

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO**



## **“OPTIMIZACION DE LA VIDA OPERATIVA DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE”**

**TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETROLEO**

**JORGE LUIS PALOMINO TERAN  
PROMOCION 1984-1**

**LIMA – PERU**

**2003**

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con mucho amor a Romina Alessandra

### AGRADECIMIENTO

- ◆ A mis padres y abuelos por sus consejos muy sabios y apoyo incondicional.
  
- ◆ A Julia Mercedes por su constante apoyo.
  
- ◆ A todos los profesores de Petróleo de la Universidad de Ingeniería y a mis colegas de diferentes compañías operadoras y de servicio que orientan el mejor de sus esfuerzos para conseguir los objetivos en sus compañías, por las enseñanzas impartidas durante mi formación profesional.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo es el resumen de 20 años de experiencia en operaciones de Producción en varios países de Sudamérica donde emplean diferentes métodos de levantamiento Artificial de Hidrocarburos, haciendo énfasis en el sistema de Bombeo Electro-sumergible.

En el presente trabajo se hace un resumen de la definición de todos los términos empleados en la industria petrolera, descripción de los componentes del sistema BES , procedimientos de la instalación del equipo, monitoreo, razones de falla del equipo, remoción , aplicaciones en medio ambiente agresivos, observaciones y recomendaciones para lograr incrementar la vida operativa del equipo BES.

Introducción .....	1
<hr/>	
<b>Capítulo 1 TERMINOLOGIA PETROLERA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Definiciones previas usadas en la industria petrolera.	2
1.2 Propiedades de los fluidos de hidrocarburos.....	3
1.3 Características del yacimiento.....	6
1.4 Sistemas de levantamiento artificial.....	8
1.5 Breve Historia del bombeo electrosumergible.....	9
<hr/>	
<b>Capítulo 2 COMPONENTES DEL EQUIPO DE BOMBEO</b>	
<b>ELECTROSUMERGIBLE.....</b>	<b>11</b>
2.1 Equipo de fondo.....	11
2.1.1 Motor eléctrico.....	12
2.1.2 Sello, protector o ecualizador.....	14
2.1.3 Bomba.....	17
2.1.4 Separador de gas o succión de la bomba.....	21
2.1.5 Sensor de fondo.....	22
2.1.6 Cable de potencia.....	23
2.1.7 Los misceláneos.....	25
2.2 Equipos de superficie.....	27
2.2.1 Transformador primario o reductor.....	27
2.2.2 Controlador de frecuencia variable.....	28
2.2.3 El controlador del motor de frecuencia fija.....	30
2.2.4 Transformador elevador o secundario.....	31
2.2.5 Caja de venteo.....	32
2.2.6 Cable de superficie.....	32
2.3 Transporte y manipuleo de equipo.....	32

<b>Capítulo 3</b>	<b>OPERACIONES CON LOS EQUIPOS DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.....</b>	<b>35</b>
3.1	Trabajos previos a la instalación de los equipos BES	35
3.1.1	Chequeo de los equipos de superficie.....	38
3.1.2	Procedimiento para chequear controladores de frecuencia variable.....	38
3.2	Instalación del equipo de bombeo electrosumergible	39
3.2.1	Instalación del equipo de fondo.....	39
3.2.2	Bajada del conjunto de fondo.....	48
3.3	Programación de los equipos de superficie y arranque del equipo BES.....	51
3.3.1	Tableros de frecuencia fija.....	51
3.3.2	Tableros de frecuencia variable.....	51
3.3.3	Transformador elevador.....	52
3.4	Aplicaciones especiales del sistema BES.....	52
3.4.1	Uso de la chaqueta de enfriamiento del motor.....	53
3.4.2	Bomba de alimentación o refuerzo.....	54
3.4.3	Sistema de producción e inyección directa.....	56
3.4.4	Sistema de inyección horizontal.....	59
3.4.5	Sistema de inyección con alta presión de succión...	60
3.4.6	Instalación del sistema BES con empacador profundo.....	61
3.4.7	Instalación con herramienta Y, (“Y”-Tool).....	62
3.4.8	Bomba de refuerzo con entrada en el extremo inferior.....	63
<b>Capítulo 4</b>	<b>PRINCIPIO OPERATIVO Y FUNCIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA BES.....</b>	<b>66</b>
4.1	Revisión de la tecnología del sistema de bombeo electrosumergible.....	66

4.1.1 La bomba.....	66
4.1.2 El separador de gas.....	70
4.1.3 La sección sellante, protector y/o ecualizador.....	71
4.1.4 El motor eléctrico.....	72
4.1.5 Sensor de fondo.....	75
4.2 Controladores de motor.....	76
4.2.1 El controlador de frecuencia fija (Switchboard).....	77
4.2.2 Controladores de frecuencia variable.....	78

---

<b>Capítulo 5 MONITOREO DE LOS EQUIPOS.....</b>	<b>80</b>
5.1 Monitoreo del equipo BES.....	80
5.2.1 Tabla N° 1 (Chequeo de equipos de superficie).....	83
5.2.2 Tabla N° 2 (Formato de chequeo del controlador de motor).....	85
5.2.3 Tabla N° 3 (Formato de parámetros eléctricos).....	85
5.2.4 Tabla N° 4 (Formato de producción).....	87
5.2.5 Tabla N° 5 (Tabla de datos de Pozos).....	87
5.3 Razones de fallas de los equipos BES.....	88

---

<b>Capítulo 6 REMOCION DEL EQUIPO DE FONDO</b> <b>(Pulling del equipo).....</b>	<b>89</b>
6.1 Pasos a seguir durante la remoción de un equipo BES	89
6.2 Recomendaciones generales a aseguir durante la remoción de los equipos y a la finalización de este..	93

---

---

Capítulo 7	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
7.1	Observaciones y recomendaciones para optimizar la vida operativa de los equipos BES.....	96
7.2	Para aplicaciones en pozos con alto contenido de Gas.....	96
7.3	Aplicaciones en fluidos viscosos & presencia de emulsiones.....	100
7.4	Fluidos con presencia de abrasivos.....	103
7.5	Pozos con alta temperatura de fondo.....	105
7.6	Fluidos con formación de carbonatos, asfaltenos, parafinas y elementos corrosivos.....	107

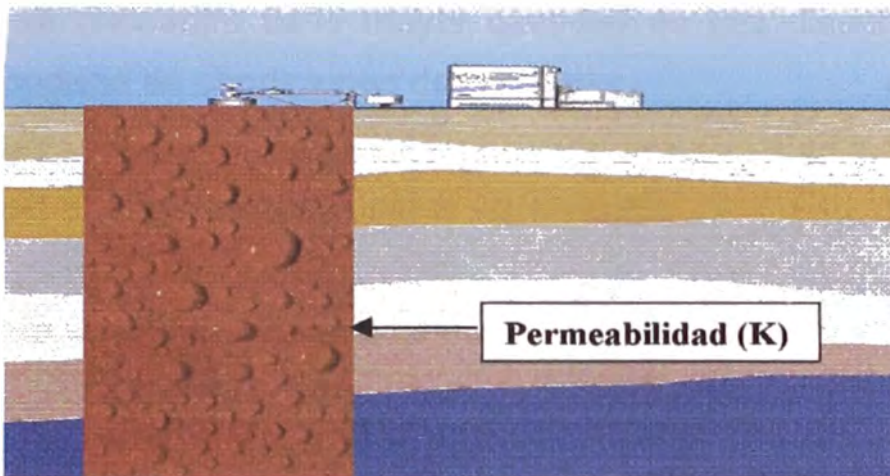
---

# CAPITULO I

## Terminología Petrolera

### 1.1 Definiciones Previas Usadas en la industria Petrolera.

**Porosidad.-** Es la relación entre el volumen de los fluidos contenidos en los poros de la roca y el volumen total de esta.



**Permeabilidad =** Es una propiedad del yacimiento que permite el paso de los fluidos, técnicamente: La permeabilidad de un reservorio se mide en darcys, y esto es el paso de un fluido de una viscosidad de 1 cp a través de una sección de 2 cm<sup>2</sup> y 3.20 cm de longitud y a un caudal de 0.5 cm<sup>3</sup> por segundo bajo un diferencial de presión de 2 atm.

**Corte de agua.-** Es la relación entre el volumen de agua y el volumen total agua más petróleo producidos.



**Aceite saturado.-** Es aquel que a las condiciones de presión y temperatura en que se encuentra, está en equilibrio con su gas.

**Aceite bajo saturado.-** Es aquel que a las condiciones de presión y temperatura es capaz de contener mas gas disuelto.

**Aceite supersaturado.-** Es aquel que a condiciones de presión y temperatura en que se encuentra tiene mayor cantidad de gas disuelto que el que le correspondería en condiciones de equilibrio.

**Densidad =** Es el peso por unidad de volumen

**Gradiente en fluido =** Es la presión que ejerce un fluido por unidad de altura.

## 1.2 Propiedades de los fluidos de hidrocarburos.

**Condiciones normales, estándar o de superficie.-** Son las condiciones a las que se acostumbra medir los fluidos producidos de un yacimiento, ya sea para cálculos de ingeniería o propósitos de venta. Las condiciones más usadas en la práctica son:

**Presión = 14.7 PSI**

**Temperatura = 60 F**

**Gas disuelto o gas en solución.-** Son hidrocarburos gaseosos que existen en solución con petróleo crudo bajo condiciones de yacimiento.

**Relación gas petróleo.**\_ Son los miles de pies cúbicos de gas producidos por cada barril de petróleo a condiciones estándar.

**Factor de compresibilidad (Z).**- Es conocido también como factor de desviación o de supercompresibilidad. Por definición este factor, es la razón de volumen que ocupa un gas a determinadas condiciones de presión y temperatura, con respecto al volumen que ocuparía el mismo gas si se comportara como gas ideal.

$$Z = \frac{\text{Volumen actual de gas real a determinadas condiciones de presión y temperatura}}{\text{Volumen actual de gas ideal a las mismas condiciones de presión y temperatura}}$$

**Factor volumétrico del petróleo.**- Este factor representa al volumen de petróleo saturado con gas a condiciones de yacimiento por unidad volumétrica del petróleo a condiciones normales.

$$Bo = \frac{\text{Volumen de petróleo a C.Y.}}{\text{Volumen de petróleo a condiciones estándar}}$$

**Factor volumétrico del gas.**- Es la relación de volumen del gas libre, a condiciones de presión y temperatura del yacimiento, por unidad volumétrica del gas libre a condiciones estándar , o sea: PCY/PCE.

**Nivel estático de fluido** = Es el nivel que alcanza el fluido dentro del pozo por acción propia del reservorio, es la distancia desde el Punto medio de las perforaciones hasta la boca de pozo.

**Nivel Dinámico de fluido (produciendo)** = Es el nivel que alcanza el fluido dentro del pozo cuando el pozo está produciendo con un rango constante

de flujo. Se mide como la distancia desde el Punto medio de las perforaciones hasta la boca de pozo.

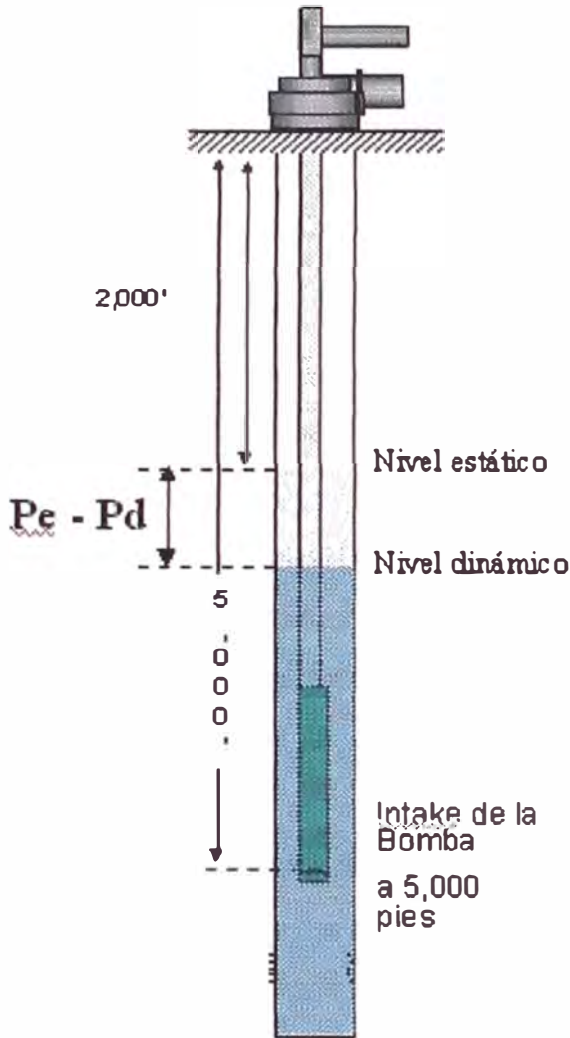


Gráfico ilustrativo de la relación entre los niveles estático y dinámico del fluido.

Presión a la entrada de la bomba (presión del intake) : Es la presión de entrada en la bomba cuando el pozo esta produciendo a un rango constante y estabilizado. Esta presión es igual a la presión causada por la columna de fluido sobre la bomba mas la presión del casing.

Presión de burbuja = Es la presión a la cual rompe fuera del petróleo la primera burbuja de gas. La presión del punto de burbuja normalmente es llamada presión de saturación. El petróleo no va absorber mas gas sobre esta presión. La presión del punto burbuja va a variar con la temperatura del crudo en el sistema.

**Gravedad específica** = Se toma como densidad estándar la densidad del agua, entonces la gravedad específica del petróleo es la relación entre la densidad del petróleo respecto a la densidad del agua. Para gases, es standard el aire, entonces la gravedad específica es la densidad del gas dividida por la densidad del aire.

Gravedad API = Es una nomenclatura del American Petroleum Institute para estandarizar la gravedad específica del petróleo. La gravedad específica y la gravedad API son relacionadas por la siguiente fórmula:

$$\text{Grados API} = (141.5 / \text{S.G.}) - 131.5$$

$$\text{S.G.} = 141.5 / (131.5 + \text{API})$$

Donde: S.G. = " Gravedad Específica"

Viscosidad = Es la resistencia molecular interna que se presenta al desplazamiento o flujo de un fluido. La viscosidad de un crudo, es función de la presión , temperatura y gravedad específica.

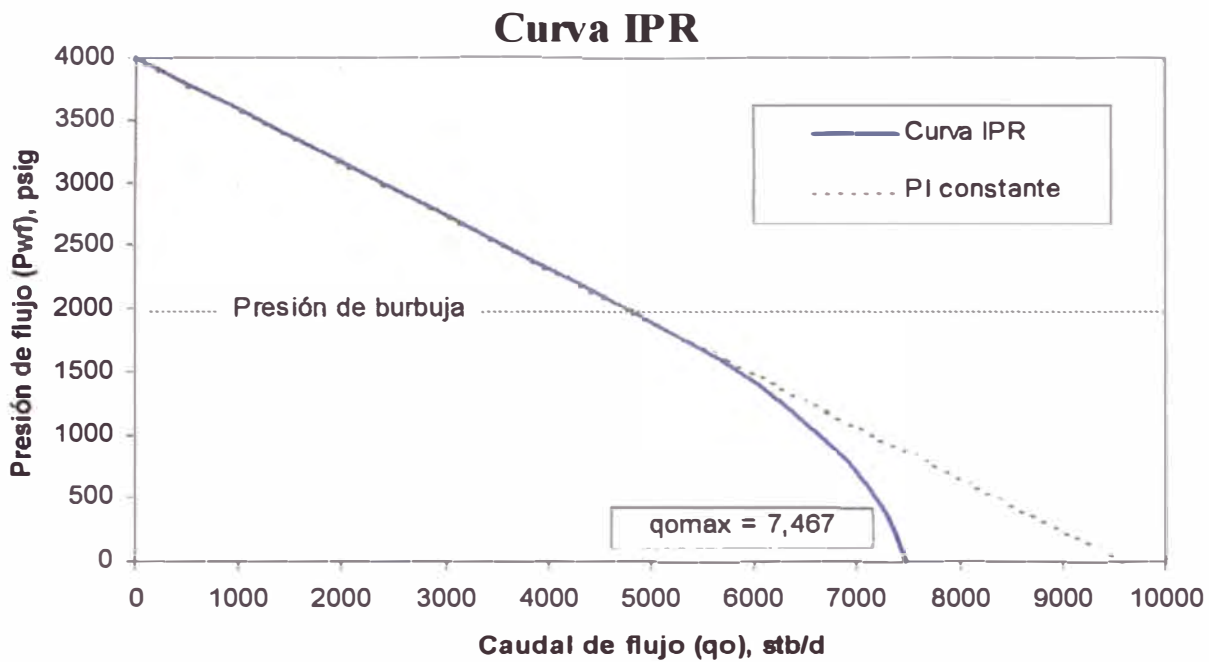
Producción.- La palabra producción se define como la capacidad de levantar los fluidos contenidos en un yacimiento, desde el fondo del pozo hasta la superficie, no se puede producir mas de lo que la formación aporta.

### 1.3 Características del yacimiento.

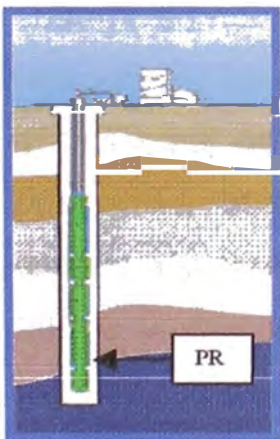
Espesor de arena.- Es la distancia entre el tope y el fondo de la arena, donde se encuentran los fluidos.

Índice de Productividad (IPR) = Como previamente fue mencionado, las presiones estática y dinámica del pozo son utilizadas para determinar como es la eficiencia del reservorio analizando la caída de presión. El índice de producción es inversamente proporcional a la caída de presión (diferencial de presión) y directamente proporcional al caudal de producción.

El Índice de Productividad es la razón del régimen de producción en barriles por día a la presión diferencial (Drawdown ) en el punto medio del intervalo productor.



**Caída de Presión (Draw Down).**- Es la diferencia de altura expresada en pies entre los niveles del fluido estáticos y dinámicos. “ Draw-down” es también expresado como la diferencia entre las presiones estáticas y dinámicas de fondo en el pozo.



**Presión de reservorio (Pr).**- Es la presión con la que el yacimiento impulsa los fluidos hacia el pozo.

**Presión de fondo fluente (Pwf).**- Es la presión tomada en el punto medio de las perforaciones del pozo. Esta presión

es regularmente tomada de algún punto arbitrario en los intervalos de perforación, y se calcula como referencia al punto medio de los perforados.

#### 1.4 Sistemas de levantamiento artificial.

1. **Bombeo Mecánico.** Dentro del sistema artificial de bombeo, fue uno de los métodos mas usados para extraer el petróleo, con este sistema, se producen de pequeños a medianos volúmenes de fluido, está constituido por una bomba de subsuelo, una sarta de varillas, un equipo de superficie de bombeo y una fuerza motriz localizada en superficie

2. **Levantamiento por Gas (Gas Lift).** Este método consiste en la inyección de gas a alta presión, el cual al entrar en contacto con el fluido aligera la densidad o la columna hidrostática, permitiendo la producción de fluido, el levantamiento puede ser de dos tipos, continuo o intermitente.

3. **Bombeo hidráulico.** El principio de operación de este método, está basado en la ley de pascal. En resumen este método consiste en inyectar un fluido motriz a alta presión, a una bomba ubicada en el subsuelo, la cual, transmite la presión al fluido encerrado en el pozo, el cual fluye a la superficie impulsado por esta bomba.

4. **Sistema de bombeo de cavidad progresiva.** La bomba de cavidad progresiva, es una bomba de desplazamiento positivo, constituida por un estator elastomérico y un rotor que gira dentro de éste, por la acción del torque proporcionado por un motor de superficie, a través de una sarta de varillas.

5. Sistema Electro sumergible. Actualmente es uno de los sistemas que se viene usando en un número cada vez mayor de pozos, debido a su versatilidad de aplicaciones ya sea considerando el rango de producción y/o condiciones de medio ambiente severo de operación, este sistema está constituido por un motor eléctrico, una sección sellante o protector, y una bomba electro sumergible multietapas.

6. Sistema con bomba de cavidad progresiva y motor eléctrico de fondo (ESPCP).

Este sistema está constituido por una bomba de cavidad progresiva conectada a un tramo de eje flexible y succión, debajo de la cual, se encuentra la sección sellante, una caja de engranaje reductora, y un motor eléctrico de fondo, la combinación en este sistema, se debe a que la bomba de cavidad progresiva es mucho más eficiente que la bomba electro sumergible, y tiene aplicación para producir fluidos viscosos y fluidos con presencia de partículas sólidas

## 1.5 BREVE HISTORIA DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

El inventor del sistema de bombeo electro sumergible es Armáis Arutunoff, nacido en Tiflis Rusia en 1893.

En 1916 Arutunoff rediseño una bomba centrífuga para ser acoplada a su motor, esta aplicación fue usada en las minas para extraer el agua.

En 1919 Arutunoff viaja a Berlín donde obtuvo financiamiento, y posteriormente desarrolla la bomba electro sumergible.

En 1923 Arutunoff viaja a USA, y en 1925 forma una compañía con Samuel Van Wert y obtuvo los derechos de patente para el sistema de bombeo electro sumergible.

