simples con un botón magnético y protección de sobrecarga eléctrica hasta muy complejos ensamblados con fusibles de desconexión, amperímetro, protección de bajacarga y sobrecarga de corriente, luces, relojes para bombeo intermitente e instrumentos para operación automática o a control remoto.

Puesto que el objetivo principal de este trabajo es la interpretación de las cortas del amperímetro, en lo consiguiente se do

como un hecho que cada vez que se haga mención del tablero de control se estará hablando de un tablero provisto de amperímetro y accesorios necesarios.

CAJA DE UNION

Esta es instalada por razones de seguridad y esta localizada entre el cabezal del pozo y el tablero de control. Puesto que el gas puede viajar a través del cable superficial hasta el tablero de control y provocar un incendio o una explosión se coloca la caja de unión en esa posición y de esa manera se evita que el gas viaje a través del cable y llegue al tablero de control. Se recomienda que la caja de unión se instale a 15 pies como mínimo del cabezal del pozo y a 35 pies como mínimo del tablero de control.

EQUIPO SUBSUPERFICIAL

El equipo subsuperficial esta constituido por el motor eléctrico, la sección sellante, la succión de la bomba que generalmente es el separador de gas, la bomba centrífuga de múltiples etapas, un conductor eléctrico, una mufa protectora, la extensión de la mufa o cable plano y el empate.

MOTOR ELECTRICO SUMERGIBLE

El motor eléctrico es la fuerza impulsora que hace operar a la bomba. Los motores eléctricos que se usan en operaciones de bombeo son bipolares trifásicos del tipo jaula de ardilla de inducción. Estos motores operan a una velocidad relativamente constante de 3500 rpm para 60 Hz. y 2915 rpm. para 50 Hz. Los requerimientos de amperaje pueden

variar desde 12 hasta 130 amps. La potencia requerida se logra con incrementos de longitud de la sección del motor, es decir entre más largo sea el motor tendrá mayor potencia. El motor esta construido con rotores generalmente de 12 a 18 pg. de largo que se montan en la flecha y con estatores (bobinas) montadas en la carcasa de acero del motor.

SECCION SELLANTE

El protector o sección sellante conecta las carcasas de la bomba y motor mediante la conexión de la flecha impulsora de la bomba con la del motor, además evita la entrada de los fluidos del pozo al motor y contiene un recipiente de aceite que compensa la expansión y contracción del aceite del motor debido al calentamiento y enfriamiento de éste cuando la unidad sumergible esta trabajando o esta parada.

SEPARADOR DE GAS

El separador de gas esta colocado entre la sección sellante y la bomba centrifuga y sirve de succión a la bomba para la entrada de fluidos. El separador de gas tiene como función principal separar el gas libre del fluido y desviarlo de la entrada de la bomba hacia el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la de producción.

La eliminación de gas no es necesariamente la forma óptima de bombear el pozo. Es decir, aunque el volumen total en la succión de la bomba se reduce, la presión de descarga se incrementa debido a la menor cantidad de gas en la columna de fluidos por arriba de la bomba. El separador es una ayuda en la prevención del candado de gas y normalmente permite un bombeo más eficiente en pozos gasificados.

BOMBA CENTRIFUGA

La bomba centrífuga sumergible es la que impulsa los fluidos a la superficie. Las bombas centrífugas son de múltiples etapas y cada etapa esta constituida de un impulsor giratorio y un difusor estacionario.

Una bomba operando a un gasto superior al de su diseño produce empuje ascendente excesivo y por el contrario, operando a un gasto inferior produce empuje descendente excesivo. A fin de evitar dichos empujes la bomba debe de operar dentro de un rango de capacidad recomendado el cual se indica en las curvas de comportamiento de la bomba y que va del 75 al 125 (%) del punto de mayor eficiencia de la bomba.

CABLE

La potencia se suministra al motor por medio de un cable eléctrico. Un rango de tamaños de conductor permite cubrir los requerimientos del motor. Existen en estilo plano y redondo y con aislamiento, los cables pueden instalarse en pozos con temperaturas superiores a 148 (oC). Dependiendo de las condiciones del pozo el cable puede tener armadura de acero, bronce o monel.

Existen en el mercado los cables planos y redondos con conductores de tamaño del 2 al 6 en cobre o aluminio. El tamaño apropiado del cable lo determina el amperaje, la caída del voltaje y el espacio disponible entre la tubería de revestimiento y la de producción. El mejor tipo de cable se selecciona en base a la temperatura de fondo y a los fluidos que se producirán.

Los cables estándar tienen en general 10 años de vida a una temperatura máxima de 167 (oF) y esta se reduce en 50 (X) por cada 15 (oF) arriba del máximo permitido por el fabricante. El medio ambiente bajo el que opera el cable también afecta directamente su vida.

MUFA

La mufa es el dispositivo que pone en contacto el cable plano con el motor, y proporciona protección a esa parte tan delicada que tiene fallas considerables.

EMPATE

El empate es la unión del cable plano con el redondo, y es una de las partes que más continuamente falla.

Además de los accesorios fundamentales antes mencionados existen otros accesorios opcionales que proporcionan mayor seguridad. Algunos de los más importantes son los siguientes:

- Centrales.
- Flejes.
- Válvula de retención.
- Válvula de drene.
- Registros de presión de fondo.

1.1.- IMPORTANCIA DE UN BUEN DISEÑO

El bombeo electrocentrifugo cada día se esta implementando más en pozos petroleros debido a la disponibilidad de energía eléctrica que se tiene en los campos petroleros. Este sistema al igual que los otros

sistemas artificiales tiene sus propias ventajas y desventajas, una de sus muy considerables ventajas es la de producir grandes volúmenes de fluidos. El bombeo eléctrico es poco usado en México debido a las fallas que presenta, tales como: cortos circuitos, sobrecargas y bajacargas de corriente, quemaduras del motor, etc., mismas que pueden disminuirse bastante si se toman en cuenta las siguientes recomendaciones :

1.-) Se debe de tomar en cuenta el comportamiento de afluencia al pozo (IPR), ya que este establece la capacidad máxima de producción del pozo y también determina la presión de fondo fluyendo para cualquier otro gasto menor al máximo, éste gasto determina que bomba lo maneja con máxima eficiencia.

2.-) El diámetro interior de la tubería de revestimiento determina el diámetro máximo del motor y de la bomba que ajusta en el pozo. Esto es importante ya que generalmente se tendrá la instalación más eficiente cuando se utilice una bomba de mayor diámetro.

3.-) La profundidad de los intervalos perforados determina la máxima profundidad posible de colocación del motor sin necesidad de usar una camisa desviadora para obligar al fluido a que pase por la pared externa del motor para que de esa manera lo enfríe.

4.-) Las densidades relativas y porcentajes de líquido y gas que componen la mezcla que se bombea determinan la potencia del motor. Por lo tanto la densidad relativa del agua y el gas, la densidad API del aceite, el porcentaje de agua y la relación gas-aceite son datos indispensables.

5.-) La viscosidad del fluido es también importante para una

selección óptima de la bomba y motor ya que si el fluido es muy viscoso se seleccionará una bomba de mayor capacidad y mayor carga, lo cual aumentará el tamaño del motor requerido.

6.-) La temperatura a lo largo del pozo es uno de los factores más importantes a tomarse en cuenta para el diseño de una instalación sumergible debido a que tanto el gas en solución como el gas libre son sensibles a la variación de ella.

7.-) Los datos PVT en forma de presión, relación gas-aceite y factor de volumen de la formación a las condiciones de presión y temperatura deseados son indispensables para lograr un buen diseño.

8.-) Otra información importante es la concerniente a saber que presión se deberá de tener en la cabeza del pozo para que los fluidos sean transportados a su destino. Esto es muy importante para determinar cuál será la carga dinámica total (C.D.T.) que deberá de producir la bomba.

C.D.T.= Contrapresión en la cabeza del pozo + Caídas de presión por fricción + Elevación efectiva de fluidos.

Elevación efectiva de fluidos = Profundidad de colocación de la bomba
- nivel de fluidos por encima de la bomba.

A continuación se da un porcentaje de fallas en el bombeo electrocentrífugo en base a la experiencia que se ha tenido al operar este sistema, posteriormente se hace mención de los factores que intervienen en dichas fallas.

COMPONENTE	(%) DE FALLAS
1.-) Cuerpo del cable.	29
2.-) En el empate.	26
3.-) Extensión de la mufa.	15
4.-) Motor.	12
5.-) Bomba.	9
6.-) Mufa.	9

Los factores principales por los cuales falla el equipo de bombeo electrocentrifugo son: la temperatura, la cantidad de gas libre a las condiciones de presión y temperatura del fondo del pozo, naturaleza de los fluidos producidos y el nivel dinámico de los fluidos.

TEMPERATURA.- La temperatura de operación es uno de los factores más importantes que ocasionan fallas, ya que afecta al cuerpo del cable, al empate, al motor, a la bomba y a la mufa. En la medida de que aumenta más allá de las temperaturas máximas permitidas por dichos componentes éstos reducirán su vida y acarrearán problemas como cortos circuitos, sobrecalentamientos, etc.

GAS LIBRE.- Al existir grandes presiones y temperaturas en el fondo del pozo causan que el gas se filtre en el cuerpo del cable, en el empate, en la extensión de la mufa y en la mufa reduciendo de esta manera la constante dieléctrica de dichos materiales provocándose fugas de corriente, cortos circuitos, etc. Al motor lo afecta en la medida en que al aumentar el gas libre se produce una disminución de la presión en la descarga de la bomba y esto provoca que el motor se acelere, puesto que

para ese momento el motor esta trabajando con una potencia sobrada ocasiona que se sobrecaliente y en consecuencia se queme. Al existir gas libre en la bomba se produce el fenómeno de cavitación el cual provoca daños mecánicos y golpeteos, además reduce considerablemente la eficiencia de bombeo.

NATURALEZA DE LOS FLUIDOS.- Si los fluidos producidos son de naturaleza corrosiva, abrasiva o incrustante pueden dañar seriamente a los componentes subsuperficiales, por tal motivo estos deberán de estar diseñados para soportar dichos ambientes. Del mismo modo fluidos altamente densos y viscosos pueden acarrear problemas al motor ya que requerirá de mayor potencia de la que puede aportar ocasionándose sobrecalentamientos y sobrecargas de corriente. Si el pozo produce arena se deben de tomar las medidas necesarias para evitar que se pueda llegar a taponar la succión de la bomba.

NIVEL DINAMICO.- El aumento o disminución del nivel dinámico provoca daños al motor y a la bomba. Así por ejemplo: Si se supone que se bombea un fluido el cual no tiene gas libre, entonces al disminuir el nivel dinámico hasta la succión de la bomba o cercana a esa parte, ocasiona que el motor disminuya su amperaje de consumo y deje de operar, pues se provoca que la bomba opere en vacío con la consecuente falla de la misma. Lo mismo si aumenta el nivel dinámico, entonces el motor se acelera, pues la carga dinámica total disminuye, y su consumo de corriente aumenta con lo que se puede producir una sobrecarga de corriente que provoca que deje de funcionar el motor y en consecuencia la bomba.

CAPITULO II

II. AMPERIMETRO.

El comportamiento de operación del bombeo eléctrico se puede observar con el registro de corriente del amperímetro, el cual se localiza en el tablero de control, esto es posible debido a que la carga eléctrica (amperaje) que consume el motor es sensible a los cambios de la densidad relativa de los fluidos producidos y también al gasto de dichos fluidos, es decir al aumentar la densidad relativa de los fluidos se requerirá de mayor corriente a fin de que el motor logre generar mayor potencia para que la bomba mantenga la misma cantidad de carga en los fluidos y éstos logren alcanzar la superficie, de la misma manera, si el gasto de los fluidos en la bomba se altera por la presencia de gas u otro factor, el motor requerirá de mayor o menor corriente dependiendo si el gasto aumenta o disminuye. Estas variaciones de corriente son reflejadas en las cartas del amperímetro las cuales de acuerdo al tipo de gráfica ayudarán a identificar la causa del problema y el lugar donde se presenta.

Las cartas del amperímetro son utilizadas como herramientas de diagnóstico de fallas en el bombeo eléctrico, pero desafortunadamente el amperímetro es uno de los instrumentos menos comprendidos o conocidos. Las cartas que proporciona el amperímetro son muy semejantes a los electrocardiogramas usados por los médicos y también al registro medidor de orificio usado en la industria petrolera. El análisis de las cartas del amperímetro aporta valiosa información para la detección y corrección de los problemas que se presentan durante la operación del bombeo.

Una carta típica del amperímetro sobre la cual se lleva a cabo el registro de corriente es mostrada en la figura No. 2.

Como se observa en la figura, tanto la escala como el trazo de la carta del amperímetro son complicados para su dibujo, por lo que en las figuras que se ilustran posteriormente solo se incluirán las líneas más relevantes.

Los tableros de control se construyen en dos secciones de voltaje llamados compartimiento de alto voltaje y de bajo voltaje.

La sección de alto voltaje comprende cuatro elementos básicos que son los siguientes:

- a) Un cable superficial introductor de corriente eléctrica.
- b) Un interruptor.
- c) Un transformador reductor de corriente.
- d) Un cable que da salida de energía eléctrica hacia el pozo.

El circuito introductor de energía eléctrica es accionado por el interruptor, éste abre cuando se pone en marcha la unidad de bombeo o cierra cuando se para la unidad, a partir del interruptor se suministra la energía eléctrica al motor sumergible por medio del cable.

La sección de bajo voltaje está provista de unos dispositivos llamados relevadores de bajacarga y sobrecarga, los cuales son sensibles a los cambios de corriente y al ser activados se suspende el bombeo, cuando los relevadores de sobrecarga son activados debido a que se

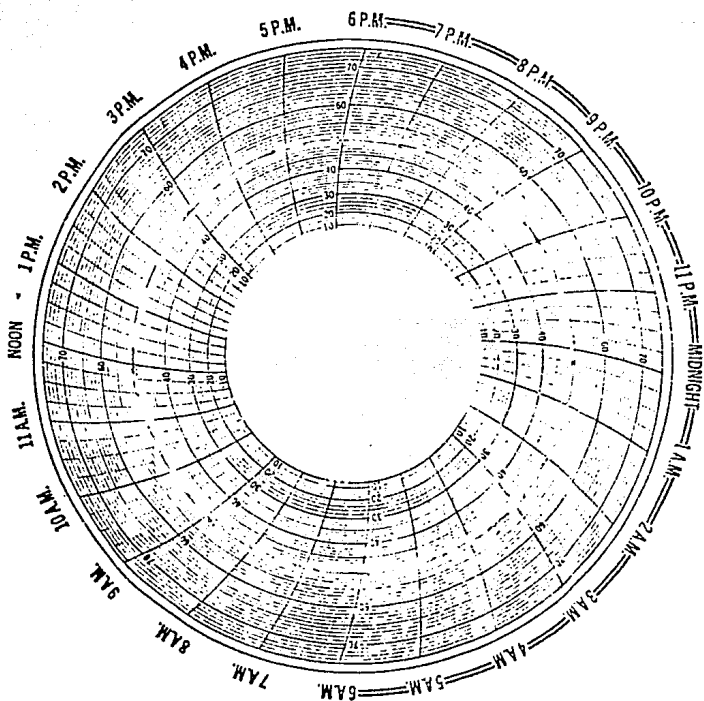


Figura No. 2.- Carto de registro del amperimetro.

presentó una corriente arriba de la normal de operación deberán de ser cambiados manualmente, los relevadores de bajacarga son activados cuando se presenta una carga menor a la normal de operación.

