

**ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE SERVICIOS TECNICOS Y
ADMINISTRATIVOS PARA BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES**

JOHN EMIR HERNANDEZ CALA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

**ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE SERVICIOS TECNICOS Y
ADMINISTRATIVOS PARA BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES**

JOHN EMIR HERNANDEZ CALA

**Trabajo de grado para optar por el título en
Gerencia de Hidrocarburos**

**Director: Jairo Toloza Quintero
Ingeniero Electrónico
Master Of Science Ingenieria Mecanica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2016**

A Dios por brindarme salud durante todos estos años, por darme fuerza para no desfallecer en los momentos difíciles y así lograr las metas propuestas.

A mi esposa por su incondicional apoyo, por ser ese motor que guía mi vida y estar siempre presente en todas mis metas.

A mis padres por todos los consejos aportados y el apoyo que me dieron para que esta meta se lograra con éxito.

A mi hermano que siempre ha estado a mi lado incondicionalmente.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma hicieron parte de esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a GE Oil & Gas por permitirme la realización de este proyecto.

A mi director de tesis por su invaluable ayuda en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. GENERALIDADES	19
1.1 ETAPAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO	19
1.2 TIPO DE EXPLOTACION MEDIANTE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	19
1.3 GENERALIDADES DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE.....	21
1.3.1 Sensor.....	23
1.3.2 Motor.....	24
1.3.2.1 Estator.....	26
1.3.2.2 Eje.....	27
1.3.2.3 Rotor	28
1.3.2.4. Rodamientos radiales	28
1.3.2.5. Cabeza del motor.....	28
1.3.2.6 Aceite dieléctrico	29
1.3.3 Sello.....	29
1.3.3.1 Partes del Sello	30
1.3.3.2 Eje.....	30
1.3.3.3 Tipos de Cámaras.....	30
1.3.3.4 Sellos mecánicos	31
1.3.3.5 Cojinete de empuje Axial	32
1.3.3.6 Características de desempeño	32
1.3.4 Separador de Gas o Intake	33
1.3.4.1 Intake	33
1.3.4.2 Separador de gas	33
1.3.5 Bomba.....	34
1.3.5.1 Partes de la bomba	35
1.3.5.2 Clasificación de las bombas.....	38
1.3.6 Cable de Potencia.....	41
1.3.6.1 Partes de Cable	41
1.3.6.2 Tipos de Cable	42
1.3.6.3 Caída de Voltaje	43
1.3.7 Variador.	44
1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLE	45

2. HISTORICOS DE FALLAS EN EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES	47
2.1 PRINCIPALES PARTES QUE PRESENTAN FALLA EN BES	48
2.1.1 Bomba.....	48
2.1.2 Motor Eléctrico.....	48
2.1.3 Sello Protector.	48
2.1.4 Cable de Potencia.....	48
2.1.5 Factores Externos.....	49
2.2 INTERVENCIONES A POZOS	49
2.2.1 Fallas Mecánicas.	52
2.2.2 Fallas Eléctricas.....	53
2.3 RUN LIFE EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES.....	58
2.3.1 Definición.	58
3. HERRAMIENTAS PARA ANALIZAR FALLAS Y PERDIDAS ECONOMICAS POR FALLAS	59
3.1 <i>PULLING</i> DE UN EQUIPO ELECTROSUMERGIBLE (EXTRAER EL EQUIPO ELECTROSUMERGIBLE DEL POZO)	59
3.2 ANÁLISIS PREVIO <i>TEAR DOWN</i>	60
3.3 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ (ACR)	61
3.4 ANÁLISIS DE DATA OPERACIONAL Y TENDENCIA OPERATIVA	62
3.5 PÉRDIDAS ECONÓMICAS	62
3.5.1 Pérdidas Económicas Por Trabajo Al Pozo.	62
3.5.2 Pérdidas Económicas Por Falla.....	63
4. PRESENTACION PORTAFOLIO.....	67
4.1 PERSONAL PARA SERVICIO DE INSTALACION, EXTRACCION, PUSTA SERVICIO Y MONITOREO.....	68
4.1.1 Técnicos ESP.	69
4.1.2 Auxiliares ESP.	69
4.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	69
4.2.1 Spooler.....	70
4.2.2 Herramientas Requeridas	70
4.3 COSTOS PERSONAL, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	71

4.3.1 Instalación y/o Extracción (Pulling).	71
4.3.2 Monitoreo de Pozos (Toma De Niveles, Seguimiento Calidad de Energía, Optimización de Producción) y Administración de Activos.	72
4.3.3 Servicio de Instalación de Protectores.	72
4.4 VENTAJAS TECNICAS Y ECONOMICAS.....	73
5. CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Método de levantamiento artificial	20
Figura 2. Gráfico de Presión Vs Caudal.....	21
Figura 3. Equipos del subsuelo y superficie del sistema electrosumergible.	23
Figura 4. Estructura Interna del sensor	24
Figura 5. Motor.....	25
Figura 6. Diseño interno del motor ESP.....	25
Figura 7. Ejemplo de curva de desempeño de un motor de BES	26
Figura 8. Lámina de acero - conjunto de láminas prensadas	27
Figura 9. Bobinado del motor electrosumergible.....	27
Figura 10. Empalme motor- cable de potencia-rodamientos de empuje.....	29
Figura 11. Parte de los Sellos	30
Figura 12. Tipos de cámaras ESP	30
Figura 13. Sellos mecánicos	31
Figura 14. Sellos mecánicos	32
Figura 15. Estructura y parte del <i>intake</i>	33
Figura 16. Estructura separador de gas.....	34
Figura 17. Partes de la bomba ESP.....	34
Figura 18. Impulsor	36
Figura 19. Difusor	36
Figura 20. Fluido a través de la etapa.....	37
Figura 21. Etapa de flujo radial	37
Figura 22. Etapa de flujo mixto	38
Figura 23. Fuerza de empuje sobre las etapas.....	39
Figura 24. Curva típica para una bomba de 4" con un punto de mejor desempeño a 650 BFPD.....	40
Figura 25. Curva típica para una bomba de flujo mixto de 6000 BFPD	40

Figura 26. Esquema de cable plano y redondo	42
Figura 27. <i>Motor Lead Extension (MLE)</i>	43
Figura 28. Caída de voltaje en el cable de potencia	44
Figura 29. Capacidad de corrientes	44
Figura 30. Variador ESP	45
Figura 31. Intervenciones a 264 Pozos.....	50
Figura 32. Gráfico fallas frecuentes en BES	52
Figura 33. Gráfico de fallas mecánicas en Pozos	53
Figura 34. Gráfico de fallas Eléctricas	54
Figura 35. Gráfico de onda sinusoidal sin filtro	55
Figura 36. Gráfica Onda sinusoidal con filtro	56
Figura 37. Diferentes perfiles de pozos	58
Figura 38. Gráfico de una carta amperimétrica.....	61
Figura 39. Gráfico equipos en falla con <i>run life de 0 – 500 días</i>	64
Figura 40. Gráfico equipos en falla con <i>run life de 501 – 1000 días</i>	64
Figura 41. Gráfico equipos en falla con <i>run life superior a 1001 días</i>	64
Figura 42. Presentación de Portafolio.....	68

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tamaños de Motor y <i>Horse Power (HP) Nominal</i>	24
Tabla 2. Diámetro De Bomba y Tasa De Flujo.....	35
Tabla 3. Fallas frecuentes en BES.....	52
Tabla 4. Pozos con fallas mecánicas.....	53
Tabla 5. Fallas eléctricas	54
Tabla 6. Costos por servicio a pozo.....	63
Tabla 7. Costos operacionales.....	63
Tabla 8. Costos por servicio a pozo.....	65
Tabla 9. Costos operacionales (Motor)	66
Tabla 10. Costos operacionales (Bomba).....	66
Tabla 11. Costos operacionales (Error de Instalación)	66
Tabla 12. Especificaciones Técnicas de <i>Spooler</i>	70
Tabla 13. Herramientas Manuales	70
Tabla 14. Herramientas de Izaje	70
Tabla 15. Instrumentos de medición	71
Tabla 15. Tarifa diaria	71
Tabla 16. Tarifa de personal	72
Tabla 18. Servicio de protectores de cable.....	72

GLOSARIO

BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES: Este es un método de levantamiento artificial altamente eficiente para la producción de crudos livianos y medianos; sin embargo, es uno de los métodos de extracción de crudo que exige mayor requerimiento de supervisión, análisis y control, a fin de garantizar el adecuado comportamiento del sistema.

CALIDAD DE ENERGIA: La Calidad Eléctrica es un indicador del nivel de adecuación de la instalación para soportar y garantizar un buen funcionamiento de sus cargas. Una perturbación eléctrica puede afectar a la tensión, a la corriente o a la frecuencia. Dichas perturbaciones eléctricas pueden originarse en las instalaciones del usuario, las cargas del usuario o la compañía eléctrica.

FALLAS: Se define como un suceso que ocasiona que el sistema de bombeo deje de funcionar.

MANTENIMIENTO: Toda acción que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas.

PETROLEO: Una mezcla compleja de compuestos de hidrocarburos naturales que se encuentran en las rocas. El petróleo puede variar entre sólido y gaseoso, pero el término se utiliza generalmente para hacer alusión al petróleo crudo líquido. Las impurezas, tales como el azufre, el oxígeno y el nitrógeno, son comunes en el petróleo. Además existe un grado considerable de variación en lo que respecta al color, la gravedad, el olor, el contenido de azufre y la viscosidad en el los petróleos provenientes de áreas diferentes.

SONOLOG: Dispositivo acústico que mide el tiempo necesario para que un sonido explosivo haga eco desde el nivel de líquido anular en pozos no surgentes. El tiempo es proporcional a la distancia desde la superficie al líquido. Se utiliza para determinar la contra presión en la formación o un nivel de fluido estático en el anular. También se conoce como medidor de eco.

ABREVIATURAS

BES: Bomba Electro Sumergible.

BSW: *Basic Sediment and Water.* Sedimentos de fondo y agua.

ESP: *Electric Submersible Pump.* Siglas en ingles de Bomba Electrosumergible (BES)

ID: Diámetro interno. *Internal Diameter.*

KOP: (*Kickoff Point*) Es la profundidad del hoyo en la cual se coloca la herramienta de deflexión inicial y se comienza el desvío.

MLE: *Motor Lead Extension* – Cable de extensión del motor.

PLT: Herramienta de registro de producción. *Production Log Tool.*

OD: Diámetro externo. *Outside Diameter.*

RESUMEN

TITULO: ELABORACION DE UN PORTAFOLIO DE SERVICIOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS PARA BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES.¹

AUTOR: JOHN EMIR HERNANDEZ CALA

PALABRAS CLAVES: Electrosumergible, Portafolio, Servicios, Experiencia.

CONTENIDO: El sistema electrosumergible (BES) se ha convertido en uno de los métodos de levantamiento artificial más usado, desplazando de manera progresiva al sistema de bombeo mecánico debido a la producción de grandes volúmenes de fluido, manejo de sólidos y gas asociado al fluido producido.

Debido al incremento en el número de instalaciones de los equipos electrosumergibles se hace evidente la necesidad de personal calificado y con experiencia en este sistema por cuanto se encuentran falencias de tipo técnico y administrativo.

Las falencias técnicas como la mala configuración de los equipos, deficiente monitoreo durante el funcionamiento, fallas durante la instalación entre otras, incrementan el número de intervenciones. Desde el punto de vista administrativo el manejo inadecuado de las bodegas, es decir, deficiencias en el manejo de inventarios de equipos de entrada (nuevos) y salida (usados y por descartar), extracción de equipos y partes hacen lo propio con los costos de operación y capital.

Este portafolio tiene como objetivo minimizar la ocurrencia de estas falencias identificadas, mediante el suministro de personal idóneo en cada una de las áreas establecidas y así disminuir los gastos operacionales, asociados a la implementación de los equipos electrosumergibles y de personal directo de la compañía operadora.

¹ Monografía

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, Director: Jairo Toloza Quintero

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF MANAGERIAL AND TECHNICAL SERVICES TO ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMPS.²

AUTHOR: John Emir Hernández Cala

KEYWORDS: Electric Submersible, Managerial, Services, Experience.

CONTENT: The Electric Submersible Pump System (ESP) has turned in one of the most used artificial lift methods, after beam pumping system due to the production of large volumes of fluids, solids handling and gas associated to the fluid produced.

Due to the increase on ESP installations is useful to have qualified personnel with enough experience in this type of systems, because of technical and administrative flaws are kind becomes evident.

Technical issues as misconfiguration of the devices, poor monitoring during the operation, failures on installation and others, increase the number of interventions. From the business point of view the wrong handling of the wineries, that means, problems on the inventory management equipment input (new) and output (used and by rule), equipment extraction and parts do that the investment and operating costs need.

This briefcase aims decrease the occurrence of know flaws by providing qualified staff in each of the established areas to reduce the operational costs associated to the implementation of Electric Submersible devices and direct personal of the mayor company.

* Monograph

** School of Physicochemical Engineering. Hydrocarbons Management Specialization,
Director: Jairo Toloza Quintero

INTRODUCCION

El petróleo es el principal generador de ingresos para la economía colombiana por exportaciones, impuestos y regalías. El Gobierno Colombiano busca mantener la producción promedio de un millón de barriles diarios durante el 2015, una meta que no es fácil de alcanzar por la disminución en los trabajos de sísmica y la perforación de pozos, de acuerdo a las empresas del sector.³

El sistema electro sumergible (BES) se ha convertido en uno de los métodos de levantamiento artificial más usado, desplazando de manera progresiva al sistema de bombeo mecánico debido a la producción de grandes volúmenes de fluido, manejo de sólidos y gas asociado al fluido producido.

El buen desempeño de estos equipos depende de la correcta instalación en fondo de acuerdo a las recomendaciones de fábrica y al monitoreo del equipo durante su funcionamiento, donde se realiza la toma de parámetros eléctricos, incrementos y decrementos de frecuencia, y seguimiento a la calidad de energía, para garantizar mayor vida útil, que no genere sobrecostos por fallas prematuras.

Debido al incremento en el número de instalaciones de los equipos electrosumergibles se hace evidente la necesidad de personal calificado y con experiencia en este sistema por cuanto se encuentran falencias de tipo técnico y administrativo.

Las falencias técnicas como la mala configuración de los equipos, deficiente monitoreo durante el funcionamiento, fallas durante la instalación entre otras, incrementan el número de intervenciones. Desde el punto de vista administrativo el manejo inadecuado de las bodegas, es decir, deficiencias en el manejo de inventarios de equipos de entrada (nuevos) y salida (usados y por descartar), sustracción de equipos y partes hacen lo propio con los costos de operación y capital.

Este portafolio tiene como objetivo minimizar la ocurrencia de estas falencias identificadas, mediante el suministro de personal idóneo en cada una de las áreas establecidas y así disminuir los gastos operacionales, asociados a la

³ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCABUROS. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-yParticipaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-de-Produccion.aspx>.

implementación de los equipos electrosumergibles y de personal directo de la compañía operadora.

1. GENERALIDADES

1.1 ETAPAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

En la industria del petróleo se tienen diferentes etapas que son:

- **Exploración:** Conjunto de métodos geológicos, geofísicos y geoquímicos que determinan la comercialidad de un yacimiento petrolífero.
- **Perforación:** Operaciones a través de las cuales se interviene la roca almacenadora de hidrocarburos, en conjunto se realizan los trabajos de cementación, cañoneo y terminación de pozo.
- **Explotación:** Extracción y tratamiento de los fluidos del yacimiento, minimizando el impacto ambiental y obteniendo el mayor beneficio económico.
- **Transporte:** Entrega bajo las condiciones técnicas y ambientales, de grandes volúmenes de hidrocarburos listos para su procesamiento.
- **Refinación:** Separación química de los componentes del petróleo y posterior transformación en nuevos productos.

El presente proyecto está enfocado en la explotación de un yacimiento petrolífero Colombiano, mediante la perforación de pozos en desarrollo que permite aumentar la tasa de producción de hidrocarburos y de igual forma lograr un retorno de la inversión.