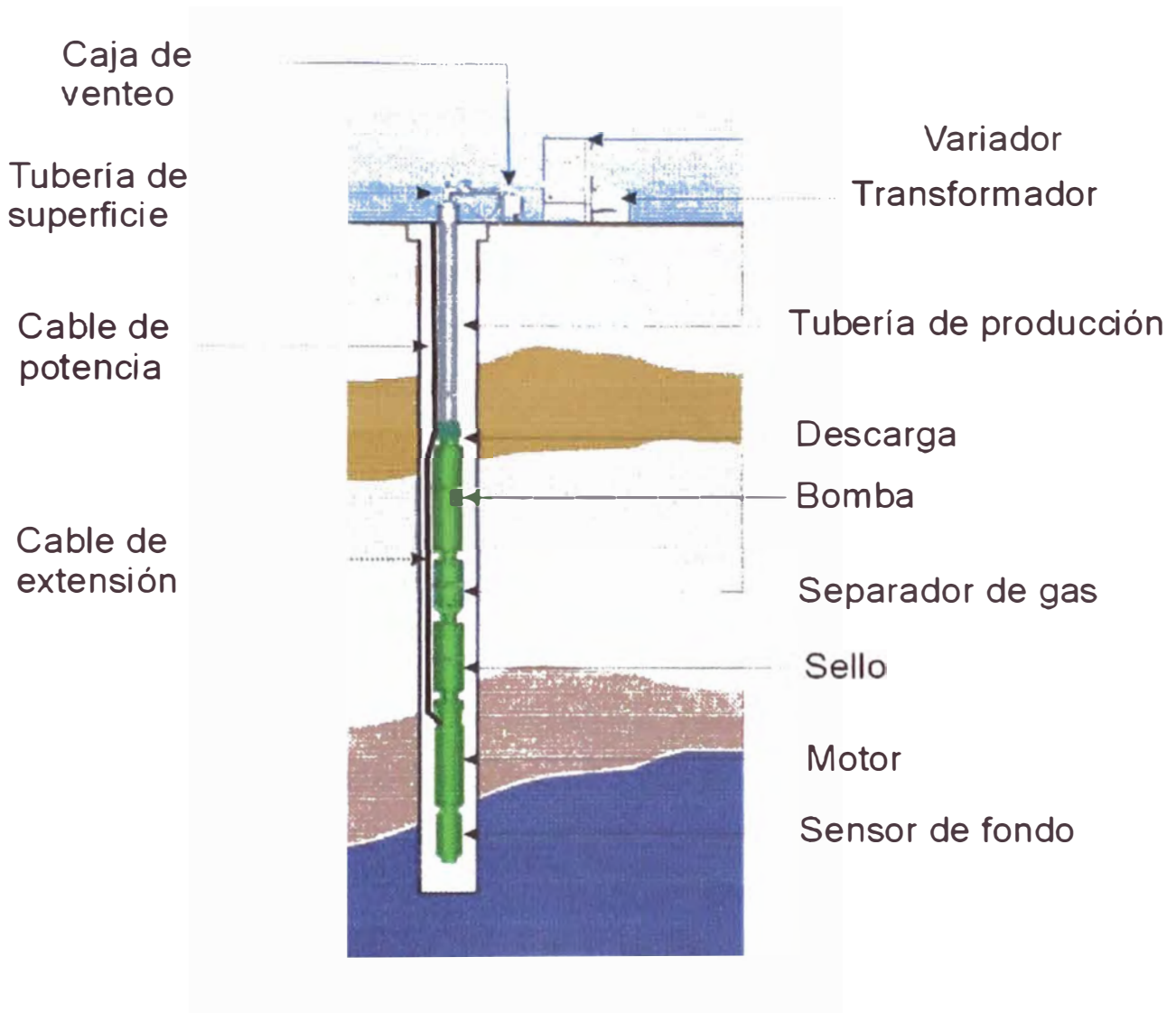
Posteriormente en 1928 a la edad de 33 años firma un contrato con Frank Phillips para el desarrollo y prueba del sistema de bombeo electro sumergible, a partir de esta fecha se comenzó a incrementar el uso del sistema BES.

Posteriormente se crearon nuevas compañías fabricantes de bombeo electro sumergible quienes hicieron innumerables mejoras para satisfacer los requerimientos de las compañías operadoras.



## CAPITULO II

### COMPONENTES DEL EQUIPO DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE



#### 2.1 Equipo de fondo

El ordenamiento del equipo de fondo en el presente trabajo es de acuerdo a la importancia de cada uno de los componentes.

- ◆ Motor eléctrico

- ◆ Sello protector o ecualizador
- ◆ Bomba multi-etapas
- ◆ Separador de gas o succión de la bomba
- ◆ Sensor de fondo
- ◆ Cable de potencia
- ◆ Misceláneos

### 2.1.1 Motor eléctrico.

El motor eléctrico, es uno de los componentes principales del sistema BES, éste se encarga de proveer la energía para mover o girar los ejes de los demás componentes del sistema.

El motor eléctrico es trifásico, bipolar de corriente alterna y asíncrono (asíncrono por que la velocidad en RPM varía inversamente proporcional a la carga que este maneja), el motor gira a 3500 Rpm a una frecuencia de 60 Hz y 2900 Rpm a una frecuencia de 50 Hz. El motor eléctrico, va lleno de un aceite mineral de alta resistencia dieléctrica, este aceite tiene la función de lubricar las partes internas del motor, además de permitir las transferencias de calor, desde el interior del motor hacia el espacio anular. Este calor es acarreado por el fluido de producción y disipado en su trayecto hacia superficie o hacia la boca del pozo, la velocidad recomendada del fluido en el espacio anular, debe ser mayor a un pie por segundo.

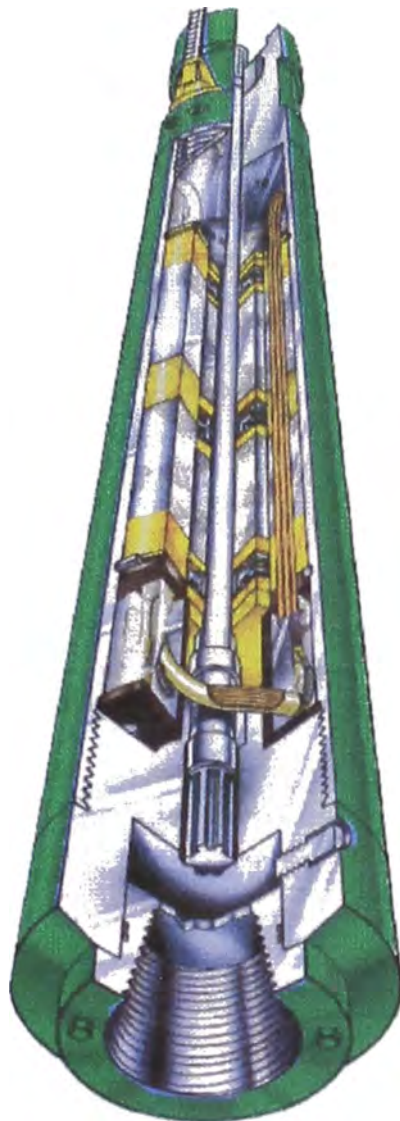
Los motores vienen diseñados para trabajar a un voltaje, un amperaje y una potencia determinada.

El motor está constituido por un conjunto rotario, el cual va montado sobre un eje, los rotores van espaciados por los cojinetes, este conjunto rotario se alojará dentro del un alojamiento llamado “ Estator”

Principio de operación de un motor:

La corriente alterna, viaja a través del cable desde superficie, hacia la entrada del motor, esta corriente crea un campo magnético en el estator, por inducción se crea otro campo magnético en el conjunto rotario, la repulsión de estos campos magnéticos, da lugar al giro del eje del motor y por ende al giro de todos los componentes del sistema de bombeo electrosumergible. Es muy importante estimar las pérdidas de voltaje en el cable de potencia para asegurarnos que el motor reciba el voltaje para el cual ha sido diseñado.

## MOTOR ELECTRICO



### 2.1.2 Sello, protector o ecualizador.

El sello protector o ecualizador, cumple funciones muy importantes con el objetivo de alargar la vida operativa del motor.

## Funciones del sello:

- ◆ Transfiere el torque del motor a la bomba
- ◆ Permite la unión del motor y la bomba evitando el contacto de los fluidos del pozo con el aceite dieléctrico del motor y sello.
- ◆ Permite la expansión y contracción del aceite del motor debido al calentamiento y enfriamiento durante la operación y parada del equipo.
- ◆ Iguala la presión interna del motor y sello evitando la presurización de los equipos.
- ◆ Otra de las funciones es absorber las cargas axiales generadas por la operación de la bomba impidiendo que estas afecten al motor.

## Componentes principales.

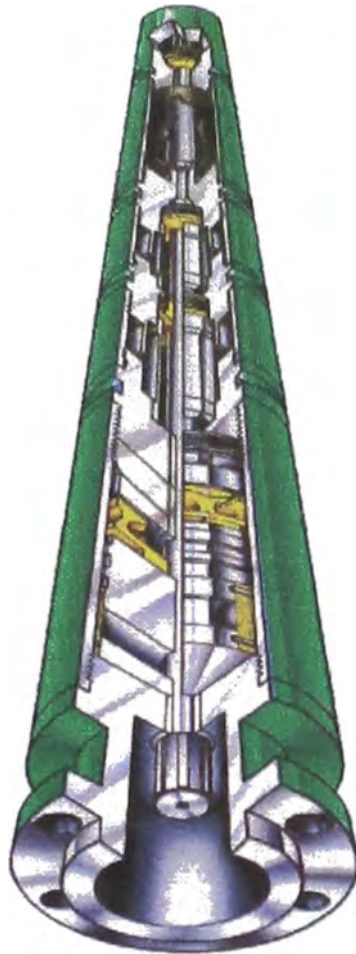
Sellos mecánicos.- Previenen la migración de fluidos hacia las cámaras inferiores a través del eje de éste.

Bolsas de goma.- permiten la expansión del aceite y aíslan el aceite dieléctrico de los fluidos del pozo.

Cámaras laberínticas.- Estas cámaras permiten la expansión del aceite y evita la contaminación prematura del aceite en pozos verticales o con ligera desviación.

Cojinetes de empuje.- Soportan la carga de la bomba, esta carga es mucho mayor en bombas de impulsores fijos que en las bombas de impulsores flotantes.

## SELLO, PROTECTOR Y/O ECUALIZADOR



### 2.1.3 Bomba.

La Bomba Centrífuga debe su nombre a la capacidad que tiene de desplazar fluidos mediante la generación de fuerzas centrífugas.

La Bomba Centrífuga multi-etapas se caracteriza por:

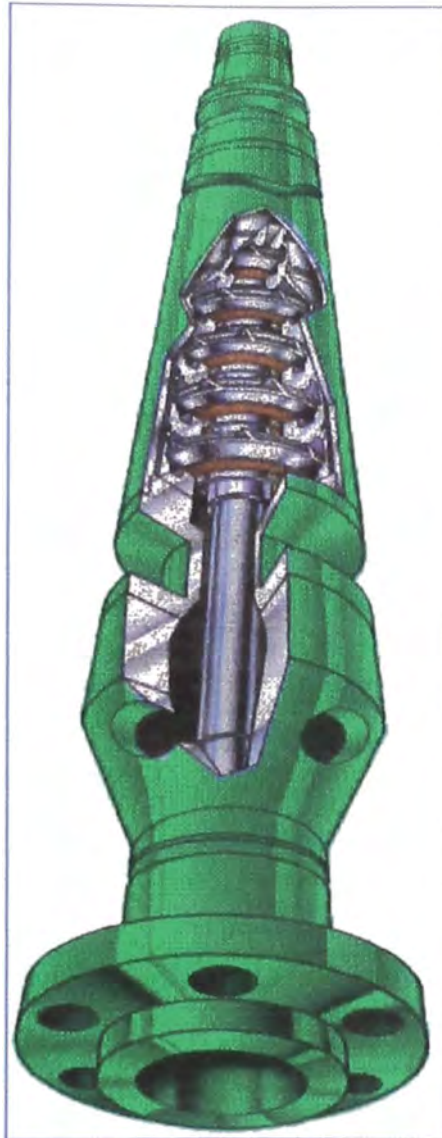
- ◆ Diámetro reducido. Comparando diámetro y longitud del equipo
- ◆ Gran cantidad de etapas. Dependiendo del nivel dinámico del fluido
- ◆ Diseño para altas cargas.

La bomba centrífuga trabaja por medio de la transferencia de energía del impulsor al fluido desplazado.

La parte rotativa, el impulsor, genera fuerzas centrífugas que aumentan la velocidad del fluido, la parte estacionaria, el difusor, dirige el fluido de la forma adecuada al siguiente impulsor.

El fluido entra al impulsor por medio de un orificio interno, cercano al eje y sale por el diámetro exterior del impulsor, el difusor dirige el fluido hacia el siguiente impulsor.

## BOMBA ELECTRO CENTRIFUGA



El corte transversal de la bomba muestra los difusores e impulsores ubicados en el alojamiento, se superponen varias etapas (bombas multi-etapas) para obtener la altura de columna total (TDH) deseada.

La bomba electro sumergible es normalmente impulsada por un motor eléctrico a una velocidad típica de 3,500 RPM , a 60 Hz

El rendimiento de la bomba es función de:



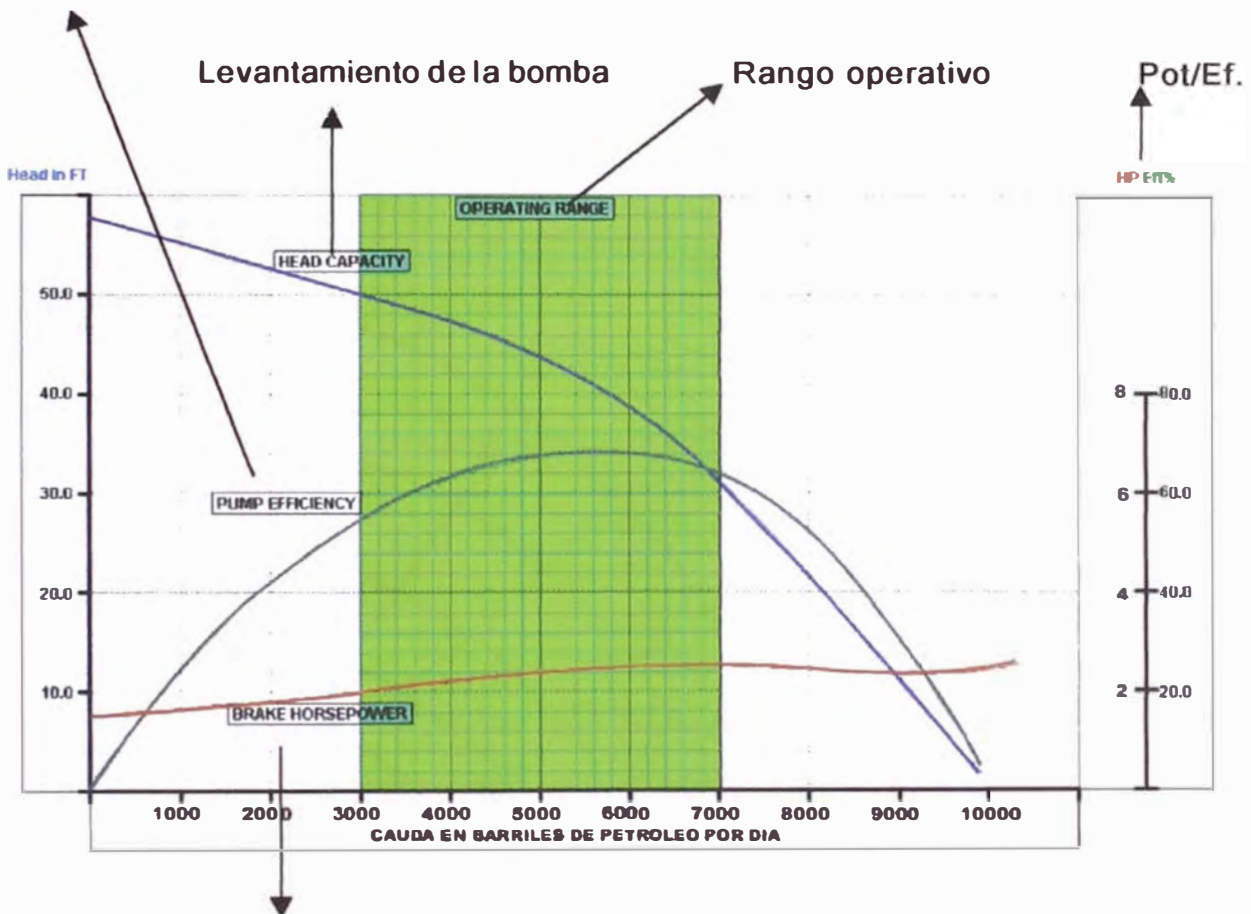
Columna =  $f$  (d, rpm, fluido)

Flujo =  $f$  (d, rpm,  $\mu$ )

Potencia =  $f$  (flujo, columna, S.G. ,  $\mu$ )

### Curva Típica de una Bomba Centrífuga a 60 Hz

Eficiencia de la bomba



Potencia al freno

La bomba puede ser operada a diferentes velocidades, bien sea debido a restricciones en la fuente de poder o con el propósito de modificar su rendimiento. Los parámetros de la bomba se relacionan con la velocidad de giro por medio de las siguientes ecuaciones.

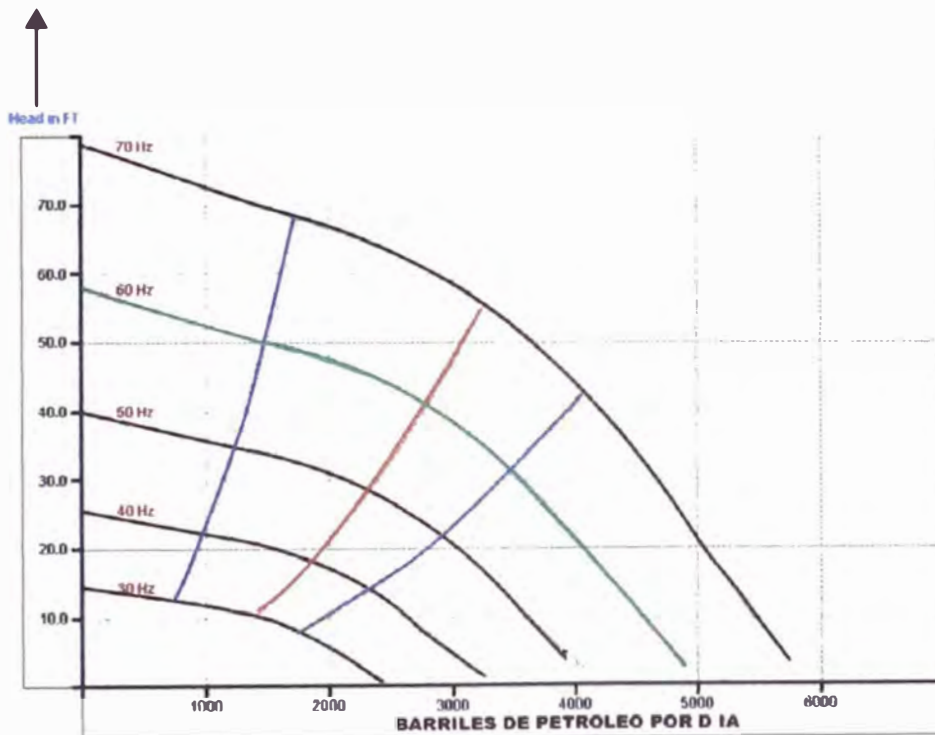
Flujo = f ( RPM ) = f ( frecuencia )

Columna = f ( RPM<sup>2</sup> ) = f ( frecuencia<sup>2</sup> )

BHP = f ( RPM<sup>3</sup> ) = f ( frecuencia<sup>3</sup> )

### Curva de bomba a frecuencia variable

Lev./Etapa



#### 2.1.4 Separador de gas.

Los Separadores de Gas se usan en aplicaciones donde el porcentaje de gas libre a la altura de la succión de la bomba es alto, la presencia de un porcentaje alto de gas causa interferencia en el rendimiento de la bomba, los separadores de gas separan gran parte del gas libre del caudal que entra a la bomba.

Los métodos de separación de gas incluyen:

- ◆ Chaqueta separadora en la cavidad del pozo
- ◆ Tomas de flujo invertidas
- ◆ Separador de ciclón
- ◆ Separador centrífugo.

#### SEPARADOR DE GAS



En general el separador de gas se debe usar cuando:

- ◆ Porcentaje de Gas libre > 10% en etapas de flujo radial ó panqueque
- ◆ Porcentaje de Gas libre > 15% en etapas de flujo mixto.

### Separador de Gas Rotativo

La cámara rotativa de diseño especial actúa como una centrífuga. que obliga a los fluidos pesados a dirigirse hacia las paredes exteriores y deja que el gas libre migre hacia el centro de la cámara. El gas libre es físicamente separado del resto de los fluidos al final del separador, el fluido rico en líquidos es dirigido hacia la toma de la bomba, la corriente rica en gas es venteada al espacio anular.

#### 2.1.5 Sensor de fondo.

Esta montado en la parte inferior del motor, los sensores más sencillos miden solamente la presión de fondo usando un tubo Bourdon y un potenciómetro. El sistema emplea una corriente de: 6-20 Volt, 1 mA DC y la señal de sensor es transmitida por medio del cable de potencia.

Existen otros sensores más completos que son capaces de medir los siguientes parámetros:

- ◆ Presión de Descarga de la bomba
- ◆ Presión de succión
- ◆ Temperatura del fluido
- ◆ Temperatura del motor
- ◆ Corriente de fuga

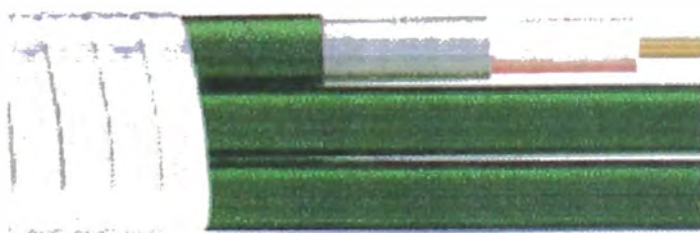
## 2.1.6 Cable de Potencia.

El cable de potencia, viene a ser el cordón umbilical del equipo, a través del cable de potencia se hace llegar la corriente eléctrica desde los equipos de superficie hacia el motor.