El relevador de sobrecarga deberá graduarse para ser activado en un máximo de 120 % del amperaje estipulado en la placa del motor para evitar que sea accionado por una ligera sobrecarga de corriente que puede presentarse cuando la unidad este operando normalmente. También deberá de ser graduado para que no sea activado en un amperaje menor al 110 % del estipulado en la placa del motor. Si el relevador de sobrecarga se activa deberá ser revisado todo el equipo superficial y subsuperficial antes de intentar poner en marcha nuevamente el bombeo.

El relevador de bajacarga deberá graduarse para ser activado en un rango de amperaje del 80 al 85 % del estipulado en la placa del motor. El 80 % del amperaje de trabajo del motor se considera como una graduación estándar. Este 80 % da una protección máxima cuando la unidad de bombeo esta bajo condiciones de apagado, candado de gas o condiciones en que la succión de la bomba este taponada. En algunas ocasiones se puede tener una producción de fluidos que permita un adecuado funcionamiento de la unidad y un adecuado enfriamiento del motor pero puede ocurrir que el gradiente de fluidos se vea disminuido continuamente con la consecuente disminución del amperaje, bajo estas condiciones es recomendable graduar el relevador de bajacarga a un nivel más bajo (menor al 80 %) para evitar que la unidad pare constantemente. La activación de los relevadores de bajacarga causa la desactivación del interruptor y en consecuencia la detención del bombeo.

La sección de bajo voltaje consta de un relevador de tiempo el cual protege al relevador de bajacarga en el momento de ser interrumpida la operación cuando esta funcionando con bombeo intermitente, además proporciona una secuencia automática de remarcha después de un tiempo determinado que el ingeniero o el operador fijan en el reloj del tablero de control. Todo tablero de control con amperímetro tiene un mecanismo de reloj para controlar el bombeo intermitente. El tiempo recomendado para que la unidad de bombeo vuelva a ponerse en marcha automáticamente es de 30 minutos o mayor para dar tiempo a que los niveles del fluido dentro del pozo, se estabilicen y de esa manera se disminuyan los efectos de torsión en la bomba al iniciarse el bombeo, ocasionándole daños. Si el aparejo cuenta con válvula de retención el tiempo en que permanezca parado el bombeo puede ser menor.

REGISTRO DE LA CORRIENTE EN LAS CARTAS.

La función del amperímetro es registrar la corriente que consume el motor. Para tal fin dentro del tablero de control se cuenta con un transformador reductor de corriente que está unido a una derivación del cable y en el que se reduce la corriente linealmente la cual por medio de dispositivos llamados portadores de rejilla se gráfica sobre la carta del amperímetro con lo que es posible conocer el amperaje real en el cable que suministra la energía eléctrica al motor.

CAPITULO III

III. ANALISIS DE LAS CARTAS DEL AMPERIMETRO

3.1.- INTRODUCCION.

La carta del amperímetro graba generalmente un día de operación, de esa manera indica a que hora se paró el bombeo ya sea por una falla o por disposición técnica, en que intervalo de tiempo se presentaron ciertas anomalías, etc., las cartas tienen una etiqueta en donde se anota la fecha y hora en que se inició el bombeo así como también la fecha y hora en que se detuvo. Es importante señalar que una vez que se ha usado una carta, es necesario cambiarla por una nueva para continuar con el registro del día siguiente, puesto que si se registra sobre la misma se dificultará la interpretación del registro.

Los cambios en las condiciones de operación durante el bombeo y en consecuencia del amperaje, pueden definirse por la interpretación de las cartas del amperímetro. Algunas de las condiciones de avería más importantes en el aparejo de producción, potencialmente hablando son las siguientes:

- 1) Variaciones de voltaje en la línea primaria de energía.
- 2) Bajo amperaje de operación.
- 3) Alto amperaje de operación .
- 4) Variaciones de amperaje durante la operación.

Una característica de los motores eléctricos sumergibles es el consumo de corriente constante. Es decir, el amperaje que el motor consume siempre será el mismo para todo tiempo o menos que se presente un

imprevisto como lo es una falla o que sucedan cambios en la relación gas-aceite (RGA), @o,@g, etc.

Se designa como una instalación sumergible ideal aquella en la que el porcentaje de la relación de la potencia real a la que trabaja el motor entre la potencia que aparece en la placa del motor, potencia ideal de trabajo, es menor o igual al 10 (%); de esta manera la carga dinámica total y el gasto de producción variarán de lo real a lo calculado en aproximadamente 5 (%), bajo estas condiciones en el amperímetro se obtiene la gráfica de una curva continua simétrica con un amperaje próximo al señalado en la placa del motor. Al amperaje mostrado en la placa del motor también se le conoce como amperaje normal de operación.

3.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS CARTAS DEL AMPERÍMETRO.

La interpretación del registro de corriente que se lleva a cabo en las cartas del amperímetro requiere de un amplio conocimiento acerca del significado de cada tipo de variación de corriente, una mejor interpretación la proporciona la experiencia que se obtenga al estar en contacto con la operación del bombeo y con el tablero de control. Conociendo la causa de la variación de corriente se podrá interpretar la posible falla que se está presentando y su localización.

A continuación, en las figuras A hasta la N se presentan algunos ejemplos como guía para la interpretación y prevención de los problemas del bombeo eléctrico.

FIGURA A
OPERACION NORMAL

Esta figura ilustra las condiciones ideales de operación. Una operación normal puede producir una curva arriba o abajo del amperaje normal de operación, pero si esta curva es continua y simétrica, como la que se muestra en la figura, se puede considerar ideal. Un pozo no puede producir una línea curva continua y constante por un largo tiempo pues día a día se producen cambios en las condiciones de producción del pozo. Cualquier desviación de la operación normal de un pozo indica un posible problema o cambio en las condiciones del pozo lo cual es reflejado en las cartas.

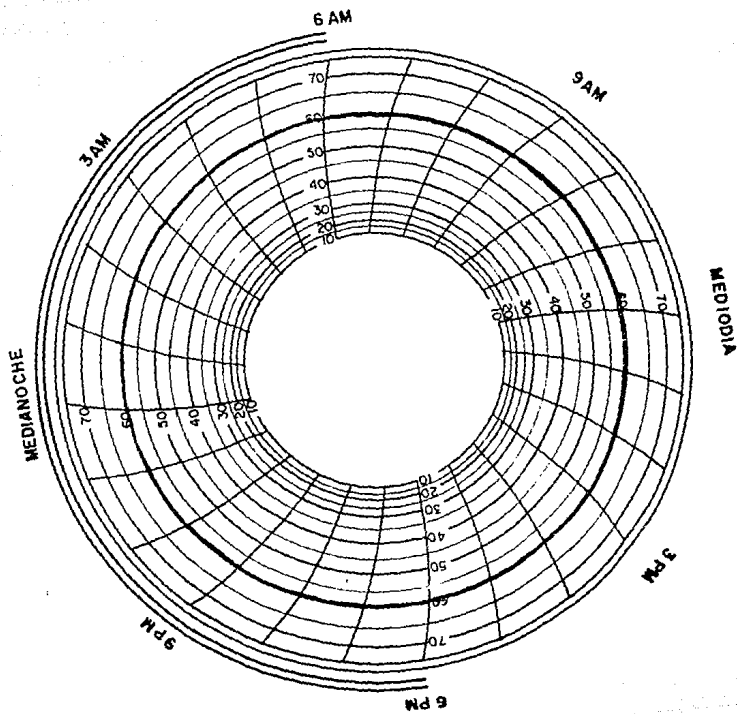


FIGURA A.- OPERACION NORMAL

FIGURA B
PEQUEÑAS FLUCTUACIONES DE CORRIENTE

Bajo condiciones normales de operación, la energía tiende a salir del motor en residuos relativamente constantes. Bajo estas condiciones el amperaje varía inversamente con el voltaje. En consecuencia, si el suministro de corriente primaria sufre fluctuaciones de voltaje, el amperaje hace un intento por mantener la constante salida de potencia. Las fluctuaciones son reflejadas en las cartas del amperímetro, como se muestra en esta figura. La causa más común de las fluctuaciones de potencia es debido a un alto consumo de corriente que se realiza periódicamente en el sistema primario de suministro de corriente eléctrica. Al continuar el bombeo se podrá saber a que se deben dichas fluctuaciones y determinar la causa exacta del problema. Este tipo de fluctuaciones no es tan perjudicial como lo son las fluctuaciones grandes de corriente. Este mismo tipo de fluctuaciones pueden ser debidas a un disturbio eléctrico como el causado por una tormenta eléctrica cercana al pozo, este daño se puede reducir si se instalan pararrayos en la zona de operaciones.

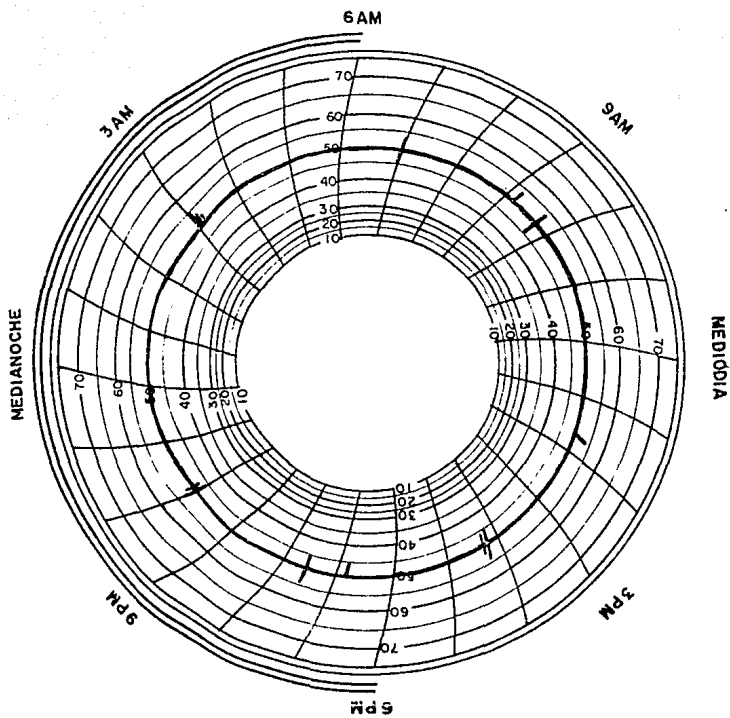


FIGURA B. — PEQUEÑAS FLUCTUACIONES DE CORRIENTE

FIGURA C
CANDADO DE GAS

En la figura se muestra el comportamiento de una bomba la cual tuvo un candado de gas y por consiguiente dejó de operar. La sección A muestra el comienzo de la operación con un amperaje más alto del normal, para ese tiempo el nivel de fluidos en el espacio anular entre la tubería de revestimiento y la de producción es alto, por lo que el gasto y el amperaje son acelerados ligeramente. La sección B muestra una curva normal de operación, pues para ese tiempo se tiene el nivel de fluidos de diseño. La sección C muestra un decremento en el amperaje debido a que el nivel de fluidos está por debajo del nivel de diseño y las fluctuaciones de gas empiezan a romper en las cercanías de la bomba. La sección D muestra un amperaje bajo y variante debido a que el nivel de fluidos es cercano a la succión de la bomba provocándose el candado de gas, es decir la bomba opera sin carga de fluidos bombeando únicamente gas. Es posible remediar este problema bajando la unidad sumergible a un punto donde la liberación de gas no sea tan abundante, es decir a una profundidad tal que la bomba pueda manejar una relación gas-aceite sin que se alteren sus curvas características, esto permitirá continuar con la operación. Si no es factible bajar la bomba puede ser posible, dependiendo de la configuración del sistema artificial, estrangular la producción hasta alcanzar un apropiado nivel de fluidos. Si ninguna de estas posibilidades se puede llevar a cabo se podrá pensar en un bombeo intermitente programado bajo tiempo para retirar un máximo de fluidos usando un mínimo de ciclos. También será necesario ver si la bomba cumple todavía con los

condiciones de diseño, si no es así, se deberá de rediseñar la bomba. No se deberá de descartar la posibilidad de estimular al pozo.

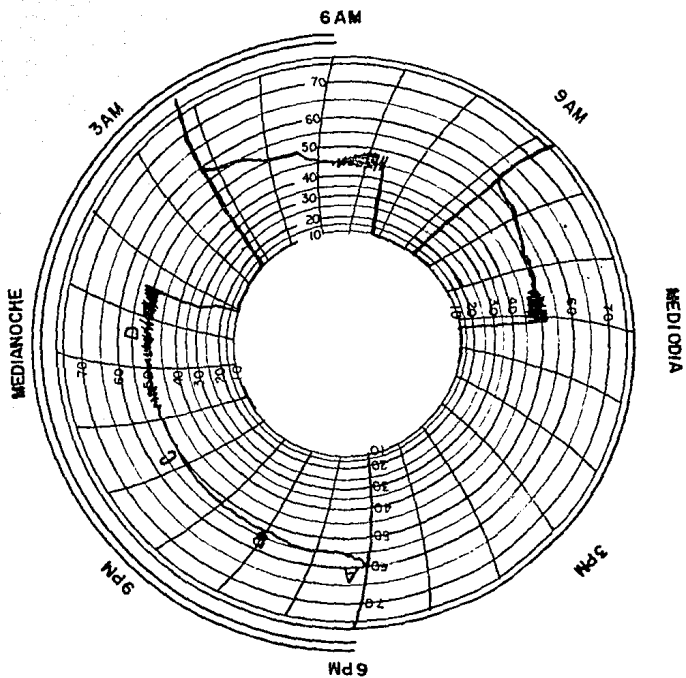


FIGURA C. - CANDADO DE GAS

FIGURA D
BOMBEO EN VACIO

Esta figura muestra el comportamiento de una unidad sumergible la cual dejó de bombear por operar en condiciones de vacío. Posteriormente se trató de reestablecer la operación transcurridas dos horas de apagado, las cuales fueron dispuestas en el reloj del tablero de control, cayéndose nuevamente en las condiciones de vacío que ocasionan el paro del bombeo, lo anterior se volvió a repetir y finalmente fue apagado el sistema de bombeo.