1.2 TIPO DE EXPLOTACION MEDIANTE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

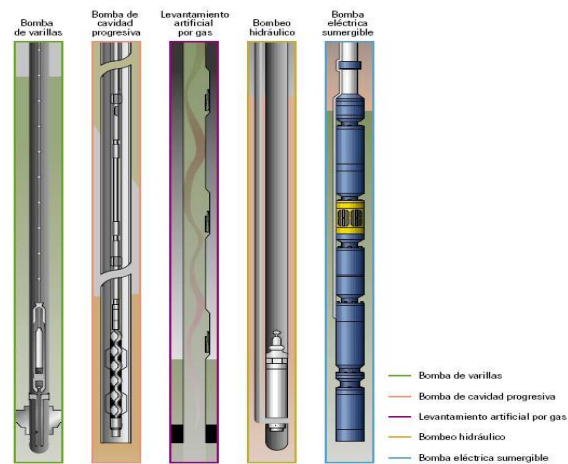
Es la utilización de una fuente externa de energía en la columna de fluido dentro del pozo con el fin de llevar el fluido desde el fondo hasta la superficie.

En la producción de un yacimiento no siempre se obtienen las tasas de flujo deseadas. A raíz de esto, a medida que se desarrolla el campo se piensa en usar sistemas de levantamiento artificial que generan la energía necesaria para llevar el fluido a la superficie.

De acuerdo a las características del yacimiento y del fluido que se quiere producir se puede pensar el sistema de levantamiento artificial a usar.

En la figura 1, se muestra los métodos de Levantamiento Artificial de mayor aplicación en la industria petrolera como son, el Bombeo Mecánico (BM), el Bombeo Electro Sumergible (BES), el Bombeo por Cuidad Progresiva (BCP), el Bombeo Hidráulico (BHJ) y Levantamiento Artificial por Gas (LAG).

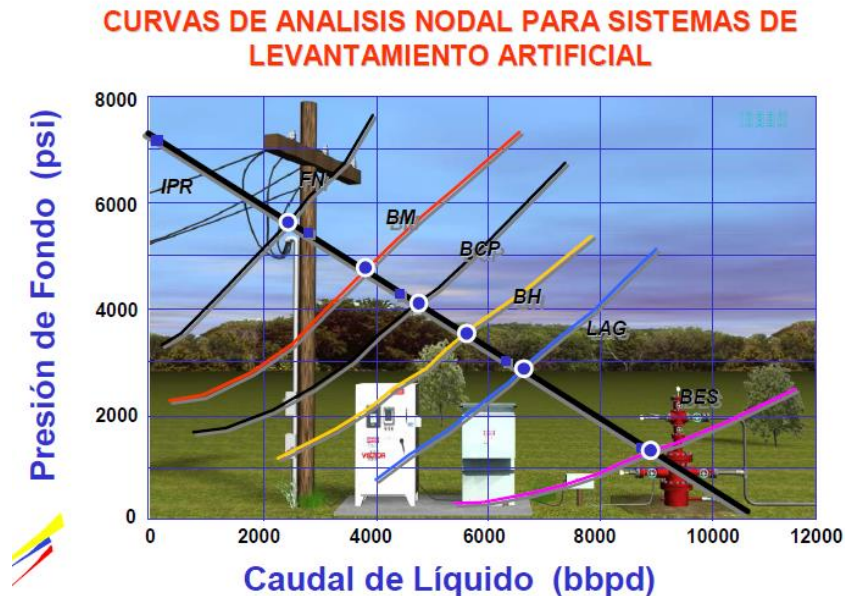
Figura 1. Método de levantamiento artificial



Fuente: Tomado de ACOSTA, Dianelis. “Desarrollo en tecnología artificial lift” [online]. Venezuela, 20 marzo 2008.

Dependiendo de las características del yacimiento (presión, caudal, profundidad, IPR etc.) Se utilizaría el sistema de levantamiento artificial más adecuado. Ver Figura 2.

Figura 2. Gráfico de Presión Vs Caudal



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC OIL & GAS. "Descripción General BES". Septiembre 2012.

De los tipos de sistema solo se va a profundizar sobre levantamiento artificial por bombeo electro sumergible (BES).

1.3 GENERALIDADES DEL SISTEMA ELECTROSUMERGIBLE.⁴

El bombeo electrosumergible es un método que se comenzó a utilizar en Venezuela en 1958, con el pozo silvestre 14 y fue introducido por REDA al final de los años 1920. Se considera un método de levantamiento artificial que utiliza una bomba centrífuga ubicada en el subsuelo para levantar los fluidos aportados por el yacimiento desde el fondo del pozo hasta la estación de flujo.

La técnica para diseñar las instalaciones de bombeo electrosumergible consiste en: seleccionar una bomba que cumpla los requerimientos de la producción deseada, y asegure el incremento de presión para levantar los fluidos, desde el pozo hasta la estación, y escoger un motor capaz de mantener la capacidad de levantamiento y la eficiencia del bombeo.

⁴ Bombeo electrosumergible (Vargas Edisalic) pp 2-3

Este es un método de levantamiento artificial altamente eficiente para la producción de crudos livianos y medianos; sin embargo, es uno de los métodos de extracción de crudo que exige mayor requerimiento de supervisión, análisis y control, a fin de garantizar el adecuado comportamiento del sistema.

Éste ha probado ser un sistema artificial de producción eficiente y económica. En la actualidad ha cobrado mayor importancia debido a la variedad de casos industriales en los que es ampliamente aceptado.⁵

En la industria petrolera, comparativamente con otros sistemas artificiales de producción tiene ventajas y desventajas, debido a que por diversas razones no siempre puede resultar el mejor. La potencia requerida por dicha bomba es suministrada por un motor eléctrico que se encuentra ubicado en el fondo del pozo; la corriente eléctrica, necesaria para el funcionamiento de dicho motor, es suministrada desde la superficie, y conducida a través del cable de potencia hasta el motor.

El Sistema BES representa uno de los métodos más automatizables y fácil de mejorar, y está constituido por equipos complejos y de alto costo, por lo que se requiere, para el buen funcionamiento de los mismos, de la aplicación de herramientas efectivas para su supervisión, análisis y control.

Los componentes del sistema electrosumergible lo comprenden: sensor, motor, sello, admisión (intake) o separador de gas, bomba y cable de potencia.

⁵ Edison Gil y Alexander Chamorro, Técnicas Recomendadas para el Aumento de la Producción en Campos Maduros.

Figura 3. Equipos del subsuelo y superficie del sistema electrosumergible.



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC OIL & GAS. “Descripción General BES”. Septiembre 2012.

1.3.1 Sensor. Es una herramienta de monitoreo en fondo que permiten realizar seguimiento al desempeño del motor y la bomba mediante la transmisión de los datos a superficie a través del cable de potencia. Las variables visualizadas en superficie son: Temperatura de succión (intake), temperatura de motor, presión de descarga, presión de succión (intake) y vibraciones del equipo en fondo.

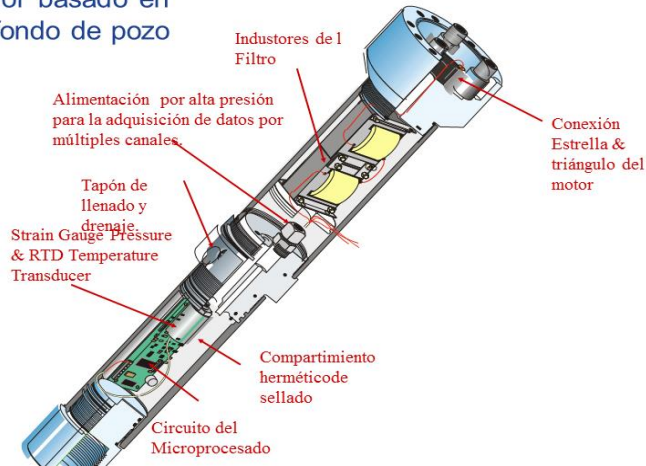
El sensor de fondo va instalado en la cola de motor y con los parámetros obtenidos podemos identificar los siguientes aspectos.⁶

- Punto de operación de la bomba.
- Toma de decisiones para incremento o decremento de frecuencia, y así prever problemas en el equipo de fondo.
- Observar presencia de elementos abrasivos.

⁶ Técnicas de producción, programa de inducción general de exploración y producción (WOOD GROUP) pp 59-70

Figura 4. Estructura Interna del sensor

Microprocesador basado en
Ensamble de fondo de pozo



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC OIL & GAS. “Descripción General BES”. Septiembre 2012.

1.3.2 Motor. Está diseñado de acuerdo a los requerimientos de potencia de cada etapa, el gradiente de fluido y la cabeza total dinámica (TDH *Total Dynamic Head*) a levantar. Estos motores son llenados con un aceite mineral altamente refinado y con alta resistencia dieléctrica. Son motores trifásicos, de inducción tipo jaula de ardilla y dos polos los cuales rotan a 3600 rpm a una frecuencia de 60 Hz. Los voltajes de diseño y operación de éstos motores pueden ser tan bajos como 230 voltios o tan altos como 4000 voltios. Los requerimientos de amperaje pueden ir desde 17 hasta 110 amperios.⁷

Tabla 1. Tamaños de Motor y Horse Power (HP) Nominal.

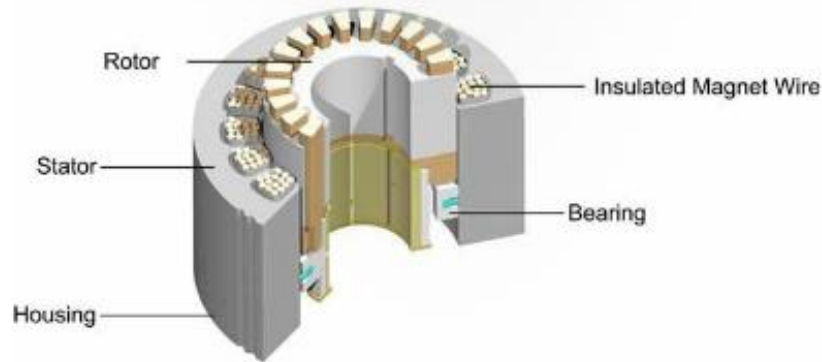
Diámetro del motor in	Rango de HP (a 60 Hz)	Tamaño mínimo de revestimiento in
3.75	8 – 195	4-1/2
4.50 – 4.56	10 – 306	5-1/2
5.40 – 5.44	18 – 750	6-5/8
5.62	18 – 920	7
7.25	100 – 1600	8-5/8
7.38	200 – 1020	8-5/8

Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. “Submersible Pump Handbook”. Ninth Edition 2009.

⁷ Técnicas de producción, programa de inducción general de exploración y producción (WOOD GROUP) pp 59-70

El motor de inducción está conformado por: Estator Bobinado, Rotor Jaula de Ardilla, Eje, Rodamientos y Carcaza. El campo magnético del estator, induce una corriente en las barras de cobre de la jaula de ardilla del rotor. Estas corrientes producen un campo magnético que se repele con el campo del estator provocando el giro del rotor.

Figura 5. Motor



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. “Submersible Pump Handbook”. Ninth Edition 2009.

Figura 6. Diseño interno del motor ESP

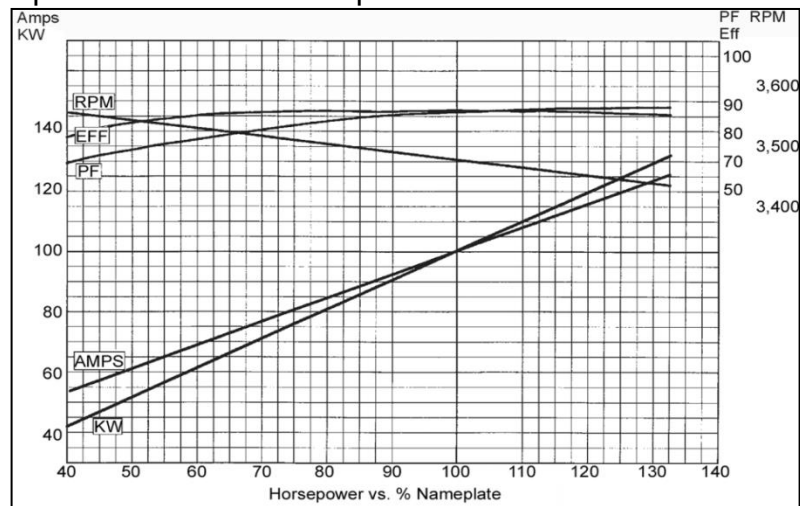


Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. “Submersible Pump Handbook”. Ninth Edition 2009.

El desempeño de un motor electro sumergible está caracterizado en la curva del fabricante. Un ejemplo se muestra en la figura 7. Las curvas representan el típico desempeño de un motor de una determinada potencia basado en el promedio de

múltiples pruebas. Para obtener la información de la curva, un motor es cargado con un amplio rango de potencia (HP/KW) mediante el uso de un dinamómetro. Dentro de la información incluida se tiene: Voltaje de tres fases, corriente, potencia, velocidad o RPMs, torque del motor, aumento de temperatura del motor y velocidad del fluido a través del motor. El amperaje del motor, las RPMs, eficiencia y aumento de temperatura son de gran importancia para el correcto uso de cualquier motor. Aunque el aumento de la temperatura de un motor es medido durante la prueba con dinamómetro, generalmente no está graficada en la curva característica del motor, debido a que, aunque es un parámetro crítico para el correcto uso del motor, su valor depende de las diferentes condiciones de la aplicación.

Figura 7. Ejemplo de curva de desempeño de un motor de BES



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. “Submersible Pump Handbook”. Ninth Edition. 2009.

1.3.2.1 Estator

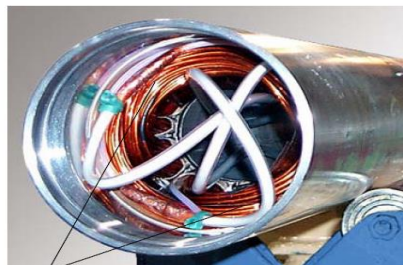
El estator está compuesto de tres partes fundamentales: bobinados eléctricos, sistema de rotación y sistema de transmisión del torque. El bobinado eléctrico está compuesto por miles de laminaciones de acero apiladas dentro de la carcasa, las cuales son comprimidas para sostener los elementos alineados y estáticos. Las laminaciones son perforadas con un hoyo central y con 18 agujeros para el alambre de cobre. Por el agujero central pasará el cuerpo metálico sólido (rotor) que genera el torque y por cada uno de los 18 agujeros en la periferia pasarán los alambres que hacen las bobinas, las cuales están aisladas con un material de poliamida de alta resistencia dieléctrica para proveer al motor de protección eléctrica.

Figura 8. Lámina de acero - conjunto de láminas prensadas



El alambre de cobre, llamado magneto es enrollado dentro de cada ranura para formar tres fases separadas en intervalos de 120 grados. El aislamiento del magneto provee protección eléctrica. También, al final de las laminaciones donde el alambre hace una vuelta de 180 grados, el aislamiento se ubica entre la primera fase de devanado y la carcasa del motor y luego entre cada fase protegiendo así de fallas fase-fase.

Figura 9. Bobinado del motor electrosumergible



Devanados

Fuente: Tomado de SCHLUMBERGER. “Curso avanzado ESP. 2006”.

1.3.2.2 Eje

Es el componente interno del motor electrosumergible que hace girar el sistema, transmite el torque producido por los rotores, mantiene todos los componentes de rotación alineados. La configuración del eje es hueco para la circulación del aceite dieléctrico a lo largo del motor, con la finalidad de brindar lubricación y enfriamiento. Los ejes son fabricados de diferentes materiales como el iniconel, monel, acero al carbón. Dentro de la optimización que se ha generado en la calidad de los ejes, existen en el mercado ejes desde estándar hasta ejes de alta resistencia.