Existen una gran variedad de cables de potencia, dependiendo de la potencia de los motores del espacio físico entre el casing y el equipo de fondo y las condiciones de los pozos. La clasificación más genérica es dividir en dos modelos: Cables de configuración plana y cables de configuración redonda

### Cables de configuración Plana:

Estos cables son usados en pozos donde el espacio entre el equipo de fondo y el diámetro interno del de los forros es reducido. En esta configuración tenemos una gran variedad de cables, dependiendo de las características de los fluidos, temperatura y porcentaje de gas.

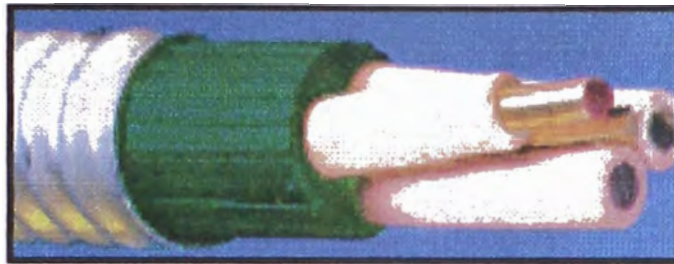


### Componentes:

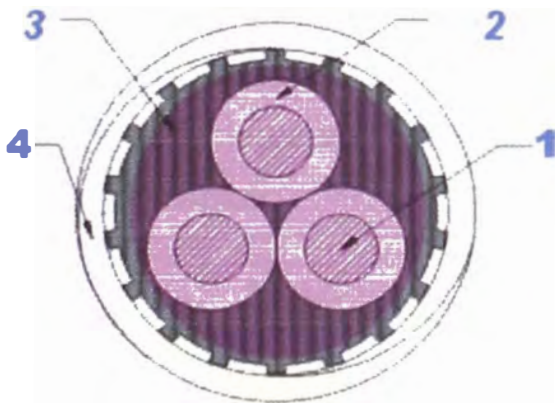
- 1 - Conductor (Cobre sólido)
- 2 - Aislamiento (Polypropileno o EPDM)
- 3 - Chaqueta (Nitrilo, EPDM o Plomo) y cintas de protección
- 4 Armadura (Acero Galvanizado, Acero Inoxidable o Monel).

## Cables de configuración Redonda:

Estos cables son usados en pozos donde el espacio físico entre el equipo de fondo y el diámetro interno del casing no es un impedimento. Usando este cable tenemos un menor desbalance de corriente en superficie, por lo tanto se logra una mejor operación del equipo de fondo.



## Componentes:



- 1 - Conductor (Cobre sólido)
- 2 - Aislamiento (Polypropylene o EPDM)
- 3 - Chaqueta (Nitrilo, EPDM o Plomo) y cintas de protección
- 4 - Armadura (Acero Galvanizado, Acero Inoxidable o Monel)

### 2.1.7 Los Misceláneos:

Son componentes de menor costo económico que ineludiblemente se tienen que usar en las instalaciones de los equipos de bombeo electro sumergible podemos citar los siguientes:

**Cable de extensión :** Este elemento sirve para unir el cable de potencia con la entrada del motor ( Pot Head ), esta disponible en longitudes de 55' hasta 110' , bajo pedidos especiales se pueden fabricar cables de extensión de cualquier longitud. En el mercado tenemos cables de extensión para todas las aplicaciones, alta temperatura, pozos con alto GOR, pozos con fluidos corrosivos, etc.

**Cintas de empalme y manguitos para unir los conductores:**

Estas Cintas cumplen la función de restituir el aislamiento al cable cuando se realiza el empalme entre los cables de potencia y cables de extensión, son Cintas de alto poder dieléctrico, además soportan alta temperatura, estas cintas van sobre los manguitos usados para unir los conductores de los cables.

**Acoplamientos :** Estos elementos son de mucha importancia y su función es de unir los diferentes extremos de los ejes con el objetivo final de que se transmita el movimiento rotacional desde el motor hacia el resto de los equipos, para cada componente del equipo BES existe un acoplamiento diferente, podemos comentar también que en aplicaciones con motores de alta potencia se usaran acoplamientos especiales.

Empaquetaduras tipo O : Estos empaques evitan que los fluidos del pozo ingresen hacia el interior del equipo a través de las juntas o uniones, su función principal es la de sellar herméticamente los espacios entre las superficies en contacto cuando los componentes del equipo BES son acoplados, estos sellos o empaques están diseñados para soportar altas temperaturas y altas presiones.

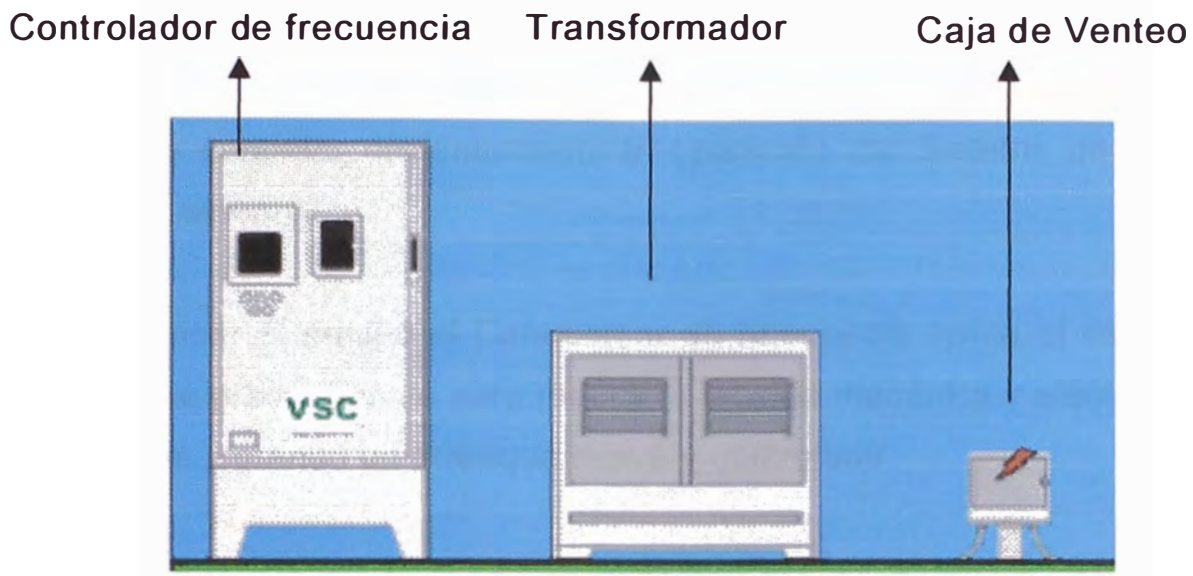
Guarda Cable o Canaletas : Usadas para proteger el cable de extensión y van instaladas cubriendo este desde el cabezal del motor hasta la ultima bomba éstas canaletas van aseguradas al cuerpo del equipo con zunchos o bandas, su función principal es la de proteger al cable de extensión.

Protectores de Cable de potencia : Estos protectores de cable van colocados sobre el cable de potencia asegurándolo contra la tubería de producción generalmente se colocan uno por cada tubo desde el primer tubo comenzando del fondo hasta el punto donde comienza la curvatura del pozo, algunas compañías tienen la política de colocar sobre toda la sarta de tubería, su función principal es la de proteger el cable de potencia.

Protectores / Centralizadores externos de equipos BES: Estos elementos están diseñados para proteger el equipo de fondo de posibles golpes contra el casing durante la bajada del equipo, los mas usados son: Protector / centralizador Sello & Motor, Bomba & bomba y muchas veces Bomba & Descarga, otro Centralizador que tiene mucha aceptación en todas las compañías es el centralizador Guía del Motor, este va colocado en la parte inferior del motor o del Sensor de fondo.



## 2.2 Equipos de Superficie



Los componentes principales del equipo de superficie son:

- ◆ El generador o fuente de energía
- ◆ Transformador Primario ó Reductor
- ◆ Controlador de Frecuencia Variable – VSC. Y/o Frecuencia fija
- ◆ Transformador Secundario o Elevador
- ◆ La caja de Venteo
- ◆ Cable de Superficie

### 2.2.1 Transformador Primario ó Reductor:

Este transformador reduce el voltaje de la línea de alta (13,800 Vol. o más ) a 480 Voltios que es el voltaje de entrada del Controlador de frecuencia variable ó al voltaje de entrada del controlador de frecuencia fija.

### 2.2.2 Controlador de Frecuencia Variable – VSC.

- ◆ Permite controlar eficientemente la operación del Sistema de Bombeo Electro sumergible.
- ◆ Al arrancar el equipo el Controlador de frecuencia aplica el voltaje y la corriente gradualmente para reducir la tensión mecánica y eléctrica en el sistema, logrando un arranque suave y controlado.
- ◆ Protege al equipo de fondo de fluctuaciones de corriente así como de desbalances de voltaje
- ◆ Puede compensar por el desgaste de la bomba al aumentar la frecuencia de operación.
- ◆ El Controlador de Frecuencia Variable usa componentes electrónicos para variar la frecuencia de entrada y convertirla en una frecuencia que puede oscilar entre 30 y 90 Hz
- ◆ Disponible en gabinetes a prueba de agua, se pueden usar en la intemperie y para propósitos generales ó gabinetes que tiene que usarse en ambientes cerrados y bajo techo, esto depende de la operación.
- ◆ Irregularidades en la fuente de alimentación son contenidas en el equipo de la superficie y no afectan al equipo de fondo. No existe una conexión física entre la corriente AC y la corriente DC.

- ◆ Las pantallas y los teclados de caracteres alfa-numéricos son fáciles de operar.

### Funciones múltiples

- ◆ Guarda en su memoria una gran cantidad de eventos con la fecha y hora correspondiente.
- ◆ Se pueden adaptar a controles automatizados.
- ◆ Monitorea el voltaje y la corriente para proteger al equipo Electro sumergible de fondo.
- ◆ Al usar un Controlador de Frecuencia Variable (VSC) para cambiar la velocidad de un equipo se puede predecir el caudal, cabeza dinámica y la potencia al freno, por ejemplo al cambiar de 60 a 50 Hz, se cumple las siguientes leyes de afinidad:

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = Q_1 \left( \frac{60}{50} \right) = Q_1(1.20)$$

$$H_2 = H_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 = H_1 \left( \frac{60}{50} \right)^2 = H_1(1.44)$$

$$BHP_2 = BHP_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3 = BHP_1 \left( \frac{60}{50} \right)^3 = BHP_1(1.73)$$

DONDE :

$Q_1$  = Caudal actual de producción

$Q_2$  = Caudal a producir

$H_1$  = Altura de levantamiento actual

$H_2$  = Altura calculada a levantar de

$BHP_1$  = Potencia actual consumida

$BHP_2$  = Potencia a consumir a la nueva frecuencia

### 2.2.3 El controlador del Motor de frecuencia fija.

#### Características.

- ◆ Aplica por completo la carga de voltaje y amperaje al momento del arranque (Arranque directo)
- ◆ Desde hace varios años atrás se usa un controlador de estado sólido y computarizado para proteger y monitorear la unidad de fondo.  
Esta conectado a transformadores que convierten el voltaje y la corriente de línea en los requeridos por el equipo de fondo  
Los arranques directos ocasionan tensiones mecánicas y eléctricas extremadamente altas en el sistema.
- ◆ Solo permite limitada flexibilidad en el diseño del equipo, ya que la frecuencia de operación debe mantenerse constante
- ◆ El control de la producción solo se puede realizar choqueando la válvula de superficie, pero esta practica afecta a la sección sellante o protector.

#### Controlador de estado sólido

- ◆ Viene a ser el elemento que protege al equipo de fondo.

$H_1$  = Altura de levantamiento actual

$H_2$  = Altura calculada a levantar de

$BHP_1$  = Potencia actual consumida

$BHP_2$  = Potencia a consumir a la nueva frecuencia

### 2.2.3 El controlador del Motor de frecuencia fija.

#### Características.

- ◆ Aplica por completo la carga de voltaje y amperaje al momento del arranque (Arranque directo)
- ◆ Desde hace varios años atrás se usa un controlador de estado sólido y computarizado para proteger y monitorear la unidad de fondo.  
Esta conectado a transformadores que convierten el voltaje y la corriente de línea en los requeridos por el equipo de fondo  
Los arranques directos ocasionan tensiones mecánicas y eléctricas extremadamente altas en el sistema.
- ◆ Solo permite limitada flexibilidad en el diseño del equipo, ya que la frecuencia de operación debe mantenerse constante .
- ◆ El control de la producción solo se puede realizar choqueando la válvula de superficie, pero esta practica afecta a la sección sellante o protector.

#### Controlador de estado sólido

- ◆ Viene a ser el elemento que protege al equipo de fondo.

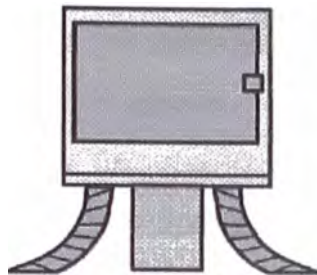
- ◆ Monitorea el voltaje y la corriente que se suministra al equipo de fondo  
Puede ser programado para que se arranque automáticamente bajo ciertas circunstancias
- ◆ Protege al motor de fluctuaciones o desbalances de voltaje y corriente por medio de señales de alarma.
- ◆ Algunos modelos tienen módulos de comunicación remota y capacidad de almacenar datos históricos de la operación del equipo.
- ◆ Tiene entradas análogas disponibles para monitorear varias señales

#### 2.2.4 Transformador Elevador o Secundario:

Convierte el voltaje y corriente suministrados por el generador al voltaje y corriente requeridos por el equipo de fondo, tiene 'Taps' múltiples para obtener el voltaje deseado.

Los transformadores usados con controladores de frecuencia variable tienen un diseño especial. También estos transformadores deben ser dimensionados para que su potencia nominal sea igual o mayor que la requerida por el equipo de fondo. En caso de controladores de frecuencia fija se debe considerar una potencia por lo menos del 30% mayor a la requerida, considerando un pico muy elevado de corriente en el arranque del equipo.

### 2.2.5 Caja de Venteo



Es el principal punto de conexión entre el cable de fondo y el cable de superficie. Provee un punto de separación para determinar fallas en el equipo de fondo o superficie. Ventea el gas que pueda contener el aislamiento y la chaqueta del cable de fondo.

### 2.2.6 Cable de Superficie:

Se le denomina así al tramo corto de cable que une y conecta el transformador elevador y la caja de venteo en el caso que se use un controlador de frecuencia variable ó el controlador de frecuencia fija y la caja de venteo en el caso que se use un controlador de frecuencia fija.

Este cable se usará en varias instalaciones por lo que se recomienda proteger este cable de cualquier daño físico que afecte su integridad, generalmente es pasado a través de un tubo de producción.

## 2.3 Transporte y Manipuleo de los equipos

### Procedimientos Recomendados:

Después que los equipos han sido ensamblados y ensayados en los talleres de las compañías de servicios, se proceden a pintar y embalar en sus

respectivas cajas, éstas están equipadas con unos asientos de goma para evitar que los equipos se golpeen o deslicen durante el transporte, además se colocaran tacos de madera en ambos extremos de la caja para fijar al equipo y no tenga opción de movimiento.

Para manipular los equipos es necesario el uso de una barra espaciadora de esta manera se evitará doblar los equipos. Una vez embalados los equipos, se procede al despacho, generalmente se despachan en camiones con plataformas, debemos de percatarnos que éstas plataformas sean lo suficientemente largas, para que las cajas quepan completamente y el equipo vaya perfectamente acomodado, para evitar cualquier daño al equipo debemos de sentarlo sobre tacos de madera cuya sección debe ser por lo menos de 6 pulgadas de lado, estos tacos quedaran a distancias apropiadas para distribuir el peso del equipo, esto nos permitirá descargar los equipos con mas facilidad en las locaciones y/o almacenes de las compañías operadoras.

Se recomienda colocar en la cara superior de la caja la descripción completa del equipo, se colocara además el peso del equipo incluyendo el peso de la caja y la longitud de la caja, estos datos son muy importantes cuando los equipos tienen que transportarse en helicópteros o en aviones de carga.

Para almacenar los equipos de fondo es necesario contar con caballetes (racks) los cuales estarán colocados equidistantemente de acuerdo a la longitud de los equipos.

Para transportar los equipos desde los almacenes de las compañías hacia los pozos se deberá tener los mismos cuidados mencionados anteriormente.

Cuando los equipos son descargados en las locaciones o pozos, se tendrá especial cuidado en seleccionar un lugar seguro y firme, se procederá a



colocar tacos de madera los cuales estarán equidistantes el uno del otro para distribuir correctamente el peso de los equipos.

Se recomienda que el lugar seleccionado para bajar los equipos este debe estar en una área libre de tránsito, para evitar que sean golpeados. Además se recomienda que en el momento de bajar los equipos del taller se encuentre uno de los técnicos de campo para supervisar las maniobras de descarga y colocación de los equipos en la locación.

Para manipular, cargar y descargar los equipos de superficie y los carretes de cable se recomienda usar barras espaciadoras a medida de estos elementos para evitar daños por maniobras riesgosas, se debe tener en cuenta que los cables y transformadores son componentes muy pesados por lo que se debe tener equipos apropiados para realizar éstas maniobras.

## CAPITULO III

### 3.1 Trabajos previos a la Instalación de Equipos BES

- ◆ En primer lugar se recomienda que el técnico encargado de realizar el trabajo, esté en el pozo por lo menos 12 horas antes de la Instalación, el técnico es el único responsable de los trabajos en el pozo.
- ◆ El técnico deberá presentarse ante el supervisor del taladro para que este tenga conocimiento de quien realizará el trabajo, además ambos revisaran el programa a seguir en el presente pozo, es importante revisar los modelos, tipos y números de serie de los equipos, profundidad a la cual quedaría la bomba, el numero de carrete tipo de cable y estado de este. Además el técnico debe revisar nuevamente los datos del pozo, por ejemplo diámetro de los forros si tiene lana verificar profundidad del tope de lana, indagar sobre el tipo y diámetro de los preventores ( B.O.P.). ver si el pozo es vertical o desviado, verificar los puntos críticos del pozo, etc.
- ◆ El técnico con ayuda de dos ayudantes procederá a abrir todas las cajas, para tomar los datos de los equipos, estos datos serán chequeados con el programa o con la nota de envío de los equipos y/o con el reporte de pre instalación preparado por el Ingeniero de Aplicaciones, en caso de haber un error el técnico informara inmediatamente al supervisor de campo y al supervisor del taladro quienes conjuntamente con el técnico tomaran las medidas correctivas antes de proceder a la Instalación del equipo de fondo.
- ◆ Se recomienda al técnico abrir las bombas para verificar el giro de estas, el estado de las estrías de los ejes y si es posible el juego axial de estas.
- ◆ En el caso de motores aparte de tomar las medidas eléctricas se chequeara el fraseado y/o sentido de giro de ambos motores,

lógicamente que ambos sentidos de giro de estos deberá ser el mismo, las compañías fabricantes de los equipos tienen métodos detallados para hacer la verificación del fraseado de los motores, para hacer este trabajo se emplea un instrumento llamado indicador de rotación de fases del motor.

- ◆ En todo trabajo previo que implique manipuleo de equipos, la recomendación es de evitar trabajar con presión y/o prisa, todos los trabajos serán coordinados directamente por el técnico de campo, para evitar daños a los equipos.
- ◆ Después de verificar todos los datos de los equipos, se cerraran las cajas y los equipos serán transportados adecuadamente cerca de la boca del pozo, el técnico debe asegurarse que la parte marcada que indique el lado donde se encuentre los cabezales de los equipos quede en dirección de la boca del pozo.
- ◆ Otra de las recomendaciones que evitará pérdidas de tiempo, es de colocar las cajas en el siguiente orden: Motor inferior, Motor superior, Sello, Protector y/o Ecuador, Separador de gas y/o Succión, Bomba inferior, Bomba intermedia y Bomba superior.
- ◆ A pesar que el técnico tiene el dato de las longitudes de todos los equipos, el sobrestante (Winchero), tomará estos datos, los cuáles servirán para determinar exactamente la profundidad de la succión de la bomba y la profundidad total del extremo inferior del equipo esto lógicamente se conseguirá adicionando la longitud de la tubería de producción, mas las uniones, tubos cortos y niples.
- ◆ Si se usan Protectores-Centralizadores, de equipo se recomienda que estos tengan impresos claramente el diámetro externo sobre su superficie externa, debemos estar 100% seguros de que la medida que se encuentra impresa es la correcta y el error será del orden de

centésimas de pulgada, para evitar posibles atascamientos del equipo durante la bajada del equipo de fondo.

- ◆ Revisar el cable de potencia: Tomar el número del carrete, tipo y número de cable, longitud y número de serie si este tuviera, inspeccionar físicamente verificar que el cable no haya sufrido ningún daño durante el transporte, proceder a tomar las medidas eléctricas tanto fase a tierra como fase-fase, estas medidas deben ser mayores a las mínimas establecidas por la compañía de servicios y compañía operadora, si las medidas son bajas y en el ambiente hay mucha humedad se procederá a preparar nuevamente ambos extremos del cable y se tomaran otras medidas eléctricas para tomar la decisión de bajar este cable o cambiarlo por otro. Si fuese posible el técnico solicitara el reporte de reparación del cable para ver cuantos empalmes y/o reparaciones tiene el cable, además de verificar la pruebas de alto voltaje a la que son sometidos los cables, si el cable es nuevo lógicamente este será más confiable.

### 3.1.1 Revisión de los equipos de superficie

Antes de proceder a instalar los equipos de superficie, tableros de frecuencia variable, tableros de frecuencia fija, transformador elevador, cajas de venteo, se debe hacer un revisión física exhaustiva, luego se tomaran medidas eléctricas en los transformadores y caja de venteo, en lo que respecta a los controladores de frecuencia variable estas revisiones involucran tarjetas, elementos electrónicos, verificación de los circuitos, diagramas de conexiones eléctricas, verificación de partes opcionales, etc.

