



# Procedimiento Recomendable para Determinar Parámetros de Diseño y Seleccionar los Equipos Requeridos en la Operación Integral de un Sistema de Bombeo Eléctrico

Edgar Israel Espinosa Escudero <sup>(1)</sup>

Mauricio Javier Garcés Moreira <sup>(2)</sup>

Katherine Ignacia Panta Coello <sup>(3)</sup>

Ing. Kléver Malavé <sup>(4)</sup>

Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

**Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador**

[israel\\_1688@hotmail.com](mailto:israel_1688@hotmail.com), <sup>(1)</sup> [majagamo3@hotmail.com](mailto:majagamo3@hotmail.com), <sup>(2)</sup> [katherine\\_panta@hotmail.com](mailto:katherine_panta@hotmail.com), <sup>(3)</sup> [kmalave@hotmail.com](mailto:kmalave@hotmail.com) <sup>(4)</sup>

## Resumen

*Establecer los procedimientos recomendables para el diseño y selección de Bombas Electro Sumergibles como tema de Tesis de Grado, surge de la necesidad real de contar con un documento guía que se ajuste a los requerimientos de la operación y permita solucionar los problemas más comunes que día a día se presentan, de forma oportuna y precisa. Es importante identificar y analizar los componentes y partes más relevantes que conforman un sistema de levantamiento eléctrico para poder tener un conocimiento claro de las funciones que cumplen cada uno dentro del sistema y que tan importante es cada elemento para poder cumplir con el objetivo final que es la producción de crudo. Este método se caracteriza por su capacidad de levantar grandes volúmenes de fluido, lo cual lo hace ventajoso, por otra parte, son evidentes las limitaciones a grandes profundidades y altas temperaturas que presenta este sistema sobre todo en los componentes del equipo que operan bajo estas condiciones. La finalidad de este trabajo es lograr que aumente la vida útil de los equipos para mantener una buena economía en la operación general de los pozos seleccionando el mejor posible.*

**Palabras Clave:** *Diseño de BES*

## Abstract

*Establish procedures recommended for the design and selection of Submersible Electric Pumps as Thesis theme arises from the real need to have a guidance document that conforms to the requirements of the operation and allows solving the most common problems that day present day, in a timely and accurate. Is important to identify and analyze the relevant parts and components that make up an electric lift system in order to have a clear understanding of the roles within each system and how important each element to meet the ultimate objective which is oil production. This method is characterized by its ability to lift large volumes of fluid, which makes it advantageous, moreover, are obvious limitations to great depths to great depths and temperatures of this system specially computer components that operate under these conditions . The purpose of this work is to increase the lifetime of the equipment to maintain a good economy in general operation of wells selecting the best.*

**Keywords:** *ESP Design*

## 1. Introducción

El presente artículo tiene como propósito fundamental analizar de forma teórica y práctica el procedimiento más idóneo para diseñar y seleccionar los componentes de un sistema de bombeo eléctrico sumergible, de tal manera que el equipo elegido garantice el correcto funcionamiento de todo el sistema y a su vez optimice la producción de hidrocarburos en el país, teniendo en cuenta que el bombeo eléctrico es uno de los métodos de levantamiento artificial de mayor uso y con mejor rentabilidad de la industria petrolera.

## 2. Teoría del Levantamiento Artificial

Para determinar si un pozo requiere algún método de levantamiento artificial es necesario conocer cómo se comporta el yacimiento para poder predecir cual será su productividad en el tiempo. Dicho comportamiento se puede analizar con diversos métodos, de los cuales se han seleccionado los siguientes:

- Índice de Productividad, IP
- Relación del Comportamiento de Influjo, IPR
- Análisis de Curvas de Declinación

Cuando un pozo deja de producir naturalmente se debe utilizar algún método de levantamiento artificial para llevar el fluido del pozo hasta la estación de producción, sin embargo, debemos asegurarnos de que el método escogido sea el más adecuado para las condiciones del pozo y del yacimiento. Los tipos de levantamiento artificial más conocidos y aplicados son:

- Bombeo Hidráulico
- Bombeo Mecánico
- Bombeo Electrosumergible
- Gas Lift

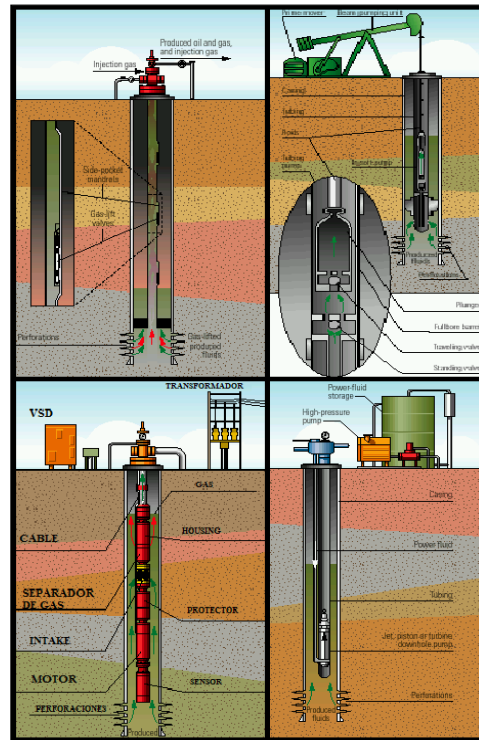


Figura 1 Tipos de Levantamiento Artificial

Cuando la energía natural del yacimiento es insuficiente para que el fluido del pozo llegue hasta superficie, debe ser complementada con algún sistema de levantamiento artificial, cuyo propósito es lograr que dicho fluido alcance la estación de producción.

## 3. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible

Un equipo BES está compuesto por varias partes y elementos que se pueden dividir en dos secciones relevantes: Equipo de Fondo y Equipo de Superficie.

Equipo de Fondo: Esta sección del sistema BES comprende a los componentes que van desde el cabezal hasta el fondo del pozo y son:

- Sensor
- Motor
- Protector o Sello
- Separador de Gas
- Intake
- Bomba
- Descarga

Equipo de Superficie: En esta sección se encuentran todas las partes que van desde el cabezal

hasta la red de distribución de corriente y que, según la configuración del equipo, pueden ser:

- Transformador Reductor
- Transformador Elevador
- Tablero de Control (Pueden ser: Velocidad Fija o Velocidad Variable)
- Caja de venteo o Junction Box
- Cabezal

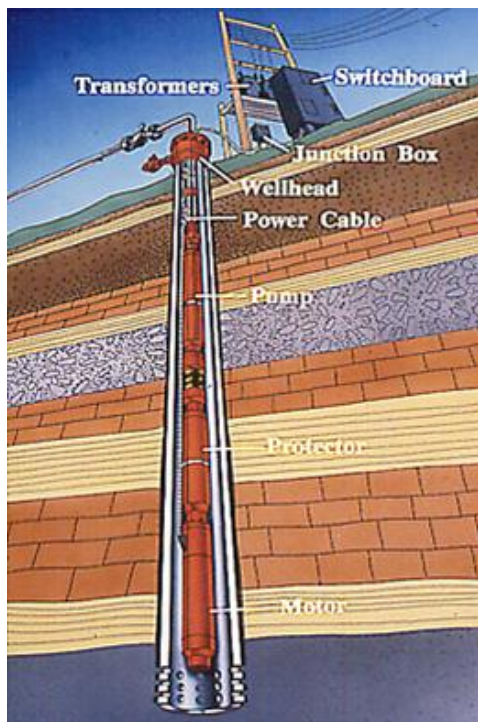


Figura 2 Componentes de un sistema BES

#### 4. Fundamentos para la Operación de una Bomba Eléctrica de Fondo

Para que la bomba trabaje se necesita de algunos fundamentos importantes los cuales son:

- Empuje Axial de la Bomba: Describe como las diferentes fuerzas actúan y afectan a cada etapa de la bomba cuando el fluido pasa a través de ellas, a su vez se componen por: Empuje Hidráulico (Downthrust y Upthrust) y Empuje Real (En el cuerpo del impulsor y en los extremos del eje de la misma).
- Impulsor Fijo e Impulsor Flotante: Las compresoras tienen sus impulsores acoplados al eje de tal manera que giran a una distancia mínima entre los difusores provocando que no se deslicen axialmente, por lo tanto el empuje del impulsor se transfiere al eje de la bomba. Mientras que en las Flotantes el impulsor se mueve a lo

largo del eje tocando las superficies de los difusores, la respectiva etapa absorbe el empuje del impulsor que se transfiere a las arandelas del difusor, por lo que la sección del sello soporta todo el empuje del eje.