1.3.2.3 Rotor

Idealmente, el rotor debe ser un componente continuo en función de la longitud de la laminación del estator. La longitud del estator, determina el número de rotores, lo que también determina la potencia (HP) de placa del motor para un diámetro dado. Dentro de cada longitud dada o HP, existen numerosas combinaciones en cuanto al voltaje/corriente (rangos de voltaje desde 440 a 4000V y corrientes desde 15 a 150 amperios)

En los motores ESP los rotores son construidos en segmentos cortos con rodamientos de soporte radial colocados entre sí para tener estabilidad dinámica. Se construyen uniendo cientos de delgadas láminas perforadas en su diámetro exterior, y colocadas entre dos anillos de bronce. Las barras de cobre que unen las láminas del rotor son insertadas en las perforaciones, y toda la pila se comprime y las barras del rotor están mecánicamente acopladas a los anillos finales. A partir de lo anterior se obtiene el rotor tipo jaula de ardilla. El diámetro central del rotor tiene una ranura axial para conectar al eje del motor. Esto asegura el rotor al eje para la transmisión de torque pero permite movimiento axial para crecimiento térmico.

1.3.2.4. Rodamientos radiales

La parte rotatoria del sistema está conectada al eje y gira con el mismo. Este tiene un diámetro externo (OD) que tiene una pequeña separación con el diámetro interno de la laminación del estator. En algunos diseños, un anillo de elastómero o llave de bloqueo está ubicada entre el rodamiento OD y dentro del diámetro del estator (ID) para prevenir o retrasar cualquier movimiento relativo. Si la rotación ocurre, el rodamiento puede comenzar a girar cerca al estator hasta entrar en contacto con los cables de fase y generar un corto circuito.

1.3.2.5. Cabeza del motor

La cabeza del motor contiene la terminación eléctrica para la conexión de tres fases hacia el cable de potencia. Esta conexión está hecha mediante cavidades de aislamiento bien sea mediante conectores macho/hembra o empalmes motor-cable de potencia. Adicionalmente, desde el punto de vista mecánico, un conjunto de rodamientos de empuje se encuentra en la cabeza, el cual está diseñado para soportar el peso del eje durante el arranque y mantener la posición axial de los rotores y rodamientos radiales respecto al estator.

Figura 10. Empalme motor- cable de potencia-rodamientos de empuje



Fuente: Tomado de SCHLUMBERGER. "Curso avanzado ESP. 2006".

1.3.2.6 Aceite dieléctrico

Es un aceite mineral o sintético que provee la lubricación y enfriamiento de los componentes internos del motor electrosumergible, está diseñado para trabajar a diferentes temperaturas. En toda aplicación del sistema BES siempre se debe usar aceite nuevo y abierto en el pozo cuando se empiece a realizar el servicio a los motores, ya que en un aceite dieléctrico expuesto a las condiciones atmosféricas existe un proceso de degradación del aceite dieléctrico, perdiendo sus propiedades dieléctricas y no es apto para la aplicación en el sistema BES.

1.3.3 Sello. Estos equipos también son llamados protectores o ecualizadores. Las principales funciones del sello se pueden dividir en mecánicas e hidráulicas.

Mecánicas

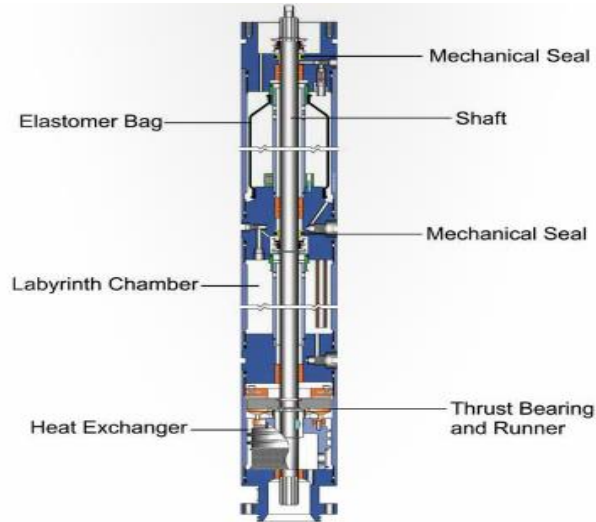
- Vinculo mecánico entre el motor y la bomba
- Absorbe los empujes descendentes y ascendentes de la bomba

Hidráulicas

- Mantiene la igualación de presiones entre el interior del motor y el espacio anular del pozo.
- Evita el ingreso de fluidos del pozo al interior del motor.
- Permitir la expansión del aceite dieléctrico del motor.

1.3.3.1 Partes del Sello

Figura 11. Parte de los Sellos



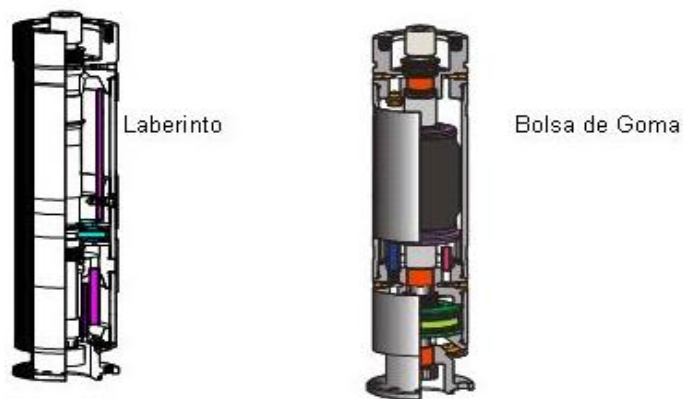
Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook". Ninth Edition. 2009.

1.3.3.2 Eje

La elección de los componentes del sello depende del fluido de pozo, su inclinación y la potencia (HP) a ser transmitida. Por lo tanto el eje del sello es determinante en esta escogencia. El principal factor es el diámetro del mismo y el tipo de acero, que determina la capacidad de transmisión del torque, así como su resistencia al fluido del pozo con el que está en contacto en la cabeza.

1.3.3.3 Tipos de Cámaras

Figura 12. Tipos de cámaras ESP



Fuente: Tomado de VARGAS Edisalic. "Bombeo Electrosumergible". [online] Catedra. Universidad de oriente. Barcelona, 2008.

- Cámaras laberínticas.

Estas cámaras son una interface entre el fluido del pozo y el aceite del motor. Está configurada para tener fluido que forma una “U” como camino para el fluido desde la base de la cámara hasta el fondo.

- Cámaras de bolsas.

Esta cámara incorpora una barrera protectora, hecha en forma de bolsa de material especial, entre el fluido del pozo (parte externa de la bolsa) y el aceite del motor (parte interna de la bolsa), aislando de esta manera el aceite del motor del el fluido del pozo.

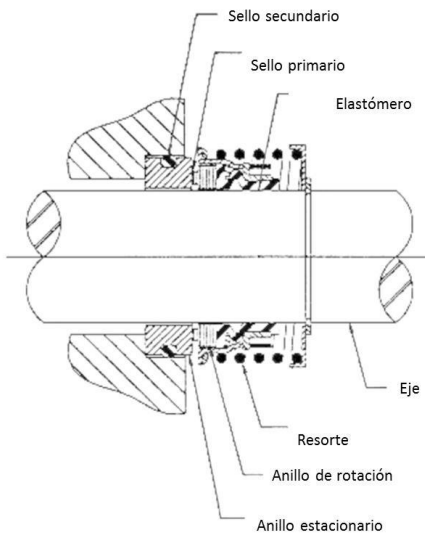
1.3.3.4 Sellos mecánicos

Están ubicados en el tope de cada cámara del protector, sobre el eje del mismo. Su función es aislar por medio de un sello elastomérico el paso de cualquier fluido hacia abajo por la gravedad. Para ello utiliza un resorte precargado que mantiene las partes rotatorias y estacionarias unidas. Una vez, la unidad comienza a rotar, una película hidrodinámica se crea en la cara del sello, previniendo que el fluido del pozo pase a la siguiente cámara sin que le impida transportar la carga axial.

Figura 13. Sellos mecánicos



Figura 14. Sellos mecánicos



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Pump Handbook". Ninth Edition. 2009.

1.3.3.5 Cojinete de empuje Axial

Estos cojinetes soportan la carga axial producida por las etapas de la bomba.

1.3.3.6 Características de desempeño

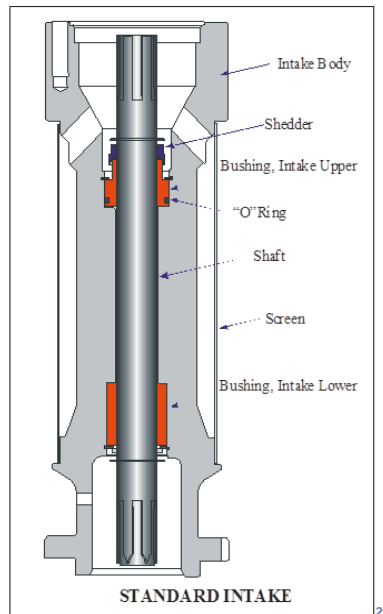
El sello no solo estabiliza el torque durante la corrida, sino que también lo hace con el causado por el arranque y por las cargas intermitentes en la bomba. Cuando el ESP arranca, la temperatura interna aumenta hasta alcanzar un punto de estabilización propio del funcionamiento mecánico de los componentes. Durante esta estabilización efectúa el venteo del volumen de aceite expandido. Una vez alcanza la estabilización el venteo finaliza y el sello y el motor trabajan a presión igual. El siguiente evento importante es cuando el equipo se apaga. En este punto la temperatura del aceite del motor comienza a caer desde la temperatura de operación a la temperatura, interna del pozo. Simultáneamente, el aceite interno del motor y del sello se enfría comprimiéndose y reduciendo su volumen, permitiendo el ingreso del fluido del pozo pues la presión externa del fluido del pozo se ha incrementado por un mayor nivel de fluido sobre el equipo. De esta manera se logran equilibrar las presiones y dejar el equipo en estado mecánico estable para un próximo arranque. Sin este elemento sería riesgoso arrancar nuevamente el ESP, ya que el interior del mismo estaría a mayor presión que el exterior y causaría daños en el funcionamiento, especialmente en la lubricación de las partes giratorias.

1.3.4 Separador de Gas o Intake

1.3.4.1 Intake

Cumple con las funciones de permitir el ingreso de los fluidos del pozo a la bomba y transmitir el movimiento del eje del sello al eje de la bomba

Figura 15. Estructura y parte del *intake*

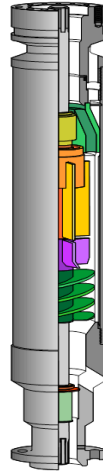


Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC. “Curso Avanzado ESP”. Año 2012.

1.3.4.2 Separador de gas

- Elimina la mayor cantidad de gas en solución (mayor o igual al 200 PCS/Bbl) ya que reduce la cantidad de gas libre al pasar por la bomba.
- Permite el ingreso de fluidos al interior de la bomba.
- Previene la cavitación a altas tasas de flujo.
- Evita las fluctuaciones de carga del motor debido a los ciclos causados por la interferencia de gas severo.
- Aumenta la vida del pozo con un exclusivo diseño de rotor cubierto

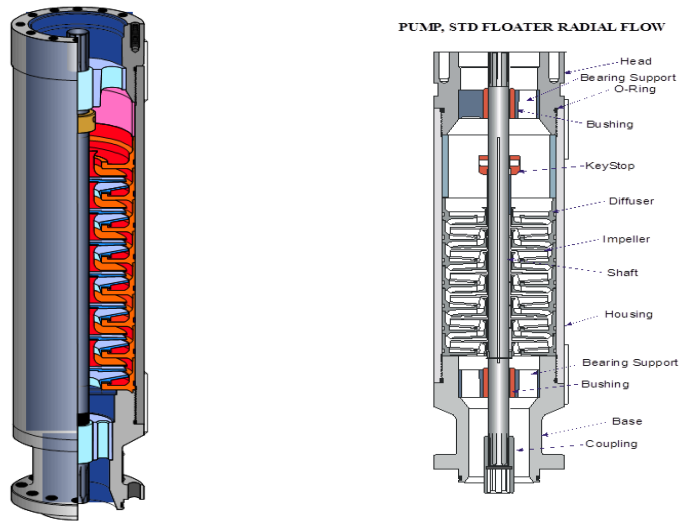
Figura 16. Estructura separador de gas



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC. Curso Avanzado ESP. Año 2012.

1.3.5 Bomba

Figura 17. Partes de la bomba ESP



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC. "Curso Avanzado ESP". Año 2012.

Tabla 2. Diámetro De Bomba y Tasa De Flujo

Tamaño mínimo de revestimiento in	Diámetro de la bomba in	Tasa de flujo mínima BFPD (a 60Hz)	Tasa de flujo máxima BFPD (a 60Hz)
4-1/2	3.38	550	3100
5-1/2	4.00	150	6800
6-5/8	5.13	750	12000
7	5.38	900	18400
7-5/8	5.62	9500	24000
8-5/8	6.75	5000	46000
10-3/4	8.75	10300	32200
13-3/8	10.25	19200	58900

Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook". Ninth Edition. 2009.

1.3.5.1 Partes de la bomba

A. Eje

El eje de la bomba es conectado a la cámara del sello, a través de un *coupling* ranurado permitiendo la transmisión del movimiento rotacional desde el motor a los impulsores de las etapas de la bomba. El eje y los impulsores están unidos por una pieza cuadrada entre los dos elementos para evitar deslizamientos de una pieza sobre la otra (chaveta). Esta transmite el torque de carga a los impulsores. El diámetro del eje se disminuye tanto como sea posible debido a las restricciones ubicadas en el diámetro externo de la bomba.

B. Carcasa

La carcasa es el contenedor de presión de la bomba. Esta sostiene y alinea todos los componentes. Existen muchos materiales disponibles, acorde a los diferentes ambientes de trabajo.

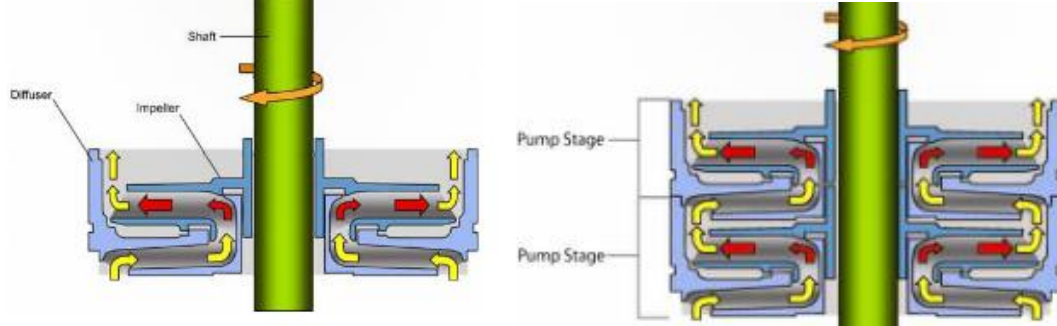
C. Conexión de flange a la sección del sello

Mantiene el alineamiento axial del eje entre el sello y la bomba. También permite que el eje de la bomba flotante se acople al extremo del eje del sello de modo que el empuje axial producido por la bomba se transfiere al cojinete de empuje en la sección de la cámara del protector.

D. Etapas

Las etapas de la bomba son los componentes que imparten presión al fluido. Están ubicadas en serie para incrementar la presión del fluido hasta alcanzar el valor calculado para cada caso de acuerdo con el flujo manejado. La etapa está conformada por un impulsor que rota y un difusor que permanece estático.

Figura 20. Fluido a través de la etapa

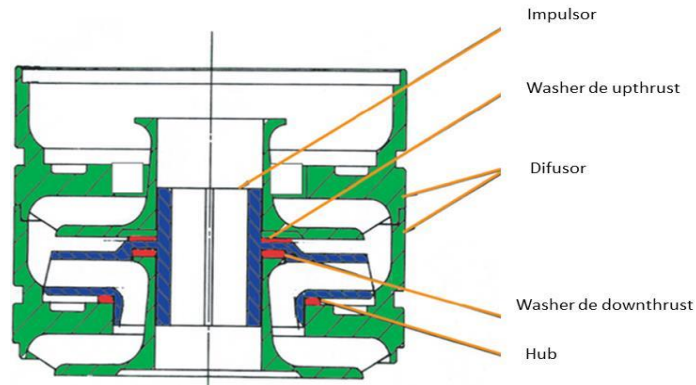


Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

Existen tipos de etapas.

- Etapa radial. Por su geometría en los pasajes de flujo del impulsor y el difusor, el flujo entra paralelo al eje y sale perpendicular al eje o en dirección radial. Ver Figura 21.