Para poder realizar estas revisiones debemos contar con los siguientes instrumentos y herramientas:

- ◆ Multímetro digital o equivalente.
- ◆ Multímetro analógico
- ◆ Megómetro de 1000 a 5000 VAC,
- ◆ Indicador de secuencia de fases
- ◆ Pinza amperométrica
- ◆ Juego de herramientas para trabajos mecánicos.
- ◆ Juego de herramientas para trabajos eléctricos.

### 3.1.2 Procedimiento para chequear Controladores de frecuencia variable

- ◆ El tablero debe estar desconectado de la alimentación eléctrica antes de continuar con la inspección.
- ◆ Debe asegurarse que ningún capacitor tenga alguna carga eléctrica remanente; si se comprueba que hay presencia de voltaje, se debe proceder a descargarla en forma segura con una resistencia de drenado.
- ◆ Realizar una inspección física del variador y de sus componentes, e indique el estado de estos.
- ◆ Tomar nota de la presencia de opciones extras encontradas en el tablero variador.
- ◆ Hacer Las observaciones del caso sobre el estado del variador, de sus componentes o de las opciones encontradas.
- ◆ Se debe Informar al supervisor de mantenimiento sobre esta revisión.

- ◆ Si se encuentran elementos después de dañados se deben reemplazar antes de comenzar la instalación del equipo de fondo.
- ◆ Se debe preparar un reporte donde conste las actividades realizadas y el tiempo empleado en la revisión de los equipos de fondo.
- ◆ Se debe realizar los ensayos de vacío y corto circuito, de esta manera el controlador quedará listo para la programación y arranque del equipo.
- ◆ Todos los datos de los equipos de fondo, cables de potencia, protectores-centralizadores, datos de los equipos de superficie deberán ser suministrados al Supervisor del Taladro quien enviará todos estos datos en su reporte diario.

## 3.2 Instalación del Equipo de Bombeo Electro sumergible

### 3.2.1 Instalación del equipo de Fondo.

- ◆ Primeramente el técnico procederá a realizar el empalme entre el cable de potencia y cable de extensión, las compañías fabricantes de los equipos tienen procedimientos para realizar dichos empalmes, el técnico deberá asegurarse que el empalme quede ubicado por lo menos a unos diez pies sobre la cupla del primer tubo.
- ◆ Antes de proceder a subir los equipos a la mesa de trabajo, el técnico tiene que verificar que el bloque viajero del taladro, se encuentre alineado respecto a la boca del pozo.

- ◆ El técnico revisara las grampas (clamps) antes de colocar en los cabezales de los equipos, es importante verificar que las cadenas de izamiento no queden torcidas.
- ◆ Las grampas de izamiento deben calzar perfectamente en los cabezales de los equipos, tener sumo cuidado en el ajuste de los pernos este debe ser moderado ya que si se ajusta demasiado los pernos podemos causar deformaciones en la estructura de los equipos.
- ◆ En caso de que la Aplicación lleve el sensor de fondo, antes de subir el motor inferior se procederá a acoplar el Sensor de fondo y Motor inferior, debido a lo delicado de esta operación se recomienda tener mucho cuidado en manipular chequear y adaptar los equipos, se debe seguir paso a paso los procedimientos especificados por las compañías fabricantes de los equipos
- ◆ A continuación se sube el motor inferior con el sensor de fondo acoplado a este, con la ayuda del equipo de levantamiento del taladro (winche) se sujeta la parte del cabezal del equipo y con la ayuda de una grúa o un tractor mas una faja se levanta la parte de la base del equipo, el ángulo que debe hacer el motor respecto a la horizontal será menor de 30°. El motor será transportado lentamente hasta que el gancho del bloque viajero pueda sujetar al motor de la argolla superior de la cadena, estas cadenas pueden soportar un peso de 14000 Lb. O más.
- ◆ Se debe limpiar la parte externa de la tapa del motor, aflojar los pernos de la tapa, colocar una arandela debajo de la tapa y proceder a ajustar levemente los pernos, el objetivo es dejar un espacio entre la tapa y la brida del motor para drenar el aceite durante el servicio de llenado del motor, colocar una cubierta plástica como protección en caso de lluvia.
- ◆ Izar el motor hasta que la base de este quede a una altura no mayor de un metro de la mesa de trabajo.

- ◆ Retirar el tapón y válvula de llenado, tanto del sensor de fondo como del motor, tener la precaución de no dañar las roscas, drenar el aceite del motor observando el color del aceite, cambiar los empaques de plomo tanto de las válvulas y tapones del sensor y motor, colocar nuevamente la válvula de llenado en la base del sensor de fondo y válvula y tapón en la base del motor, ajustar de tal manera de no romper el empaque de plomo para que este cumpla su función de sello contra el ingreso de los fluidos de pozo, luego se procederá a llenar el sensor y motor con aceite nuevo, se recomienda bombear lentamente el aceite para expulsar todas las burbujas de aire del interior del motor, una vez que el aceite salga por el extremo superior del motor se para el bombeo, esperamos 5 minutos y nuevamente reiniciamos la operación de llenado se repetirá por lo menos unas 5 veces este proceso con intervalos de 5 minutos para asegurarnos de expulsar las burbujas de aire del interior del motor, colocamos el tapón con el nuevo empaque de plomo teniendo la precaución de ajustar apropiadamente la válvula y tapón del sensor de fondo. Se coloca el centralizador de motor teniendo la seguridad del diámetro externo de este.
- ◆ Bajamos lentamente el bloque viajero teniendo cuidado de que el centralizador pase por la preventora y cabezal del pozo libremente es decir que el conjunto se deslice sin pegar en las paredes del pozo, hasta sentar la grampa que sujeta el motor inferior sobre las gatas que están sentadas sobre la mesa de ensamble.
- ◆ Luego se levanta el motor superior siguiendo el mismo procedimiento que se siguió con el motor inferior hasta que la base de éste quede a una altura no mayor de un metro de la mesa del taladro, previamente es necesario asegurarse de dejar un espacio por donde se pueda evacuar el aceite por la tapa y cabezal del motor superior, se retira la tapa de la



base del motor evitando dañar la brida, se remueve los empaques de goma de la base y se drena todo el aceite del interior del motor, luego retiramos la tapa del motor inferior y se verifica que el acoplamiento motor-motor se deslice libremente en ambos estriados de los ejes de los motores inferior y superior, se coloca nuevos empaques de goma, de giro de ambos ejes, este tiene que ser suave y continuo, se alinea y se procede los estriados de los ejes de los motores con una herramienta de alineamiento y procedemos a acoplar los motores lentamente con la ayuda de las gatas, se coloca todos los pernos con sus respectivas arandelas de seguridad ajustándolos apropiadamente.

- ◆ Servicio de llenado de aceite del motor superior, se retiran la válvula y tapón del cabezal del motor inferior, se cambian los empaques de plomo y se coloca nuevamente la válvula de llenado, luego se procede a llenar el aceite siguiendo la misma metodología empleada en el motor inferior. Se coloca tapón con nuevo empaque de plomo y se ajusta apropiadamente tanto este como la válvula del cabezal del motor inferior, luego procedemos a bajar el equipo hacia el pozo hasta que la grampa quede sentada en la mesa de ensamble.
- ◆ Se retira la tapa del motor y verificamos el giro de los ejes, este tiene que ser suave y continuo. Es recomendable usar una bomba de vacío para extraer todas las burbujas de aire del interior de los motores, esto nos garantiza un mejor servicio de llenado y por ende una mejor lubricación de las partes internas de los motores.
- ◆ Se coloca nuevamente la tapa del motor y procedemos a levantar la sección sellante, protector y/o ecualizador con la ayuda de la grampa destinada para este equipo, una vez que este equipo se encuentre en la mesa del taladro, se procede a retirar la tapa de la base y las válvulas y tapones de las cámaras inferior y media, chequeamos el giro del eje del

sello/protector/ecualizador, verificamos que el acoplamiento sello/protector/ecualizador-motor se deslice fácilmente en ambos estriados de los ejes, se cambia los empaques de goma de la base del sello/protector/ecualizador y se procede a acoplar al motor superior, verificar que los ejes entren fácilmente al acople ( coupling ) además que los empaques de goma no sufran ningún daño, se acomodara la base del sello / protector /ecualizador de tal manera que los pernos encajen en los orificios de la brida de este y enrosquen al cabezal del motor fácilmente, luego se procederá a ajustar los pernos apropiadamente, se recomienda usar un torquimetro para aplicar el torque recomendado en los manuales y los pernos queden ajustados apropiadamente.

- ◆ Instalación del cable de extensión/Cable de potencia, el empalme entre cable de extensión-cable de potencia se realizará antes de comenzar el ensamblaje del conjunto de fondo, en este paso se procede a la instalación del extremo del cable que termina en el cable extensión al extremo del cabezal del motor ( pot-head ), primero se toma lecturas eléctricas tanto en el motor como en el cable para asegurarnos que tanto los motores y el cable están en optimas condiciones. Luego el cable es pasado por el canal de la polea ó roldana, la cual quedará suspendida momentáneamente a una altura de unos 10 a 12 pies, hasta realizar la conexión del cable al motor y luego subimos esta polea hasta fijarla y asegurarla en la repisa del taladro a una altura de 30' de la mesa del taladro (rig). Dependiendo del fabricante del equipo, en algunos casos es necesario colocar un empaque de goma en la ranura del cable de extensión el cual servirá de sello y realizar un empalme usando cintas aislantes para proteger y aislar las tres fases de la conexión en mención y en otros casos no es necesario este empalme sino que se une el cable de extensión directamente al motor similar a un enchufe trifásico. El

cable de extensión quedará asegurado al motor con dos pernos los cuales van a ubicados en cada extremo de este.

- ◆ Servicio de llenado de aceite del sello/protector/ecualizador, se retira la válvula y tapón del cabezal del motor, se cambia los empaques de plomo, se instala la válvula de llenado y procedemos a bombear lentamente el aceite dieléctrico, se llena las cámaras de abajo hacia arriba, retirando los tapones y válvulas que están ubicados en los cuerpos o guías de cada cámara, a medida que se va llenando las cámaras , se va colocando las válvulas y tapones con empaques de plomo nuevos, se debe tener especial cuidado al ajustar estos elementos para no romper los sellos de plomo, es importante mencionar que todas las compañías fabricantes ofrecen una gran variedad de modelos y tipos de sello/protector/ecualizador, por lo que es muy importante seguir los procedimientos de llenado de este equipo según los procedimientos de los manuales de las compañías, un buen servicio de llenado de aceite nos garantiza un mejor tiempo de operación del equipo BES.
- ◆ Después de realizar el servicio de llenado de aceite del sello se procede a colocar el tapón en la válvula del cabezal del motor y se ajusta apropiadamente, se coloca una banda provisional a la altura de la primera cámara del sello/protector/ecualizador para evitar que el cable se tensione y fuerce a la conexión de este con el motor, bajamos lentamente el conjunto hasta sentar la grampa que sujeta al sello/protector/ecualizador en la mesa de ensamble, se retira la tapa del cabezal de este equipo y se verifica el giro del conjunto parcialmente ensamblado, además se verifica si la extensión del eje está en la medida correcta.
- ◆ Subimos la succión (intake) o separador de gas, se verifica el giro del eje de este equipo, chequeamos que el acople (coupling) de

sello/protector/ecualizador calce y se desliza fácilmente por ambos estriados de los ejes y procedemos a acoplar este equipo al sello/protector/ecualizador, se ajusta los pernos apropiadamente y se procede a subir la bomba inferior con su grampa respectiva, izamos la bomba hasta dejar la base de esta a una altura no mayor de un metro de la mesa del taladro, retiramos la tapa de la base verificamos el giro, drenamos todo el fluido de lubricación del interior de la bomba, retiramos los empaques de goma, se verifica que el acople (coupling), bomba succión y/o separador de gas encaje y se deslice fácilmente por los estriados de los ejes de los equipos mencionados, colocamos un nuevo empaque de goma en la base de la bomba, luego alineamos la bomba respecto a la brida de la succión y/o separador de gas, chequeamos el giro del conjunto parcialmente armado y procedemos a acoplar la bomba con la succión, verificar que el acople calce completamente en los ejes, que el empaque de goma no sufra ningún daño y que las bridas queden completamente unidas después que la bomba haya sido sentada, colocar y ajustar todos los pernos correctamente.

- ◆ Retirar la grampa del cabezal del sello/protector/ecualizador e izar el conjunto suspendido de la grampa del cabezal de la bomba, tener extremo cuidado de no dañar el cable de extensión una vez que el cabezal del motor superior se encuentre a menos de un metro de altura respecto de la mesa del taladro, procedemos a instalar el protector – centralizador, sello/protector/ecualizador-motor el cual debe quedar correctamente ajustado, para evitar que gire o se deslice longitudinalmente durante la bajada del equipo y dañe al cable de extensión, la función del protector – centralizador es de brindar un punto de apoyo para centralizar el equipo y proteger la unión del motor con el cable de extensión. (pot-head).

- ◆ Desde el extremo superior del protector-centralizador colocaremos los guarda cables o canaletas, estas quedaran adheridas al equipo cubriendo el cable de extensión, estos guarda cables tienen unos pasadores por donde entran las bandas que al final son las que adhieren el cable y canaleta contra la superficie externa del equipo, colocamos los guarda cables hasta unos 10' debajo del cabezal de la bomba inferior, se debe tener cuidado de acomodar el cable cuando llegemos a la altura de la succión de la bomba de tal manera que este quede entre dos orificios de entrada de fluido para evitar interferencia con la entrada de este hacia la bomba, además se evitará el desgaste por erosión de la armadura del cable.
- ◆ Una vez colocados los guarda cables hasta debajo del cabezal de la bomba inferior, se procede a sentar la grampa de la bomba ubicada en el cabezal sobre la mesa de ensamble, esta grampa estará soportando el peso de la bomba inferior más los cuerpos de los equipos que están debajo de esta, retiramos la tapa de la bomba, se gira los ejes de todos los cuerpos acoplados , el giro debe ser suave y continuo. se levanta la bomba superior, siguiendo el mismo procedimiento seguido con la bomba inferior, retiramos la tapa de la base, se revisa el giro del eje, revisamos el estriado del eje y se verifica que el acople (coupling) bomba-bomba calce correctamente y se deslice fácilmente en ambos estriados de los ejes de las bombas superior e inferior, cambiamos el empaque de goma de la bomba superior y procedemos a acoplar dichas bombas, colocamos los pernos y ajustamos apropiadamente, retiramos la grampa del cabezal de la bomba inferior, levantamos el equipo hasta el extremo donde quedo el último guarda cable y procedemos a instalar los demás guarda cables, dejando unos 8 a 10 pies de cable libre en la parte superior de la bomba, luego se sienta la grampa de la bomba

superior sobre la mesa de ensamble, giramos el eje de la bomba el cuál girará con el resto de los ejes de los otros cuerpos, este giro será suave y continuo.

- ◆ En este paso del ensamble del conjunto BES, se verifica el faseado del equipo en el extremo del cable de potencia con la ayuda del (indicador de rotación de fases del motor), para algunos fabricantes el eje de la bomba se gira  $\frac{3}{4}$  de vuelta en sentido horario y para otros en sentido antihorario, ésta verificación permitirá saber además que todos los acoples han sido instalados cuando se acoplaron los equipos.
- ◆ Finalmente se procede a colocar la descarga de la bomba, se verificará la brida y la ranura donde se instalara el empaque de goma, estas partes deben estar completamente limpias sin abolladuras, libres de cualquier daño, es muy importante verificar la rosca interna de la descarga. Colocamos el empaque de goma y procedemos a se coloca la descarga, se debe tener cuidado de no dañar el empaque de goma.
- ◆ Después de colocar la descarga se toma lecturas eléctricas en superficie, y se anotan las lecturas Fase-Fase y Fase-Tierra, estas lecturas son muy importantes y serán colocadas en el reporte de instalación.

### 3.2.2 Bajada del conjunto de fondo

- ◆ Generalmente sobre la descarga se coloca un tubo corto o niple antes de empezar a instalar la tubería de producción, se debe tener cuidado que el tubo corto quede apropiadamente ajustado a la descarga de la bomba, similar cuidado se tendrá cuando se acoplen los tubos de producción, el empalme debe quedar a 10' como mínimo sobre la cupla del primer tubo, es importante sujetar el empalme con dos bandas o súper bandas

las cuales Irán a cada extremo de este, en el caso de usar protectores de cable se instalara un protector de cable y una banda por cada tubo, el técnico de campo debe supervisar el trabajo de bandeado o zunchado teniendo la seguridad que las bandas queden correctamente ajustadas y selladas.

- ◆ Se debe hablar con el jefe de la guardia del taladro y con el operador del bobinador del cable (spooler), para que tengan especial cuidado de no tensionar el cable durante la bajada del equipo.
- ◆ Durante la bajada del equipo, se debe tomar lecturas eléctricas cada 300' esto nos indicará el estado de los componentes eléctricos.
- ◆ Una vez que el equipo se encuentre a la profundidad programada, se toman lecturas eléctricas en el extremo del cable de potencia, se anotan para colocar en el reporte y se prepara herramientas y materiales para sentar el equipo en el cabezal del pozo.
  
- ◆ Existen varios métodos u opciones para sentar la tubería y sellar y conectar y el cable que viene del motor de fondo con el cable de superficie entre los más comunes tenemos:
  1. Uso de cuñas y sellos de goma : este método se usa cuando la presión del casing es menor de 300 Psi, básicamente la tubería quedará sujeta o asegurada por una cuña la cual quedará sentada en el interior del cabezal del pozo, esta cuña tiene un espacio por donde pasa el cable de potencia, se retirará un tramo de armadura del cable dejando separadas las tres fases del cable, luego sobre la cuña se colocan unos sellos de goma los cuáles vienen diseñados para calzar externamente en el tubo de producción y las tres fases del cable, estos sellos son tres generalmente, sobre estos sellos se coloca el plato el cual quedará

presionado por la brida del cabezal sellando los espacios entre el tubo y las fases del cable.

2. **Uso de colgador de tubería ( tubing hanger ) y conectores eléctricos:** El colgador de tubería tiene dos pórticos, uno para roscar el tubo de producción y otro para instalar el penetrador, el cual externamente parte de llevar la rosca externa lleva empaques de goma para sellar el espacio entre el cuerpo de este y el colgador impidiendo el paso de líquidos y gas a presiones de hasta 1000 Psi. Los componentes eléctricos de este método son: Conector inferior (lower pig tail), penetrador y conector superior (upper pig tail), describiendo un procedimiento sencillo se realizan los siguientes pasos: Se empalma el cable de potencia que viene del motor con el conector inferior, el cual se conecta posteriormente al extremo inferior del penetrador, luego se sienta el colgador en el cabezal del pozo y finalmente se coloca el conector superior en el extremo superior del penetrador.
  
3. **Uso de conector rápido ( Quick Connector ) :** Este método se emplea también cuando se usa colgador de tubería, en forma resumida se realizan los siguientes pasos : antes de sentar el colgador de tubería, se mide y prepara una longitud de cable, se retira la armadura y se separan las tres fases del cable, las cuales son pasadas a través del colgador el cual esta diseñado para este método, tanto en la parte inferior como en la parte superior se colocan unos sellos especiales en cada una de las fases del cable los cuales van asegurados con unos conectores especiales apropiadamente ajustados, en la parte superior se colocará una caja especial que puede reemplazar a la caja de venteo, donde se unirá con el cable de superficie.



4. Uso de un método mixto, con colgador de tubería y carcasa de penetrador.

Este método se uso con mucho éxito en pozos con presiones de cabezal de alrededor de 800 Psi y temperaturas del orden de 300 ° F, y consiste en pasar el cable a través de la carcasa del penetrador sellando el espacio entre el diámetro interno de este y las tres fases del cable con una resina selladora, la cuál cambia de estado líquido a sólido después de mezclar dos componentes que se encuentran separados por un tabique en una bolsa plástica protegida por una envoltura de aluminio, el tiempo que demora para quedar completamente endurecida esta resina es de dos horas, una vez que la resina ha quedado solidificada se procede a sentar el colgador, quedando el extremo del cable para ser preparado y para ser unido ala caja de venteo.

Después de sentar la tubería en el cabezal del pozo se procede a tomar lecturas eléctricas en el cable tanto fase-fase como fase-tierra, posteriormente se unirá el cable que viene del motor con el cable de superficie en la caja de venteo, se recomienda que antes de hacer esta conexión se deben tomar medidas eléctricas en el cable de superficie, para asegurarse que los componentes eléctricos se encuentren en buen estado.

### 3.3 Inicialización de los equipos de superficie y arranque del equipo

#### BES

Como se ha comentado en el capítulo anterior los equipos de superficie: controlador de frecuencia fija o variable, transformadores, deben estar cableados, probados y listos para el arranque los parámetros a inicializar son:

#### 3.3.1 Tableros de frecuencia fija :

- ◆ Baja Carga
- ◆ Sobre Carga
- ◆ Desbalance de Voltaje
- ◆ Desbalance de Corriente
- ◆ Máximo número de arranques
- ◆ Protección de arranque por giro inverso (Back Spin)

#### 3.3.2 Tableros de frecuencia variable

- ◆ Frecuencia de arranque
- ◆ Frecuencia máxima de operación
- ◆ El tiempo en alcanzar la frecuencia de operación
- ◆ La corriente límite de operación del controlador
- ◆ Baja Carga
- ◆ Sobre Carga
- ◆ Desbalance de Voltaje
- ◆ Desbalance de Corriente
- ◆ Numero de re-arranques automático

### 3.3.3 Transformador elevador

Este equipo tiene un rango grande de opciones de voltaje de salida es muy importante seleccionar el voltaje de salida considerando la caída de voltaje en el cable.

Una vez que se revise las conexiones eléctricas, se programe el tablero de control, se verificará que la válvula principal de la tubería de producción se encuentre abierta se procederá a arrancar el equipo, controlando el consumo de corriente, la presión en la cabeza del pozo, el chorro de producción para asegurar que el equipo está con la rotación correcta y trabajando apropiadamente.