- Altura Dinámica Total (TDH): La altura de fluido total que se debe levantar para que lleguen a las facilidades de superficie.

$$TDH = LNV + PF + THP$$

LNV: Levantamiento neto vertical, la distancia vertical en pies desde el cabezal hasta el nivel estimado de producción.

PF: Perdidas por fricción, es la columna requerida para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías.

THP: Total Head Pressure, es la presión del fluido en la cabeza del pozo.

- Presión de cabeza.- Es la presión con la cual el fluido llega desde el fondo a la cabeza del pozo, y necesaria para alcanzar la estación de producción.

La presión se expresa en términos de altura "pies".

- Pérdidas por fricción.- La fricción genera pérdida de presión debido a la viscosidad de los fluidos producidos. A menor grado API mayores pérdidas por fricción.

En el flujo de una sola fase la fricción puede ser despreciada debido a que no hay muchos esfuerzos de corte en el líquido

- Levantamiento neto vertical.- También llamado altura neta y es la distancia vertical que los fluidos deben recorrer desde la descarga de la bomba hasta superficie.

- Curva de rendimiento de la bomba.- Son generadas para cada tipo de bomba y en ella se puede determinar la capacidad, la potencia (HP), y la altura de la Columna de fluido.

La altura (carga o cabeza dinámica): Indica la columna de fluido que cada etapa puede levantar, en barriles por día (BPD).

La Curva de Potencia (BHP): Indica la potencia en HP (Horse Power), que requiere cada etapa para manejar y levantar el caudal necesario.

La Curva de Eficiencia: Indica el porcentaje de eficiencia de la bomba hasta un valor máximo de barriles por día (punto de máxima eficiencia).

El Rango operativo recomendado para diseño y aplicaciones corresponde a la zona de la gráfica donde la bomba opera con máxima eficiencia.

- Dependiendo del aporte del yacimiento, las etapas pueden operar en empuje hacia arriba llamado "UPTHRUST"

(funcionamiento de la bomba a la derecha del punto de máxima eficiencia) ó hacia abajo llamado “DOWNTHRUST” (funcionamiento de la bomba a la izquierda del punto de máxima eficiencia).

- Tipos de Etapas de la Bomba: En flujo radial el fluido viaja a través del impulsor siguiendo una dirección perpendicular al eje, en estas condiciones las bombas manejan bajos caudales. Flujo Mixto, el fluido se mueve a través de la etapa en ambos componentes axiales paralelo al eje y en dirección radial, en este caso la bomba maneja grandes caudales.

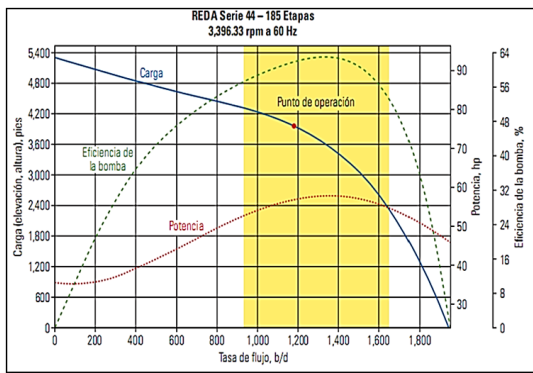


Figura 3 Curva de rendimiento de la bomba.

## 5. Procedimiento recomendable para diseñar equipo de fondo y seleccionar el de superficie.

En este capítulo desarrollaremos un procedimiento para diseño de equipo de bombeo electro sumergible de fondo y recomendaremos los componentes de superficie.