El análisis de las secciones A, B y C es idéntico al tratado cuando se presenta el candado de gas, pero para este caso las variaciones de corriente no son debidas a la presencia de gas libre. En la sección D el nivel de fluidos se acerca a la succión de la bomba por lo cual el gasto y el amperaje declinan pues la carga dinámica total ha aumentado. Posteriormente se alcanza el nivel de baja corriente teniéndose como resultado que se deje de bombear.

Como se observa la unidad vuelve a empezar su operación después de un tiempo establecido en el tablero de control, en el momento en que se deja de bombear los fluidos rozan ligeramente la bomba y durante el tiempo en que se permanece sin bombear los fluidos no logran elevar su nivel estático, ya que al volverse a iniciar el bombeo, éste empieza en alguna parte de la sección C. Una causa de este problema puede ser que la bomba este sobrediseñada, es decir demasiado grande. Cuando se tiene una bomba sobrediseñada la capacidad de bombeo es mayor a la capacidad de

aportación del pozo, lo cual provoca que los fluidos del pozo sean rápidamente bombeados teniendo como resultado que el nivel dinámico disminuya bruscamente con lo que no se da tiempo a que los fluidos se estabilicen provocándose, sin querer, un bombeo intermitente muy perjudicial ya que la bomba opera en vacío por un tiempo corto en varias ocasiones. Las acciones recomendadas para solucionar este problema son las mismas que se aplican cuando se presenta el condado de gas, es decir, se puede estrangular el pozo o se puede bajar el sistema bomba-motor a un punto mayor de su actual posición. Si la unidad es bajada, se deberá de asegurar que la bomba no vaya a operar con una potencia insuficiente debido al depresionamiento del nivel de fluidos que ocasiona que aumente la carga dinámica total.

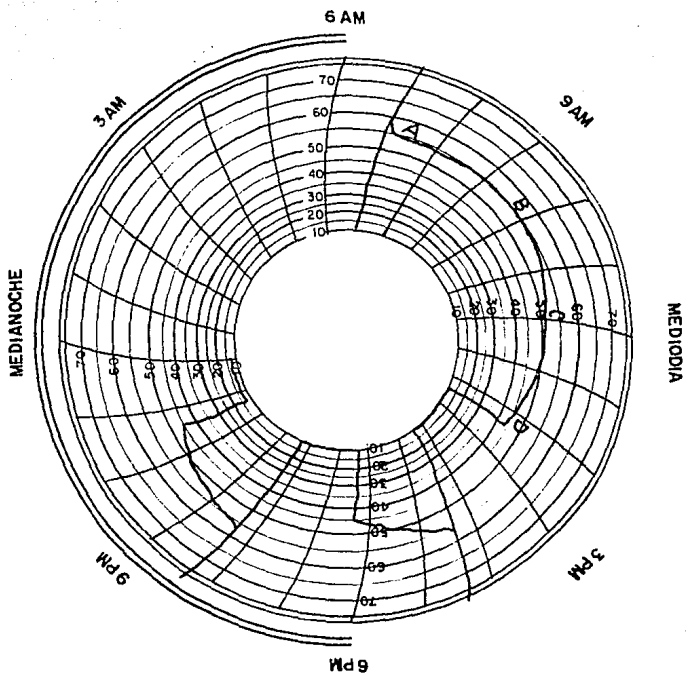


FIGURA D.- BOMBEO EN VACIO

FIGURA E

FALLAS POR POSIBLES CONDICIONES DE VACIO EN EL ARRANQUE

El análisis de esta gráfica señala que se dejó de bombear debido a una baja corriente de operación o a que el tiempo en que se permanece sin bombear no es suficiente para que se eleve el nivel de fluidos, lo anterior se repitió en cada intento de bombeo.

El análisis de esta gráfica es similar al descrito en la figura D, es decir el tiempo en que se permanece sin bombear no es lo suficientemente amplio para que los fluidos alcancen un adecuado incremento dentro del pozo para que la bomba pueda operar normalmente. Es posible, para este caso, que la bomba este sobrediseñada, si esto es cierto, se deberá de rediseñar y ser cambiada lo más pronto posible. También deberá de considerarse una posible estimulación al pozo para incrementar el nivel estático de los fluidos.

De acuerdo a lo observado en esta gráfica y si se piensa en un bombeo intermitente el tiempo recomendado en que permanezca la bomba sin operar, para que los fluidos alcancen un nivel dinámico capaz de mantener un bombeo normal, no debe de ser menor de 5 horas.

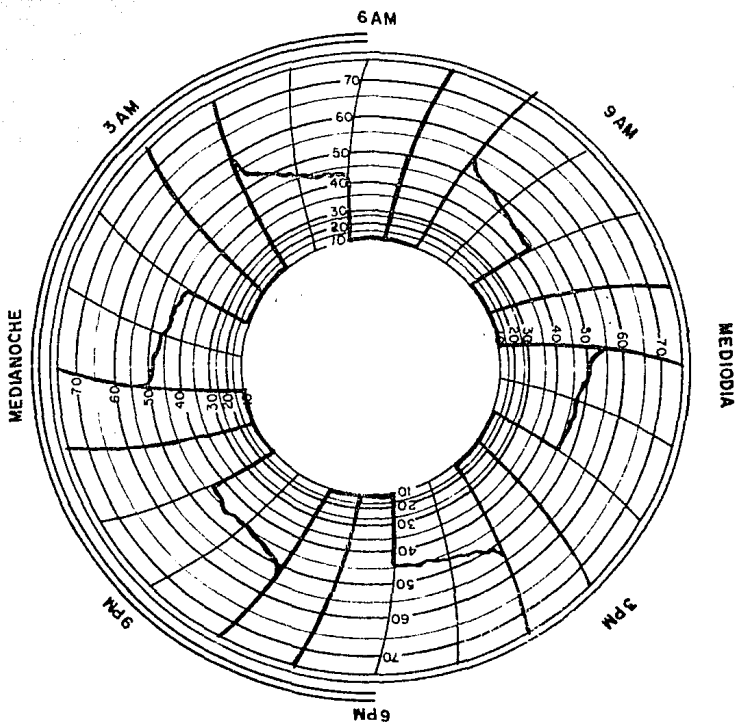


FIGURA E.- FALLAS POR POSIBLES CONDICIONES DE VACIO EN EL ARRANQUE

FIGURA F
FRECUENTES CICLAJES DE BOMBEO

El comportamiento de esta carta es similar al observado en la figura E, pero en este caso los ciclos de bombeo son más cortos y más frecuentes. Normalmente la configuración de esta carta también indica que la bomba está sobrediseñada. Si por el contrario, la productividad del pozo parece ser compatible con la unidad de bombeo sumergible, otros problemas pueden ser los causantes de la anomalía y del registro en sí.

Una sugerencia inmediata para ver cual es la causa de este problema es determinar la altura del nivel de los fluidos, esto se hace con un registro acústico llamado ecómetro. Si la medición del registro muestra que los fluidos están al nivel programado entonces otra causa es la causante del problema. Deberá de revisarse la presión en la tubería de producción pues un gasto anormalmente bajo puede ser causado por una resistencia en la tubería y esto provoca que la presión se incremente. Generalmente una resistencia en la tubería cercana a la superficie reduce la producción de fluidos y esta reducción es acompañada por una caída en el amperaje. Las resistencias al flujo dentro de la tubería de producción son generalmente causadas por la solidificación de parafinas causadas por la disminución de la temperatura. Si la línea de descarga está tapada o una válvula está cerrada o semicerrada contra el flujo, también ocurrirá una reducción en la producción de fluidos acompañada por una caída en el amperaje como el que se muestra en esta figura. Este tipo de problemas es extremadamente perjudicial para el motor sumergible y deberán de ser corregidos lo más pronto posible.

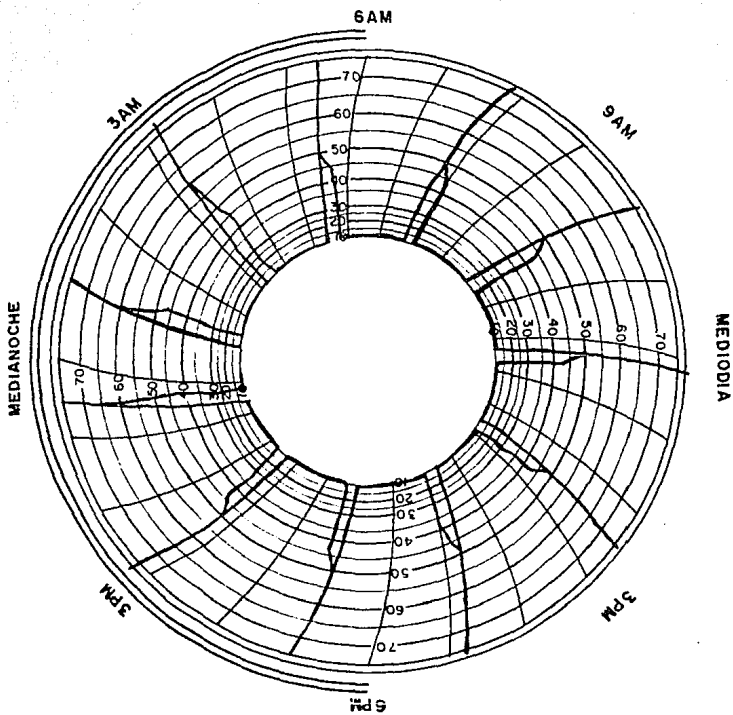


FIGURA F. - FRECUENTES CICLAJES DE BOMBEO

FIGURA G

CONDICIONES DE GASIFICACION

Esta carta muestra el comportamiento de una unidad sumergible la cual está operando cercana a los niveles de fluidos y corriente designados, pero esta manejando fluidos ligeramente gasificados.

Las fluctuaciones de corriente son causadas por la penetración de gas libre a la bomba. Esta condición es usualmente acompañada por una reducción en la producción total de fluidos (medidos a condiciones de tanque). Una bomba puede bombear un determinado número de barriles de cualquier fluido disponible incluyendo gas, aún afectándose sus curvas características. Un barril de gas puede representar muy poca contribución en el tanque de almacenamiento, pero representa un substancial volumen cuando se maneja por la bomba, esto puede ocasionar serios problemas como candado de gas, cavitación, etc.

Este tipo de carta también puede ser resultado de que la succión de la bomba este siendo taponada por emulsiones de parafinas. Al existir un taponamiento en la bomba el bombeo se ve interrumpido, pues la corriente eléctrica cae más abajo de la normal de operación.

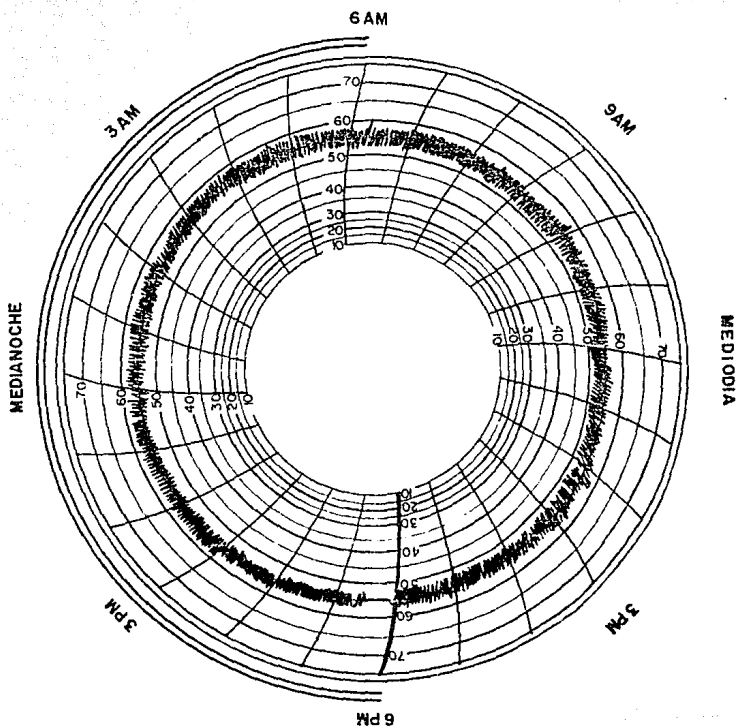


FIGURA 6.- CONDICIONES DE GASIFICACION

FIGURA H
SUMINISTRO DE CORRIENTE INSUFICIENTE

Esta figura muestra el comportamiento de una unidad la cual dejó de funcionar por bajacarga de corriente, después cada que transcurrieron 2 horas se trato de reestablecer la operación automáticamente pero paró por la misma razón. Normalmente este registro es producido por un fluido carente de suficiente densidad. Si las pruebas de productividad muestran fluido disponible en la succión de la bomba puede resolverse el problema bajando a una graduación menor de corriente el relevador de bajacarga para ser activado y de esa manera evitar que se deje de bombear, este cambio deberá de ser hecho después de consultar las curvas características de la bomba a fin de evitar que disminuya la eficiencia de bombeo.

Otra causa de este tipo de gráfica es debido a la falla del relevador de tiempo usado para bloquear al relevador de bajacarga de corriente de los circuitos de control durante la secuencia automática de arranque.

Cuando se presenta esta gráfica todas las áreas involucradas deberán de ser revisadas punto por punto.