## 3.4 Aplicaciones especiales del Sistema BES

### Introducción

La unidad de bombeo electrocentrífuga consta básicamente de un motor eléctrico, sensor de fondo, con una sección sellante o protector, una bomba centrífuga multietapas con una succión o entrada adecuada o separador de gas, cable de potencia redondo y/o plano, cable de extensión del motor, controlador del motor y transformador de potencia. Además del equipo básico - y dependiendo de la aplicación - se podrá requerir de varios accesorios adicionales con el objetivo de mejorar la vida operativa del equipo, además entre la sarta de tubería de producción se instalan, niples

de botella, válvula(s) de retención, válvula(s) de drenado, para proteger el cable se colocan, guardacables, bandas o zunchos, protectores de cable para proteger los equipos de fondo se instalan, protectores-centralizadores.

### 3.4.1 Uso de la Chaqueta de enfriamiento del motor

La chaqueta o camisa de enfriamiento es un tubo de menor diámetro que los forros del pozo y con un diámetro interno que permita que todo el equipo incluyendo el cable de extensión pase a través del diámetro interno de esta. Esta chaqueta quedara colgada del cuello de la succión de la bomba y centralizada con anillo partido en el alojamiento de la succión (Figura 3-1).

Se opta frecuentemente por utilizar una chaqueta ya sea para aumentar la

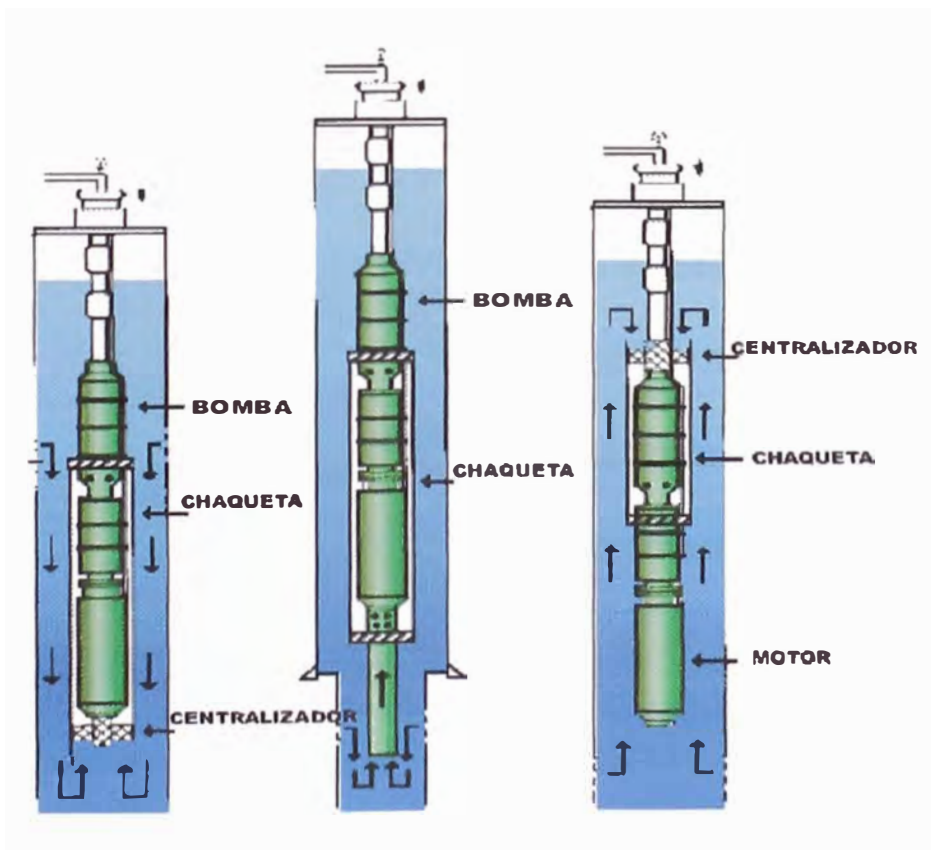
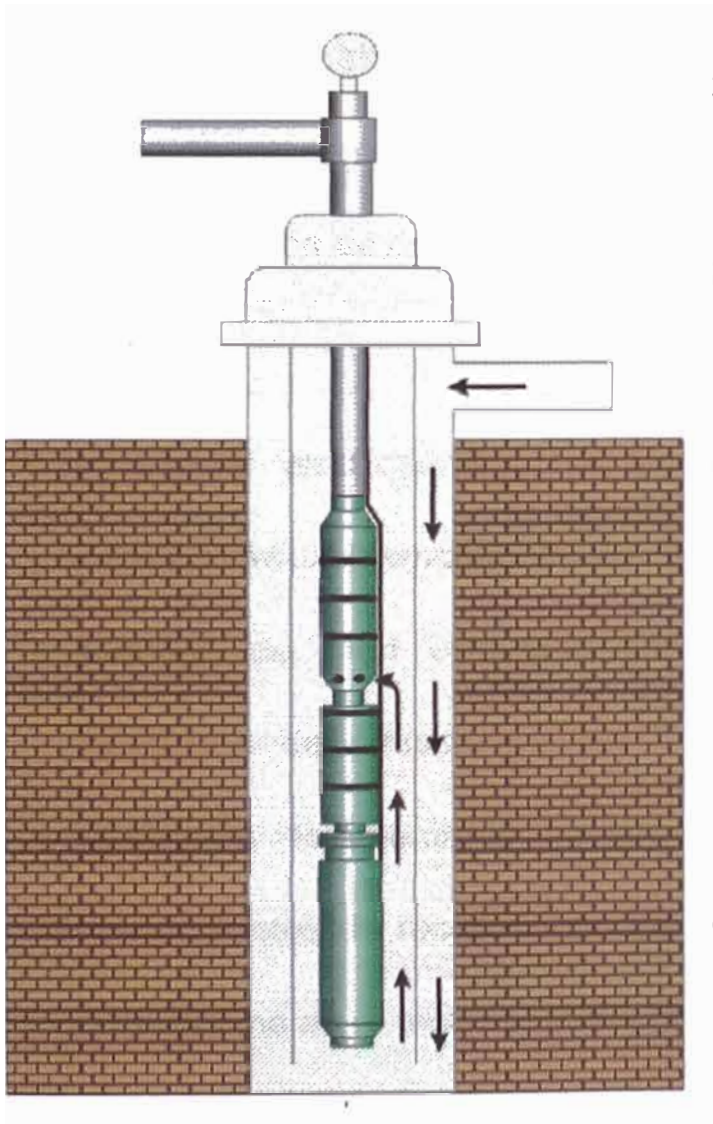


Fig. 3-1 - Configuración con Chaqueta

velocidad del fluido que pasa por el motor y mejorar el enfriamiento del mismo o como un separador de gas cuando se coloca por debajo del intervalo de perforaciones. El proceso de separación de gas utiliza la diferencia de densidades de los fluidos para la separación. También es posible invertir la chaqueta e instalar la unidad por encima de las perforaciones y utilizarla como un separador de gas.



### 3.4.2 Bomba de Alimentación o Refuerzo (Booster)

En esta aplicación, se utiliza la bomba electrocentrífuga como una bomba de refuerzo para aumentar la presión de entrada. La unidad se instala en una sección vertical poco profunda de la tubería de revestimiento, se conecta a la línea de alimentación la cual alimenta de fluido a la bomba. El equipo se

ensambla en configuración enchaquetada (Figura 3-2) con la camisa suspendida desde la superficie.

Dependiendo del caso, se podrán conectar varias bombas de refuerzo en serie o en paralelo. En la conexión en serie, la descarga de una bomba alimentadora es conectada a la entrada de la bomba siguiente. En dicho sistema, la capacidad de flujo a través de las diversas bombas permanece constante mientras que la presión aumenta a medida que el fluido pasa de una bomba a la siguiente. Por otra parte, en una conexión paralela, las bombas de refuerzo están conectadas a un colector de descarga común en el cual la presión de descarga es la misma, pero las tasas de producción se suman.

Las bombas eléctrosumergibles que se utilizan como reforzadores de presión son frecuentemente empleadas para añadir presión a los oleoductos o tuberías de gran extensión bombeando el fluido producido a las instalaciones de almacenamiento y proceso. Dicho sistema se utiliza también para incrementar la presión en los sistemas de inyección de agua en los proyectos de recuperación de presión en yacimientos. Dado que la presión interna en el motor está equilibrada, los sellos mecánicos funcionan

con diferenciales de presión muy bajos. En consecuencia son eliminados de hecho los problemas de sellos generalmente hallados en bombas de turbinas de eje vertical u horizontal, y se puede operar con presiones de succión más altas. El sistema proporciona además un funcionamiento libre de vibración y ruido ya que todo el equipo en rotación está instalado por debajo de la superficie.

### 3.4.3 Sistema de Producción e Inyección Directa:

En esta caso, el equipo eléctrosumergible convencional está instalado en un pozo de suministro de agua y el agua producida es inyectada directamente en un pozo de inyección (Figura 3-3). También es posible inyectar el agua producida en varios pozos de inyección simultáneamente.

Dicho enfoque puede reducir considerablemente las inversiones de capital ya que el sistema no requiere uso de tanques recolectores, además de instalaciones adicionales en superficie como, bombas de superficie ni de equipos auxiliares asociados. Como el sistema es cerrado, el control de la corrosión se simplifica considerablemente.

Otra ventaja significativa del sistema es el hecho que la curva de altura de levantamiento Vs. caudal inherente de la bomba centrífuga se adapta

plenamente a los requerimientos de inyección de un proyecto de recuperación secundaria "waterflood". En la primera etapa del proyecto de inyección de agua, el yacimiento requiere de altas tasas de flujo a presiones de inyección relativamente bajas. Sin embargo, a medida de que el yacimiento se llena, la tasa de flujo declina y la presión de inyección aumenta. Todo el sistema puede ser diseñado eficientemente teniendo en cuenta los requerimientos futuros. En tal caso, el equipo puede ser modificado económicamente para cumplir con las condiciones variables del yacimiento.

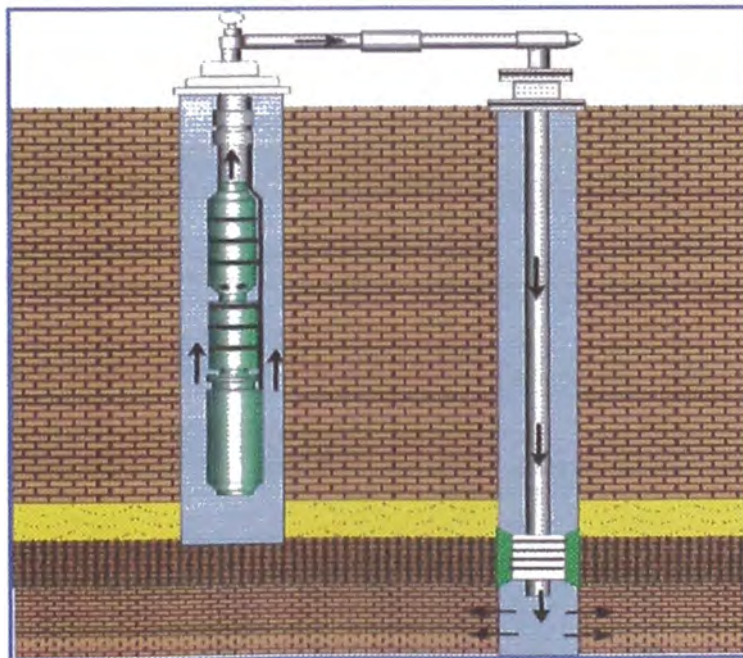


Fig. 3-3 - Sistema con Dos Pozos



El sistema de inyección horizontal (Fig.3-4) es una bomba de alto volumen y alta presión que se ajusta idealmente a las operaciones de inyección de agua, como bomba de transferencia o para reforzar la presión en tuberías. El equipo mueve el fluido utilizando una bomba centrífuga subsuperficial de tipo estándar, impulsada por un motor eléctrico superficial estándar clase A o B, por intermedio de una cámara de empuje especialmente diseñada, esta cámara de empuje cumple funciones muy similares a la sección sellante, protector y/o ecualizador. La cámara de empuje es enfriada por el fluido bombeado el cual pasa externamente a esta acarreado el calor generado por esta durante la operación

El Sistema de Inyección Horizontal puede fabricarse para un amplio rango de tamaños de bomba y con capacidades desde 650 bpd a 60,000 bpd y presiones de descarga que alcanzan casi 4,500 psi. Para casos especiales pueden proveerse presiones de descarga aún más altas usando sellos mecánicos especialmente diseñados para estos propósitos. También pueden ser instalados en paralelo para grandes volúmenes y como equipos de respaldo para cubrir emergencias.

El Sistema de Inyección Horizontal tiene un colector de succión estándar y está típicamente limitado a una presión máxima de succión de aproximadamente 200 psi. Sin embargo, para aplicaciones especiales, se dispone de múltiples de succión capaces de manejar presiones en el rango de 200 a 1,500 psi y de 1,500 a 2,000 psi. También hay una limitación de presión mínima, requerida para prevenir la cavitación de la bomba, los expertos recomiendan que la presión de succión no debe ser menor de 30 Psi.

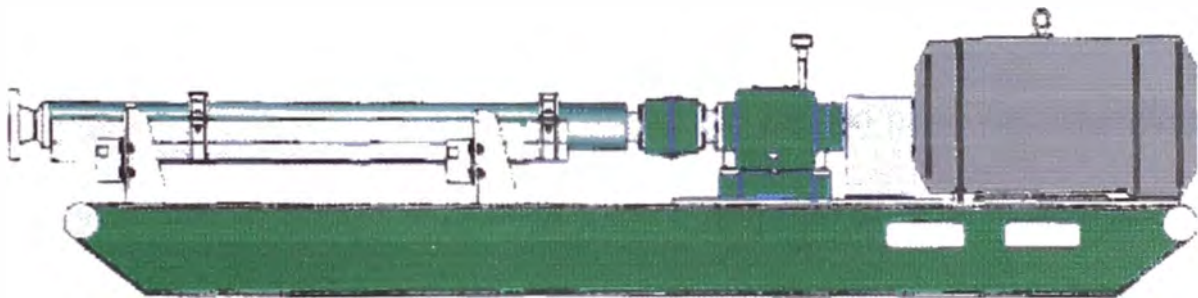


Fig. 3-4 - Sistema de Inyección Horizontal

### 3.4.5 Sistema de Inyección con alta presión de succión.

Frecuentemente los sistemas de bombeo de inyección en superficie requerirán poder soportar altas presiones de succión. El siguiente sistema ESP montado en superficie fue diseñado para alimentar presión a un pozo

de inyección de agua, adaptándose a altas presiones de succión o entrada ( más de 2500 psi).

El sistema en mención, consiste de un tramo de tubería de revestimiento de pozo con bridas, soportado en una posición ligeramente inclinada (aproximadamente a 5 grados con la horizontal) y montado en un patín “ skid” . Un motor electrocentrífugo estándar con su bomba, entrada, y sección sellante. Protector y/o ecualizador se instalan dentro del revestimiento para suministrar el incremento de presión requerido en la cabeza de pozo de .inyección (Fig.3-5).

El fluido que ingresa por el tubo que contiene el equipo pasa externamente al motor y sello acarreando el calor que estos generan durante la operación.

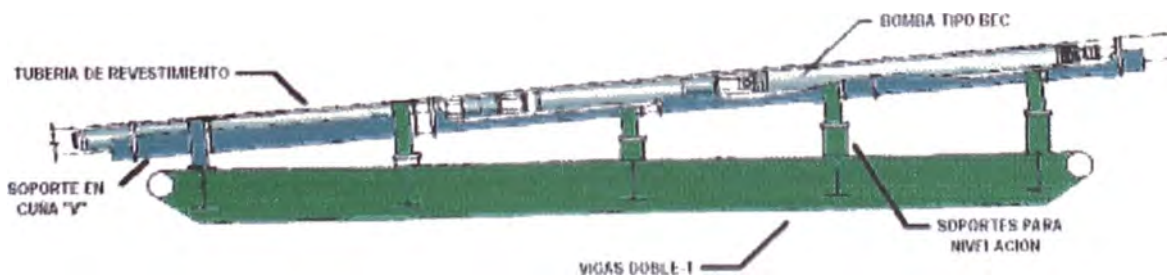


Fig. 3-5 - Sistema de Inyección con alta presión de succión

### 3.4.6 Instalación del sistema BES con Empacador Profundo

Una aplicación relativamente común es incluir en la instalación del equipo eléctrico sumergible el uso de un empacador (Fig. 3-6). Este diseño se puede realizar para atender varios requerimientos, tal como producir dos zonas sin mezclar fluidos o resolver el problema de las averías del cable debido a la saturación de gas en un pozo de alta presión. El empacador estará equipado con un penetrador eléctrico para proporcionar una conexión rápida empleando conexiones prefabricadas o preinstaladas. Para evitar dañar al cable, se recomienda instalar una unión ajustable por debajo del empacador para tensar ligeramente el cable de extensión del motor

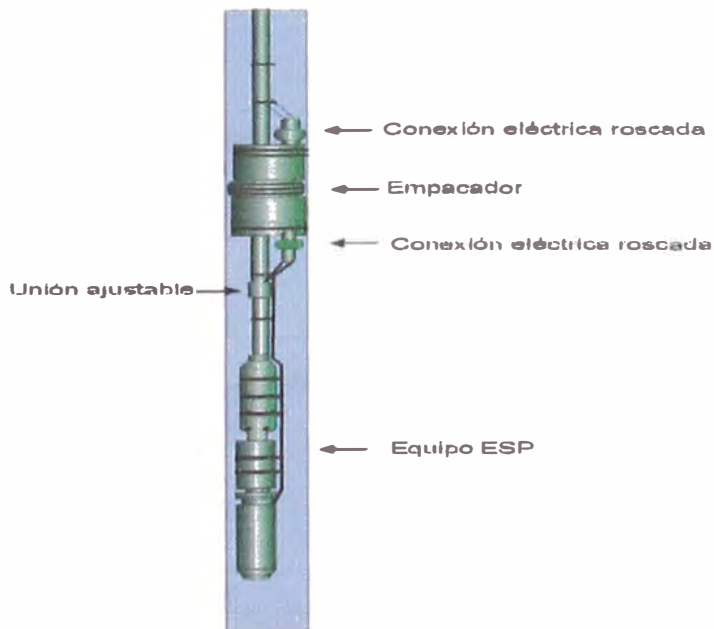
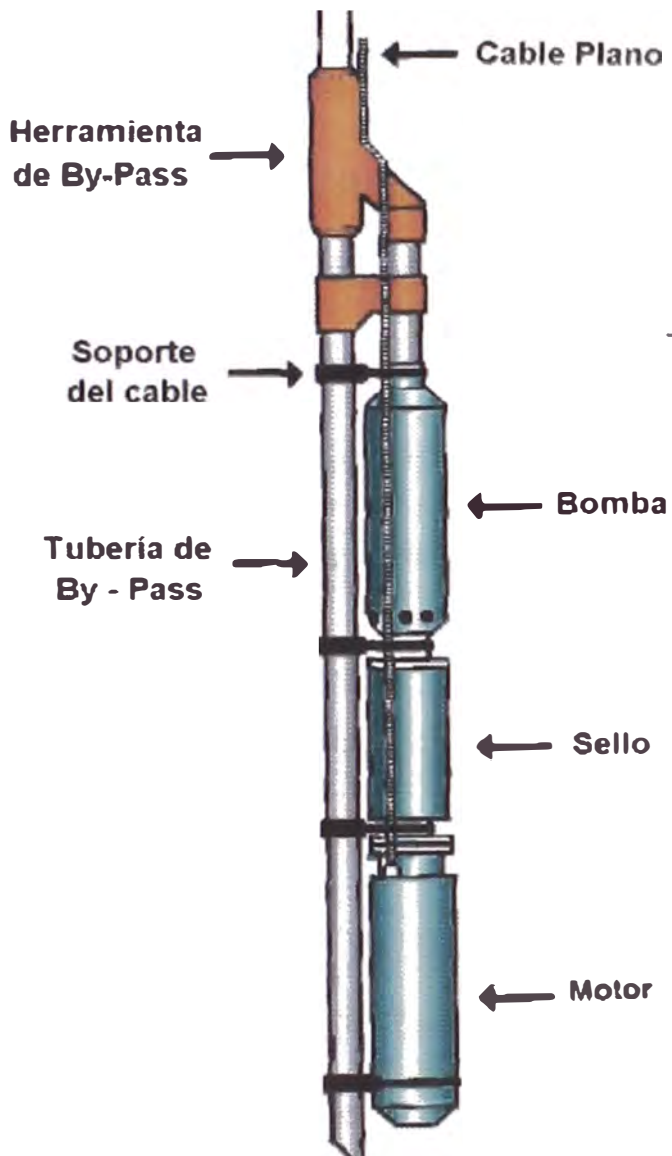


Fig. 3-6 - Equipo Eléctrosumergible con Empacador

### 3.4.7 Instalación con Herramienta Y, ("Y"-Tool).

La herramienta "Y" es una herramienta de producción que permite realizar sondeos de fondo de pozo con un equipo de prueba bajado una línea de



acero " wire-line" teniendo el equipo de bombeo eléctrico operando en el pozo. La herramienta se instalará junto con la bomba y está diseñada para no afectar el funcionamiento normal de la misma. La figura 3-7 muestra una instalación típica de un equipo eléctrico con herramienta "Y".

Esta herramienta proporciona un medio de adquirir información de la presión o temperatura y su uso ha

Fig. 3-7 - ESP con Herramienta Y, (Y-Tool)

sido muy valioso para hallar y

bloquear aportes indeseables de agua o gas desde otras zonas no deseadas. Otros usos incluyen: el monitoreo de movimiento del agua, la

circulación del pozo, la aplicación dirigida de ácidos, la perforación de nuevos horizontes, y la completación en configuración múltiple de equipo ESP.