- Información requerida.- La información necesaria para diseñar y seleccionar los equipos de fondo y superficie de un sistema de bombeo electro sumergible se obtiene a partir de pruebas tanto de restauración de presión como de producción corridas para el yacimiento de interés y de las condiciones de generación y conducción eléctrica.  
De esta manera se dispondrá y trabajara con datos reales.
- Datos para el diseño
- Problema de aplicación:
- Cálculo de parámetros del yacimiento

- Primero es necesario calcular la gravedad específica fluido tenido presente que está a condiciones de superficie.  
Selección del equipo de fondo:
  - Separador de Gas
  - Bomba
  - Motor
  - Protector
  - Cable de Potencia
- Selección de equipo de superficie:
  - Transformadores.- Incrementamos la longitud del cable 100 pies más para tomar en cuenta el cable de superficie.  
La ventaja de estos transformadores es que este puede ser del tipo filtrado y protegido lo cual ofrece una mejor protección al sistema e subsuelo BES.
  - Controlador.- Con respecto al controlador, en este caso tenemos 2 opciones donde colocar el controlador; podemos colocarlo en el lado primario o secundario del transformador. Si lo colocamos en el lado primario del transformador, podemos aplicar un controlador de bajo voltaje el cual reduciría el costo de compra.

## 6. Solución de los principales problemas originados durante la operación de un Equipo Eléctrico Sumergible.

Durante el funcionamiento de un equipo eléctrico sumergible en un determinado pozo, se pueden presentar varios problemas debido a diferentes factores. En este capítulo describiremos las causas más comunes para dichos problemas y las soluciones que pueden adoptarse, así como también analizaremos la información suministrada por las respectivas cartas amperimétricas.

Descripción de los problemas y posibles soluciones.-

- El equipo no arranca.
- El funcionamiento del equipo se ha detenido.
- Problemas de sobrecarga.
- La unidad arranca y se detiene después de un corto tiempo.
- Después de apagado, el equipo no reinicia automáticamente.
- No se registran lecturas en el amperímetro.
- Alto amperaje generado por la unidad.  
Desbalance de la corriente.

### 6.1 Tecnología amperimétrica.

Después de que la unidad electro sumergible está instalada y operando la mejor herramienta para el

control de su funcionamiento y del pozo es la carta amperimétrica, porque indica los amperios con los cuales trabaja la unidad y cualquier cambio en el amperaje del mismo.

La carta amperimétrica es importante para detectar y corregir cualquier desviación de la operación normal, al fin de prevenir posibles fallas.

- Operación Normal.- La operación de la carta se puede considerar normal cuando la curva registrada en la carta es simétrica y continua día tras día.

El amperaje indica que el funcionamiento del motor es continuo y normal. Es decir, libre anomalías.

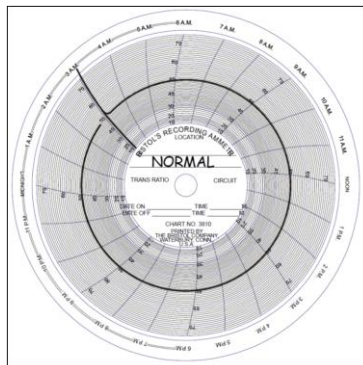


Figura 4 Operación Normal

- Bloqueo del Equipo por Gas.- Se puede corregir descendiendo la bomba en el pozo. Si no es posible, habrá que extender el tiempo de inactividad, y que la bomba opere por ciclos. Es recomendable considerar una unidad con un tamaño más apropiado para el siguiente cambio de equipo. En ocasiones, el uso de un adecuado estrangulador de superficie puede ser útil. Si la bomba tiene suficientes etapas para manejar bajas frecuencias el (VSD) puede desacelerarse.

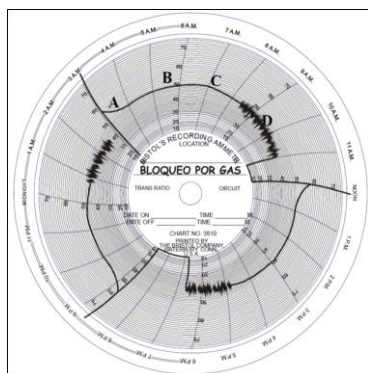


Figura 5 Bloqueo del equipo por gas.

- Ciclos Excesivos de Arranque.- Este comportamiento se explica de diversas maneras:

El tamaño de la bomba puede ser excesivo, que se esté bombeando contra una válvula cerrada o que haya suficiente gas en la columna de tubing como para que necesite 15 minutos en comprimirse.

Este tipo de operación perjudica el funcionamiento de las unidades electrosumergibles y debe ser corregida con la mayor brevedad posible.