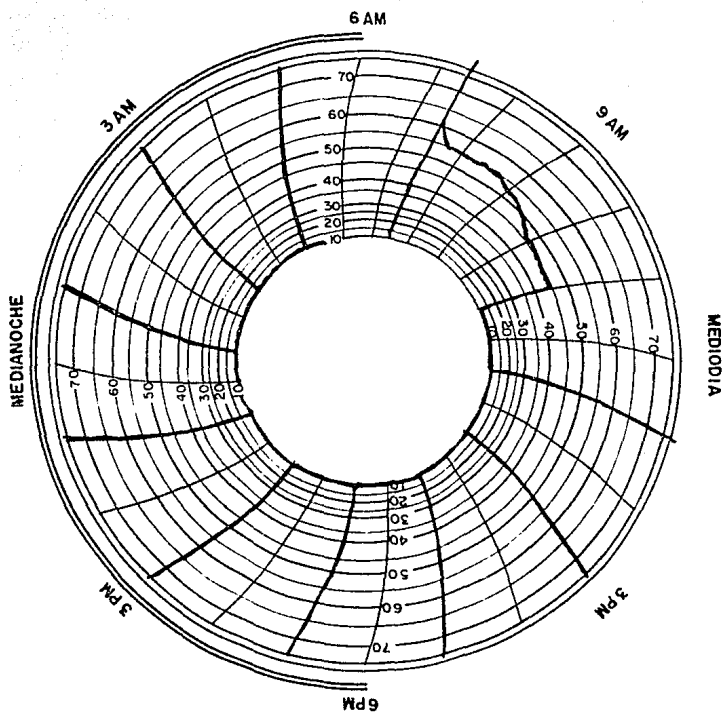


FIGURA H :- SUMINISTRO DE CORRIENTE INSUFICIENTE

FIGURA I
CARGA REDUCIDA DE CORRIENTE

Esta figura muestra el inicio de una operación normal seguida por una declinación en el amperaje, finalmente, después de que la unidad sumergible opera con una carga de corriente reducida constante, deja de bombear debido a una sobrecarga.

Este registro es típico de una unidad de bomba sobrediseñada o puede ser el resultado de una falla en el relevador de baja carga o a una corriente mal establecida que se le dio para ser activado. Para este caso la unidad sumergible esta a una determinada profundidad que ocasiona que disminuya el consumo de corriente del motor, por lo cual se debió de activar el relevador de bajacarga para evitar que el motor trabajará por un largo periodo con una bajacarga. Es muy probable, por lo observado en la gráfica que los fluidos no logren enfriar al motor teniendo como resultado que aumente la temperatura de operación y provoque que el motor o el cable se quemen, lo cual es reflejado en la sobrecarga de corriente observada. El fluido debe de ser obligado a pasar por las paredes del motor para que lo enfríe.

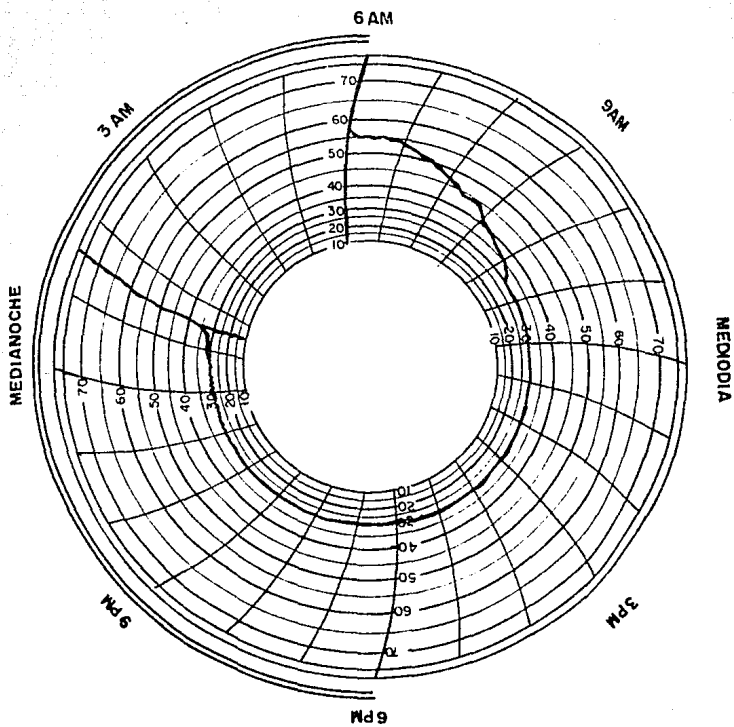


FIGURA 1.- CARGA REDUCIDA DE CORRIENTE

FIGURA J

EFFECTOS DE CONTROLES DEL NIVEL DE TANQUE

Esta figura muestra que el bombeo esta siendo controlado por un interruptor colocado en el tanque de almacenamiento, naturalmente esta es una instalación más sofisticada. La unidad de bombeo comienza a operar automáticamente cuando el nivel de fluidos dentro del tanque decrece a un nivel determinado y para automáticamente cuando el nivel de fluidos alcanza una altura considerable. Este tipo de operaciones son comunes para mantener un nivel de producción ya sea por limitaciones de almacenamiento, políticas de explotación, etc. Debido a que la secuencia automática de remorcha va a estar dependiendo de qué tan rápido o qué tan lento se haga la extracción de fluidos, los tiempos para que empiece a operar la unidad varían, ya que a veces son cortos y a veces largos como es observado. Este método de producción ocasiona que al momento en que se interrumpe el bombeo los fluidos caigan a través de la bomba ocasionándole que opere en sentido inverso lo cual provoca daños al equipo tales como torsiones o ejes quebrados. Un mínimo de tiempo de permanencia sin bombear recomendado es de 30 minutos para asegurarse que una operación de fluidos en sentido inverso no se lleve acabo. Un mínimo de tiempo puede ser determinado revisando el voltaje que se genera cuando se está operando a los fluidos de modo inverso y de esa manera determinar cuanto tiempo tardan en estabilizarse los fluidos.

Para evitar el bombeo de fluidos en modo inverso se deberá de usar una válvula check por encima de la bomba, esta válvula debe de cumplir con los requerimientos de los fluidos producidos de lo contrario se tapará.

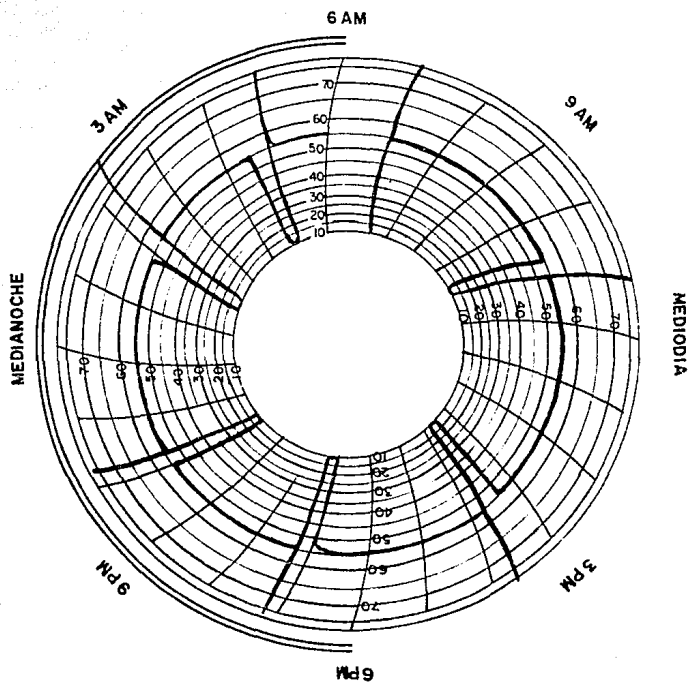


FIGURA J - EFECTOS DE CONTROLES DEL NIVEL DE TANQUE

FIGURA K
CONDICIONES DE SOBRECARGA DE CORRIENTE

Esta figura muestra que se produjo una sobrecarga de corriente en la unidad de bombeo por lo cual dejó de operar.

La sección A de esta carta muestra el inicio de un amperaje abajo del normal de operación y gradualmente se eleva hacia el normal. La sección B muestra a la unidad de bombeo operando normalmente. La sección C muestra un constante incremento hasta que finalmente la línea de amperaje cae al cero de la escala debido a una sobrecarga. Si se presenta este registro un nuevo inicio de operación no deberá de ser intentado hasta que se haya localizado y corregido la causa exacta del problema.

Las causas más comunes de este tipo de problema son los debidos a incrementos de la densidad o viscosidad de los fluidos, producción de arena , emulsiones o problemas mecánicos como los causados por reldmpagos, motor sobrecalentado o desgaste en el equipo.

Una vez que son activados los relevadores de sobrecarga, éstos deberán de ser cambiados por unos nuevos.

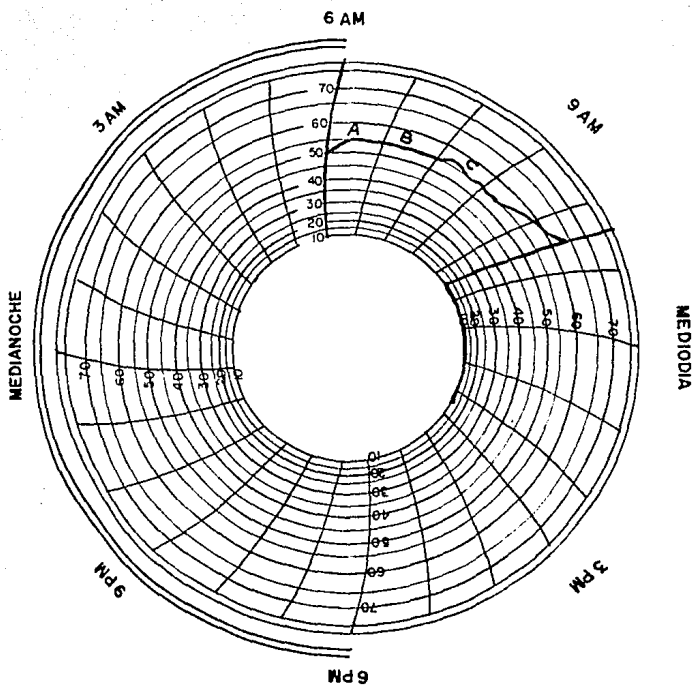


FIGURA K.- CONDICIONES DE SOBRECARGA DE CORRIENTE

FIGURA L

CONDICIONES DE RESIDUOS DE ARENA U OTRO MATERIAL

Esta figura muestra que al inicio del bombeo la corriente sufrió variaciones por un corto periodo y posteriormente se normalizó. Este tipo de registro es esperado cuando se limpia un pozo de residuos tales como incrustaciones, arena suelta, lodos pesados o salmueras. Este tipo de operación es común que se realice en pozos petroleros pero no es recomendable en donde no se requiera, pues puede causar problemas a la unidad sumergible, sobre todo al inicio del bombeo.

La potencia que consume el motor es función de la densidad relativa de los fluidos producidos y es directamente proporcional a ella. Por tal razón se puede matar un pozo al tratar de bombear un fluido limpiador que exceda la potencia disponible del motor y en consecuencia la de la bomba, por ello se deben de consultar las curvas características de la bomba para ver si es posible desalojar el fluido. Con lo anterior se puede determinar si el sistema bomba-motor esta suficientemente dimensionado para poder sacar los fluidos de limpieza.

Si el pozo inicialmente produce arena, deberá ser puesto a producir lentamente con un gasto reducido para prevenir un arrastre de residuos de la formación a gran escala que pudieran ocasionar problemas tales como taponamientos o incrustaciones.

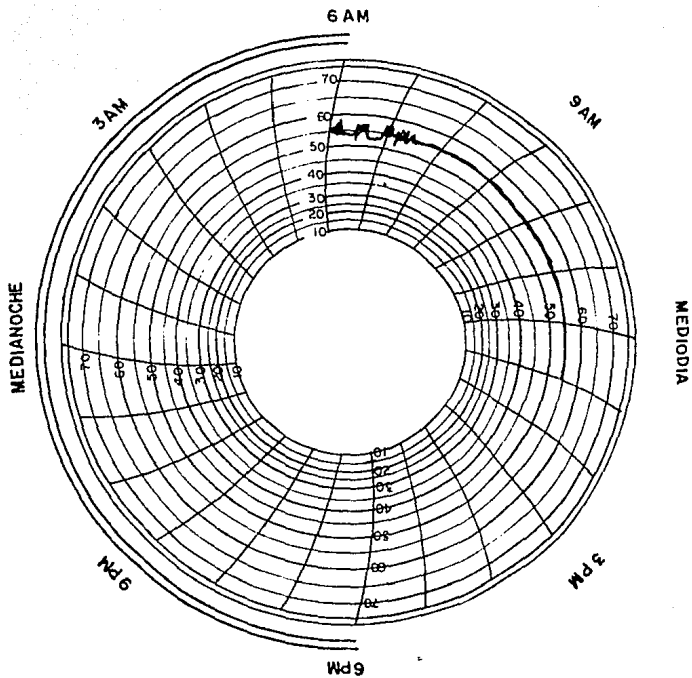


FIGURA L.- CONDICIONES DE RESIDUOS DE ARENA U OTRO MATERIAL

FIGURA M
EXCESIVOS INTENTOS MANUALES DE OPERACION

Esta figura muestra la operación de una unidad sumergible la cual operó normalmente por un largo tiempo hasta que surgieron fluctuaciones de corriente que terminaron por producir una sobrecarga la cual ocasionó la suspensión del bombeo. Así mismo se observa que una vez que paró el bombeo se hicieron intentos manuales para volver a poner en marcha la unidad, los cuales fallaron. Es muy importante el tomar en cuenta que si se lleva acabo un intento manual por poner en marcha la unidad y no responde, ya no deberá hacerse otro intento pues es perjudicial para el sistema de bombeo, lo que se deberá de hacer es llamar a un especialista para que revise la unidad. La activación de los relevadores de sobrecarga no afectan a la "marcha" de la unidad, es por eso que se intentaron reoperaciones manualmente. Es muy posible que las fluctuaciones de corriente que provocaron la sobrecarga hayan sido debidas por una tormenta eléctrica. Durante el tiempo que permanece apagada la unidad se debe de revisar el sistema de bombeo a fin de evitar complicaciones como por ejemplo, el tener una línea primaria de suministro de corriente desconectada o quemada que da como resultado que al ponerse en marcha el bombeo se opere con una o dos fases ocasionando severos daños al equipo eléctrico.