El principio básico de la herramienta es proporcionar una disposición de la tubería por medio de la cual la bomba se coloca desplazada de manera de permitir un camino recto y sin obstáculos para el paso de las herramientas de sondeo y/o prueba. El conjunto de la herramienta "Y" tiene tres partes principales: 1) la herramienta misma, diseñada para permitir el flujo desde la bomba a la tubería de producción con una restricción mínima, 2) un tapón de bloqueo, válvula estacionaria o tapón de sondeo se utiliza para aislar la tubería de derivación (" by-pass" ) cuando el pozo está en producción, y 3) el tubo de derivación propiamente dicho, que está fijado de forma segura al ensamble del equipo eléctrosumergible.

#### 3.4.8 Bomba de Refuerzo con Entrada en el extremo inferior

La Bomba de Refuerzo con Entrada en el Extremo Inferior y con camisa refrigerante fue desarrollada para bombear fluidos desde cavernas, minas, pozos, o cualquier zona o recipiente en donde se necesite bajar el fluido al nivel más bajo posible. En una bomba sumergible convencional, el motor se

encuentra colocado debajo de la bomba. Para enfriar el motor, el fluido bombeado pasa por el motor y se lleva el calor. Si el motor estuviera

localizado encima de la bomba, no habría enfriamiento.

Obviamente, el nivel del fluido no puede ser bajado por debajo de la entrada de la bomba, porque esto podría causar cavitación en la misma. Aún si esto fuera posible, queda un mínimo de distancia igual a la longitud del motor más la longitud de la sección sello sobre el fondo del piso de la caverna (o aplicación similar) hasta la entrada de la

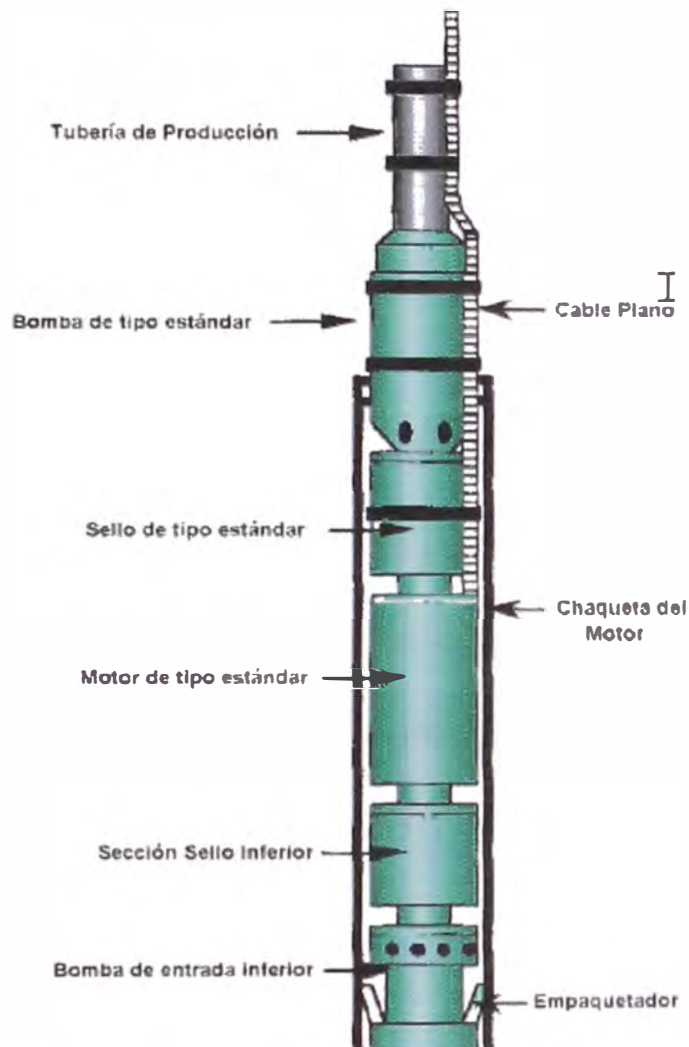


Fig. 3-8 - Bomba de Refuerzo con Entrada en el extremo inferior

bomba.

La configuración de la Bomba de Refuerzo con Entrada en la parte Inferior resuelve el problema de bajar el nivel del fluido a un mínimo y proporcionar

a la vez refrigeración al motor. Sobre el motor hay una sección de sello convencional y una bomba convencional. El motor está equipado con una base especial. La flecha se extiende a través de éste para impulsar a la sección de sello inferior y la bomba de refuerzo de succión inferior. El motor y la bomba inferior están encerrados en una camisa, que se extiende por debajo del ensamble.

Una pequeña sección de bombeo de igual o mayor capacidad al de la bomba superior es montada por debajo del motor. Este es el alimentador y tiene suficientes etapas como para proveer una presión positiva y alimentar la entrada de la bomba convencional colocada en la posición normal. Un pequeño ensamble montado por encima de la bomba de entrada por el fondo sella el fondo del motor y soporta el empuje axial de la bomba alimentadora.



## CAPITULO IV

### Principio operativo y funciones de los componentes del sistema BES

#### 4.1 Revisión de la tecnología del sistema de bombeo electro sumergible:

El sistema básico del equipo de fondo BES esta constituido por:

La bomba

Separador de gas ó succión

La sección sellante, protector y/o ecualizador

El motor

Cable de potencia

Cable de extensión

Misceláneos

#### Observaciones

- ◆ El sistema debería sentarse sobre las perforaciones del pozo, para permitir que la unidad sea refrigerada por el paso de los fluidos.
- ◆ El equipo debe ser dimensionado, para una data especifica del pozo.
- ◆ El Sistema BES debe ser monitoreado, para ver si no hay cambios en el pozo y/o en el performance de la unidad.

##### 4.1.1 La Bomba.

- ◆ Se encuentra colgada de la tubería de producción, entrega energía al fluido para que este pueda salir a superficie.
- ◆ Esta es centrifuga multi etapa, constituida por impulsores y difusores.
- ◆ La bomba debe ser diseñada, considerando que cumpla apropiadamente con la producción del pozo. La bomba tiene una

succión por donde ingresa el fluido a una presión y una descarga por donde sale el fluido a la máxima presión.

- ◆ Los impulsores se encuentran montados y adheridos al eje, rotan conjuntamente con este a las RPM del motor
- ◆ Los difusores son estacionarios y direccionan el fluido hacia el próximo impulsor.
- ◆ Las bombas son armadas usando una serie de etapas las cuales quedan superpuestas y presionadas por sus extremos para evitar el giro de los difusores dentro del alojamiento ó carcasa.
- ◆ Cada etapa produce una cantidad de fluido y levanta este una altura determinada dependiendo de las RPM del motor.
- ◆ Los tipos de etapas según la dirección del flujo son: flujo Radial y flujo mixto.
- ◆ Las bombas de flujo radial se usan para manejar bajos caudales.
- ◆ Las bombas de flujo mixto se usan para bombear altos caudales, estas bombas tienen más aplicación que las anteriores.

### Partes Importantes de un Impulsor

- ◆ Bajo condiciones normales de operación, la recirculación del fluido de la parte superior e inferior del impulsor causan fuerzas que son aplicadas a la cubierta superior y cubierta inferior del impulsor.
- ◆ Cuando las fuerzas de recirculación son mayores en la cubierta superior el impulsor es movido descendentemente, a esta fuerza se llama empuje hacia abajo ( Downthrust.
- ◆ Cuando las fuerzas son mayores en la cubierta inferior del impulsor, este es movido hacia arriba, a esta fuerza se llama empuje hacia arriba (Upthrust ).

- ◆ La magnitud de la fuerza de recirculación, depende del flujo que pasa a través del impulsor y de la capacidad hidráulica de este, vale decir del rango operativo.

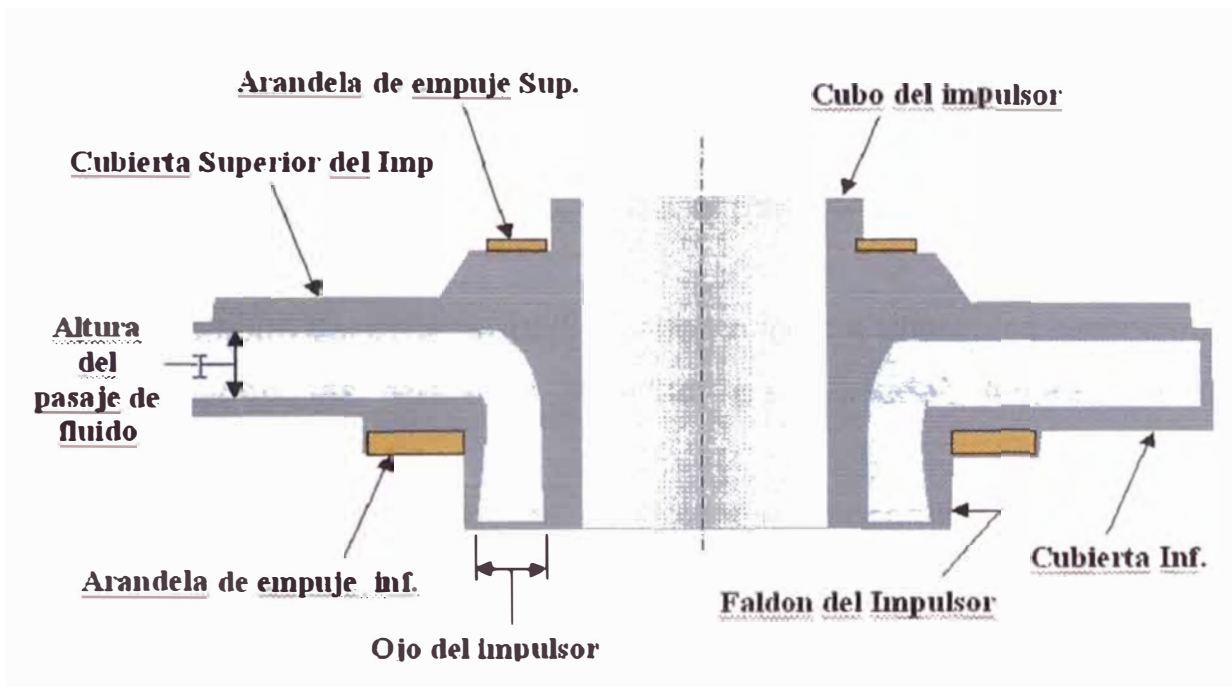
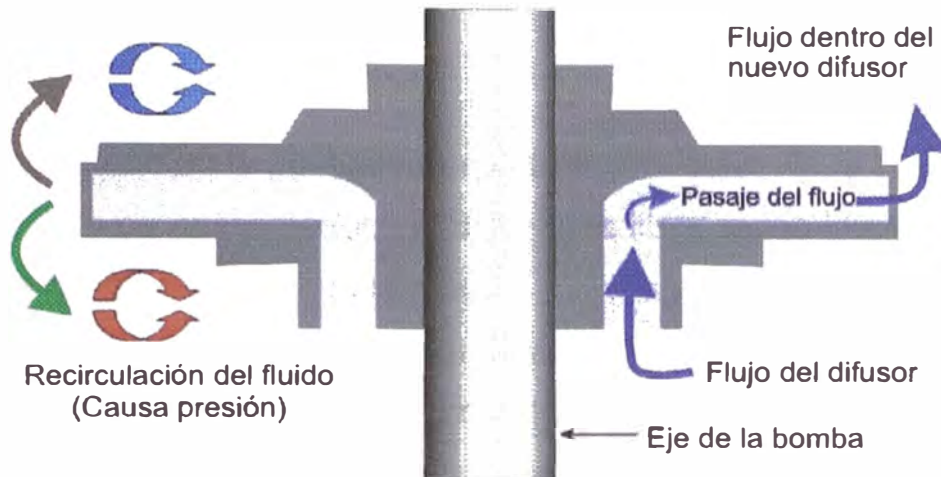
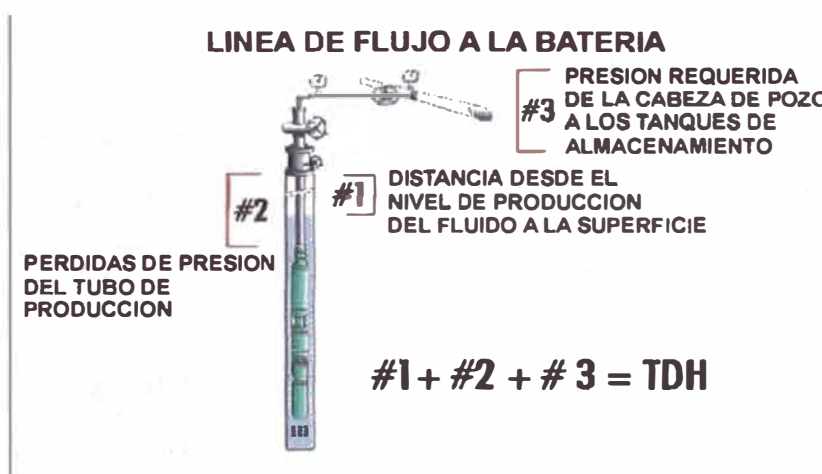


Diagrama mostrando la generación de fuerzas en el Impulsor



Se puede ver claramente en el esquema el paso del fluido y generación de fuerzas

- ◆ Las bombas del sistema BES pueden operar a diferentes velocidades, cumpliendo las leyes de afinidad, para caudal, levantamiento y potencia consumida.
- ◆ Como se puede observar, la potencia consumida por la bomba, cambia mucho mas que la potencia del motor, esto obliga a realizar el dimensionamiento de la bomba y motor ala máxima frecuencia, lo que ayudara a incrementar la vida del equipo.

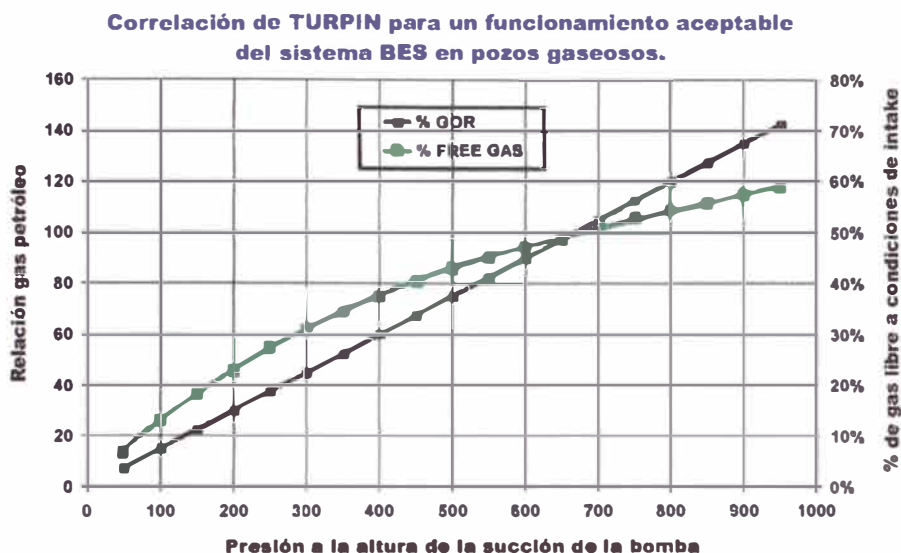


Cabeza dinámica total de la bomba.

#### 4.1.2 El separador de gas.

- ◆ Esta ubicado en la posición que ocupa la succión de la bomba.
- ◆ Es usado en aplicaciones, donde el gas libre causa interferencias con el comportamiento de la bomba.
- ◆ Separa una porción de gas del fluido, disminuyendo el ingreso de gas directamente a la bomba, mejorando su performance de esta. Uno de los más populares son los Separadores de gas rotativos.
- ◆ Este separador de gas, tiene un diseño de una cámara rotativa especial, luego un sistema que permite impartir la fuerza centrífuga al fluido.
- ◆ El rotor fuerza a ir al fluido pesado externamente, permitiendo que el gas emigre hacia el centro de este.
- ◆ En el tope, los dos fluidos están físicamente separados.
- ◆ El fluido rico en líquidos es transportado internamente a la entrada de la bomba.
- ◆ El fluido rico es venteado al espacio anular del casing.
- ◆ El separador de gas puede emplearse en tandem, para mejorar la capacidad de separación de gas.
- ◆ Si la bomba es de flujo radial se usará separador de gas si el porcentaje de gas libre a la altura de la succión es mayor del 10%
- ◆ Para bombas de flujo mixto el porcentaje de gas libre puede ser del orden del 15%, esto depende de la capacidad de bombeo de las bombas.
- ◆ En pozos con alto contenido de gas instalara separadores de gas en tandem.

- ◆ En pozos gaseosos y con presencia de arena se requiere separadores de gas rotativos, de diseño especial, con partes resistentes a la abrasión o otra tecnología para manejo de gas.



**Correlación de Turpin.**

#### 4.1.3 La Sección sellante, protector y/o ecualizador.

- ◆ Esta ubicado entre la succión de la bomba y motor.
- ◆ Este componente, transfiere el torque del motor al eje de la bomba.
- ◆ Ecualiza presiones internas de la unidad y presiones del pozo.
- ◆ Aísla el aceite dieléctrico del motor de los fluidos del pozo.
- ◆ Provee al motor una área para la expansión del aceite.
- ◆ Absorbe la fuerza de empuje generada por la operación de la bomba
- ◆ En pozos donde los costos del taladro y logística son muy elevados se recomienda usar sellos de doble cuerpo o triple cuerpo para tener una mejor protección del motor.
- ◆ Otra forma de optimizar la protección del motor ganando más cámaras en el sello, protector o ecualizador es transfiriendo la carga

al cojinete inferior de este, logrando también que este cojinete este trabajando mucho más tiempo con aceite dieléctrico.

- ◆ En pozos desviados, cuando el equipo quede sentado o pase a través de curvaturas mayores de 30° se usaran modelos de sello, protector o ecualizador con una o más bolsas de goma.
- ◆ Es recomendable usar secciones sellantes, protectores y/o ecualizadores con cojinetes de alta carga para garantizar una mejor operación del equipo, además se debe procurar diseñar este equipo pensando en proveer la máxima expansión posible del aceite.

#### 4.1.4 El motor eléctrico.

- ◆ Es uno de los equipos más importantes del sistema, además su costo comparado con el resto de los componentes es alto, este elemento provee la energía para mover a todos los componentes del sistema por lo tanto se debe tener un cuidado extremo en su selección, es decir cerciorarse que la potencia, el voltaje y amperaje de este sean los más óptimos.
- ◆ Una de las limitantes de gran importancia es la temperatura de operación del motor, esta variable depende de los siguientes factores:
  - ◆ Temperatura de fondo del pozo.
  - ◆ La carga a la que será sometido el motor durante su operación.
  - ◆ Velocidad del fluido en el espacio anular entre el motor y el diámetro interno del casing.
- ◆ Es muy importante conocer el porcentaje de los fluidos a la altura del motor además se debe saber las propiedades de éstos, específicamente las propiedades de transmisión de calor, se debe

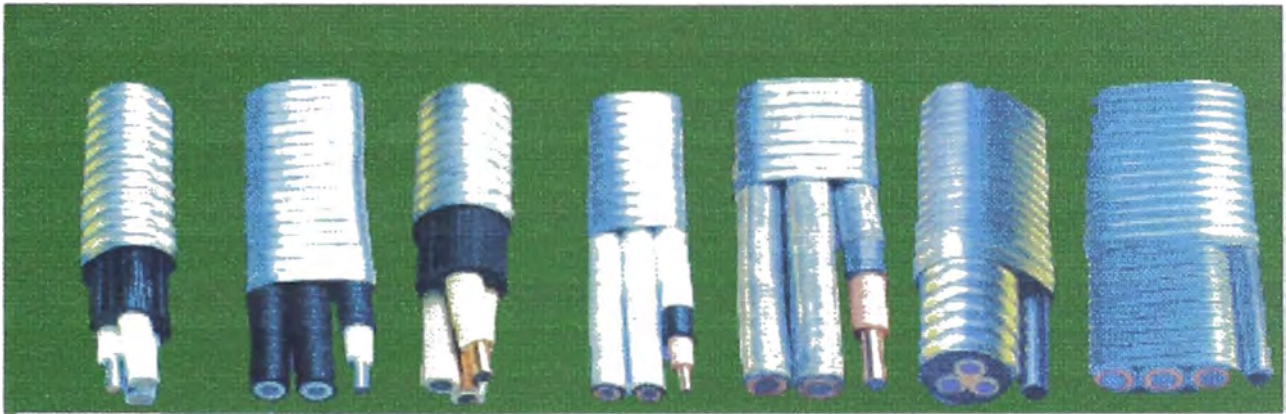
conocer el porcentaje de gas, si hay tendencia a la formación de carbonatos, asfaltenos y parafina que son elementos que afectan notablemente la transferencia de calor del motor hacia los fluidos del espacio anular. En pozos con alto corte de agua el enfriamiento del motor es mucho mejor que en los pozos cuyo corte de agua es bajo.

- ◆ El desbalance de voltaje y corriente afectan el enfriamiento del motor, de igual forma la presencia de armónicos incrementa la temperatura de operación del motor.
- ◆ El cable de potencia es otro de los componentes del equipo, muy importante y de alto costo, dependiendo del espacio y de las características de los fluidos, temperatura de fondo del pozo y otros parámetros, se debe tener extremo cuidado en seleccionar el cable de potencia adecuado, considerar que el cable lleva la alimentación al motor desde la superficie hasta la unión del cable de extensión y el motor, este debe llevarle el voltaje adecuado para que el motor trabaje de manera óptima.
- ◆ En algunas aplicaciones especiales, se solicita a las compañías fabricantes del equipo ciertas características que tiene que cumplir el cable para las aplicaciones, por ejemplo cable con capilar para inyección de química o diluyente, debemos de saber cuales son las dimensiones del cable, para considerar esto cuando se instale, la maniobrabilidad del cable cuando se pase por la roldana y/o cuando este se baje al pozo.
- ◆ Los cables planos que más se usan en aplicaciones de América Latina tienen los siguientes elementos:
  - ◆ Conductor de cobre ( #1, #2, # 4 )
  - ◆ Aislamiento de EPDM, pueden soportar temperaturas de 450° F



- ◆ Chaqueta de plomo o una barrera plástica para alta temperatura.
- ◆ Cubierta protectora de la chaqueta ( nylon tejido)
- ◆ Armadura galvanizada, además puede ser de acero inoxidable ó monel para aplicaciones en pozos con fluidos corrosivos, en nuestro medio casi el 100% de cables de potencia tienen armadura galvanizada de bajo perfil o espesor.