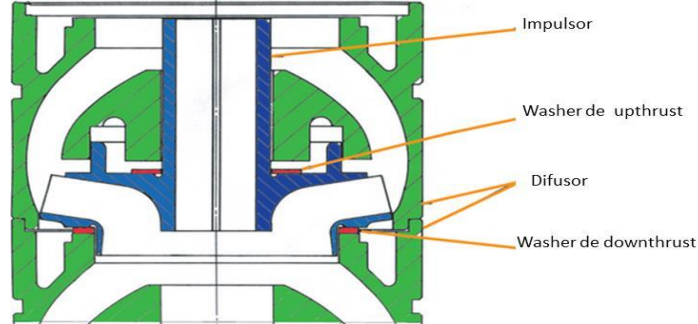
Figura 21. Etapa de flujo radial



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

- Etapa mixta. Por su geometría el flujo sale del impulsor con un ángulo, que varía de acuerdo al diseño de la etapa. Ver Figura 22.

Figura 22. Etapa de flujo mixto



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

1.3.5.2 Clasificación de las bombas

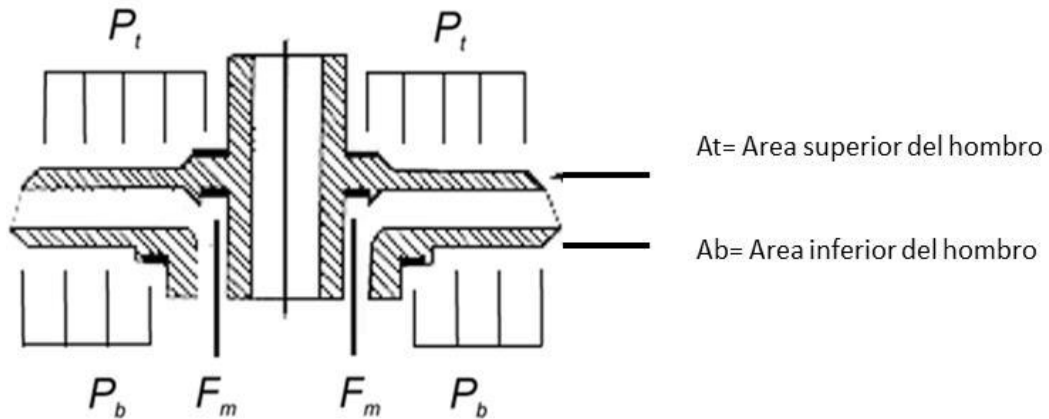
A. Bombas flotadoras.

En estas, los impulsores pueden moverse axialmente en el eje entre los difusores. Típicamente corren en *downthrust*, y a altas tasas de flujo se pueden mover en *upthrust*. Para soportar este empuje, cada impulsor tiene un *washer* sintético que está montado en la superficie inferior y superior de los mismos.

Tres fuerzas están envueltas en determinar si el impulsor corre en *downthrust* o *upthrust*. El primero es la fuerza descendente y es un resultado de la presión de descarga del impulsor actuando en el área del tope del hombro del impulsor.

Dos fuerzas actúan en la dirección ascendente. Una es un resultado de una porción de la presión de descarga del difusor actuando contra el fondo del hombro del impulsor. La segunda es la fuerza producida por el momentum del fluido haciendo una vuelta en el pasaje del impulsor. Debido a que el eje puede moverse y posicionarse en contacto con el eje de la cámara del sello la presión del fluido causa una carga de empuje a través del eje al *thrust bearing* del sello. El empuje es el resultado de la fuerza en el tope del eje (presión de descarga multiplicada por el área del eje) menos la fuerza en el fondo del eje (presión de intake multiplicada por el área del eje). Una descripción gráfica se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Fuerza de empuje sobre las etapas



P_t : Fuerza descendente

P_b : fuerza ascendente

F_m : Fuerza producida por el Momentum del fluido

Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

B. Bombas compresoras

Los impulsores están usualmente fijos al eje. Estas bombas se llaman de impulsores fijos o compresoras ya que toda la carga es transferida al eje y no a los difusores. El *thrust bearing* del sello lleva la carga de todos los impulsores más la carga del eje.

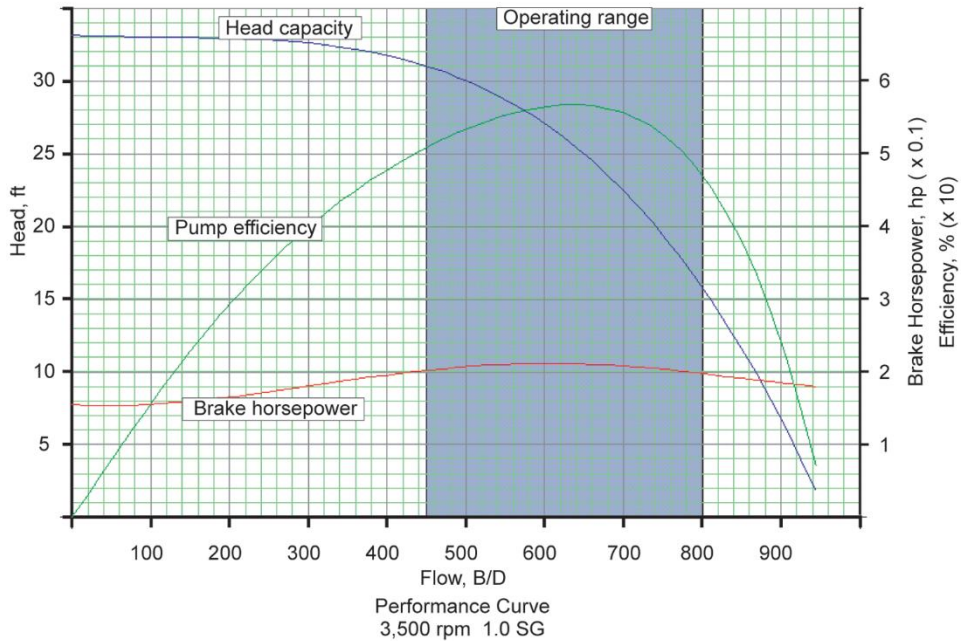
Para mantener el óptimo flujo entre el impulsor y el difusor, el impulsor es diseñado para mantener la posición de *downthrust* a través de su operación. Usualmente el impulsor no transfiere *upthrust* sino hasta que el punto de operación está a la derecha de su punto de operación recomendado.

C. Características de desempeño.

Una curva típica para una bomba de 4" de diámetro con un punto de mejor desempeño a 650 BFPD se muestra en la figuras 24 y 25 un flujo mixto de 6,000 BFPD.

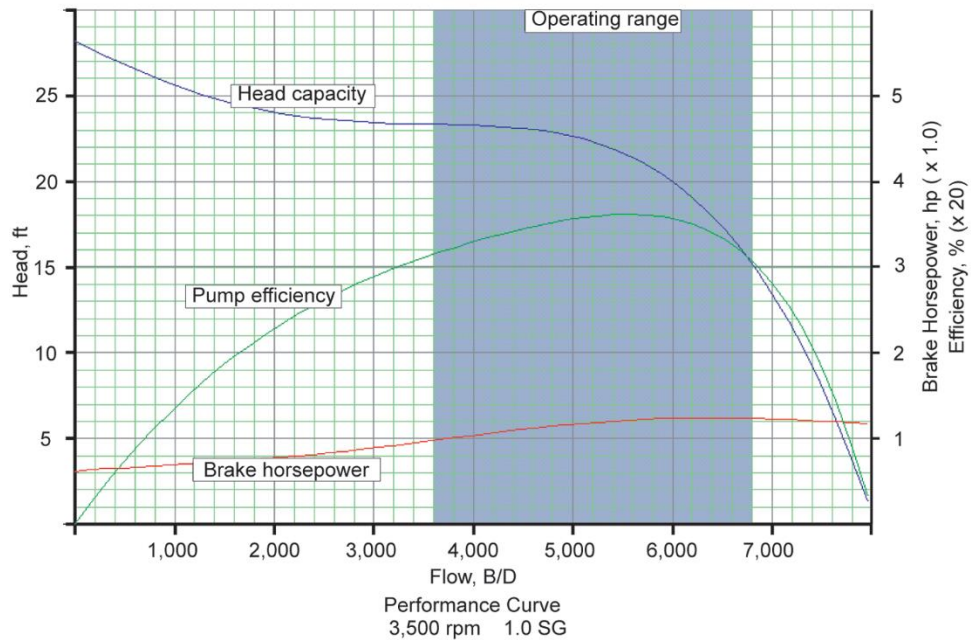
En estas gráficas las variables de cabeza, *brake horsepower* (BHP) y eficiencia de la etapa están graficadas contra la tasa de flujo en el eje x.

Figura 24. Curva típica para una bomba de 4" con un punto de mejor desempeño a 650 BFPD



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

Figura 25. Curva típica para una bomba de flujo mixto de 6000 BFPD



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

La curva *head/flow* (Figuras 24 y 25) muestra la cabeza o levantamiento medido en pies que puede ser producido por una sola etapa. Debido a que la cabeza es independiente de la gravedad específica del fluido, la bomba produce la misma cabeza con todos los fluidos, excepto aquellos que son viscosos o tienen gas libre en la entrada. El área coloreada es la recomendada para operación por el fabricante. El punto de mejor eficiencia está entre estos dos puntos y donde está el pico de la curva de eficiencia. El mínimo punto es usualmente localizado donde la curva está creciendo antes de llegar a ser plana o caer en un *downthrust* aceptable para la capacidad del *thrust washer*. La ubicación del punto máximo se basa en mantener el impulsor en un balance de cabeza producida y eficiencia.

1.3.6 Cable de Potencia. Es un cable de tres fases que transmite la potencia desde superficie hasta el motor. Se asegura con bandas o clamps a la tubería de producción y está construido para las condiciones de fondo especialmente de presión y temperatura.

1.3.6.1 Partes de Cable

A. Conductor

Los conductores son alambres de cobre sólidos, o de múltiples hebras que están cubiertos por una delgada capa de estaño/plomo.

B. Aislamiento

Existen dos tipos básicos: propileno y caucho sintético de monómero de etileno propileno dieno (EPDM por sus siglas en inglés). El primero soporta temperaturas hasta de 205F (96C) y el segundo hasta de 450F (232C).

C. Chaqueta

La chaqueta está diseñada para proteger el aislamiento del daño físico. En el cable redondo llena el espacio entre los conductores y el interior de la armadura.

D. Armadura

La armadura metálica que está enrollada alrededor de los conductores aislados (cable plano) o de los conductores enchaquetados (cable redondo) tiene como función primaria proveer protección mecánica a los conductores. En el cable redondo protege además del hinchamiento y la descompresión.

1.3.6.2 Tipos de Cable

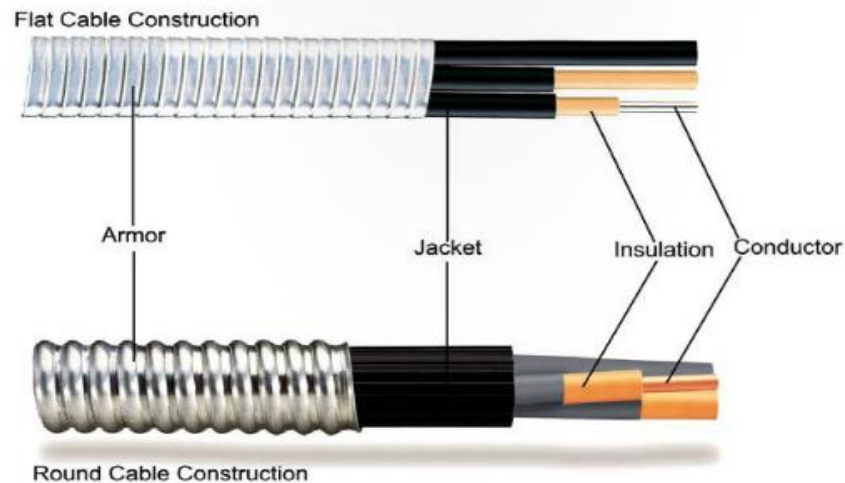
A. Cable plano

Tiene los tres conductores aislados paralelos con la armadura envuelta sobre ellos lo que da un perfil pequeño en caso que el espacio entre el diámetro interno del revestimiento y el diámetro externo del equipo ESP y/o la tubería de producción sea limitado.

B. Cable redondo

El cable redondo provee mayor protección a los conductores respecto al plano, debido a que soporta ciertas fuerzas de descompresión e hinchamiento sin afectarse. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Debido a que la resión está hecha sobre una superficie redonda y el espacio entre los aislamientos y la parte interna de la armadura está llena con material de la chaqueta, se previene la expansión causada por hinchamiento del aceite o descompresión del gas.

Figura 26. Esquema de cable plano y redondo



Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

C. Motor lead extension (MLE)

Es un cable plano, especialmente construido que se conecta a la conexión eléctrica del motor y se empalma a la parte inferior del cable de potencia (redondo o plano). Se asegura al cuerpo del equipo ESP desde la cabeza del motor, hasta la descarga de las bombas, siendo su longitud variable de acuerdo con la longitud del ESP. Normalmente tiene una delgada capa de poliamida de alta resistencia dieléctrica sobre los conductores de cobre.

Figura 27. Motor Lead Extension (MLE)



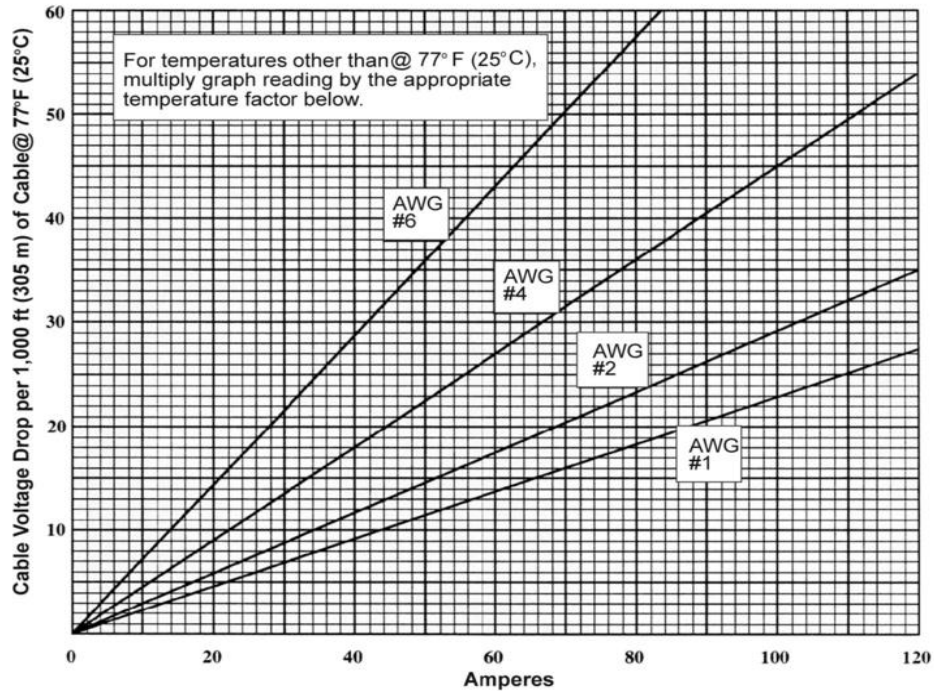
Fuente: Tomado de BAKER HUGHES CENTRILIFT. "Submersible Pump Handbook. Ninth Edition. 2009.