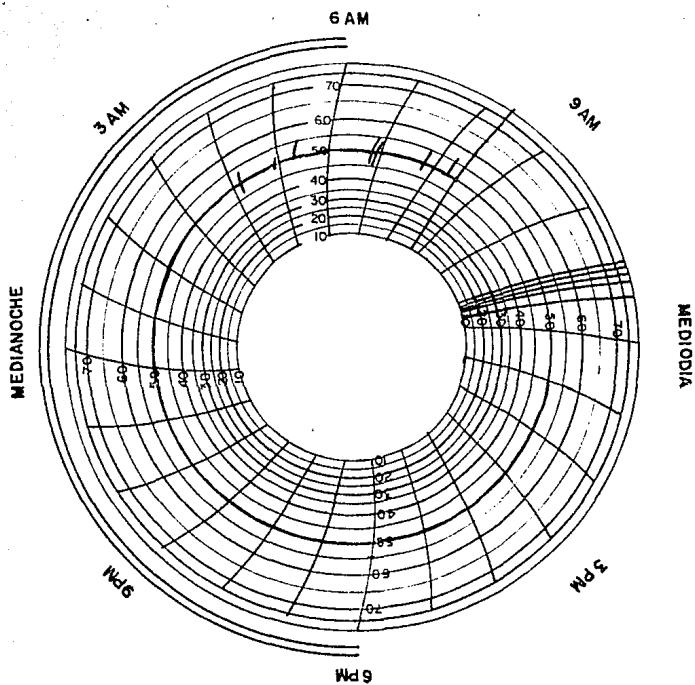


FIGURA M.- EXCESIVOS INTENTOS MANUALES DE OPERACION

FIGURA N

VARIACIONES DE CORRIENTE IMPREDECIBLES

Esta carta exhibe una operación de bombeo en la que la variación de corriente es impredecible. Normalmente este tipo de registro es producido por una variación en la densidad relativa de los fluidos o por grandes cambios en la presión superficial. Finalmente la línea de corriente cae a su estado de apagado y el bombeo no vuelve a operar automáticamente. La reoperación manual no deberá de ser intentada hasta que la unidad sea revisada completamente por un mecánico especializado y pueda ser determinada la causa exacta del problema.

Fallas de sobrecarga de esta naturaleza son debidas a alguna o algunos de las siguientes razones: bomba atascada, motor quemado, cable quemado y fusibles desgastados ya sean primarios o secundarios.

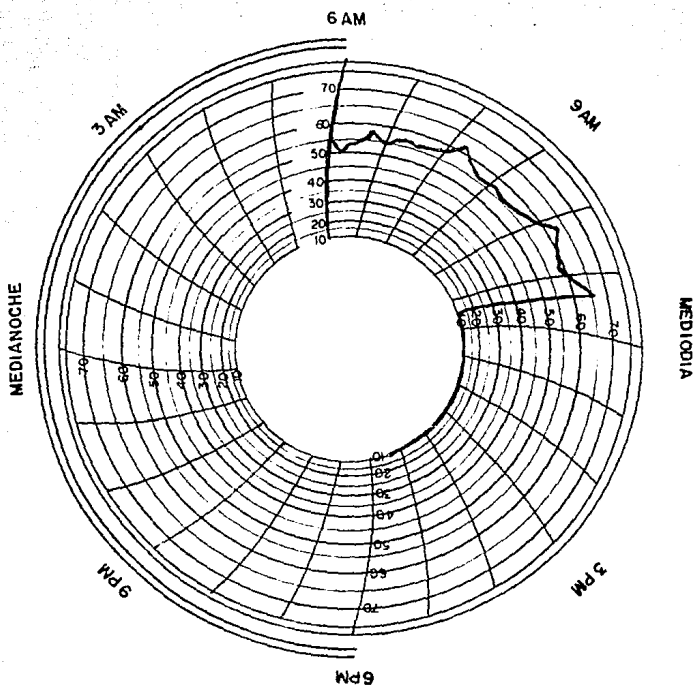


FIGURA N.º VARIACIONES DE CORRIENTE IMPREDECIBLES

FIGURA N
REGISTRO RARO

Esta carta muestra un registro de corriente raro y difícil de interpretar. En esta carta se observa que el motor aparece cargado durante un periodo y pierde una cantidad de carga de corriente durante otro periodo. El uso de todos los datos disponibles es necesario para analizar las cartas de este tipo.

Es posible que para este caso se tenga una operación de bombeo normal y deberse este tipo de variación de corriente a un daño tan simple como el causado por una deformación en el papel provocado por el cambio de la temperatura en el transcurso del día a la noche.

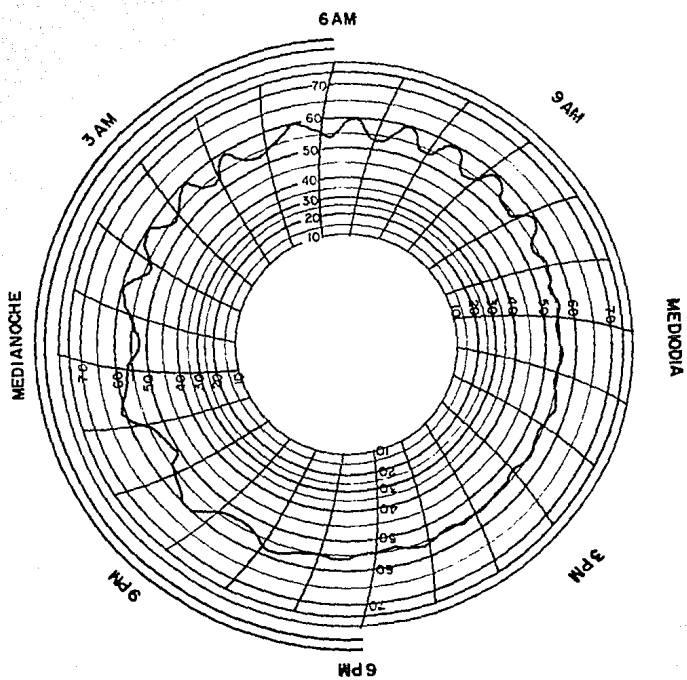


FIGURA N̄ = REGISTRO RARO

CAPITULO IV

IV. CAUSAS DE LAS FALLAS EN EL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.

4.1.- INTROBUCCION.

A partir de la interpretación propia que arrojan las cartas del amperímetro, presentadas en el capítulo anterior, se puede recurrir a este capítulo para entender las posibles causas que originan las fallas.

Este capítulo ayudará al lector a tener un conocimiento más amplio de las causas por las cuales se presentan fallas y de esa manera poder proveer de recomendaciones para reducir las o prevenirlas. Generalmente las causas por las cuales falla la mufa y el empate son las mismas por las cuales falla el cable plano o extensión de la mufa, por lo cual es importante poner atención a esa sección.

A continuación se enlistan las causas más generales por las cuales se presentan fallas en el sistema de bombeo electrocentrífugo. Posteriormente se hablará de las causas por las cuales falla el motor, la bomba, la sección sellante y el cable.

CAUSAS GENERALES:

- 1.-) Excesiva sobrecarga de corriente (OL) actuando por un largo periodo
- 2.-) Fuga en el protector o sección sellante.
- 3.-) Condiciones del pozo:
 - a) Insuficiente movimiento de fluidos.
 - b) Alta temperatura en el pozo.
 - c) Considerable corrosión.

d) Abrasión en la corriente de fluidos.

- 4.-) Instalación mala o defectuosa.
- 5.-) Fallas en el tablero de control.
- 6.-) Equipo defectuoso de fábrica.
- 7.-) Bomba dañada.
- 8.-) Relámpagos causados por lluvias en la zona del pozo.
- 9.-) Sistema eléctrico malo.

4.2.- CAUSAS DE LAS FALLAS EN EL MOTOR.

1.-) Excesiva sobrecarga de corriente en el motor. Si el motor esta funcionando con sobrecarga de corriente el problema deberá de ser determinado y corregido lo más pronto posible.

Las siguientes son las causas más comunes por las cuales se presentan fallas en el motor por sobrecarga :

- a) Densidad de los fluidos anormalmente alta.
- b) Motor mal diseñado
- c) Voltaje alto o desbalanceado.

2.-) Fuga en el protector o sección sellante. Una fuga en el protector permite que los fluidos del pozo entren al motor y esto tiene como consecuencia que falle. Las posibles causas por las cuales se presentan fugas en el protector son las siguientes:

- a) Bomba dañada debido a la vibración de los sellos mecánicos.
- b) Sellos mecánicos rotos debido a un manejo brusco durante las operaciones de instalación de la unidad sumergible.
- c) Mala construcción de la sección sellante.

d) Malos métodos o procedimientos de instalación.

3.-) Movimiento insuficiente de fluidos. El motor se puede quemar cuando se excede su temperatura máxima permisible, esto se presenta por las causas siguientes:

- a) Cuando la velocidad de producción de los fluidos del pozo no es suficiente para enfriar al motor. La velocidad recomendada es de 3/4 a 1 pie/seg. con un mínimo absoluto de 1/2 pie/seg.
- b) Esto también ocurre cuando se coloca el motor por debajo de los disparos de un pozo y no se instala una camisa desviadora para dirigir el fluido por las paredes del pozo y de esa manera enfriarlo.

4.-) Corrosión.

La corrosión puede producir agujeros en la carcasa del motor. Estos agujeros permitirán que los fluidos del pozo entren al motor y contaminen su fluido.

5.-) Instalación defectuosa.

Este problema es resultado de una instalación inicial mala, equipo defectuoso o voltaje insuficiente.

6.-) Tablero de control.

El tablero de control no sufre una gran cantidad de fallas en sus componentes. Sin embargo la presencia de lodo y humedad puede causar que los dispositivos eléctricos funcionen mal, por tal razón los controles deberán de ser cubiertos o protegidos contra tales parámetros.

La presencia de altos voltajes puede provocar fallas en los dispositivos de protección. Los relevadores de sobrecarga no operarán si la temperatura ambiente es cercana o más baja a la de congelación del agua. Se deberán de utilizar otros dispositivos de calentamiento en medios ambientes donde se tengan temperaturas bajo cero. Temperaturas extremadamente altas bajarán la carga de amperaje requerida para activar el relevador de sobrecarga, por lo cual se deberá de proporcionar sombra o protección contra los rayos del sol u otras fuentes de calor al tablero de control.

7.-) Equipo defectuoso.

En algunos ocasiones el equipo del sistema de producción viene con defectos de fábrica y sin darse cuenta es instalado, si es así, un tiempo después de iniciarse el bombeo se presentarán problemas y éstos afectarán en gran medida al motor. Por tal razón se debe de revisar el equipo antes de ser instalado.

8.-) Bomba dañada.

Si el motor esta en buen estado y la bomba esta dañada, ésta puede provocar que el motor falle. Algunos de los motivos por los cuales la bomba se daña son los siguientes:

Como es sabido las reacciones longitudinales o transversales en los impulsores y los ejes de la bomba son transferidos al cojinete transversal de la misma. Si se presentan sobrecargas de corriente se producirán vibraciones y golpeteos en la bomba provocando que el cojinete se dañe.

Generalmente la bomba deja de funcionar por el tiempo que lleva

operando o por que pasa a travarse por la incrustación o depositación de arenas y/o parafinas. El grado de desgaste en una bomba se acelera mucho por la presencia de abrasivos en los fluidos bombeados.

9.-) Tormentas en la zona del pozo.

Los relámpagos producidos por lluvias cercanas a las zonas del pozo puede dañar a los transformadores, al tablero de control y en consecuencia al motor. Esto se puede remediar colocando pararrayos en la zona del pozo.

10.-) Sistema eléctrico.

Si el voltaje es bajo o esta desbalanceado puede reeditar en una mala operación de bombeo y producir fallas al motor y otros componentes del sistema.

Si hay un desbalance en cualquiera de las tres fases del sistema, se debe de corregir antes de arrancar la unidad. El desbalance de corriente entre las fases no debe exceder del 5 (%).

El porcentaje de desbalance de corriente esta definido y determinado como se indica a continuación:

$$\begin{aligned}
 (\%) \text{ Desbalance de corriente} &= \frac{\text{corriente promedio de las tres fases} - \text{mínima corriente de las tres fases}}{\text{corriente promedio de las tres fases}} * 100
 \end{aligned}$$

Ejemplo:

fase 1= 50 ampers.

fase 2= 48 ampers.

fase 3= 52 ampers.

Se suman las corrientes de las fases y se divide entre el total de fases, obteniéndose de esa manera su promedio.

$$50+48+52= 150 \text{ ampers.}$$

$$\frac{150 \text{ ampers.}}{3} = 50 \text{ ampers.}$$

Al promedio de las fases se le resta el menor valor de amperaje de las fases y esto se divide entre el promedio de las mismas, cuyo resultado se multiplica por 100 obteniéndose finalmente el (%) de desbalance de corriente entre las fases.

$$(\%) \text{ de } I = \frac{50-48}{50} * 100 = \frac{2}{50} * 100 = 4 \%$$

Para este ejemplo el porcentaje de desbalance es satisfactorio ya que no excede el 5 (%) antes mencionado.

4.3.- CAUSAS DE LAS FALLAS EN LA BOMBA.

Una falla en la bomba generalmente es el resultado de una de las razones siguientes:

- 1) Desgaste del cojinete debido a que el eje de la bomba ejerce un empuje excesivo hacia abajo, por lo cual se produce por debajo del rango de máxima eficiencia.
- 2) Desgaste del cojinete debido a que el eje de la bomba ejerce un empuje excesivo hacia arriba, por lo cual se produce con un gasto mayor al rango de máxima eficiencia.
- 3) Desgaste de los impulsores debido a la producción de abrasivos.
- 4) Etapas de la bomba tapadas o trabadas causadas por el crecimiento

de la depositación de parafinas.

5) Desgaste por el tiempo que lleva operando.

6) Eje de la bomba torcido debido a una bomba trabada o a que se empezó a bombear cuando la columna de fluidos dentro del pozo no estaba estabilizada.

7) Daños causados por el efecto de corrosión.

- Producción de arena.

En ocasiones al iniciarse el bombeo, la formación puede aportar cantidades considerables de arena. Esto es verdad especialmente cuando la formación es productora de arena no consolidada. Este problema puede ser minimizado manteniendo una presión determinada en la tubería de producción; con esto se logra tener una menor depresión y en consecuencia un menor gasto evitándose la producción de grandes volúmenes de arena que pueden tapar la bomba. Este problema también se reduce mediante un lavado de fluidos con lo que se logra eliminar una cantidad apreciable de arena en el pozo. El pozo debe ser lavado por un tiempo suficiente antes de instalar la unidad de bombeo sumergible. Después de ser lavado el pozo y puesta la unidad sumergible el pozo puede producir inicialmente arena lo cual no quiere decir que seguirá produciéndola y es recomendable no parar el bombeo hasta que la arena, últimos residuos, se hayan desalojado.

Para proteger las carcasas del motor, bomba y protector existen varios tipos de recubrimiento. Para ambientes severamente corrosivos existe un recubrimiento no-metálico que se ha utilizado con excelentes resultados. Hay también recubrimientos metálicos muy eficientes.

4.4.- CAUSAS DE LAS FALLAS EN LA SECCION SELLANTE.

Las fallas en el protector pueden ocurrir debido a las razones siguientes:

- 1) Desgaste y en consecuencia fugas a través de los sellos mecánicos de la sección sellante causado por vibraciones de la bomba.
- 2) Rompimiento o cuarteamiento de las partes de cerámica de los sellos mecánicos causados principalmente por un mal procedimiento de manejo al introducir la unidad sumergible.
- 3) Desgaste natural del protector por llevar un largo tiempo operando.
- 4) Servicio inapropiado de mantenimiento a la unidad sumergible.