La figura muestra algunos tipos de cable usados en el sistema BES



- ◆ Los cables redondos de más uso en aplicaciones de pozos de América Latina tienen los siguientes elementos:

Conductor de cobre ( #1,#2 )

Aislamiento ( polipropileno y/o EPDM )

Protección o chaqueta de nitrilo, EPDM, chaqueta de plomo.

Armadura galvanizada, acero inoxidable ó monel.

El uso del cable redondo proporciona la ventaja de obtener un desbalance de corriente mucho menor que con el cable plano, la temperatura de operación es menor si se usa un cable plano equivalente.

- ◆ Durante la selección del cable de potencia se debe tener las siguientes consideraciones:
- ◆ La caída de voltaje en el cable no debe ser mayor del 12% del voltaje de placa del motor, se debe seleccionar además un conductor de una sección lo suficientemente grande para evitar recalentamiento en el cable y pérdidas mayores a las esperadas como corriente de fuga
- ◆ Seleccionar el modelo de cable teniendo en cuenta el diámetro interno del casing, es importante considerar el diámetro externo del equipo y el diámetro externo de la cupla de la tubería de producción.
- ◆ Seleccionar el tipo de aislamiento, protecciones mecánicas, chaquetas, etc teniendo en cuenta la presencia de gas, presencia de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y temperatura de fondo.
- ◆ En operaciones donde la logística se hace por vía aérea el costo es muy elevado hay que tener en cuenta el peso del cable.

#### 4.1.5 Sensor de fondo.

- ◆ La gran mayoría de los sensores de fondo pueden ser unidos a la base del motor, sin embargo hay algunos sensores que pueden trabajar en forma separada.
- ◆ Las señales de fondo son enviadas a través de una de las fases del cable de potencia hacia un tablero que se encuentra en superficie, este tablero tiene una pantalla donde se pueden ver todos los datos programados, hay otros sensores que tienen un cable independiente.
- ◆ Uno de los sensores más completos está en la capacidad de monitorear los siguiente parámetros:
  1. Presión de la succión de la bomba.
  2. Temperatura de operación del motor
  3. Caudal o flujo total de fluidos en la descarga de la bomba.

4. Corriente de fuga del cable
5. Vibración del equipo de fondo

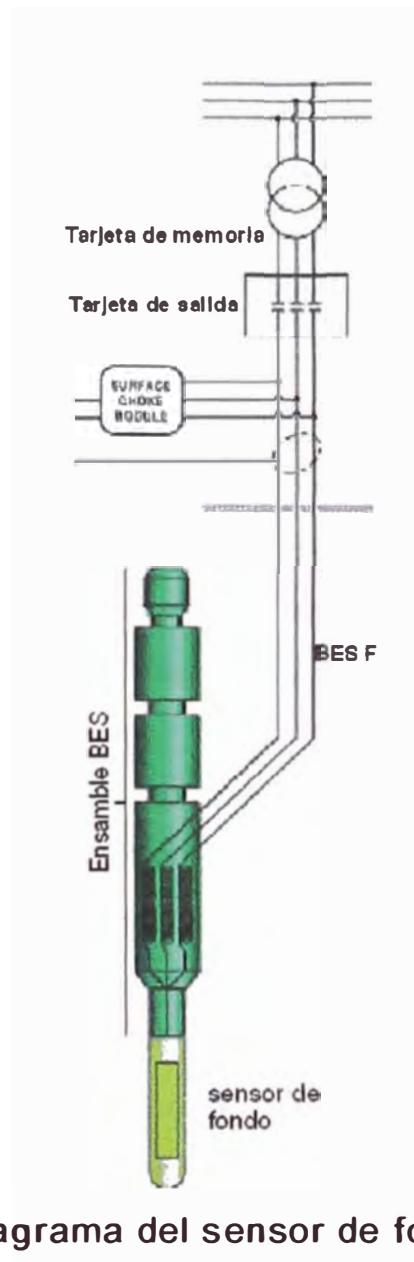


Diagrama del sensor de fondo

#### 4.2 Controladores de motor.

Los dos tipos de controlador de motor usados en el sistema de bombeo electro sumergible son: Tableros de frecuencia fija y los tableros de

frecuencia variable, ambos tipos de controladores están en capacidad de proporcionar datos importantes para el monitoreo de los equipos de fondo.

#### 4.2.1 El controlador de frecuencia fija (switchboard).

Tiene las siguientes características:

Este controlador aplica el voltaje total y un enorme pico de corriente durante el arranque del equipo de fondo.

Se ha avanzado notablemente en lo referente a la protección del motor con el uso de controladores de estado sólido en aplicaciones de tableros de frecuencia fija, pero no se puede hacer nada para corregir la calidad de corriente.

El arranque con estos controladores de frecuencia fija, tiene la desventaja de generar demasiado esfuerzo mecánico y eléctrico en los componentes del sistema BES.

No permite ninguna alternativa de variación de producción de la bomba ni mucho menos modificar o mejorar el punto operativo de esta, una vez que el equipo es arrancado, en un pozo nuevo o en pozos con comportamiento inestable resulta muy complicado muchas veces que la bomba seleccionada e instalada sea la adecuada.

Como una de las ventajas del uso de controladores de frecuencia fija, se puede mencionar el costo del equipo y el costo del mantenimiento operativo, por poseer una cantidad mínima de elementos electrónicos comparado a otros controladores, estos son más fáciles de cambiar y el diagnóstico de falla también es relativamente más sencillo.

El uso de controladores de frecuencia fija se puede aceptar en pozos donde se tiene toda la información posible además se conoce su historial productivo, además los pozos deben ser de crudo liviano a mediano, con equipos cuyo motor es de bajo caballaje.

#### 4.2.2 Controladores de frecuencia variable.

Este controlador es mucho más sofisticado que el controlador de frecuencia fija, esta provisto de una serie de tarjetas electrónicas y dispositivos electrónicos que permiten solventar y/o atenuar bajos y altos voltajes de entrada en un porcentaje del orden del 10% del valor de voltaje de entrada al controlador, esto es una gran ayuda para el equipo de fondo específicamente el motor es tremendamente más protegido por este controlador entre sus características y ventajas podemos citar las siguientes:

Arranque suave y programado del equipo de fondo, como resultado se reduce los esfuerzos mecánicos y eléctricos durante el arranque de los componentes del equipo de fondo.

Permite una mejor afinación del punto de operación del equipo de fondo, incrementando la eficiencia del motor.

Brinda una efectiva protección al equipo de fondo por baja y sobre corriente, además de los desbalances de voltaje transitorios, evitando que el motor se recaliente en algún punto o en toda su longitud.

Una de las grandes ventajas que nos permite el uso de los controladores de frecuencia variable es el control de la producción del pozo en un amplio rango productivo y operativo de la bomba, todos los clientes que usan estos controladores están muy satisfechos con esta ventaja que nos brinda el controlador de frecuencia variable.

En equipos con bomba desgastada se puede retardar el cambio del equipo, incrementando la frecuencia de operación, restaurando el caudal de producción del pozo, el cual cayo por desgaste en las etapas de la bomba.

El uso del controlador de frecuencia variable permite estudiar el comportamiento del pozo a diferentes caudales de producción.

Si bien es cierto, la programación arranque y operación de este equipo, requiere de técnicos de mucha experiencia, para garantizar la apropiada operación del equipo, esto no quiere decir que la operación, programación y arranque de los equipos sea un trabajo muy complicado, al contrario cada vez se han hecho teclados sencillos de operar y programar los controladores facilitando la labor de los técnicos de campo y electricistas de mantenimiento.

Existen muchos modos de operación de los controladores de frecuencia variable, pero los más usados son: Variación de frecuencia, corriente límite, torque constante, etc.

Estos controladores pueden operarse manualmente, automáticamente, por variación de controles externos y/o control remoto por ejemplo sistema SCADA.

## CAPITULO V

### Monitoreo del equipo BES:

Una vez que el equipo es arrancado, el monitoreo diario de los pozos generalmente lo realizan los operadores de producción de las compañías operadoras, quienes recibirán todo tipo de ayuda asesoramiento y entrenamiento para que cumplan la difícil misión de mejorar el tiempo de operación de los equipos, el rol que cumplen los operadores y técnicos de campo es sumamente importante en este ciclo operativo del sistema BES.

- ◆ Se deben preparar reportes diarios, con la información genérica más importante respecto de la operación de los pozos.
- ◆ Hacer reportes semanales y mensuales, estos reportes se prepararan sobre la base de los datos o parámetros tomados durante el monitoreo del equipo de fondo y superficie, los parámetros a considerar son: Producción de petróleo, agua, calculo de la relación gas petróleo, evaluación del punto operativo de la bomba, parámetros eléctricos del motor, determinar el porcentaje de carga de este, presión de succión, nivel de fluido, presión de la tubería de producción, presión del casing, temperatura en la cabeza del pozo, etc.
- ◆ Las empresas operadoras conjuntamente con la empresa de servicios determinaran los parámetros claves, para la evaluación de los equipos y pozos.
- ◆ El análisis de estos parámetros como complemento de un apropiado monitoreo demanda de conocimientos y experiencia, una mala interpretación de estos parámetros muchas veces puede resultar muy costoso para ambas empresas.

- ◆ Monitoreando la producción total del pozo, la presión de succión de la bomba y la corriente de operación del motor, un operador o técnico de servicio de campo puede determinar, las condiciones del equipo o anticipar los posibles problemas del equipo BES.
- ◆ Por el monitoreo del caudal de producción del pozo y comparando esta producción con producciones anteriores un operador puede determinar el punto de operación de la bomba en la curva de esta, en caso que la producción de la bomba haya declinado se puede estudiar la tendencia de declinación de esta, también podemos estudiar otras alternativas como, laqueo en la tubería de producción, desgaste en las etapas de la bomba, etc.
- ◆ La pérdida de producción en un pozo es usualmente un indicador de algún problema en el equipo BES.
- ◆ Monitoreando la presión de succión de la bomba, un técnico de campo u operador puede verificar la precisión del dimensionamiento del equipo comparando con el dimensionamiento hecho con el programa electrónico que poseen las compañías. Ver la posibilidad de pérdida por la tubería de producción, taponamiento de la bomba o desgaste de las etapas de esta.
- ◆ Un incremento del PI del pozo se vera reflejado en el rendimiento de la bomba es decir esta se correrá a la derecha del punto donde estaba operando y la producción del pozo se incrementará.
- ◆ Monitoreando la corriente de consumo del motor, el técnico de campo puede estimar la tendencia del comportamiento de la carga en el motor, determinar posibles daños eléctricos y/o problemas mecánicos en el motor, pensar en la posibilidad de sobrecarga por operación de la bomba, cambio en la densidad del fluido



- ◆ Cambios grandes en la corriente de consumo del motor, indicará que el motor esta reaccionando a una nuevo ingreso de carga de la bomba, pozo ó del sistema eléctrico. Ante esta situación el controlador del motor podría apagar la unidad si los limites de corriente varían sobrepasando los valores seteados como protección. Muy importante revisar las protecciones de sobrecarga y baja carga en el monitoreo de los pozos.
  
- ◆ Otros parámetros operacionales que pueden ser monitoreados contando con la ayuda de los sensores de fondo son:
  1. Temperatura de fondo
  2. Temperatura de operación del motor.
  3. Presión de succión de la bomba.
  4. Presión de descarga de la bomba.
  5. Temperatura del fluido a la altura de la descarga de la bomba.
  6. Vibración de la unidad.
  7. Corriente de fuga en el cable.

## 5.2 TABLAS.

### 5.2.1 Tabla N° 1.

Verificación de equipos de superficie.

#### FORMATO DE VERIFICACIÓN DE EQUIPOS DE SUPERFICIE

CLIENTE :	CONTROLADOR :	FECHA :
PAIS :	POTENCIA :	TECNICO :
CAMPO :	MODELO :	COMPAÑIA :
POZO :	N° DE SERIE :	APROBADO POR :

	OK	/ NO
CONTROLADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRANSFORMADOR REDUCTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRANSFORMADOR ELEVADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GRUPO ELECTROGENO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CABLEADO DEL CONTROLADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CABLEADO DEL TRANSFORMADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAJA DE VENTEO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CABLE DE SUPERFICIE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TEMPERATURA EN CONTROLADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TEMPERATURA DEL TRANSFORMADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>






## TABLA # 2 MONITOREO DE POZOS

## REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPOS BES OPERATIVOS ( COMPAÑÍA TUMI OIL )

## TABLA DE PRODUCCION

REALIZADO POR :

APROBADO POR :

FECHA :

CAMPO	POZO	ARENA	N° CORRIDA	F. INSTAL.	DIAS CORR.	BOMBA		FREC. HZ	DATOS DE PRODUCCION			API PET.
						N° ETAP	TIPO		BPPD	BFPD	% H2O	
IMPERIO N	IMPERIO N N° 1											
IMPERIO N	IMPERIO N N° 2											
IMPERIO N	IMPERIO N N° 3											
IMPERIO N	IMPERIO N N° 4											

CAMPO	POZO	T. FONDO °F	GOR	NIVEL F. FT.	PRESIONES			INY. QUIMICA	OP. DE LA BOMBA	% CARGA EJE BOMBA
					FONDO	TUB.	CASING			
IMPERIO N	IMPERIO N N° 1									
IMPERIO N	IMPERIO N N° 2									
IMPERIO N	IMPERIO N N° 3									
IMPERIO N	IMPERIO N N° 4									



### 5.3 Razones de falla de los equipos BES

Entre las razones más comunes de falla de los equipos BES tenemos las siguientes

1. Equipo de fondo a tierra, pero lecturas fase / fase balanceadas.
  - Cable de potencia, cable de extensión, empalme y/o conectores con problemas en el aislante de una fase.
2. Equipo de fondo a tierra, con lecturas fase / fase desbalanceadas
  - Motores a tierra y desbalanceados ( motores a tierra )
  - Corto circuito en el cable de potencia, cable de extensión, empalme y/o conectores a la altura del cabezal.
3. Pozo con pérdida de producción repentina.
  - Muy posible eje roto de algún componente del sistema BES.
  - Presencia de una bolsa de gas.
4. Pozo con baja producción
  - Posible hueco en la tubería
  - Bomba desgastada
  - Bomba parcialmente taponada
  - Pozo con bajo aporte.
5. Bomba trabada no arranca. ( Empaquetada con arena, presencia de carbonatos y/o asfaltenos )
6. Equipo de fondo no arranca, posible instalación de motores con diferente giro, aplicación motores en serie.
7. Equipo operando fuera de rango y/o elevado consumo de amperaje, por suministro de mala data del pozo o mala operación del equipo de fondo

## CAPITULO VI

### Remoción del equipo de fondo

Después de analizar cartas amperometricas, reporte de instalación, y reportes de monitoreo del pozo, revisar registros pasados de producción evaluar la producción actual si el pozo todavía esta produciendo, la decisión de sacar el equipo de fondo deben tomarla conjuntamente entre los ingenieros y técnicos de la compañía operadora y el ingeniero o técnico de campo de la compañía de servicios, muchas veces la decisión es fácil de tomar porque el problema es muy evidente, pero otras veces resulta complicado tomar una decisión donde se involucra un monto elevado de inversión. Es una norma a seguir en las operaciones que mientras el equipo permanezca en el fondo del pozo se harán todos los intentos para arrancarlo, lógicamente durante el monitoreo se comprobara si el equipo arrancado esta operando correctamente.

#### 6.1 Pasos a seguir durante la remoción de un equipo BES

1. Revisar el programa de trabajo y revisar él ultimo reporte de instalación del equipo. Además, el técnico de campo tendrá que preparar: Herramientas, materiales, tapas de los equipos, el bobinador de cable, coordinará con el supervisor encargado del trabajo por parte de la compañía operadora para llevar a locación las cajas vacías, carrete de cable vacío, etc.
2. Tomar lecturas eléctricas Fase-Fase y Fase-Tierra tanto en el cable que viene del equipo de fondo como el cable que conecta al equipo de superficie, en la altura de la caja de venteo. Estas lecturas quedaran registradas en el reporte de remoción del equipo BES.



3. Levantar el equipo cortar el cable debajo del colgado o debajo del empalme del cable de potencia y conector inferior, tomar lecturas eléctricas; si éstas están buenas, se sacaran uno o dos tubos se sentaran el equipo y se procederá al arranque, encontrando la falla en los conectores. Si las lecturas no están buenas, se procederá a sacar la tubería y cable de potencia.
4. Colocar el bobinador de cable a una distancia de 100´ respecto de la boca del pozo, bobinar el cable lentamente para permitir que el gas se libere del interior del cable, verificar si el cable tiene algún daño mecánico o ha tenido algún problema eléctrico, para colocarlo como comentario en el reporte. Ratificando el comentario anterior la tubería de producción debe ser removida lentamente para evitar daños mecánicos en el conjunto de fondo y poder revisar la integridad de esta.
5. Al llegar a la altura del último tubo, aparecerá el empalme cable de potencia-cable de extensión, verificar si éste ha sufrido algún tipo de daño, cortar a 1 metro de distancia en ambos extremos del empalme y tomar lecturas eléctricas, para saber si el empalme esta en buen estado o presenta alguna falla eléctrica.
6. Antes de desconectar él último tubo o el tubo corto (pup joint), se procederá a colocar la grampa a la altura del cabezal de la bomba. Se izará el equipo se desconectará el cable de extensión del motor y se tomaran lecturas eléctricas en este cable las cuales serán reportadas.
7. Colocar la tapa respectiva en el espacio de conexión del motor ( pot head ) y sentar la grampa en la mesa de ensamble. Chequear la descarga de la bomba, revisar el estado de la rosca interna, verificar la presencia de sólidos o algún otro material, esto constará en el reporte y servirá para el análisis de falla del equipo.

8. Verificar el giro de los ejes del conjunto BES, el giro puede ser suave, duro o el eje puede estar trabado y no girar. Se verificará si hay materiales sólidos ó deposiciones de material en el interior del cabezal de la bomba, se chequeara si el eje tiene juego radial o lateral, se observará si hay presencia de corrosión o erosión en el interior de la bomba. Es importante colocar en el reporte toda esta información.
9. Se izara el equipo y se observara el estado del alojamiento de la bomba, si hay presencia de arrastre, erosión, corrosión o algún signo de golpe o daño, se colocara la grampa en el cabezal de la bomba inferior, se sentará la grampa sobre la mesa de ensamble y se procederá a desacoplar la bomba superior, se procederá a realizar todos los chequeos hechos en la bomba superior en la bomba inferior.
10. Se izara el equipo, se colocará la grampa en el cabezal del sello-protector-ecualizador, se sentará la grampa en la mesa de ensamble y se procederá a desacoplar la bomba inferior, chequear el giro del eje de la bomba sola, colocar tapa en la base y bajar el equipo de la mesa del taladro.
11. Verificar la extensión del eje, del sello-protector y/o ecualizador, revisar el giro del eje, y si el eje tiene juego radial o no, revisar cuidadosamente si hay presencia de material en el interior del cabezal del sello ( sólidos, deposiciones, etc.), proceder a colocar la tapa superior asegurada con todos sus pernos. Subir el equipo lentamente verificando el contenido de fluidos que al momento del desarmado hay en cada una de las cámaras del sello-protector y/o ecualizador esto se hace drenando un porcentaje de fluido de cada una de las cámaras a través de sus válvulas de drenaje de las cámaras, este dato es muy importante y será puesto en el reporte de remoción del equipo

12. Después de completar la inspección de todas las cámaras del sello-protector y/o ecualizador, se iza el equipo hasta que la cabeza del motor superior se encuentre a un metro aproximadamente de la mesa del taladro, se chequea lecturas eléctricas del motor o de los motores, estas lecturas son de suma importancia y serán colocadas en el reporte de remoción del equipo. Se coloca la grampa correspondiente al motor superior teniendo cuidado que esta no quede muy ajustada seguidamente la grampa es sentada sobre la mesa de ensamble.
13. Luego será desacoplado el sello-protector y/o ecualizador del motor superior, colocamos nuevos empaques de goma en la base de este equipo y colocamos su tapa respectiva, posteriormente se baja el sello-protector y/o ecualizador de la mesa del taladro y lo se coloca junto a los equipos que se desacoplan inicialmente.
14. Se revisa el giro del eje del motor, se verifica si en el cabezal se tiene aceite o fluidos de pozo, es importante reportar el color del aceite en caso de tener solamente aceite, se coloca la tapa con su respectivo empaque y se procede a levantar el motor, mientras se sube el equipo revisar el estado del alojamiento del motor, es decir chequear si este tiene rayaduras, si presenta signos de corrosión, erosión o si presenta algún golpe o daño físico, se iza el motor superior hasta que la base de este se encuentre a una altura de un metro respecto a la mesa de ensamble, se coloca la grampa siguiente en la cabeza del motor inferior, luego la sentamos en la mesa de ensamble y desacoplamos el motor superior y se revisa los fluidos a la altura de la base del motor superior, es importante verificar si hay presencia de partículas metálicas o presencia de materiales extraños.
15. Se revisa eléctricamente tanto motor superior como el motor inferior, estos datos se colocaran en el reporte de remoción de equipos, se

colocan empaques de goma en la base del motor superior y la tapa respectiva, se ajusta con los pernos y procedemos a llenar el motor con aceite limpio, se baja el motor de la mesa del taladro y se coloca junto a los otros equipos, previamente se ajusta la tapa superior de éste.