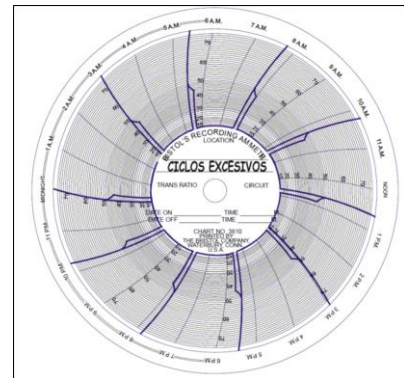


Figura 6 Ciclos excesivos de arranque

- Controles Externos.- La figura indica q la unidad se inactiva a causa de controles de bajo o alto nivel, pero también muestra que el tiempo de inactividad configurado en el temporizador no es suficiente para evitar que la unidad se reinicie con rotación inversa, la que es provocada por el descenso del fluido a través de la bomba cuando se detiene la unidad. Si el equipo se reinicia con rotación inversa, se puede torcer o romper el eje.

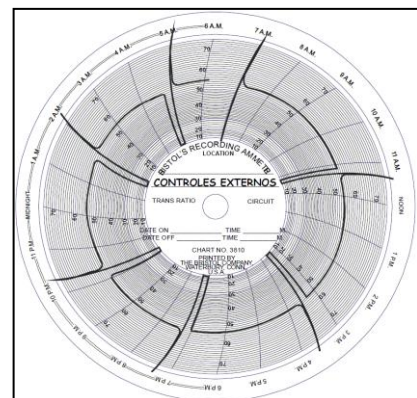
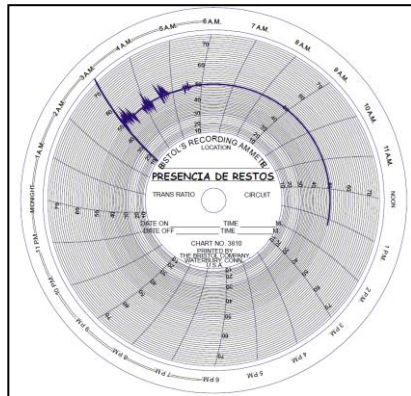


Figura 7.- Controles externos.

- Presencia de Sólidos.- La figura muestra que se produjeron junto con el fluido, sólidos como incrustaciones, lodo, parafina y otras sustancias, después del arranque. El amperaje se hace uniforme cuando se

remueven los sólidos manteniendo un funcionamiento constante con una carga de 50 amperios.



**Figura 8.-** Presencia de sólidos.

## 7. CONCLUSIONES

- El cálculo de la Cabeza Dinámica Total (TDH) es un factor fundamental, porque permite determinar el número de etapas requeridas por la bomba eléctrica de subsuelo.
- En el pozo analizado en esta tesis, se dispone de una columna de fluido del yacimiento de 1844 pies desde la profundidad de los disparos. En consecuencia el equipo de fondo siempre estará sumergido en el citado fluido.
- La información de amperaje, disponible en el Variador de Frecuencia (VSD), es un registro en superficie que permite verificar cualquier variación en la corriente que afecte al funcionamiento del motor.

## RECOMENDACIONES

- Se debe verificar los datos de presión y temperatura de fondo, mostrados en la pantalla del Variador de Frecuencia (VSD), para conocer el comportamiento del yacimiento en el tiempo.
- En pozos que tengan alta presencia de gas libre, se debe instalar adicionalmente otro separador o un manejador, para evitar que ingrese gran cantidad de gas a la bomba.
- La configuración de una bomba eléctrica compresora es mejor que la flotante debido a que en la compresora la bomba produce un desplazamiento tipo pistón, mientras que en la flotante es etapa por etapa.

## 8. Agradecimientos

Dedicada especialmente para mis Padres que tanto amo como recompensa del esfuerzo en mis estudios, a mis hermanos y seres queridos como triunfo de mi educación como Ingeniero.

Para los futuros profesionales como ayuda en su formación.

“TODO ESFUERZO TIENE SU RECOMPENSA”.

## 9. Referencias

- Manual de bombas REDA.
- Manual de cables REDA.
- Production Optimization Using Nodal Analysis.
- Manual Lectura de Cartas amperimétricas de Wood Group.
- Pasantías Schlumberger.