4.5.- CAUSAS DE LAS FALLAS EN EL CABLE.

Las causas más comunes por las que falla el cable son:

- 1) Daños mecánicos producidos durante las operaciones de introducción o extracción de la unidad sumergible como son:
 - a) Trituración.
 - b) Alargamiento.
 - c) Dobladuras.
 - d) Cortaduras.
- 2) Deterioro del cable al estar expuesto a:
 - a) Altas Temperaturas.
 - b) Altas Presiones.
 - c) Corrosión.
 - d) Desgaste por tiempo de uso del cable.

3) Una excesiva carga de corriente produce una alta temperatura dentro del conductor la cual es capaz de debilitar y romper el aislante produciéndose cortos circuitos.

- Cable redondo.

Instalación Inicial.

El cable redondo deberá de ser diseñado apropiadamente a fin de reducir las posibilidades de fallas. Así mismo, es esencial un buen procedimiento de manejo durante su instalación para evitar daños.

- Reinstalación.

Si al ser sacado y revisado el cable redondo resulta que no está dañado, podrá ser reinstalado. Sin embargo, si el cable se ha extraído de un pozo con alta relación gas-aceite (RGA), generalmente estará dañado, principalmente en la parte inferior, pues el gas ha penetrado al aislante del cable. En el momento en que el cable es expuesto a la atmósfera se reduce la presión dentro de él y el gas que penetró a una mayor presión tenderá a salir en forma de burbujas las cuales reventarán al aislante. Si al ser revisado el cable resulta que no está dañado, éste se podrá invertir, es decir la parte superior del cable será instalado en el fondo del pozo y la parte inferior en la parte superior.

- Cable plano.

El cable plano está expuesto a las más severas condiciones en el fondo del pozo. Cuando la unidad sumergible es introducida o extraída el cable plano es el que resulta más dañado. Por si fuera poco el cable está expuesto a las más altas presiones y temperaturas del pozo, basta con señalar que el calor generado en una operación normal, en el plano del

motor, es de 1.9 a 2.3 veces más grande que el calor presente en el cable redondo. El cable reducirá su vida al 50 (%) por cada 15 (oF) más de lo permitido por el fabricante.

El cable plano nunca deberá de ser reinstalado, pues como está expuesto a las más altas presiones al ser sacado a la superficie reducirá su presión hasta la atmosférica con lo que se dañará por completo.

4.6.- RECOMENDACIONES PARA UNA BUENA INSTALACION

Las posibles causas de las fallas del motor ya se discutieron anteriormente, esta parte listará recomendaciones que deben de tomarse en cuenta para eliminar fallas prematuras. Estas recomendaciones son listadas bajo las dos siguientes categorías:

- Instalación inicial.

- 1) El motor debe ser diseñado correctamente para su instalación.
- 2) Deberá de pasar por el motor un volumen suficiente de fluidos para propósitos de enfriamiento.
- 3) El voltaje superficial debe de ser el correcto y además estar balanceado.
- 4) Los dispositivos de bajacarga y sobrecarga deben de estar graduados apropiadamente para una mayor protección de la unidad.
- 5) Los datos de operación del bombeo deben de ser controlados y revisados periódicamente.

- Reinstalación.

Si se saca un motor del pozo y al revisarlo se encuentra que está en buen estado eléctrico entonces se le podrá dar mantenimiento, equiparlo con nuevo aceite lubricante y volver a ser reinstalado. También

debe de tomarse en cuenta el tiempo que lleva operando el motor, así como las necesidades prioritarias de producción. Si el motor es reinstalado fuera de estas condiciones causará que la bomba se dañe o que se contamine el aceite lubricante.

Si se va a reinstalar el motor se deben de tomar en cuenta las recomendaciones siguientes:

- 1) Ajustar el motor y cambiar el aceite lubricante por uno nuevo.
- 2) Cambiar el protector o sección sellante por uno nuevo.
- 3) Si hay alguna duda sobre las condiciones en que esta la bomba, entonces deberá cambiarse por una nueva.

Las condiciones de la bomba pueden ser determinadas por un mecánico especializado. El desgaste de la bomba generalmente es función de los siguientes parámetros:

- a) Volumen de fluido bombeado.
- b) Naturaleza del fluido.
- c) Cantidad de fluido abrasivo que ha pasado por la bomba.
- d) Tiempo que lleva operando la bomba.

CAPITULO V

V. LOCALIZACION DE FALLAS EN EL BOMBEO ELECTROCENTRIFUGO.

Este capítulo cubre las más variadas situaciones de problemas que se presentan durante el bombeo y la manera en que pueden ser solucionados, las situaciones 3 y 4 aquí presentadas hacen referencia a ejemplos verídicos vividos en pozos petroleros con ciertos problemas y cómo se solucionaron éstos con la ayuda del registro del amperímetro.

Situación No. 1.

Si, se nota que la unidad sumergible no está bombeando normalmente, que la carta del amperímetro muestra repetidos encendidos y apagados y/o la corriente ha caído repentinamente se debe de llevar a cabo la siguiente secuencia de análisis:

Si la corriente ha caído repentinamente puede indicar que se tenga una fuga en la tubería de producción, que el eje de la bomba se haya torcido por el efecto de candado de gas o cambios en las condiciones del pozo tales como disminución del nivel dinámico, aumento de la relación gas-aceite, etc., cualquiera de estas situaciones tendrá como resultado una disminución en la producción de fluidos. Si la unidad al empezar a bombear, después de transcurrir un tiempo razonable de apagado, produce muy poco o casi nada de fluidos de inmediato se deberá de parar el bombeo.

a) Si se produce un volumen normal de fluidos con un bajo amperaje, se deberá de medir la producción de gas y la calibración del amperímetro pues posiblemente en una de esas partes esté el problema.

b) Si la unidad después de estar operando tiene un paro brusco puede deberse a que se está bombeando contra una válvula cerrada o tapada, que se tenga un incremento excesivo de presión en la tubería de producción, que un relevador de bajacarga esté dañado, que se tenga un mal funcionamiento o que se tenga una inapropiada calibración del sistema de reloj en el tablero de control.

Recomendaciones.- Revisar si la presión en las tuberías de revestimiento y de producción son normales ya que puede ser necesario la calibración de los mandómetros. Revisar si existe una válvula cerrada o taponada en el sistema. Si el problema parece ser eléctrico se deberá de notificar a la compañía eléctrica o a un mecánico especializado.

Situación No. 2.

Si al llegar al pozo se encuentra que no esta bombeando, se sugiere revisar en el orden siguiente:

a) Revisar que el amperímetro esté operando apropiadamente, si es así, el registro de la carta deberá dar una buena indicación de lo que ha pasado, ésta indicará si se apagó por una bajacarga o sobrecarga de corriente. Si la unidad se apagó por una bajacarga (UL) no se podrá reestablecer el bombeo automáticamente. Si fueron activados los relevadores de sobrecarga (OL) se deberán de sustituir por unos nuevos.

b) Si la unidad se apaga por una sobrecarga, se deberán de revisar los fusibles primarios de los transformadores pues posiblemente estén desconectados.

c) Si hasta el momento todo lo revisado en la superficie y pozo

abajo responde satisfactoriamente y ha pasado un tiempo suficiente, cuando menos 30 minutos, desde que se paró el bombeo, se deberá de hacer una prueba de arranque, sin antes olvidar que previamente se debió de graduar el relevador de sobrecarga a la corriente requerida. Una vez que se inició el bombeo se debe de observar la variación del amperaje y la producción de fluidos. Si la unidad vuelve a pararse por una sobrecarga no es conveniente el intentar otra puesta en marcha, el paso siguiente será reportar el mal funcionamiento a un mecánico especializado en sistemas de bombeo eléctrico.

d) Si la unidad se ha parado por una bajacarga y la operación no se ha podido reestablecer automáticamente después de un tiempo suficiente de apagado, se deberá de probar un arranque. Observar cuidadosamente la variación de corriente pues puede ser que el relevador de bajacarga requiera de una nueva graduación más baja o que esté dañado en tal caso deberá cambiarse.

Las siguientes son algunos casos que el operador de campo no debe de hacer:

I) No debe modificar la graduación de los relevadores de bajacarga (UL) ni de sobrecarga (OL) sin previa autorización.

II) No debe intentar el arranque de la unidad después de una falla, ya que puede dañar al equipo que podría estar en buenas condiciones.

III) No debe intentar el restablecer la operación después de que la unidad haya parado hasta que hayan transcurrido cuando menos 30 minutos de apagado para disminuir los efectos de torsión en la bomba al iniciarse el bombeo.

Situación No. 3,

Las figuras O y P muestran los registros de presión y amperaje que se observaron en un pozo petrolero. Se nota que el pozo esta produciendo intermitentemente y que cambios en la corriente ocurren durante cada ciclo de bombeo.

Los datos del pozo son los siguientes:

- profundidad de la bomba = 2095 [pies]
- tubería de producción = 2 7/8 [pg]
- bomba = REDA D-31 con 109 etapas
- motor = 40 [HP]; 900 [volts]; 28.5 [ampers]
- rango recomendado de producción = 147 a 213 [m³/día]

La figura P muestra que la bomba dejó de funcionar siete veces por día debido a una bajacarga de corriente y permaneció apagada por un tiempo de 2 horas cada vez que se paró. Se observa también que su tiempo de operación varia, lo cual indica que la bomba opera con variación de corriente, también puede ser que se tengan condiciones de gasificación.

Después de un análisis se decidió probar un estrangulador para ver si la bomba podría funcionar continuamente y dentro de su rango de producción de máxima eficiencia.

Las figuras Q y R muestran el primer intento con estranguladores de 3/4 " y 3/8 ". Nótese que ocurrieron cuatro horas de funcionamiento continuo con el estrangulador de 3/4 " y que se tuvieron 10.5 horas de funcionamiento continuo con el de 3/8 ", la presión en la cabeza del pozo (Pth) es más estable con el estrangulador de 3/8 " y el amperaje se ha decrementado gradualmente a 24 ampers, sin embargo la unidad se sigue

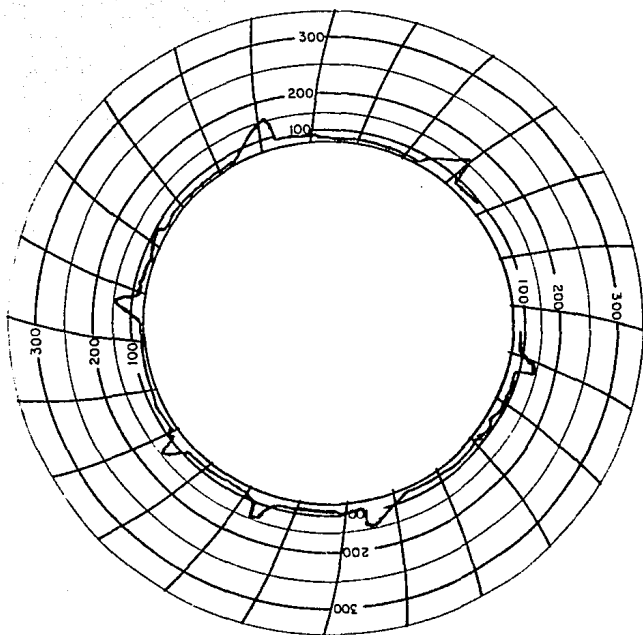


FIGURA 0.- REGISTRO DE PRESION (PSI)

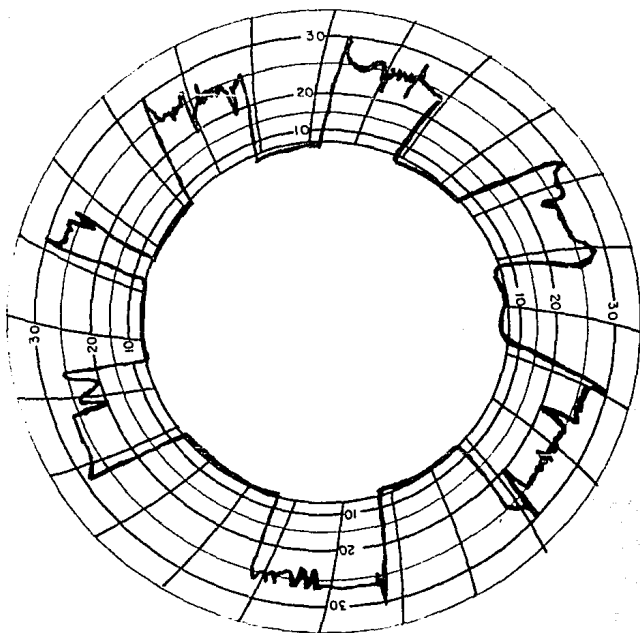


FIGURA P.- REGISTRO DE AMPERAJE (AMPS)

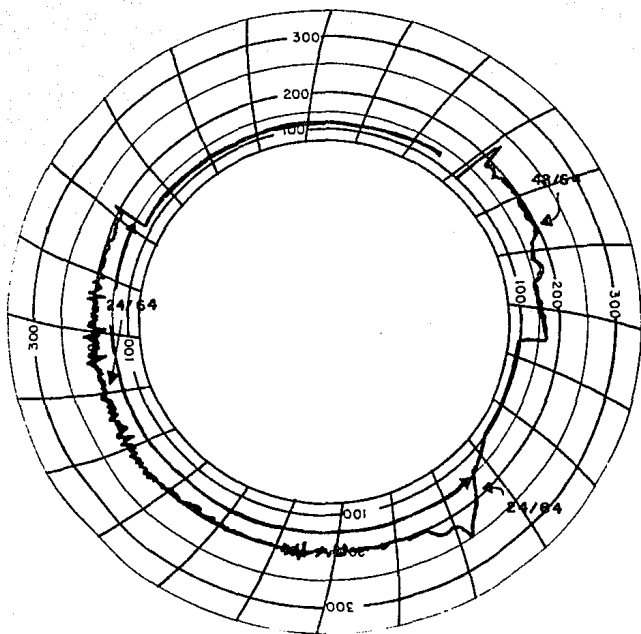


FIGURA Q.- REGISTRO DE PRESION (PSI)