1.3.6.3 Caída de Voltaje

Debido a la resistencia del conductor, existe una caída de voltaje a través del cable desde la superficie hasta los terminales de los motores. La figura 28 establece cuánto voltaje se pierde para diferentes conductores de acuerdo con su denominación AWG y el amperaje que circula por el conductor. Las pérdidas se expresan en voltios por cada 1000 pies. Estas pérdidas deben ser corregidas de acuerdo con la temperatura. Para determinar la temperatura del conductor, se usan las cartas de ampacidad como las de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

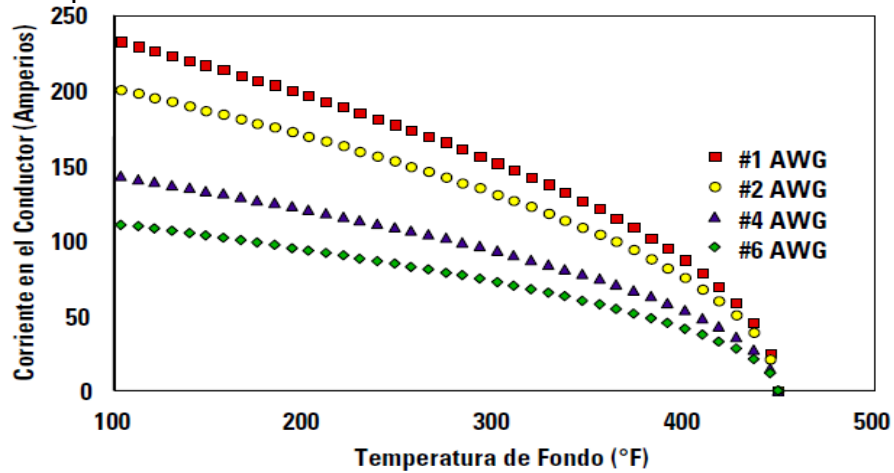
Una vez se calcula la caída de voltaje, se puede calcular el voltaje disponible en las terminales del motor (voltaje en superficie menos caída de voltaje). Si el voltaje entregado es menor que el nominal del motor, se tendrán problemas para el arranque del equipo.

Figura 28. Caída de voltaje en el cable de potencia



Fuente: BAKER HUGHES CENTRILIFT. “Submersible Pump Handbook”. Ninth Edition. 2009.

Figura 29. Capacidad de corrientes



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC. “Curso Avanzado ESP”. Año 2012.

1.3.7 Variador. Es un dispositivo de potencia que permite controlar la velocidad de un motor de inducción al variar la frecuencia y el voltaje aplicado. Esto hace

posible que, sin modificar el equipo de fondo se pueda satisfacer un conjunto de condiciones de operación.

El variador protege el motor de bajos voltajes y desbalances, los cuales le causan un calentamiento adicional, además, un desbalance de voltaje causa vibraciones en el motor, las cuales pueden dañar el sello y/o la bomba.

- Optimiza el rendimiento del conjunto motor bomba controlando los parámetros de operación.
- Se obtiene la producción más cercana a los objetivos para el pozo y/o campo.
- Se optimiza el uso de la energía eléctrica mediante la operación a la máxima eficiencia posible del sistema.
- Se incrementa la vida útil del motor al disminuir los choques mecánicos y eléctricos asociados con un arranque directo, al disponer de suaves (“softstart”).
- Aísla el sistema de fondo de las perturbaciones eléctricas en la red de distribución.

Figura 30. Variador ESP



Fuente: Tomado de WOOD GROUP. “Técnicas de Explotacion ESP”.

1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLE

Ventajas

- Eficiencia del 50% para pozos con altas ratas 100 a 30000BPD
- Maneja altos cortes de agua

- Profundidad >7500ft
- Aplicable a pozos desviados
- Aplicables costa afuera
- Su vida útil puede ser muy larga.
- No causan destrucciones en ambientes urbanos
- Fácil aplicación de tratamientos contra la corrosión y formaciones de escamas.
- No tiene casi instalaciones de superficie a excepción de un control de velocidad del motor.
- La motorización es eléctrica exclusivamente y el motor se encuentra en la bomba misma al fondo del pozo.
- Su tecnología es la más complicada y cara pero son preferidas en caso de tener que elevar grandes caudales.

Desventajas

- Pobre manejo del gas
- No se aconseja para caudales bajos
- Limitado por el tamaño del *casing*
- Para resolver daños en la unidad se debe realizar un servicio al pozo
- Inversión inicial muy alta.
- Alto consumo de potencia.
- No es rentable en pozos de baja producción.
- Los cables se deterioran al estar expuestos a temperaturas elevadas.
- Susceptible a la producción de gas y arena.
- Su diseño es complejo.
- Las bombas y motor son susceptibles a fallas.

2. HISTORICOS DE FALLAS EN EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES

En la actualidad el desarrollo de la industria del petróleo tiene como objetivo mantener y optimizar la producción de petróleo, a menor costo y tiempo.

Este capítulo está enfocado en conocer la importancia que tiene el análisis de las fallas que generalmente se presentan en equipos electrosumergibles.

Por lo general los servicios requeridos en los pozos son causados por desgaste o falla de las partes que componen el sistema de electrosumergible instalado, las paradas programadas o acondicionamiento del pozo. El desgaste se puede presentar ya sea por la vida útil o por las condiciones operativas a las cuales el equipo se encuentra expuesto incluyendo las bombas y todas las partes móviles.

Las bombas electrosumergibles cuentan con un sensor de fondo, para el monitoreo interno de las condiciones del pozo y del equipo, que permite al operador lograr identificar a tiempo una falla, tomar medidas correctivas y recuperar las condiciones normales del pozo y de la bomba.

Generalmente se deben cumplir ocho actividades para llevar a cabo el ciclo de vida del equipo y así tener alta confiabilidad y que este cumpla con las funciones predeterminadas de acuerdo a las condiciones definidas.

Las ocho actividades se describen a continuación:

- **Diseño:** Esta es una actividad que se enfoca en el área de ingeniería, donde se realiza un dimensionamiento y la selección de materiales especiales de acuerdo a las condiciones de proceso.
- **Fabricación:** Comprende la producción, inspección de las partes del equipo, y pruebas para luego ser despachado.
- **Instalación:** Está enfocado a la ejecución de los procedimientos de campo, personal idóneo y soporte técnico.
- **Arranque:** Esta actividad consisten en la puesta en servicio del equipo en compañía y de acuerdo a los procedimientos establecidos por el cliente final.
- **Operación:** En esta actividad se debe tener personal competente para llevar a cabo la operación del equipo con normalidad.
- **Pulling:** Está enfocado a la desinstalación del equipo BES con el fin de constatar y evidenciar por que el equipo presenta falla y ayude a determinar la causa raíz.

- Tear Down y análisis: este es un procedimiento que se realiza bajo la normatividad API, con el fin de realizar un análisis de las fallas y así generar recomendaciones y acciones correctivas.
- Diseño o Modificación de procedimientos: Esto se realiza como medida correctiva para realizar un análisis de falla de los equipos y posibles modificaciones al diseño inicial de los equipos BES.

2.1 PRINCIPALES PARTES QUE PRESENTAN FALLA EN BES

2.1.1 Bomba. Las fallas en la bomba generalmente ocurren por producción de arena en los pozos donde se observa:

- Desgaste de las etapas.
- Taponamiento en las etapas por la presencia de arena.
- Rotura del eje por mala operación al desbloquear la bomba.
- Baja eficiencia debido al tiempo de vida de la bomba.

2.1.2 Motor Eléctrico. Las fallas en el motor ocurren habitualmente por falla eléctrica, debido a:

- Insuficiente fluido en movimiento para refrigerar el motor.
- Condiciones de gravedad específica del fluido de pozo errada para el diseño, provocando excesiva carga en el motor.
- Desgaste en la bomba que causa vibración y fugas en los sellos o protector permitiendo que los fluidos del pozo entren al motor.
- Falla en los diferentes equipos que controlan el motor eléctrico.

2.1.3 Sello Protector. Las fallas del sello o protector pueden ocurrir por:

- Desgaste de los sellos mecánicos del sello por vibración en la bomba y/o rompimiento de las partes cerámicas.
- Servicios inapropiados en la instalación de la unidad
- Numerosos ciclos de trabajo del sello, haciendo que las cámaras se contaminen.
- Mala calidad de energía

2.1.4 Cable de Potencia. Las fallas en los cables suceden por daños mecánicos de su parte exterior produciendo corto eléctrico entre fases.

- Daños interior en los empalmes
- Deformación por mal manejo
- Retorsión del cable
- Ambientes con altas temperaturas

- Carga amperaje en el cable equivocada.

2.1.5 Factores Externos. Los problemas operaciones se pueden causar por factores que no son propios del equipo de fondo, influyen en el funcionamiento del sistema y causando que se reduzca el tiempo de vida del equipo, como son:

- Mala instalación, debido a procedimientos errados.
- Equipos con imperfecciones o que no se encuentre bajo normatividad de calidad.
- Condiciones climática asociadas a tormentas que puedan generar fallas en la instalación del sistema electrosumergible.
- Sistema eléctrico defectuoso, por desfase entre la corriente no balanceada de las fases no debe exceder 5%.
- Parámetros de yacimientos errados para el diseño
- Condiciones de pozo con insuficiente fluido en movimiento o altas temperatura.

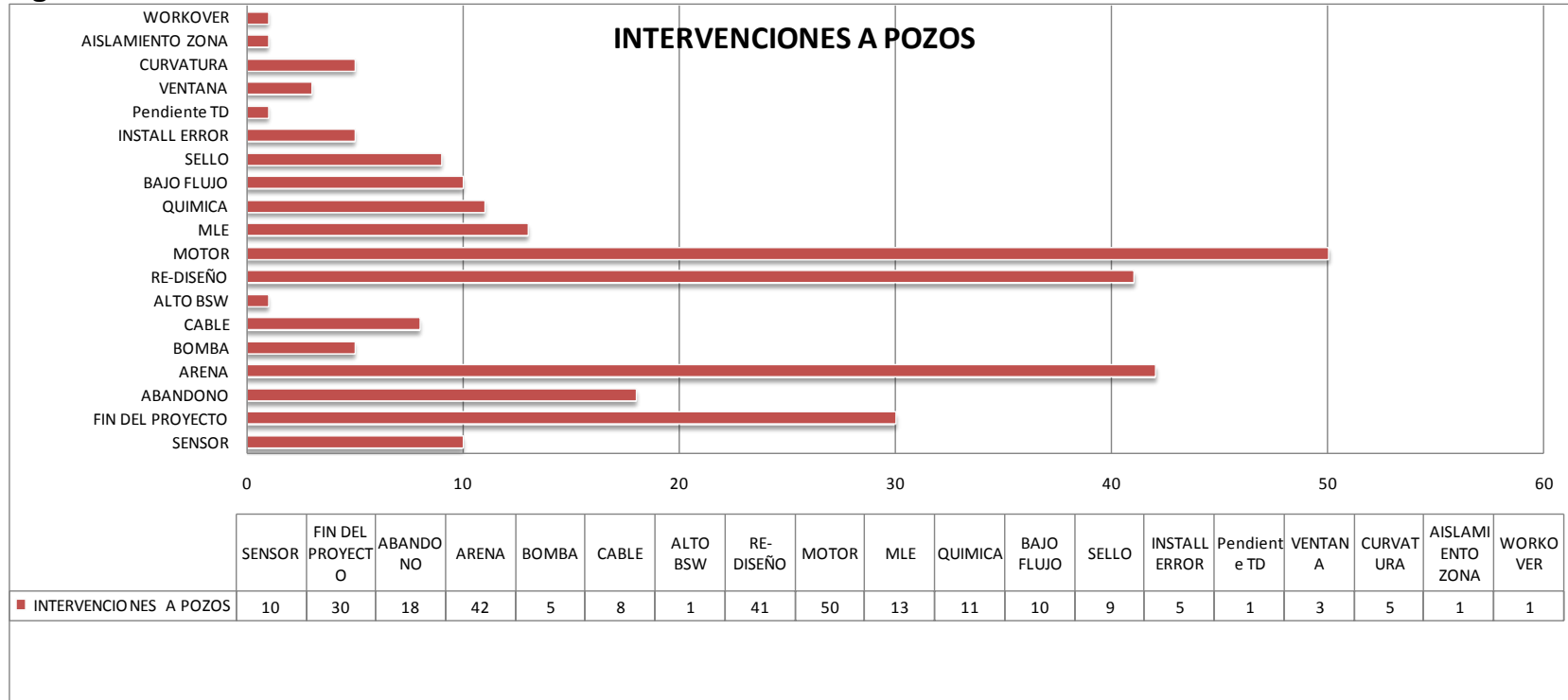
2.2 INTERVENCIONES A POZOS

Para dar inicio al capítulo de fallas de los equipos electrosumergibles es importante tener los datos de parámetros de los equipos, el comportamiento de fallas y pérdidas, que nos aporte información para realizar un análisis de cada uno de los componentes del sistema de BES.

En el anexo 1 (Los datos son tomados de un archivo estadístico de una empresa que presta servicios ESP reconocida en el sector de hidrocarburos) se encuentran relacionados 264 pozos y las razones por las cuales se le realizó servicio de *pulling*.

El campo al cual se le realizó el estudio está ubicado en los llanos orientales Colombianos, y las características de crudo es de tipo pesado ($^{\circ}$ API 12-14), por tema de confidencialidad no se mencionará su nombre.

Figura 31. Intervenciones a 264 Pozos



De acuerdo a la Figura 31 se intervinieron 264 pozos por diferentes causas, no todas las intervenciones fueron por fallas en el sistema electrosumergible (Fin del proyecto, arena, rediseño, abandono, ventana, química) estas se presentan a causa de:

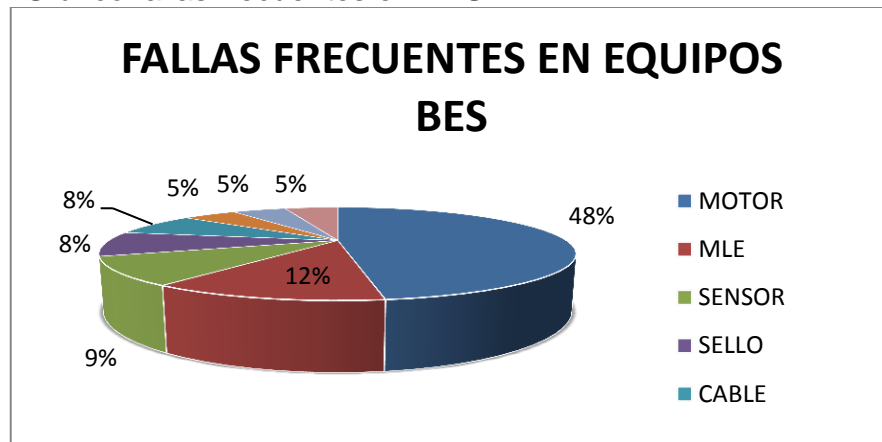
- Fin del proyecto: Finaliza pruebas PLT (Herramienta de registro de producción). Procedimiento aplicado en campo con el fin de llevar a cabo una evaluación de parámetros y realizar una adecuada caracterización del yacimiento.
- Arena: Pozo con presencia de sólidos, más del 80% de los componentes de los fluidos de fondo son abrasivos, estos abrasivos son la causa predominante de falla en los equipos de fondo. Se realiza *pulling* con el fin de realizarle trabajos al pozo y así prevenir fallas prematuras en los componentes internos de la bomba.
- Rediseño: Cambio de sistema de levantamiento artificial o cambio de la bomba electrosumergible por una bomba de mayor o menor caudal.
- Química: Tratamiento orgánico. Este proceso mitiga los daños en la formación, que hayan ocurrido durante la perforación, terminación, completamiento o durante su vida productiva, en otros casos se utiliza el tratamiento orgánico para reactivar la producción de un pozo.
- Abandono: Alto BSW. Se refiere a los sedimentos de fondo y agua, no libres, contenidos en los hidrocarburos líquidos, esta propiedad es de gran importancia para determinar la calidad del crudo.
- Ventana: Workover por apertura de otra zona productiva.