16. Se verifica el giro del eje del motor inferior, se verifica el tipo de fluidos que se encuentran en el cabezal del motor si hay partículas metálicas, se verifica el acople del motor, chequeamos el estado de las estrías del eje, el estado de los conectores eléctricos, y se lava con aceite limpio la brida del motor y luego se coloca la tapa con su respectivo empaque. Colocando los pernos sin ajustar completamente la tapa.
17. Se levanta el motor inferior hasta que la base de éste se encuentre a un metro de altura respecto a la mesa del taladro, se desacopla el sensor de fondo, y verifica el tipo de fluidos encontrados a la altura de la base revisando si hay presencia de partículas metálicas, se cambian los empaques de goma de la base del motor, se toma lecturas eléctricas tanto en el motor inferior como en el sensor de fondo, luego se procede a colocar la tapa inferior del motor.
18. Se llena el motor con aceite nuevo, luego se baja el motor de la mesa del taladro hacia el piso, pero previamente ajustamos los pernos de la cabeza del motor.
19. Se limpia la brida del sensor de fondo, se llena el sensor de fondo con aceite nuevo, y se procede a tapan el sensor apropiadamente.

6.2 Lineamientos generales a seguir durante la remoción de los equipos y a la finalización de este.

- Se debe contabilizar los guardacable y bandas recuperadas, estas cantidades se confrontaran con las cantidades colocadas en el reporte de instalación, si la cantidad de bandas y guardacables recuperadas es menor respecto a las del reporte de instalación se reportará al supervisor del taladro para que este tome las medidas del caso.
- Después de comprobar que todos los componentes del sistema BES estén perfectamente tapados y se haya verificado todos los datos de placa, se coordinará con el supervisor del taladro y/o el jefe de guardia para colocar y embalar los equipos en sus respectivas cajas, es conveniente hacer un inventario con los datos y descripciones completas de los equipos adjuntando el número de caja correspondiente a cada uno de los componentes.
- Verificar las medidas eléctricas tomadas en el cable de potencia removido del pozo, adjuntar el número de carrete en el cual el cable ha sido bobinado, hacer comentarios del estado de la armadura de este y si ha tenido algún daño mecánico.
- El Técnico de servicio de campo, preparará un reporte de la remoción del equipo BES, todas las compañías de servicios tienen sus formatos respectivos, el técnico deberá llenar todas las casillas de este formato, si alguna casilla queda sin información esta será llenada con la información N/A.
- Es conveniente que el técnico elabore un reporte de actividades donde conste todos los trabajos realizados desde el arribo del técnico al pozo, hasta la finalización con el último evento del trabajo, este reporte debe coincidir en su totalidad con el reporte generado por el supervisor del taladro.

- Todos los reportes generados por el técnicos del servicio de campo deberán ser firmados por el supervisor del taladro como constancia de conformidad de los trabajos realizados en el pozo.
- El Técnico de servicio de campo, deberá hacer las recomendaciones a los encargados de manipular y transportar los equipos de fondo incluyendo el cable, que sigan todos los procedimientos y cuidados contemplados en el capítulo de transporte y manipuleo de equipos, en resumen se recomienda que los mismos cuidados que se tienen con los equipos nuevos, se deben tener con los equipos removidos del pozo.
- El Técnico de servicio e campo reportará a su base el inicio y la finalización del trabajo de remoción de equipos, comentando las cosas mas saltantes de este trabajo.

## CAPITULO VII

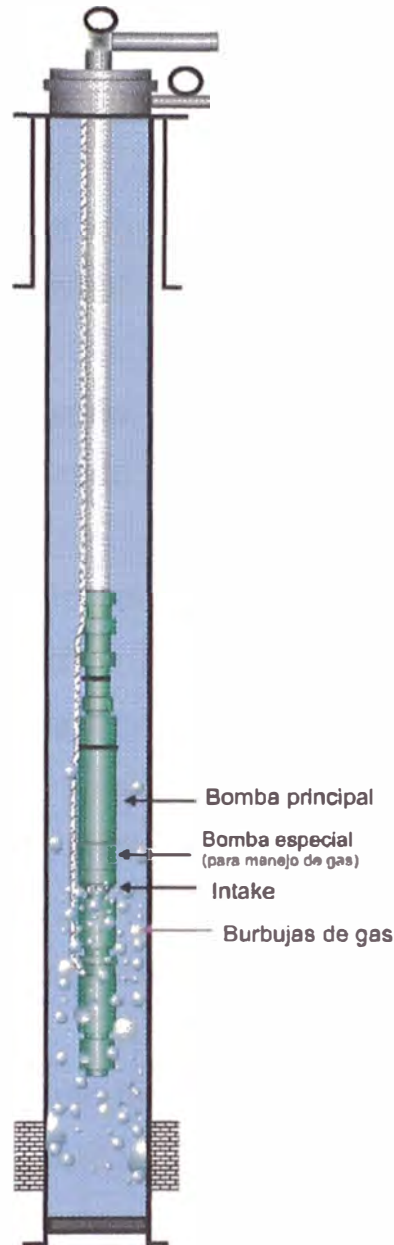
### 7.1 Observaciones y recomendaciones para optimizar la vida operativa de los equipos BES.

Se consideran medios hostiles o condiciones difíciles de operación para los equipos de bombeo electro sumergible cuando se encuentra alguno de los siguientes elementos, ya sea solos o en compañía de otros elementos considerados como factores negativos para la operación del equipo BES:

1. Pozos con alto porcentaje de gas o alta relación gas-petróleo.
2. Fluidos viscosos y presencia de emulsiones
3. Fluidos con presencia de abrasivos.
4. Pozos con alta temperatura de fondo
5. Fluidos con formación de carbonatos, asfaltenos, parafina, y elementos corrosivos.

Todas las compañías fabricantes de equipos BES han venido desarrollando equipos que puedan operar tiempos cada vez mayores bajo las condiciones mencionadas como medio ambientes hostiles.

7.2 Para aplicaciones en pozos de alto contenido de gas, las compañías ofrecen una gama de alternativas con el objetivo de alargar la vida del equipo bajo estas condiciones:



1. Se recomienda usar bombas con etapas de flujo mixto.
2. La presión de Succión de la bomba debe ser lo mas alta posible para que el porcentaje de gas libre a la profundidad de la succión de la bomba sea mínimo. Determinar la viscosidad del crudo y la temperatura del pozo, estos datos son muy importantes
3. Como recomendaciones alternativas de manejo de gas existen, las bombas de estrechamiento de caudal, éstas bombas se instalan debajo



de la bomba principal y el objetivo de éste es de comprimir el gas y tratar de poner la máxima cantidad posible de este en solución dentro del crudo.

4. Manejadores de gas, son equipos diseñados para ayudar a eliminar hacia el espacio anular evitando que este ingrese en su totalidad a la bomba.
5. Separadores de gas en serie: se convierte en una de las opciones a tener muy en cuenta cuando manejamos pozos con alta relación de petróleo gas.
6. Hay bombas especiales de compresión en cuya base llevan partes que permiten un mejor manejo de la mezcla petróleo – gas, las etapas de estas bombas son especiales denominándose: Etapas de levantamiento neto positivo de succión y cabeza (NPSH), estas etapas manejan un gran volumen de mezcla y su rango de operación es muy amplio.

#### Cable para pozos con alta relación gas-petróleo

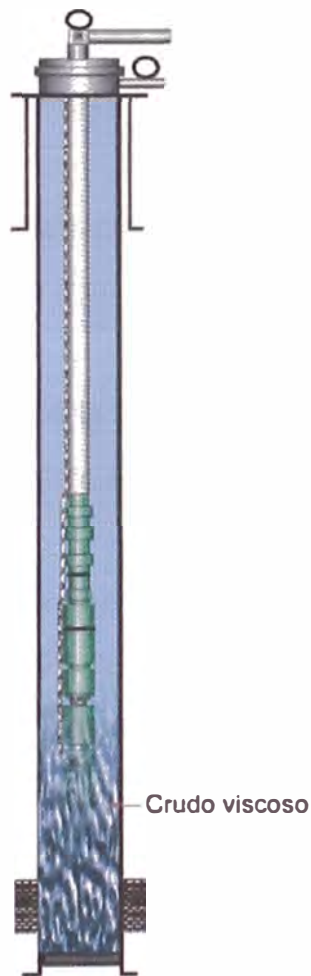
Principalmente el aislamiento del cable es afectado por la descompresión de los gases cuando el cable es retirado del pozo, esta descompresión hace que el gas se expanda y pase a través del espacio intermolecular de los elementos del cable causando una hinchazón o ampollamiento en el aislamiento del cable.

Respecto a la selección y manipuleo del cable se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda que durante el sacado del equipo BES, hacer este trabajo sin prisa evitando dañar el cable y permitiendo que el gas se libere lentamente del interior del cable

2. Es recomendable que para seleccionar el cable adecuado es necesario conocer los valores de producción, temperatura, y la relación gas petróleo, se recomienda usar cables con aislamiento de EPDM, protegido con una capa de nylon de alta temperatura, una chaqueta de plomo y armadura con alto porcentaje de zinc.
3. En caso de ocurrir alguna falla debido al cable, tomar una muestra de 2m. de longitud, un metro a cada lado del punto de falla, esta muestra se enviara a los laboratorios para analizar la causa de la falla.

### 7.3 Aplicaciones en fluidos viscosos & presencia de emulsiones



En el mundo hay una gran cantidad de equipos BES operando en pozos con fluidos de alta viscosidad y/o presencia de emulsiones, los efectos de la viscosidad en el rendimiento del equipo BES son muy notorios, el caudal decrece drásticamente, de igual manera el levantamiento de la bomba, aumentando la potencia de consumo del equipo, la eficiencia del equipo baja en proporción a los cambios en el caudal, levantamiento y potencia del equipo.

▪ **Efectos de los fluidos viscosos en la operación de la bomba**

Una de las ventajas que brinda el crudo pesado o viscoso es la buena lubricación de las etapas impidiendo el desgaste por empuje ascendente y empuje descendente, se disminuye el efecto de los abrasivos y elementos corrosivos.

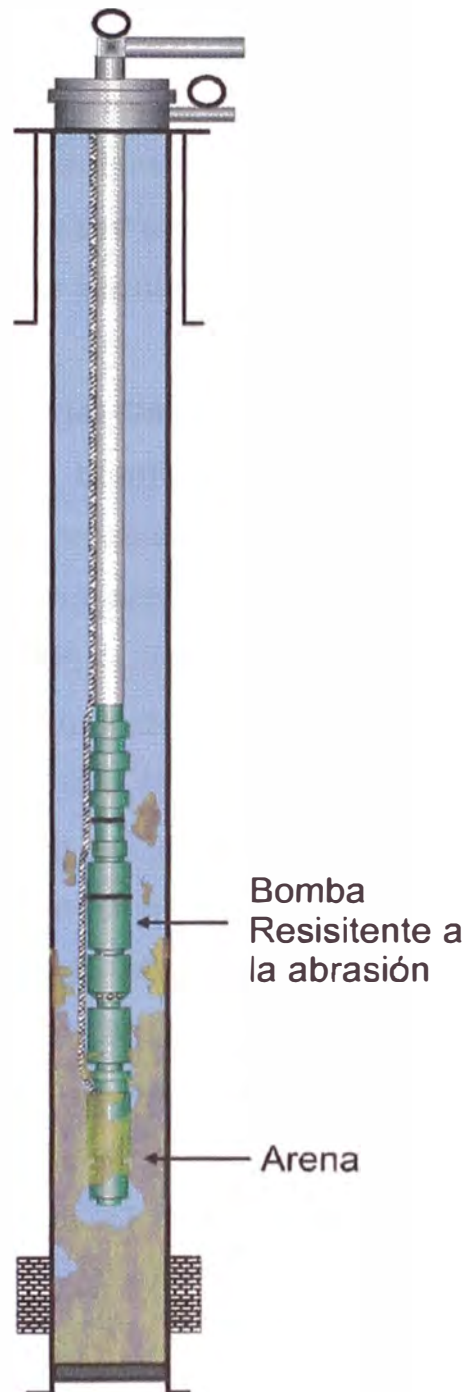
Las desventajas que se pueden observar cuando la bomba maneja estos fluidos son:

1. Reducción de la eficiencia de la bomba
2. Altas potencias de arranque ( Solo se emplearan controladores de frecuencia variable)
3. Características inusuales de carga.
4. Para corregir factores de caudal, levantamiento y potencia se recomienda usar modificadores obtenidos en cada campo estos dependen del tipo de bomba a operar, muchas veces los programas de diseño nos dan buenos resultados, debido a que las correlaciones que usan no cumplen a valores altos de viscosidad.
5. En muchos campos de crudo pesado se recomienda usar diluyente para bajar la viscosidad del crudo, este diluyente es inyectado por el espacio

anular o a través, de un tubo capilar de inyección, de tal forma que el diluyente se mezcla con el crudo pesado y la mezcla resultantes mucho más manejable por la bomba esta practica ha dado muy buenos resultados en crudos de hasta 9 °API y viscosidades superiores a 3000 Cp a 120° F.

6. El uso de diluyente nos permite hacer cambios permanentes en la viscosidad de los fluidos bombeados.
7. Como desventajas se menciona el costo del diluyente.
8. El costo adicional de las partes usadas para la inyección y deliberación del diluyente en el fondo del pozo.
9. Las compañías fabricantes de equipos BES, tienen bombas experimentales para aplicaciones en crudos viscosos, espumantes con presencia de emulsiones, estas bombas tienen las áreas de pérdidas, diseño especial para alta viscosidad, que reduce el corte en el fluido.
10. Se recomienda colocar un inductor en la succión de estas bombas, el cual ayudará y alimentara a la bomba con el crudo viscoso, el uso de este inductor reemplazaría el uso del separador de gas en aplicaciones con crudo viscosos.
11. En aplicaciones que requieran usar el separador de gas, se recomienda usar un inductor el cual va dentro del separador de gas ubicado en la parte inferior de este, cumpliendo las mismas funciones que en la aplicación anterior.

#### 7.4 Fluidos con presencia de abrasivos.



La vida de la bomba que maneja fluidos abrasivos es afectada en sus componentes internos los cuales sufren desgastes ocasionando perdidas en

la eficiencia de la misma. Los efectos más comunes por el manejo de crudos con abrasivos son:

1. Desgaste radial excesivo de los cojinetes, causando excesiva vibración durante la operación de la bomba.
2. Incremento del desgaste por empuje descendente.
3. Desgaste por erosión en los alabes que limitan los pasajes de los fluidos.

Para controlar estos desgastes en etapas y cojinetes, las compañías fabricantes de equipos de bombeo electro sumergible, recomiendan usar bombas resistentes a la abrasión, las cuales pueden soportar los ataques de los fluidos con abrasivos porque llevan unos insertos endurecidos, los que no se desgastan por la acción de la arena. Las bombas resistentes a la abrasión, ofrecen una protección mejorada tanto radial como por empuje hacia abajo, esto permite que los tiempos de operación del equipo sean mucho mayor que cuando se usan bombas estándar. Los rangos de modelos que se ofrecen en la industria son muy grandes para satisfacer cualquier aplicación. Desde el principio de los años 80 las compañías fabricantes en conjunto con las compañías operadoras han realizado una gran cantidad de estudios en busca de materiales y diseños que permitan un tiempo de operación mucho mayor que con bombas estándar. Entre las opciones más usadas para el manejo de arena se tiene los siguientes modelos de bomba:

1. Bombas de compresión.
2. Bombas estabilizadas en el tope y base
3. Bombas de compresión y estabilizadas
4. Bombas con varios puntos de estabilización interna.

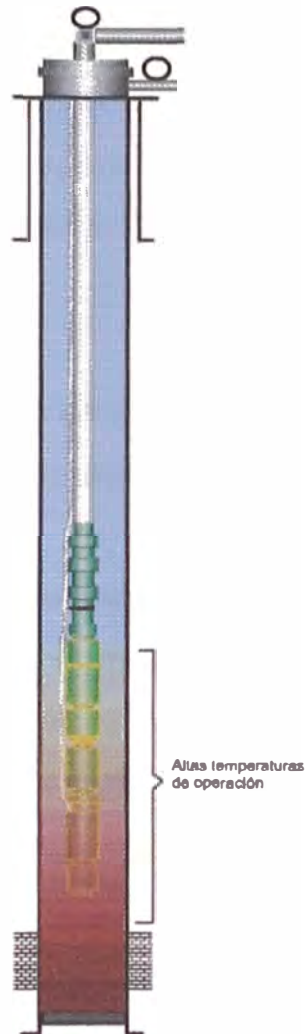
5. Bomba de compresión con varios puntos de estabilización interna.
6. Bombas con protección radial y empuje hacia abajo
7. Bombas con etapas 100% resistentes a la abrasión.

Protección mejorada por soporte radial se logra con el uso de manguitos y bujes endurecidos los cuales van insertados en la base y cabeza de la bomba.

Antes de proceder a seleccionar la bomba resistente a la abrasión es recomendable hacer pruebas de laboratorio para determinar los parámetros que ayudarán en esta selección:

1. Cantidad de arena producida mg/L
2. Determinar el porcentaje de la muestra insoluble en ácido clorhídrico
3. Porcentaje de arena fina que pase a través de de una malla de 100 mesh.
4. Observar si el grano es redondeado o anguloso
5. Porcentaje de cuarzo en la muestra.

## 7.5 Pozos con alta temperatura de fondo.



Este factor hay que calcularlo, estimarlo o considerarlo con mucha precaución porque un error puede desencadenar en fallas catastróficas en el equipo de fondo.

No hay una tabla específica para considerar equipos estándar, temperatura media y alta temperatura pero los fabricantes de equipo tienen equipos sobre la base de las siguientes temperaturas:

1. Hasta 250°F a 260°F, consideramos equipos estándar



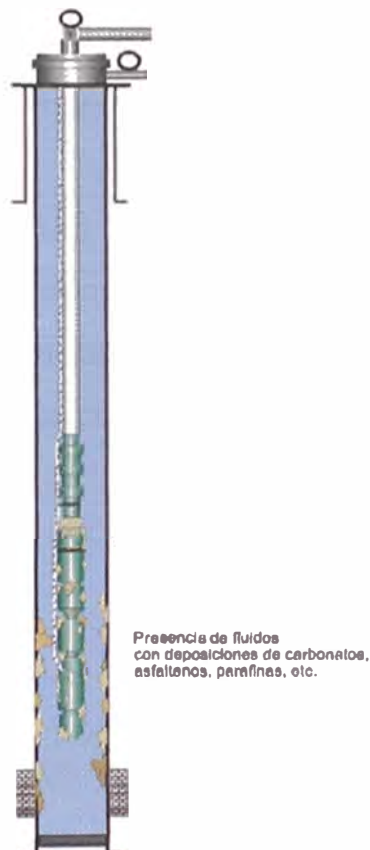
2. De 260°F hasta los 350°F/360°F, equipos de temperatura media
3. Sobre los 360°F a 450°F, equipos de alta temperatura

En los equipos clasificados para temperatura media y alta temperatura se tienen, se recomienda hacer una serie de modificaciones, así como una selección de materiales que soporten esta alta temperatura para evitar que los equipos fallen especialmente en el motor se recomienda tener las siguientes consideraciones :

1. Seleccionar los elastómeros de alta temperatura
2. Seleccionar el aceite adecuado dependiendo de la temperatura de operación del motor
3. Si es necesario rebajar la potencia del motor.
4. Seleccionar los cojinetes de empuje apropiados.
5. Verificar las tolerancias entre los cojinetes y manguitos del motor.
6. En algunas marcas es necesario de cambiar la protección del enchufe del motor.
7. Los cables de extensión, están diseñados para soportar altas temperaturas de operación, así también pueden soportar el ataque por gas.
8. Similares consideraciones en materiales y tolerancias entre las partes internas se debe tener en los sellos, protectores y/o ecualizadores. Se usaran cámaras más largas, uso de aceite viscoso para estas aplicaciones y pozos desviados, elastómeros especiales para estas aplicaciones.
9. Actualmente se están implementando una serie de tablas, que ayudaran en el dimensionamiento de los equipos para aplicaciones de alta temperatura.

10. En las bombas por causa de la alta temperatura se forman carbonatos, los cuales se pueden tratar con inyección de química desde superficie, usando etapas recubiertas con una capa protectora.
11. Se recomienda usar separadores de gas, compresores especiales para el mejor manejo del vapor.
12. Se recomienda que el cable usado en aplicaciones de alta temperatura, tiene aislamiento de EPDM, que puede trabajar hasta los 470°F, la chaqueta de plomo debe ser reforzada, las chaquetas protectoras del aislamiento serán de alta temperatura.

#### 7.6 Fluidos con formación de carbonatos, asfaltenos, parafina, y elementos corrosivos.



Para evitar algún problema en el equipo de fondo por acción de alguno de los elementos mencionados en este subtítulo se puede hacer ciertas recomendaciones.

1. Tratamiento químico en el pozo.
2. Buscar alternativas de metalurgia para una mejor protección exterior del equipo.
3. Uso de resinas especiales para cubrir las etapas de la bomba, como por ejemplo teflón, el uso de esta capa protectora, ayuda para reducir la deposición de carbonatos y asfáltenos, mejora la resistencia a la corrosión de la etapa, de igual forma mejora la resistencia a la erosión.
4. Uso de otras alternativas de metalurgia para hacer las etapas de la bomba.
5. Debido al bajo coeficiente de fricción en las etapas recubiertas con capa protectora, la eficiencia de la bomba puede incrementar de 1% a 4%, dependiendo del tipo y tamaño de la etapa.
6. Si tiene presencia de CO<sub>2</sub> en un pozo, se recomienda cambiar la metalurgia de la parte externa de la bomba esto incluye pernos y arandelas de presión.
7. Si hubiera presencia de H<sub>2</sub>S, se recomienda usar alojamientos de acero ferrítico para todos los equipos, de igual forma todos los elementos como pernos, arandelas adaptadores y demás materiales tendrán que ser resistentes a este elemento corrosivo.