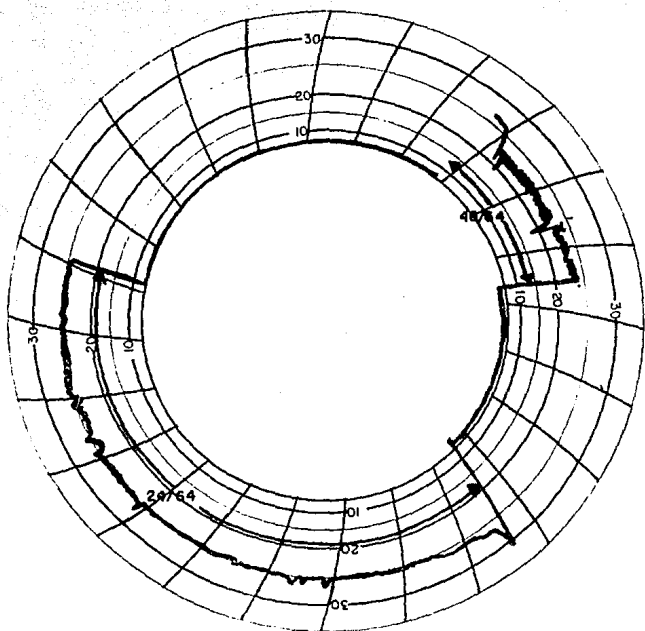


FIGURA R - REGISTRO DE AMPERAJE (AMPS)

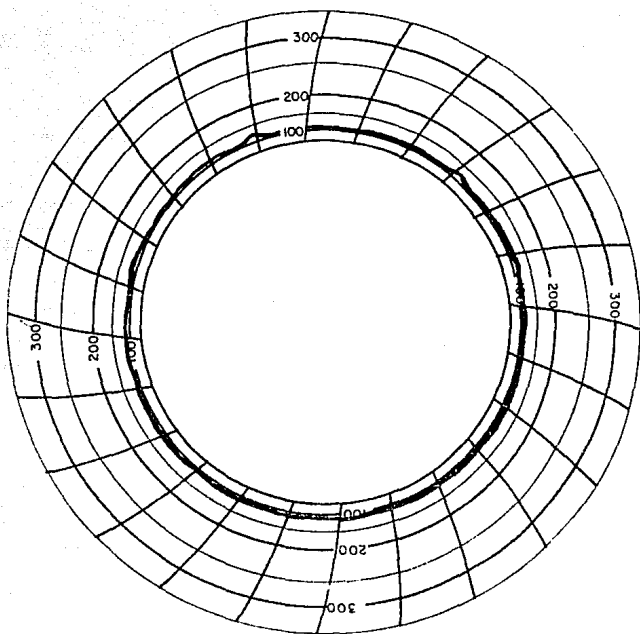


FIGURA S.- REGISTRO DE PRESION (PSI)

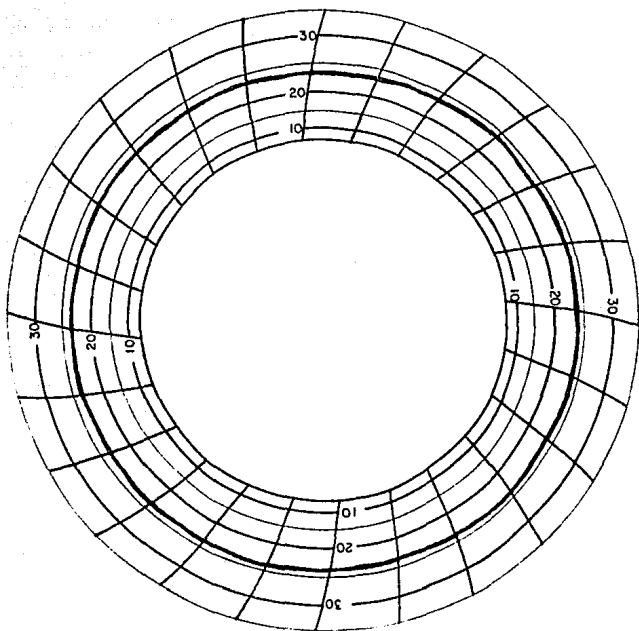


FIGURA T.- REGISTRO DE AMPERAJE (AMPS)

apagando.

Finalmente como se muestra en la figura S el pozo produjo continuamente con un estrangulador de 5/16 " y produjo 148 [m³/día] lo cual cae dentro del rango de producción de máxima eficiencia. Nótese que la corriente se mantiene constante en 23 amperes, la presión en la cabeza del pozo constante e igual a 110 [lb/pg²]. Bajo estas condiciones se podrá esperar un comportamiento normal de bombeo.

De lo anterior se puede aprender que el hacer un análisis cuidadoso, como en este caso, con repetidos ensayos de diferentes diámetros de estranguladores redituaron en una buena operación y eliminaron el tener que extraer el aparejo para efectuar posibles cambios incorrectos.

Mediante el bloqueo de la protección de bajacarga (jumper) el motor puede continuar operando después de que la línea de corriente mostrada en la carta del amperímetro, cae por debajo de la línea de apagado en donde es activado el relevador de bajacarga, éste indica la carga reducida a la cual puede continuar trabajando el motor. Esto señalará el amperaje donde deberá graduarse el relevador de bajacarga para ser activado, dicha graduación debe ser hecha en un amperaje un poco mayor al mostrado en la carta para asegurarse que la unidad se apagará.

Situación No. 4.

La figura U muestra el comportamiento del amperaje de un pozo en el cual la presión superficial tiene un incremento anormalmente alto dicho problema se solucionó mediante el análisis siguiente:

Al revisar las conexiones superficiales se encontró que se había formado sulfato de hierro en el cuerpo del estrangulador teniendo como

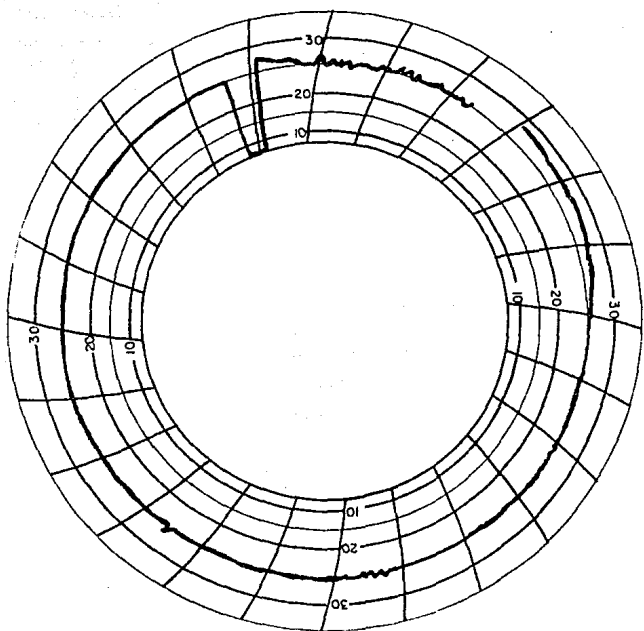


FIGURA U.- REGISTRO DE AMPERAJE (AMPS)

consecuencia que se restringiera el flujo lo que provocó el incremento en la presión. Después de remover esa restricción las operaciones de bombeo volvieron a su normalidad.

Situación No. 5.

Si un pozo esta bombeando con sistema intermitente y por alguna razón no ha podido volver a producir, se recomienda seguir los siguientes pasos para localizar la fallo:

- 1) Determinar si el interruptor principal esta abierto.
- 2) Revisar si los relevadores de sobrecarga están abiertos.
Revisar la continuidad de corriente en los contactos de sobrecarga.
- 3) Revisar fase a fase, con el ohmetro, las conexiones del cable que van hacia el interior del pozo, revisar si el cable está puesto a tierra. Un motor quemado puede ser el resultado de un desbalance de corriente o de un circuito no puesto a tierra. Un desbalance en la corriente indicará un posible motor defectuoso o un cable dañado. Una resistencia baja indica que el cable ha estado sujeto a un exceso de corriente lo cual puede provocar cortos circuitos.
- 4) Revisar todos los fusibles que se encuentran en el tablero de control así como los circuitos externos de la secuencia automática de remarcha de la bomba.
- 5) Revisar periódicamente las conexiones de las terminales del tablero de control para evitar contactos flojos, abiertos o sucios.
- 6) Ver si los fusibles de los transformadores y la línea primaria se

encuentran en buen estado.

- 7) Revisar si los controles de voltaje en el tablero de control están en condiciones de no-carga, éstos controles desactivan el bombeo cuando la corriente de operación llega a un nivel determinado.

Si al llevar acabo los pasos anteriores se ha encontrado el problema o si todo lo revisado ha checado satisfactoriamente, se deberá de poner a funcionar la unidad. Previamente conecte un voltmetro al cable para que al iniciar la operación se observe la variación del voltaje y la variación del amperaje en la carta del amperímetro. Si se observa que el voltaje esta por debajo del 60 (%) del voltaje de no-carga indicará que hay fallas en el sistema de energía.

El voltaje requerido en el tablero de control, considerado como óptimo al empezar a operar el bombeo, debe de ser 70 (%) o más del voltaje normal de operación. En el instante en que se empieza a bombear el voltaje cae en un rango del 0 al 30 (%) y éste tomará algunos segundos en regresar al normal. Esta declinación en el voltaje también puede ser observada en las cartas del amperímetro ya que el amperaje disminuirá pero en menor grado.

Normalmente al iniciar un ciclo de bombeo se empezará con un amperaje arriba del normal el cual decrecerá gradualmente hasta alcanzar la producción y amperaje normales. Si al inicio de la operación la corriente es alta y tarda un periodo de 4 a 5 segundos en llegar al normal la causa puede deberse a una o algunas de las razones siguientes: Una bomba golpeada o pegada y condiciones en que el sistema eléctrico

esta operando bajo una sola fase, el paso inmediato a seguir es parar la unidad y determinar la causa exacta del problema.

A continuación se lista una guía para iniciar el amperaje de operación.

- a) Si el amperaje es $3 \frac{1}{2}$ veces el amperaje normal de operación probablemente el tiempo de operación de la unidad sea corto. Aunque se presente un muy fácil comienzo de operación con suficiente voltaje.
- b) Si el amperaje es 4 veces el nominal la operación de bombeo tendrá un inicio y una operación normal. Esto indica que el voltaje es el suficiente.
- c) Si el amperaje es $4 \frac{1}{2}$ veces el amperaje normal de operación el sistema de bombeo probablemente operará. Esto indica que la unidad de bombeo sumergible esta un poco apretada y el voltaje aunque suficiente no podrá operar el bombeo.
- d) Si el amperaje es de 5 a 6 veces el nominal, indica que el rotor del motor esta atascado.

Algunos factores afectan la fluctuación de voltaje y corriente al iniciarse el bombeo. Por ejemplo, una bomba normalmente esta apretada cuando es nueva, una bomba con tiempo de uso considerable también estará apretada al iniciarse el bombeo puesto que acumula depósitos de sulfato de hierro o de calcio. Una bomba que ha sido usada, revisada y vuelta a colocar generalmente podrá operar con menor voltaje y menor corriente. Otro factor importante a considerar es la torsión en la flecha del motor, la cual tiene unidades de potencia, varía en función de la diferencia entre el voltaje y la corriente. A continuación se muestra como

determinar la torsión del motor.

Datos:

motor = 70 [HP]; 980[V]; 45[ampers]

profundidad de colocación = 6,500 [pies]

cable= No. 4.

Cálculos:

Voltaje superficial= 980[V] + 160 [V] de caídas de presión = 1,140 [V]

Se asume una corriente de tres veces la normal de operación = 135 [ampers] para empezar a bombear. Las perdidos de volatje al comienzo de la operación serán ahora las siguientes:

$$160 * 3.0 = 480 [V]$$

El volatje requerido del motor será entonces $1,140 - 480 = 660 [V]$. Esto es el 67 (%) del volatje estipulado en la placa del motor.

Hay 1.5 [pie-lb] de torsión/HP @ 100 (%) de volatje. Este dato lo proporciona el fabricante.

$$\text{ó } 1.5 * 70 = 105 [\text{pie-lb}]$$

La torsión varía al cuadrado del volatje por lo tanto:

$$(.67)^2 * 105 = 47 [\text{lbs-pie}] \text{ en la unidad al empezar a funcionar.}$$

Este resultado dice que la unidad tuvo probablemente dificultades al empezar a bombear debido a una mala conductividad de corriente o a una bomba desgastada.

Un motor con la misma potencia pero con un volatje mayor favorecerá los efectos de torsión al iniciarse el bombeo. En base a lo anterior se tiene el siguiente ejemplo :

Datos:

motor= 70 [HP]; 1,170 [V]; 38 [ampers]

colocación del motor = 6,500 [pies]

cable = No. 4

Cálculos:

Voltaje superficial = 1,170 [V] + 134 [V] de pérdidas = 1,304 [V]
(sacadas de gráficas)

Si se asume una corriente de tres veces la normal de operación, entonces, $3 * 38 = 114$ [ampers] para empezar a bombear, debido a esto se tendrían caídas de voltaje tres veces mayor. Las caídas de voltaje en el cable al empezar a operar la unidad son ahora:

$134 [V] * 3.0 = 402 [V]$

El voltaje extendido al motor será:

$1,304 - 402 = 902 [V]$; es decir el 77 (%) del voltaje marcado en la placa del motor, también conocido como voltaje normal de operación.

La torsión será:

$1.5 * 70 = 105$ [pie-lbs]

$(0.77)^2 * 105 = 62.25$ [pie-lbs]; en la unidad al empezar a bombear

El cálculo de la torsión será más exacto cuando los datos de corriente y voltaje que consume el motor sean más cercanos a la realidad.

8) Si al medir la corriente en una de las fases del conductor resulta que es baja indicará que se está bombeando con una sola fase. Si al medir la corriente se observa que está desbalanceada indicará que hay posibles problemas de suministro de energía eléctrica. Durante el proceso en que se revisan las condiciones de las fases del conductor bastará con dos segundos de energización de la unidad de bombeo para medir la corriente de

cada fase.

- 9) Si lo revisado eléctricamente sobre el cable y el motor esta en buen estado pero el cable conduce una corriente constante y anormalmente alta es muy probable que la bomba esté atascada. Una bomba atascada puede ser el resultado de un bombeo en sentido inverso al inicio de la operación, el paso inmediato a seguir es intentar una rotación correcta de la unidad. Nota: Un máximo de tres intentos es suficiente.

Si la unidad no se ha desatascado se deberá de sacar el aparejo para ser limpiada la bomba o intentar otro método como por ejemplo una acidificación para ayudar a limpiar el incremento de incrustaciones dentro de la tubería de producción y de la bomba.

- 10) Si la bomba está atascada y el voltaje no sufre caídas abajo del normal de operación el amperaje tampoco sufrirá caídas abajo del normal de operación. Del mismo modo si el voltaje sufre caídas al inicio del bombeo el amperaje también lo hará.