De acuerdo a lo anterior y a los históricos de los 264 pozos las fallas más frecuentes que se presentaron en los equipos electrosumergibles fueron:

Tabla 3. Fallas frecuentes en BES

FALLA	CANTIDAD	PORCENTAJE
MOTOR	50	48%
MLE	13	12%
SENSOR	10	9%
SELLO	9	8%
CABLE	8	8%
BOMBA	5	5%
INSTALL ERROR	5	5%
CURVATURA	5	5%

Figura 32. Gráfico fallas frecuentes en BES



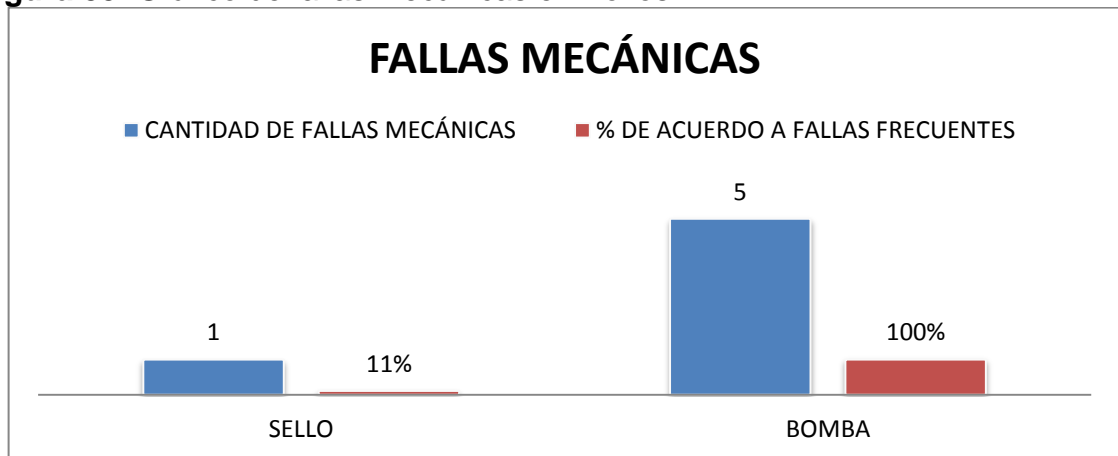
Como se puede evidenciar en el gráfico 32, de los 264 pozos 105 pozos presentaron fallas en algún componente del sistema electrosumergible y de acuerdo a esto se puede deducir que las fallas más frecuentes se presentaron en el motor, MLE y sensor. El sistema electrosumergible es susceptible principalmente a fallas eléctricas y mecánicas.

2.2.1 Fallas Mecánicas. Todos los equipos BES son muy sensibles a los daños mecánicos principalmente los equipos de fondo, ya que por su configuración cilíndrica cualquier personal lo puede confundir con cualquier tubo de producción. Un motor BES tiene un estator cubierto con epoxi que al ser golpeado, la resina se quiebra ocasionando canalizaciones y al energizar el motor puede causar problemas y definitivamente el tiempo de vida útil se reduce. De los 105 pozos que presentaron falla, 6 de estos fueron a causa de problemas mecánicos.

Tabla 4. Pozos con fallas mecánicas

TIPO DE FALLA	FALLA MECÁNICA	PORCENTAJE %
SELLO	1	11%
BOMBA	5	100%

Figura 33. Gráfico de fallas mecánicas en Pozos



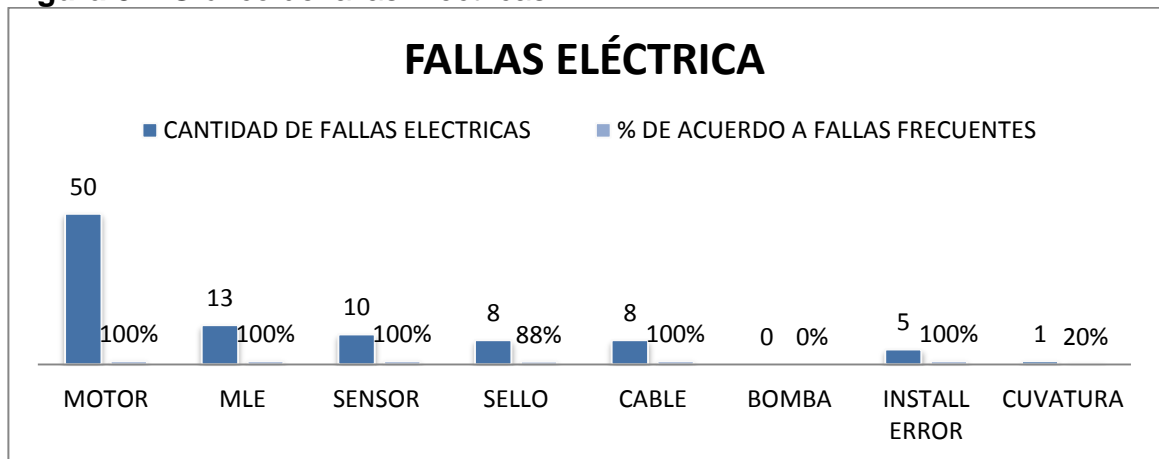
- **Bomba:** Las fallas registradas en la bomba BES se deben a problemas mecánicos ya que la mayoría de pozos producen sólidos (arena), las interrupciones eléctricas son tremendamente negativas ya que la arena tiende a precipitarse sobre las etapas de la bomba y esto va a ocasionar problemas de arranque, atascamientos de eje y en algunos casos rotura del eje.
- **Sello:** La presencia de arena en la bomba puede ocasionar desgaste prematuro en las etapas, excesos de vibraciones transmitidos al eje de la bomba, fugas en el sello mecánico de la sección del equipo SELLO, fallas en el motor debido a la migración de fluido desde los sellos y en general falla prematura en los equipos BES.

2.2.2 Fallas Eléctricas. Todos los equipos y accesorios eléctricos tales como cable de extensión del motor (MLE), penetradores, cintas de empalme, elastómeros, etc. Durante el transporte, almacenamiento y en el pozo deben de estar lo suficientemente protegidos contra la lluvia, humedad, aceites. Para evitar fallas prematuras como consecuencia de usar accesorios eléctricos en mala condición. Cuando se realice el servicio de sellos (llenado con aceite dieléctrico) se debe contar con condiciones climáticas óptimas.

Tabla 5. Fallas eléctricas

TIPO DE FALLA	FALLA ELÉCTRICA	PORCENTAJE %
MOTOR	50	100%
MLE	13	100%
SENSOR	10	100%
SELLO	8	88%
CABLE	8	100%
BOMBA	-	0%
INSTALL ERROR	5	100%
CUVATURA	1	20%

Figura 34. Gráfico de fallas Eléctricas



Las Fallas eléctricas en los equipos BES pueden ser comunes, ya que cuando se detiene un equipo, proceden a arrancar un equipo repetidamente, sin tener en cuenta las consecuencias en el equipo de fondo, en el cable de potencia, cable de extensión, empalmes, conexiones en el motor, altos torques.

Dentro de la parte eléctrica deberemos tener en cuenta que tanto el motor, los cables y el resto del sistema eléctrico tienen rangos permisibles máximos de corriente, voltaje y es justamente en los arranques en donde se presentan corrientes puntuales máximas y si son repetitivas, esto puede ocasionar daño en cualquier punto del sistema eléctrico, más aún se agrava el problema cuando no se ha realizado un ajuste apropiado de los parámetros de control y de protección en el variador de frecuencia.

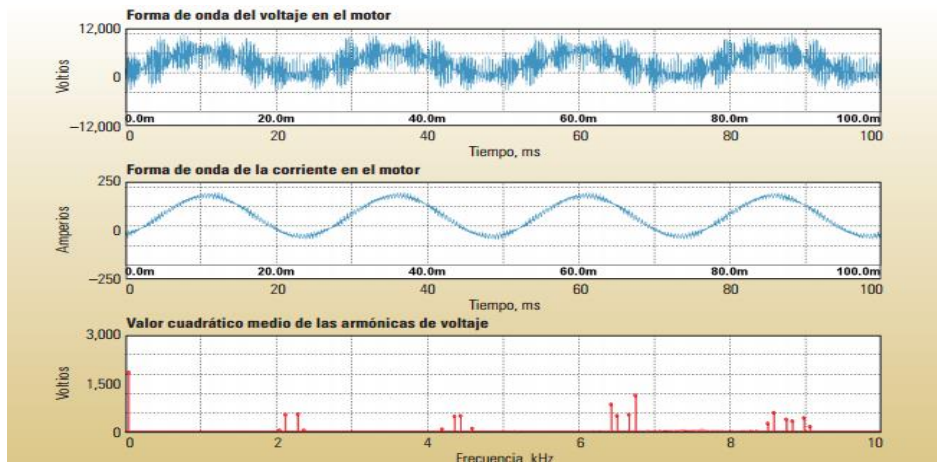
Las principales causas que se presentaron en los componentes del sistema BES fueron las siguientes:

A. Motor

Las fallas en el motor eléctrico en un gran porcentaje se deben a cortocircuitos entre los que se encuentran:

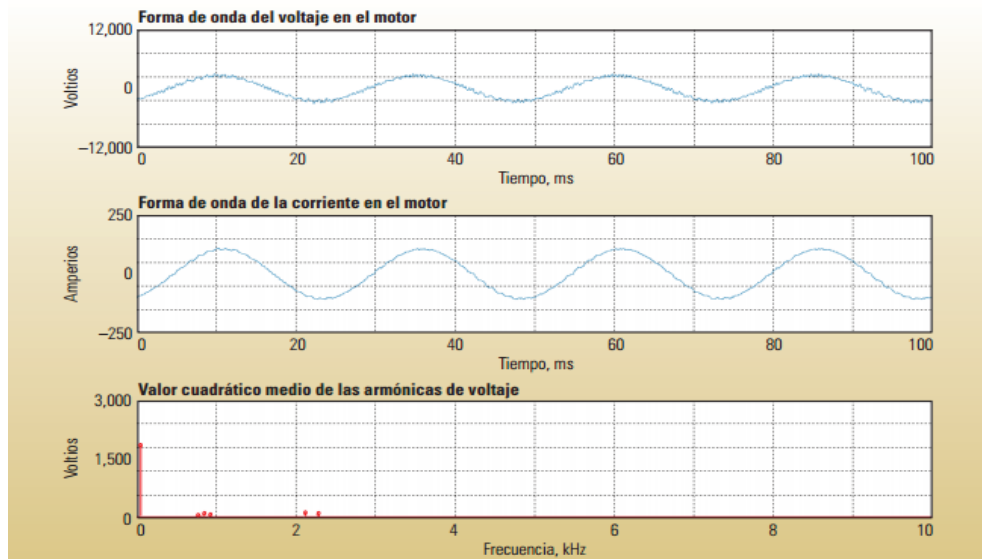
- Ocasionados por continuos paros por sobrecarga, debido a presencia de sólidos o atascamientos.
- La contaminación del aceite dieléctrico del motor con fluidos provenientes del pozo, no siempre está asociado con falla en los sellos (contaminación) sino por mal torque en los plug-in del motor.
- La carga del motor, la composición del fluido y la velocidad del fluido ocasionan temperaturas altas en el motor lo cual produce un deterioro prematuro en algunos componentes internos del mismo, como son el aislante del cable de cobre utilizado para el bobinado del motor.
- El esfuerzo eléctrico causado por la presencia de armónicos en la potencia eléctrica que es transmitida desde el VSD (*Variable Speed Drive*) a la ESP. La electricidad viaja en forma de onda sinusoidal, estas ondas se pueden acumular y crear onda amplificada las cual puede superar el rango eléctrico del motor. Estas ondas pueden ocasionar deterioro en el aislante del cableado del motor, como se muestra en la figura 34 y figura 35.

Figura 35. Gráfico de onda sinusoidal sin filtro



Fuente: Tomado de SCHLUMBERGER. “Tecnologías en evolución Bombas electrosumergibles”. Año 2007.

Figura 36. Gráfica Onda sinusoidal con filtro



Fuente: Tomado de SCHLUMBERGER. “Tecnologías en evolución Bombas electrosumergibles”. Año 2007.

B. MLE

Estas fallas son presentadas por golpes en el cable ocasionados por la configuración del pozo (horizontales). Se debe tener precaución cuando se esté bajando el equipo y no exceder el número de tubos por hora recomendados por el equipo de ingeniería.

C. Sensor

Las fallas en los sensores se deben a corto circuitos ocasionados por la contaminación del aceite con fluidos provenientes del pozo. Se debe realizar el torque en las válvulas de drenaje o llenado y tapones de drenaje de acuerdo a los procedimientos.

Otra falla en los sensores que no requieren realizar *pulling* ya que se puede tomar sonolog (toma de niveles) son problemas en la electrónica del sensor (tarjeta – diodo) esta es ocasionada por diversos factores como:

- Picos o sobre-voltaje los cuales sobre pasan los dispositivos de protección de las tarjetas electrónicas, posiblemente ocasionadas por oscilaciones de voltaje y falta de regulación de la tensión de entrada al sistema
- Mala operación del VSD el cual siempre debe tener filtro armónico operativo. Esta condición causa que al operar el equipo sin el filtro genere que la onda

PWM cause en el equipo de fondo alta temperatura en el motor, degradación del aislamiento y aumento en la vibración. Los VSD siempre deben operar con los filtros seno, estos ayuda a filtrar los picos propios de la PWM y ayudan a la reconstrucción de la onda haciéndola más senoidal, ver figura 34 y 35.

D. Sello

La pérdida paulatina del aceite dieléctrico en el protector durante las paradas, es ocasionada por contracción y expansión térmica del fluido, siendo reemplazado el volumen desplazado por un volumen igual de fluido, si se trata de agua se va posicionándose cada vez en la parte inferior de las cámaras del protector, hasta que puede migrar hacia el motor y causar problemas eléctricos, reduciendo el tiempo de vida útil del equipo de fondo.

E. Cable

Operar el equipo con cables golpeados por lo cual es gran importancia tomar mediciones de continuidad y aislamiento. Un inadecuado empalme, si no hay un correcto ponchado en los nicopress (empalmes) puede ocasionar puntos calientes, estos debilitan la cinta y me genera un corto en el cable de potencia y así dejando sin operar el equipo BES.

F. Error de instalación:

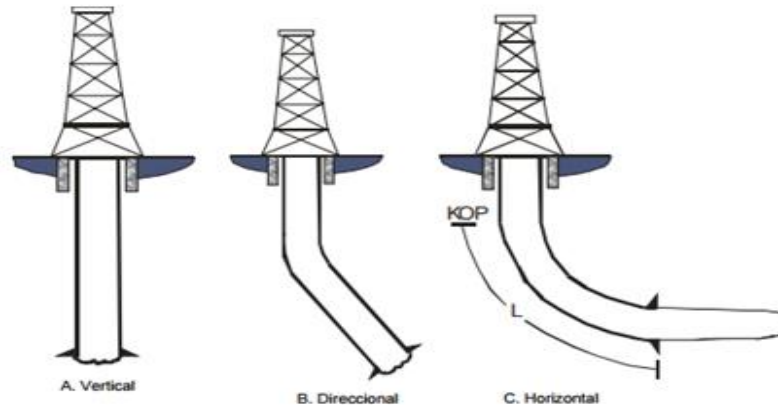
Se deben a malos procedimientos en el servicio de instalación, como lo son:

- No colocar el torque debido en las válvulas y tapones de drenaje o llenado.
- Falla en el empalme del cable de potencia – MLE
- Mal *setting* de la bomba BES (compresora).
- No instalar los componentes adecuados en las uniones de los componentes del sistema BES (*coupling, oring*).
- Conexión MLE – Motor.

G. Curvatura

Está asociada a las fallas de cable o MLE, por golpes en los cables al momento de la bajada del sistema BES. Cuando el equipo va ser instalado en un pozo horizontal se debe colocar protectores en el cable (*gripping - cannon*) en la tubería hasta que pase KOP.

Figura 37. Diferentes perfiles de pozos



Fuente: Tomado de GENERAL ELECTRIC OIL & GAS. “Descripcion General BES”. Septiembre 2012.

2.3 RUN LIFE EQUIPOS ELECTROSUMERGIBLES

2.3.1 Definición. Para los equipos con largo tiempo de vida útil es indispensable optimizar los parámetros de control, operación y protección del variador de frecuencia, minimizar las paradas para mantenimiento para los equipos de superficie.

Los equipos electrosumergibles pueden presentar tres (3) tipos de fallas dependiendo del tiempo de trabajo, claramente definidas a continuación:

Fallas prematuras iniciales: se deben a equipos con defectos de fabricación, instalaciones incorrectas, errores de diseño, mala operación de los equipos o un mal procedimiento de instalación.

Fallas externas: se producen debido a causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser mala operación, condiciones ineducadas u otros.

Fallas de desgaste: se caracteriza por tener una tasa de errores rápidamente creciente, las principales fallas se presentan por desgaste natural del equipo.

3. HERRAMIENTAS PARA ANALIZAR FALLAS Y PERDIDAS ECONOMICAS POR FALLAS

3.1 PULLING DE UN EQUIPO ELECTROSUMERGIBLE (EXTRAER EL EQUIPO ELECTROSUMERGIBLE DEL POZO)

El *Pulling* se define como la operación de sacar el equipo BES del pozo. Esta operación se debe hacer bajo ciertos procedimientos y cuidados extremos, con la finalidad de recuperar el equipo BES en su totalidad en buena condición física, así como también la tubería de producción y el cable de potencia.

La inspección preliminar en el pozo nos indica las primeras variables para identificar la probable causa de falla del equipo BES y las acciones técnicas que debemos tener en cuenta para el subsiguiente diseño del equipo. La decisión de sacar el equipo, se realiza debido a las siguientes causas que pasan en la operación BES tales como:

- Cuando se presentan problemas en las lecturas eléctricas del cable de potencia en la bajada del equipo BES, ya sea porque el cable se fuera tierra o tiene alto desbalance fuera de los rangos permisibles para operar.
- Por tener problemas con las lecturas del sensor de fondo y es muy indispensable tener este sensor para la evaluación del pozo. En algunos pozos se continúa bajando aún con el sensor en falla.
- Si se presentan problemas en el equipo de fondo ya sea mecánicos, eléctricos, de diseño, manufactura, del pozo, etc. Entre otros factores.

La recuperación del equipo BES es una operación que se debe hacer con el mayor cuidado posible debido a que hay equipos y accesorios que pueden ser golpeados o destruidos durante la extracción del equipo BES tales como:

- Cable de potencia
- Cable de extensión del motor (MLE)
- Sensor
- Empalmes
- Tubo capilar.

Los elementos externos al equipo BES pueden provocar muchos problemas si estos no se recuperan adecuadamente, debido a que se presenten atascamientos y pérdida de pozo. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los equipos que se recuperan son enviados a los talleres de mantenimiento para ser inspeccionados o reparados, y el objetivo principal es obtener un alto porcentaje de recuperación

para disminuir costos de mantenimiento, así mismo realizar un análisis real de la causa de la falla.

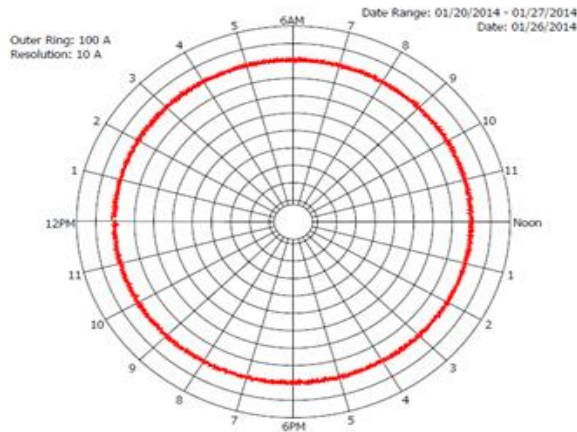
Para el servicio de *Pulling* se requiere de un equipo de *workover*, personal técnico ESP, misceláneos (tapas para cada sección del equipo electrosumergible, *gaskets*, herramientas manuales, aceite dieléctricos en caso de realizarle servicio de *flushing* a los sellos), reel (carreto), cajas metálicas en donde se van a guardar los equipos extraídos.

3.2 ANÁLISIS PREVIO *TEAR DOWN*

Antes de realizar un *Tear Down* es recomendable verificar en las placas si el equipo es el indicado para ser desensamblado, además realizar una inspección rápida ya que esto facilitará las pruebas puntuales cuando sea requerido observar la falla, esto implicará menos horas-hombre. Aquí se tratará de observar golpes al equipo BES y dependiendo del impacto se considerará si este afectó las partes internas del equipo BES, teniendo como consiguiente una repercusión en la vida útil del equipo BES. Además el *tear down* consiste básicamente en el desmantelamiento de los equipos en el taller, esto implica que se realice un destorque de cada una de las partes que conforman el equipo electrosumergible, para posteriormente realizar los procedimientos de inspección tanto mecánicas como eléctricas, en donde se tratará de recopilar la mayor cantidad de evidencia mediante fotografías del equipo desarmado.

- **Historial de Antecedentes:** En lo posible se espera obtener la mayor cantidad de información sobre el comportamiento del pozo, información general del mismo y descripción del equipo que está instalado.
- **Reporte de Servicio:** Se presenta una descripción detallada en donde constará información como datos de producción, datos del sensor de fondo, run life, lecturas eléctricas, etc. Además de especificar las condiciones en las que queda el pozo para posteriores trabajos de *workover*.
- **Parámetros de Carta Amperímetra:** La carta amperimétrica es la representación gráfica del consumo de amperaje del motor, por consiguiente es un valor real del comportamiento del consumo de potencia del sistema BES. Las cartas amperimétricas pueden graficarse de muchas formas, la más conocida es la forma radial en periodos de 24 o 7 días. Actualmente se usan software que hacen la misma labor a partir de los datos almacenados por en VSD. Existen otras variables como producción, presión de descarga-admisión, temperatura que en conjunto con la carta amperimétrica, deben ser consideradas para entender el comportamiento de operación de un ESP.

Figura 38. Gráfico de una carta amperimétrica.



3.3 ANÁLISIS CAUSA-RAÍZ (ACR)

El análisis causa raíz es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes, de cualquier tipo de falla o incidente que ocurre una o varias veces, permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del proceso. Esto significa que el análisis se realiza después de un evento ha ocurrido, además el RCA es capaz de prever la posibilidad de un evento, incluso antes de que pudiera ocurrir.

Análisis de causa raíz transforma una antigua cultura que reacciona a los problemas a una nueva cultura que resuelve los problemas antes de que se intensifiquen, creando una reducción de la variabilidad y una actitud para evitar riesgos. Las causas raíz físicas son en general un componente que falló que será sustituido por necesidad por un nuevo componente de igual fiabilidad. Las causas raíz humanas son a menudo impulsados por los sistemas de gestión y los corrigen con la disciplina a la persona lo que indicaría un defecto en el aprendizaje cultural. Las raíces latentes (gestión deficiente de los sistemas) son los sistemas que están en su lugar y no trabajan o sistemas que no están en su lugar y es necesario crear.

3.4 ANÁLISIS DE DATA OPERACIONAL Y TENDENCIA OPERATIVA

Todos los diseños de los equipos BES están orientados a que trabajen durante la operación de la mejor forma óptima, independientemente de que material estén usando, las modificaciones en la nueva construcción, optimización de componentes, etc, pero hay situaciones difíciles o condiciones que no se esperaban al inicio de la operación BES tales como: - Producción de sólidos - Incremento del GOR - Mayor viscosidad de la que esperaban. - Valor del índice de productividad menor del que esperaban - Incremento rápido del corte de agua - Caída brusca de la presión estática del reservorio. - Problemas de represionamiento en el sistema - Problemas de generación con múltiples interrupciones eléctricas - Problemas de producción menor a la que esperaban - Cierre de producción por problemas de coyuntura de la industria de petróleo respecto al precio del barril de petróleo, como ha ocurrido en los últimos meses del año. - Problemas de corrosión - Problemas de deposición de asfaltenos, parafinas, etc. Condiciones u problemas que se presentan en este tipo de operaciones BES. En todos estos casos la evaluación del punto de comportamiento reviste gran interés, ya que a cada situación especial que hemos mencionado, se le debe de dar la alternativa de optimizar su operación y obtener un buen tiempo de vida útil del equipo BES de fondo, aún en esas condiciones adversas que se presentan.

3.5 PÉRDIDAS ECONÓMICAS

3.5.1 Pérdidas Económicas Por Trabajo Al Pozo. De los 264 pozos, a 159 pozos se les realizó servicio de *pulling* sin ninguna falla en el equipo electrosumergible, el mayor porcentaje de estos *pullings* se realizó por presencia de sólidos (arena) en el pozo. Se estudiará el costo económico al realizar este servicio.

Se hará el estudio para 4 días, donde se realizarán los servicios de: *pulling*, tratamiento orgánico e instalación a una profundidad de 4000 ft. Cuando se realice el *pulling*, se analizara si es conveniente hacer el cambio de alguna sección del equipo electrosumergible por deterioro prematuro y así prevenir fallas. Las secciones que se analizarán con detalle serán la bomba y los sellos.

- **Bomba:** Puede almacenar arena en sus etapas por lo que su giro deberá ser libre y sin restricciones, que el juego axial este dentro las especificaciones.
- **Sello:** Podrá tener varias cámaras contaminas debido a la interrupciones de energía causadas por sobrecargas.

Tabla 6. Costos por servicio a pozo

Costos por servicio a pozo		
Concepto	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Equipo Workover (Pulling – Instalación)	15.000	60.000*
Personal Técnico	6.000	24.000**
Tratamiento Orgánico y/o limpieza.		30.000***
Misceláneos		11.000****
Valor Total \$US		125.000
Adicionales por fallas		
Bomba ESP		40.000
Sellos		20.000

* Equipo Workover: Ver anexo 2.

** Personal Técnico: 2 Técnicos Junior (experiencia mayor a 4 años) y 2 auxiliares.

*** Tratamiento orgánico: Depende de los requerimientos de la operadora.

**** Misceláneos: (Aceite dieléctrico para realizarle flushing a los sellos, oring's para cada sección del equipo, válvula check, válvula drain, spoler)

Se realiza un promedio de producción día de los 42 pozos que se les realizó servicio de *pulling* por presencia de sólidos (arena), y se muestra las pérdidas económicas por producción durante los 4 días de intervención al pozo hasta que el pozo vuelve a estar operativo.

Tabla 7. Costos operacionales

Costos Operacionales				
Concepto	BOPD Promedio	Valor Barril \$US	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Perdidas por producción	170	80	13.600	54.400
Costo Servicio (Tabla 6)				125.000
Valor Total \$US				179.400

3.5.2 Pérdidas Económicas Por Falla. Para este trabajo se tomará de referencia una garantía de 1000 días. De los 105 pozos que presentaron falla específica en algún componente ESP, 92 fueron dentro el *run life* de garantía.

Figura 39. Gráfico equipos en falla con *run life* de 0 – 500 días.

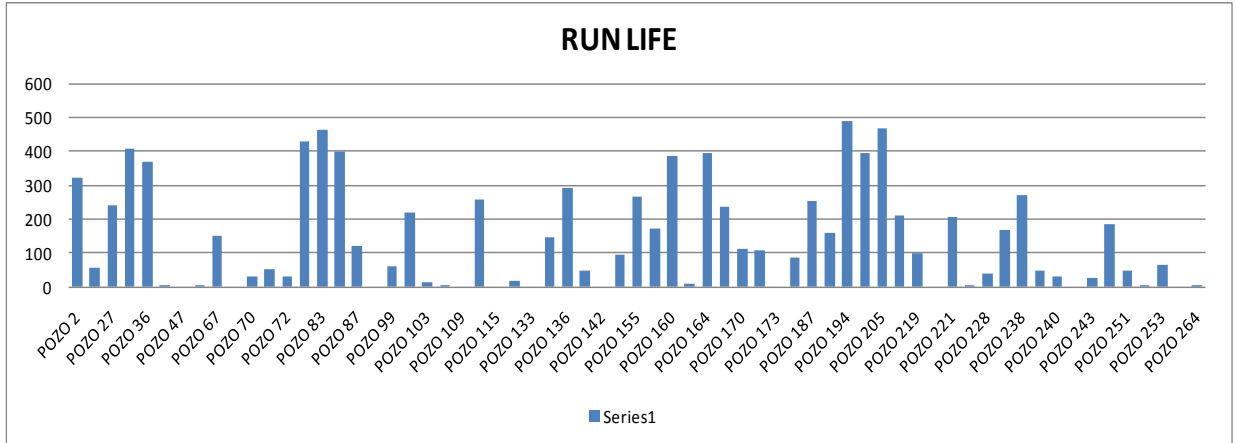


Figura 40. Gráfico equipos en falla con *run life* de 501 – 1000 días.

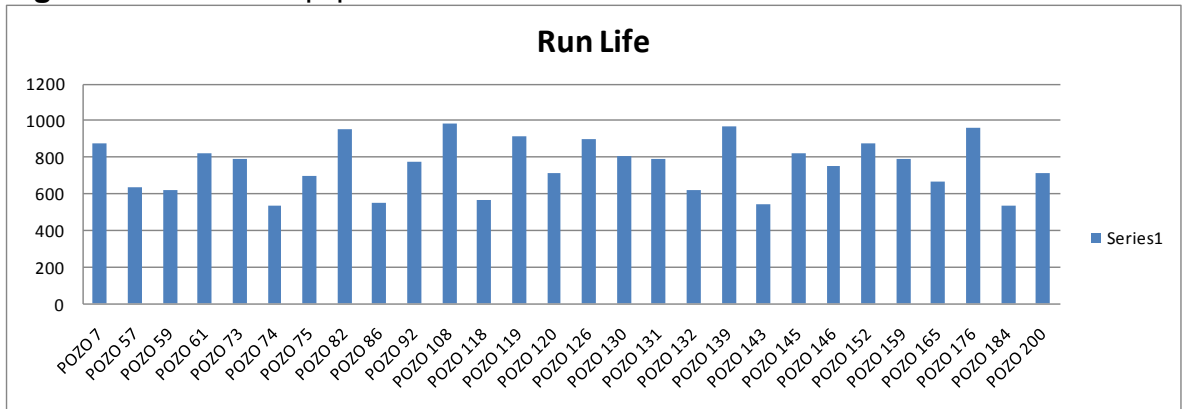
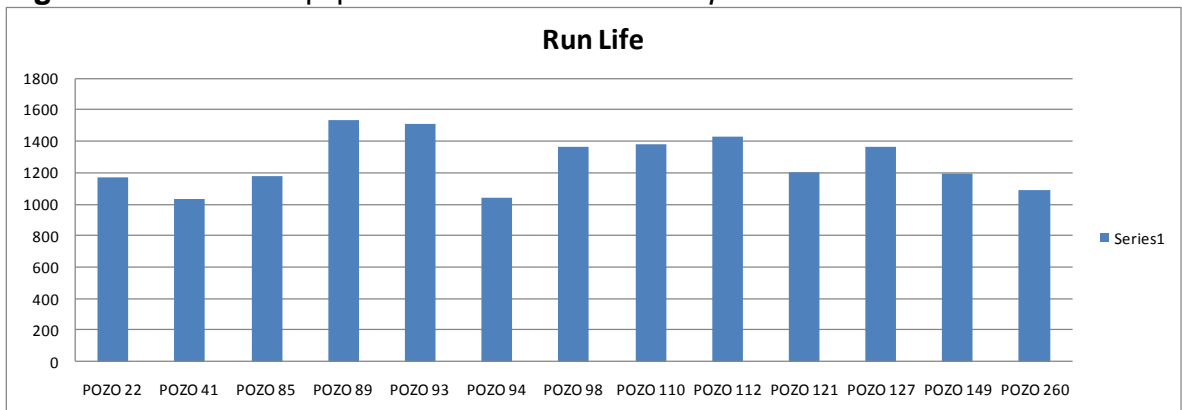


Figura 41. Gráfico equipos en falla con *run life* superior a 1001 días.



La garantía del equipo electrosumergible se dará en los siguientes casos:

- Manufactura
- Error de instalación.
- Análisis de *Tear Down* se especifique la falla.

Mientras se define la garantía se deberá instalar un equipo electrosumergible nuevo para minimizar pérdidas operacionales por producción.

Cuando se evidencia que la falla es por golpes en cable de potencia y/o MLE (curvatura del pozo) la operadora deberá reponer el cable para la instalación siempre y cuando se haya cumplido con los lineamientos de bajada de tubería realizados por ingeniería. Cuando el resultado del *Tear Down* evidencie que la falla es ocasionada por sólidos del pozo, la operadora deberá asumir el valor del nuevo equipo electrosumergible.

Tabla 8. Costos por servicio a pozo

Costos por servicios a pozo.		
Concepto	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Equipo Workover	15.000	60.000*
Personal Técnico	6.000	24.000**
Tratamiento Orgánico y/o limpieza.		40.000***
Misceláneos		18.000****
Equipo Electrosumergible		150.000*****
Valor Total \$US		292.000

* Equipo Workover: Ver anexo 2.