- 11) Como una última recomendación se debe de tomar en cuenta que antes de decidir sacar la tubería de producción para revisar la unidad sumergible se deberán de investigar todas las posibles fallas en y desde la superficie.

A continuación se muestra una guía que se considera muy importante para detectar las fallas mediante ciertos indicios que se presentan durante el bombeo, en muchas ocasiones es necesario apoyarse en la información que proporcionan las cartas del amperímetro.

1) INDICIO :

El tablero de control no funciona.

1.a.-) Posible causa:

No hay voltaje en el tablero de control.

Orientación:

Revise los fusible del sistema primario de suministro de energía eléctrica, los transformadores y el interruptor primario. Revise el voltaje del transformador primario y revise los fusibles del tablero de control

1.b.-) Posible causa:

Contactos flojos o abiertos.

Orientación:

Vea que los contactos de los relevadores de sobrecarga estén limpios y que presenten continuidad - éstos pueden ser revisados con el ohmetro - . Revise los otros contactos de los relevadores y los mecanismos de sincronización del bombeo intermitente para determinar si están dañados.

1.c.-) Posible causa:

Terminales flojas o abiertas.

Orientación:

Con un desarmador revise las tuercas de las terminales en los relevadores y en los mecanismos de sincronización del bombeo

intermitente, ya que debido a las vibraciones durante el transporte del equipo las tuercas pudieron aflojarse

1.d.-) Posible causa:

Circuitos del control automático abiertos o interruptores flojos o muy rígidos.

Orientación:

Revisar la continuidad de corriente en cada uno de los circuitos. Si se uso el control remoto y se desconecto el atrasador de tiempo, mecanismo que controla el tiempo de operación y apagado del bombeo, revise que el interruptor flotante, localizado en el tablero de control, esté en la posición correcta.

1.e.-) Posible causa:

Tablero de control dañado.

Orientación:

Debe de probarse el tablero de control de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

2) INDICIO :

El tablero de control está operando con alta corriente debido posiblemente a que los fusibles de los relevadores de sobrecarga están abiertos.

2.a.-) Posible causa:

Cable dañado durante el transporte o al momento de ser instalado.

Orientación:

Interruptor principal abierto. Precaución.- Siempre se debe hacer una inspección visual para determinar si los fusibles están abiertos, si la inspección visual es dudosa use instrumentos como el ohmetro o megómetro para revisar cada conductor verificando que estén puestos a tierra. La lectura en el conductor debe de hacerse en sus tres fases es decir 1-2, 2-3 y 1-3. Calcule que la resistencia sea la especificada para el motor y la usada por el cable. Usando una escala baja en el ohmetro las tres lecturas de la resistencia en el cable deben ser cercanos a cero, las lecturas deben de ser de 1 a 6 ohms, estas medidas también dependen del tamaño del motor. Una lectura muy alta de la resistencia en las fases del conductor indica un circuito abierto ya sea en el cable o en el motor. Precaución.- Antes de sacar la unidad sumergible haga éstas pruebas de lectura en el cable que va a la cabeza del pozo, en la caja de unión y en los fusibles del tablero de control, esto con el fin de determinar primeramente si la falla se presenta en la superficie, de no ser así se procederá a sacar la unidad sumergible para localizar el problema.

2.b.-) Posible causa:

Fusibles de poca resistencia o relevadores de sobrecarga graduados a una escala de corriente demasiado alta, otra causa puede ser que en los relevadores de sobrecarga esté presente un fluido dañino o que el atrasador de tiempo esté abierto.

Orientación:

Revise la graduación de los relevadores de sobrecarga y el tamaño de los fusibles. Para determinar el tipo y tamaño de los fusibles a usar (superlag, fusetron, etc.) debe de tomarse en cuenta la corriente inicial requerida para iniciar el bombeo.

2.c.-) Posible causa:

Bajo voltaje, alto voltaje, condiciones eléctricas de operación bajo una sola fase o voltaje desbalanceado.

Orientación:

Revise el voltaje existente en el tablero de control y en los transformadores. Si las derivaciones de energía de los transformadores necesitan ser ajustadas es necesario llamar a personal de la compañía o a un electricista especializado.

2.d.-) Posible causa:

Bomba atascada o pegada.

Orientación:

Si las mediciones anteriores indican que el voltaje, el cable y el motor están en buenas condiciones es posible que la bomba esté atascada. Esto puede ser remediado mediante una operación en sentido inverso de la unidad. Algunos tableros de control tienen dos direcciones para que la bomba opere en dos sentidos, rotación normal e inversa, si opera en sentido inverso lo hará de 2 a 3 ciclos, no más. Si lo anterior falla para despegar la bomba, entonces habrá que socar la unidad sumergible para determinar la causa exacta del problema y remediar la situación. Si no hay válvula check se podrá intentar introducir

ácido para deshacer la emulsión en la bomba.

2.e.-) Posible causa:

Unidad de bombeo trabada durante las operaciones de su instalación.

Orientación:

Este problema se puede solucionar levantando o introduciendo la tubería de producción unos cuantos metros. No es muy frecuente que se presente este problema.

2.f.-) Posible causa:

Fuga en la válvula check.

Orientación:

Si al tiempo de que se inicia la operación de bombeo el nivel de fluidos no se estabilizó y la válvula check presenta fuga, entonces la bomba operará en sentido inverso. Bajo estas condiciones se provoca un incremento considerable de corriente y un muy posible daño a la bomba y motor. Esto puede determinarse con el voltmetro o un multímetro, la lectura del voltaje indicará que la bomba está operando en sentido inverso. En una operación automática el tiempo de apagado debe ser el suficiente para permitir que el pozo se estabilice. Si la válvula check presenta fuga deberá cambiarse lo más pronto posible.

3) INDICIO :

La bomba opera normalmente pero de pronto para por una sobrecarga y no puede volver a iniciarse el bombeo.

3.a.-) Posible causa:

Condiciones de clima desfavorable:

Orientación:

El haberse presentado fuertes lluvias o fuertes vientos en el área del pozo pudieron causar problemas al sistema eléctrico, pues los fusibles pudieron quemarse y deberán de cambiarse. Deben revisarse los componentes eléctricos superficiales que se vean afectados por sobrecargas como las causadas por relámpagos.

3.b.-) Posible causa:

Sistema de energía con baja capacidad que provoca fluctuaciones y en consecuencia bajo voltaje.

Orientación:

El haberse presentado una fuerte descarga eléctrica pudo afectar considerablemente el voltaje en la instalación de bombeo. Posiblemente se necesitarán cables de mayor capacidad, transformadores más grandes o capacitores de mayor capacidad.

3.c.-) Posible causa:

Condiciones del pozo en superficie.

Orientación:

Revise la línea de descarga y/o el sistema de recolección para determinar si existe arena o lodo que obstruyan el flujo. Lo indicado es lavar dichos conductos.

3.d.-) Posible causa:

Condiciones de la bomba.

Orientación:

Debe de considerarse el tiempo que lleva operando la bomba, la

historia del pozo, la producción de arena, etc. Se debe de tomar en cuenta que al lavar el pozo se causan fricciones excesivas. Si el motor está quemado debe cambiarse.

4) INDICIO :

La unidad ha dejado de operar debido a una baja corriente.

4.a.-) Posible causa:

Candado de gas o que el relevador de bajacarga pudo ser graduado para su activación a una corriente demasiado baja.

Orientación:

Este problema puede ser solucionado de tres formas : 1) Relevando la presión en la tubería de revestimiento, para esto será necesario llenar el espacio entre la tubería de revestimiento y la de producción con agua u otro líquido de densidad parecida, instalar el separador de gas y colocar una válvula check y finalmente poner a producir el pozo. 2) Colocar la bomba a mayor profundidad. 3) Cerrar por un tiempo el pozo para que de esa manera se incremente la presión y provoque que el gas libre se disuelva y en consecuencia se rompa el candado de gas.

4.b.-) Posible causa:

Unidad operando pero sin producción.

Orientación:

Puede ser necesario acidificar o fracturar la formación, limpiar la bomba si existe arena, limpiar las perforaciones o poner a producir el pozo a la presión atmosférica. Si el pozo es puesto a producir a presión atmosférica y se produce por

arriba del mínimo rango de máxima eficiencia de la bomba se puede estrangular la producción de fluidos para que continúe la operación. Consulte las cartas de la bomba para determinar el mínimo y máximo gasto del rango de máxima eficiencia de bombeo y también consulte el resultado arrojado por la carta del amperímetro.

4.c.-) Posible causa:

Los relevadores de bajacarga de corriente necesitan ajuste.

Orientación:

En los casos en que se tenga suficiente fluido pero con carga hidrostática ligera constantemente se estarán activando los relevadores de bajacarga, bajo estas circunstancias se podrán ajustar dichos relevadores para ser activados a una corriente menor a la existente.

4.d.-) Posible causa:

Puede ser que el generador usado para estabilizar el suministro de energía esté operando a baja velocidad.

Orientación:

Si un generador disminuye su velocidad debido a llevar largo tiempo operando la frecuencia, el voltaje, la corriente y el consumo de energía también disminuyen. Así mismo, si el relevador trabaja arriba de su velocidad normal se eleva la corriente.

5) INDICIO :

El sistema de bombeo está trabajando pero la producción es baja.

5.a.-) Posible causa:

Obstrucción dentro de la tubería de producción.

Orientación:

Es necesario hacer pruebas de presión en la cabeza de la tubería de producción para determinar si existe resistencia, de ser así la tubería de producción deberá ser lavada, otros factores como la altura del nivel de fluidos, la profundidad de colocación de la bomba, el tamaño de la bomba y motor, etc., pueden provocar un incremento o descenso en la corriente eléctrica la cual no necesariamente indicará que se trata de una restricción al flujo dentro de la tubería de producción.

5.b.-) Posible causa:

Succión de la bomba tapada.

Orientación:

Si se presenta este problema será necesario sacar y limpiar la bomba y reinstalarla si está en buen estado. En algunas ocasiones la bomba puede limpiarse mediante un bombeo en sentido inverso.

5.c.-) Posible causa:

Obstrucción en la línea de descarga por problemas de arenamiento, válvula cerrada, etc.

Orientación:

Revisar la presión en la línea de descarga y cabeza del pozo, si es anormalmente alta se deben de tomar las medidas pertinentes para limpiarla. No se debe de descartar la posibilidad de que una válvula en la línea de descarga esté parcialmente abierta.

S.d.-) Posible causa:

La carga dinámica total no es la indicada para el diseño de la bomba.

Orientación:

Verifique que la bomba esté colocada por debajo del nivel dinámico de los fluidos, de no ser así la bomba estará operando en vacío. Puede ser que se haya hecho un mal diseño del bombeo eléctrico.

S.e.-) Posible causa:

Eje del motor, bomba o protector quebrado.

Orientación:

Es necesario sacar la unidad sumergible para cambiar la pieza dañada. Esta y las dos causas anteriores producen la activación de los relevadores de bajacarga y en consecuencia el paro del bombeo.

S.g.-) Posible causa:

El sistema de bombeo está operando pero sin producción debido a que el nivel de fluidos es muy bajo.

Orientación:

Debe determinarse si el nivel de fluidos es el apropiado en la colocación actual de la bomba, de no ser así se pensará en una estimulación, bajar aún más la bomba y cerrar el pozo por un tiempo para que se incremente el nivel dinámico. No se debe de descartar la posibilidad de bombeo intermitente.

CONCLUSIONES

1) Se considera que se dan las bases para que los ingenieros encargados de la operación del bombeo electrocentrífugo se familiaricen con la interpretación de las cartas del amperímetro.

2) Un buen análisis de las cartas del amperímetro dará la solución óptima al problema presentado, evitándose de esa manera el tener que hacer cambios o ajustes al aparejo de producción artificial que darían como consecuencia mayores costos o malos resultados.

3) Las cartas del amperímetro aquí presentadas tratan los casos más frecuentes que se presentan durante las operaciones de bombeo y pueden ser usadas como cartas patrón.

4) Las sugerencias en el diagnóstico y solución a problemas aquí presentados se podrán aplicar a casos similares en el campo y deberán ser seguidas paso a paso para obtener resultados satisfactorios.

5) Será necesario un mantenimiento periódico del aparejo de producción artificial a fin de lograr mejores condiciones de bombeo.

NOMENCLATURA:

- **Amperaje:** Es la medida del flujo de electricidad o corriente que pasa a través de un conductor.

- **Amperímetro:** Es un instrumento que permite detectar corriente eléctrica. El principio de funcionamiento del amperímetro es el de par motor que se ejerce sobre una bobina que bajo la acción de un campo magnético es recorrida por una corriente eléctrica.

El amperímetro es por lo general un cuadro móvil de aluminio sobre el cual se montan unas cuantas vueltas de alambre por las cuales se hace pasar la corriente que se va a detectar. El cuadro está suspendido por medio de una cinta magnética que lleva acoplado un pequeño espejo, esta cinta magnética conecta a uno de los extremos de la bobina. El otro extremo de la bobina conecta con un pequeño resorte por el que también se hace un contacto eléctrico para permitir el paso de la corriente a la bobina.

La bobina se mueve en el interior del campo magnético que existe entre los polos Norte y Sur de un imán. En el interior del cuadro se coloca un tambor cilíndrico de hierro, con objeto de que las líneas de flujo del campo sean radiales y la bobina gire sin un campo magnético prácticamente uniforme. Así, las desviaciones de la bobina son proporcionales a la intensidad de corriente.

- **Capacitores:** Dispositivo eléctrico que sirve para almacenar energía.

eléctrica.

- Conductor trifásico: Se le llama así a las líneas de transmisión eléctrica que constan de tres conductores.
- Ecómetro: Registro geofísico que por medio de vibraciones detecta entre otras cosas la localización del nivel dinámico de los fluidos del pozo.
- Fusibles: Dispositivos que sirven de protección de circuitos eléctricos para evitar el paso de una corriente excesiva.
- Multímetro: Se le llama así al aparato que es capaz de medir la corriente, el voltaje y la resistencia eléctricas.
- Ohmetro: Instrumento que mide la resistencia eléctrica.
- Transformadores: Dispositivo eléctrico que sirve para aumentar o disminuir el voltaje.
- Voltaje: Es la medida de la presión eléctrica con que la corriente fluye por un conductor.

REFERENCIAS.

1.- Kermit E. Brown

The Technology of Artificial Lift Methods - Volumen 2b

PennWell Publishing Company.

2.- Edminister Joseph A.

Electromagnetismo

McGraw -Hill

3.- Díaz Zertuche Héctor

Apuntes de Producción de Pozos II

Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1982