** Personal Técnico: 2 Técnicos Junior (experiencia mayor a 4 años) y 2 auxiliares.

*** Tratamiento orgánico: Depende de los requerimientos de la operadora.

**** Misceláneos: (Aceite dieléctrico, kit de instalación, kit de empalme, válvula check, válvula drain, spoler).

***** Valor Equipo electrosumergible para una profundidad de 4000 ft.

Se realiza un promedio de producción día de los 50 pozos que se les realizo servicio de *pulling* por falla en el motor, 5 pozos por falla en la bomba y 5 pozos por error de instalación. A continuación se mostrara las pérdidas económicas por producción durante los 4 días de intervención al pozo hasta que el pozo vuelve a estar operativo.

Tabla 9. Costos operacionales (Motor)

Costos Operacionales (Motor)				
Concepto	BOPD Promedio	Valor Barril \$US	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Perdidas por producción	200	80	16.000	64.000
Costo Servicio (Tabla 8)				292.000
Valor Total \$US				356.000

Tabla 10. Costos operacionales (Bomba)

Costos Operacionales (Bomba)				
Concepto	BOPD Promedio	Valor Barril \$US	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Perdidas por producción	160	80	12.800	51.200
Costo Servicio (Tabla 8)				292.000
Valor Total \$US				341.200

Tabla 11. Costos operacionales (Error de Instalación)

Costos Operacionales (Error de Instalación)				
Concepto	BOPD Promedio	Valor Barril \$US	Valor Día \$US	Valor Total \$US
Perdidas por producción	73	80	5.840	23.360
Costo Servicio (Tabla 8)				292.000
Valor Total \$US				315.360

4. PRESENTACION PORTAFOLIO

En este capítulo se presentan las ventajas técnicas y económicas ofrecidas en el portafolio. Los servicios incluidos son:

- Instalación.
- Extracción (pulling)
- Monitoreo de pozos (toma de niveles, seguimiento calidad de energía, optimización de producción).
- Administración de activos, con la experiencia técnica en equipos electrosumergibles.

Todos los servicios mencionados requieren de un personal, equipos y herramientas para realizar las labores.

Este portafolio consiste en el suministro de personal para soporte técnico y administrativo, desde el alistamiento de los equipos, pasando por la instalación, arranque y optimización de operación hasta la extracción, además de control de bodegas de equipos a instalar, retirados, misceláneos, cables de potencia y variadores de frecuencia.

Mediante la implementación de estándares altos, mejores prácticas de instalación y extracción, no sólo se ofrece soporte técnico responsable, si no el constate mejoramiento de la capacidad técnica, disminución de los costos operativos y una puesta en marcha eficiente.

El personal tiene como funciones principales:

- Instalar el equipo de fondo y superficie.
- Efectuar la puesta de marcha de los equipos.
- Operar los equipos de superficie.
- Monitorear las variables de producción, comportamiento eléctrico del equipo y consumo de potencia.

Figura 42. Presentación de Portafolio



4.1 PERSONAL PARA SERVICIO DE INSTALACION, EXTRACCION, PUESTA SERVICIO Y MONITOREO

Los técnicos presentados en este portafolio se caracterizan por cumplir con diferentes funciones y tener experiencia en el manejo de bombas electrosumergibles, cuentan con todos los cursos asociados a la instalación de los

equipos, extracción, puesta en servicio y monitoreo, adicional el personal está capacitado con estándares de HSE.

4.1.1 Técnicos ESP. Suministro de técnicos especialistas con una experiencia mínima de seis (6) años en bombas electrosumergibles, con conocimiento en la instalación de equipos BES, sensores de fondo, mantenimientos preventivos, correctivos y monitoreos en variadores de velocidad (VSD), toma de predictivos a VSD, transformadores elevadores (SUT), Transformadores reductores (SDT). Estos técnicos, laboraran en turnos de doce (12) horas día por frente de trabajo, que se compone de ocho (8) horas según el código de trabajo y cuatro (4) horas extras, durante catorce (14) días continuos por siete (7) días de descanso.

4.1.2 Auxiliares ESP. Suministro de Operadores Auxiliares en ESP con una experiencia mínima de un (1) año, para el manejo de Spooler e instalación de protectores y súper bandas. El personal, de igual forma se encuentra capacitado para el acompañamiento de los técnicos en variadores, en la toma de predictivos a los variadores de velocidad, transformadores elevadores (SUT), Transformadores reductores (SDT), Mantenimiento preventivo y correctivo de los Variadores de velocidad. Estos operadores auxiliares, laboraran en turnos de doce (12) horas día por frente de trabajo, que se compone de ocho (8) horas según el código de trabajo y cuatro (4) horas extras, durante catorce (14) días continuos por siete (7) días de descanso. El frente de trabajo estará conformado por un (1) operario de Spooler en turno de 12 horas y un (1) operario de Banding en turno de 12 horas, que se compone de ocho (8) horas según el código de trabajo y cuatro (4) horas extras.

4.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Adicional al personal calificado para realizar las funciones mencionadas, se requiere equipos con características adecuadas para ejercer las labores de instalación y extracción, puesta en marcha y monitoreo de equipos BES, a continuación se describen:

4.2.1 Spooler

Tabla 12. Especificaciones Técnicas de *Spooler*

Especificaciones Técnicas	
	
Capacidad de carga: 10 toneladas.	Sistema hidráulico
Motor Diésel para 3000 Lbs. presión Hidráulica.	Sistema neumático para zunchadora y ponchadora.
Electroválvula para operación a distancia.	Luces para operación nocturna.
Sistema de operación manual	Pedal Eléctrico con 50 ft de cable
<p>Este equipo es utilizado para facilitar las tareas de movimiento de cable (enrollar y desenrollar) en la instalación y extracción de los equipos BES.</p>	

4.2.2 Herramientas Requeridas

Tabla 13. Herramientas Manuales

Herramientas Manuales		
Llave expansiva 12"	Llave 3/8 maquinada	Martillo
Llave de giro	Llave 3/16 maquinada	Pinza de empalme de motor
Llave expansiva de 8 y 12 "	Llave torque o Torquímetro	Pinza picoloro
Llave 1 1/8	Alicate	Pinza corta frio
Llave 11/16	Segueta	Llaves mixtas
Llave 5/8	Corta tubing o capilar	Pinza de punta
Herramienta H para Shims serie 400, 540, 562	Llave glándula mufa	Llave alen de 1/8 a 3/16
Llave de ½	Tijera	Navaja
Llave rápida	Llave de tubo 12"	

Tabla 14. Herramientas de Izaje

Herramientas Izaje	
Grilletes (4 por servicio).	Rueda guía
Corbata	Campana
Guaya chivo corta, taladro larga	Cadenas (2 por servicio)
Cubierta en malla para seguridad.	

Tabla 15. Instrumentos de medición

Descripción
Megger (FLUKE)
Multímetro 87V (FLUKE)
Pinza amperimétrica
Guantes dieléctricos de alta tensión
Tapete dieléctrico
Careta anti-arco

Las herramientas mencionadas en la tabla 13, 14 y 15 son requeridas para ejecutar las tareas tales como instalación, extracción, puesta en servicio y monitoreo de los equipos electrosumergibles.

Cada cuadrilla debe contar con la disponibilidad de los equipos y herramientas mencionadas en los ítem 4.2.1 y 4.2.2, con el fin de no interferir en operaciones simultaneas.

4.3 COSTOS PERSONAL, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

4.3.1 Instalación y/o Extracción (Pulling). En la siguiente tabla encontrará relacionado los precios, para servicios de instalación y/o extracción (pulling). Se presentara en valor unitario ya que cada servicio tiene tiempos diferentes o pueden presentarse eventualidades al momento del servicio.

Tabla 16. Tarifa diaria

Descripción	Valor unitario / Portafolio de servicios COP	Valor unitario / Comercial en la industria COP
Día alquiler Spooler	\$ 1,500,000.00	\$ 3,000,000.00
Día técnico ESP	\$ 1,800,000.00	\$ 4,000,000.00
Día auxiliar ESP	\$ 1,000,000.00	\$ 2,000,000.00
Día alquiler neumática para banding	\$ 350,000.00	\$ 550,000.00
Día alquiler neumática para canon	\$ 350,000.00	\$ 550,000.00
Día alquiler camioneta (para movilización personal ESP)	\$ 450,000.00	\$ 450,000.00
Día manutención 1 técnico y/o auxiliar	\$ 80,000.00	\$ 150,000.00

4.3.2 Monitoreo de Pozos (Toma De Niveles, Seguimiento Calidad de Energía, Optimización de Producción) y Administración de Activos. En las siguientes tablas encontrará relacionados los precios, para servicios de mantenimientos predictivos, correctivos, monitoreo para variadores de frecuencias (VSD), seguimiento calidad de energía, optimización de producción y personal técnico idóneo para la administración de activos.

Tabla 17. Tarifa de personal

Descripción	Valor Día / Portafolio de servicios	Valor Día / Comercial en la industria
Día técnico ESP	\$ 1,800,000.00	\$ 4,000,000.00
Día auxiliar ESP	\$ 1,000,000.00	\$ 2,000,000.00
Día alquiler camioneta (para movilización personal ESP)	\$ 450,000.00	\$ 450,000.00
Día manutención 1 técnico y/o auxiliar	\$ 80,000.00	\$ 150,000.00
Instrumentos de medición	\$ 500,000.00	\$ 1,000,000.00

* Si el personal descrito en la tabla 16 es requerido por un tiempo igual o mayor a un mes es posible efectuar un descuento 10%.

4.3.3 Servicio de Instalación de Protectores. En la siguiente tabla encontrará relacionado los precios, para el servicio de suministro e instalación de protectores de cables.

Tabla 18. Servicio de protectores de cable

Descripción	Valor Día / Portafolio de servicios	Valor Día / Comercial en la industria
Día auxiliar ESP	\$ 1,000,000.00	\$ 2,000,000.00
Día alquiler camioneta (para movilización personal ESP)	\$ 450,000.00	\$ 450,000.00
Día manutención 1 técnico y/o auxiliar	\$ 80,000.00	\$ 150,000.00
Protector de cable 3 y 1/2	\$ 107,000.00	\$ 250,000.00
Protector de cable 4 y 1/2	\$ 119,000.00	\$ 250,000.00
Protector de cable 5 y 1/2	\$ 128,000.00	\$ 250,000.00
Día alquiler neumática para protectores cannon	\$ 350,000.00	\$ 550,000.00

4.4 VENTAJAS TECNICAS Y ECONOMICAS

- Disposición del personal permanente para asistir al cliente en lo que se requiera, sin importar compañía que haya vendido el equipo electrosumergible.
- Monitoreo constante de las variables de funcionamiento de las bombas (voltaje, corriente, calidad de energía), para diagnosticar a tiempo una posible falla.
- Contar con personal calificado para realizar las labores de monitoreo, instalación, extracción del equipo (pulling) en donde se conoce y manipula los diferentes equipos de superficie y fondo instalados en campo.
- Personal idóneo para el manejo de los activos del cliente, en donde se cuente con una base datos de los equipos nuevos disponibles para instalaciones, condiciones mecánicas y eléctricas de los equipos extraídos (cable, motor, bomba, sellos, sensor), repuestos de los componentes internos de los variadores de frecuencias (VSD).
- Tener varios KIT herramientas y equipos adecuados para la ejecución de las labores de instalación, monitoreo y extracción del sistema electrosumergible para no interferir en operaciones simultaneas.
- Los servicios ESP serán contratados con una sola compañía y no por compañía de equipos de fondo, cediendo la responsabilidad a un solo proveedor y así minimizando los costos operativos que conlleva administrar diferentes contratos.
- El valor para un servicio de instalación o extracción con duración de 4 días, las empresas que prestan servicios ESP cobran por el personal técnico \$US24.000 (\$COP 72.000.000), con este portafolio el mismo personal técnico tendrá un valor de \$US 7.467 (\$COP 22.400.000), donde se verá reflejado un ahorro del 68,89%, (TRM: \$3000),

- Para el año 2014 se realizaron 51 servicios de extracción y/o instalación en donde el cliente debió pagar \$US 1.750.000 por los servicios prestados que incluye personal y misceláneos.
- La tarifa diaria para instalación o extracción de un equipos electrosumergible en este portafolio es de alrededor de \$ 5.530.000 COP por día y comercialmente en la industria es de \$ 10.700.000 COP por día, lo que significa que el cliente final está obteniendo un ahorro significativo.
- La tarifa diaria para el monitoreo de equipos electrosumergibles en este portafolio de servicios esta alrededor de \$ 3.830.000 COP por día y comercialmente en la industria es de \$ 7.600.000 COP por día, lo que muestra un ahorro considerable en la implementación del monitorio, adquiriendo nuestros servicios y lo que podría ahorrar por tener alertas tempranas de posibles fallas.
- La tarifa diaria para el servicio de instalación de protectores en este portafolio tiene un valor alrededor de \$ 2.234.000 COP y comercialmente es de \$3.900.000 COP, así el cliente está ahorrando en cada servicio que sea adquirido de acuerdo al presente portafolio.
- La tarifas de los servicios presentados en el portafolio son más bajas que las que se encuentran en la industria debido a 2 razones principales:
 - No requieren de cargos administrados altos, por ser una empresa en crecimiento.
 - Los valores son en pesos Colombianos, por tanto no están sujetos a la fluctuación del dólar.

5. CONCLUSIONES

- Es recomendable cuando se realice un incremento y/o decremento de frecuencia en el motor, realizar monitoreo constante de los equipos, en donde se lleve un consecutivo de voltajes, corrientes y temperatura. A su vez, realizar calidad de energía para asegurar que la onda sinusoidal no tenga presencia de armónicos y evitar el sobre esfuerzo eléctrico del motor, tal como evidencia el análisis presentado en el capítulo 2.
- Se logra identificar que la mayoría de las servicios de extracción (pulling) fueron por causas externas a fallas del sistema electrosumergible, en donde el mayor porcentaje se realizó por presencia de solidos (arena) en donde se puede evitar futuras fallas en el equipo electrosumergible.
- La identificación temprana de fallas evita sobrecostos operacionales, ya que se pudo observar que los gastos generados en los pozos por fallas en equipos electrosumergibles duplican los costos en intervenciones por servicios a pozos.
- Se logra determinar que las principales fallas son identificables y se pueden evitar implementando mantenimientos preventivos y monitoreos constantes permitiendo que la vida útil de los equipos perdure.
- El portafolio de servicios muestra que la experiencia del personal que instala, monitorea y realiza los trabajos asociados al sistema electrosumergibles es fundamental para el buen funcionamiento de las bombas y para el diagnóstico de prevención de fallas.

BIBLIOGRAFIA

BAKER LIFT SYSTEMS, ESP HANDBOOK, BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES, MANUAL DE ESP, URL: http://issuu.com/nicolasjimenez8/docs/esp_handbook, accedido el 15 julio de 2015.

BAKER LIFT SYSTEMS. Design, Specification & Application of Baker Lift Systems Electric Submersible Pumping Systems.
BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE- DISEÑO, URL: <http://www.monografias.com/trabajos63/levantamiento-artificialbombeo/levantamiento-artificial-bombeo2.shtml>, accedida el 1 septiembre de 2015.

Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble, Shooting, Dictado por: Ing. Marto Ramírez, URL: <https://christian3306.files.wordpress.com/2010/10/bombeo-electrosumergible.pdf>, accedido el 20 de agosto de 2015.

Clases de la Prof. Lizbeth Miranda, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería- Escuela de Petróleo, 2008.

DESARROLLO EN TECNOLOGIA ARTIFICIAL LIFT, URL: <http://levantamientoartificial.blogspot.com.co/>, accedido el 15 de julio de 2015

ESP - BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE URL: <http://www.oilproduction.net/cms3/index.php/produccion/sistemas-de-extraccion/esp>, accedido el 14 de agosto de 2015.

OILFIELD GLOSSARY, URL <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms.aspx>, accedido el 1 de agosto de 2015.

PERFORACION VERTICAL, HORIZONTAL Y DIRECCIONAL CONTROLADA, UR <http://industria-petrolera.lacomunidadpetrolera.com/2009/01/perforacin-vertical-horizantal-y.html>. Accedido el 20 de octubre 2015.