

**PROYECTO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PRACTICA EMPRESARIAL
DESCRIPCION, DISEÑO Y MONITOREO DE UNA UNIDAD DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE
SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System**

ROBINSON DARIO MARTINEZ MARTINEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2004

**PROYECTO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PRACTICA EMPRESARIAL
DESCRIPCION, DISEÑO Y MONITOREO DE UNA UNIDAD DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE
SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System**

ROBINSON DARIO MARTINEZ MARTINEZ

TUTOR DE LA EMPRESA

BEATRIZ CORDOBA

Ingeniero

TUTOR DE LA UNIVERSIDAD

JULIO CÉSAR PÉREZ ANGULO

DOCENTE UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres, Alvaro Martinez y Diocelina Martinez quienes siempre me apoyaron incondicionalmente en la realización de mis sueños.

A mis hermanas Claudia Liliana y Jenny Marcela, por su compañía y voz de aliento en los momentos difíciles de mi vida.

A mis sobrinos Jeysson Giovanni y Nayely Ayarit, quienes han sido mi fuente de inspiración para lograr mis metas.

A mi novia, Claudia Bustamante por la fortaleza y compañía brindada durante toda mi carrera.

A mi familia, para que este logro sea motivo de nuevos retos a conseguir, en búsqueda del crecimiento personal.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere expresar sus agradecimientos a:

Ing. Beatriz Córdoba. Ingeniera de Petróleos, por la confianza y constante apoyo recibido durante la realización de esta práctica, así como su disposición para ofrecer su conocimiento.

Ing. Andrés Espinosa e Ing. Raúl Serrano, Ingenieros de Petróleos, por su apoyo, colaboración y deseo de brindar sus conocimientos en pro de mi Aprendizaje.

Tec. Fernando Segura, Jefe de operaciones para Colombia, por brindarme la oportunidad de complementar mi práctica con trabajo de campo.

Y a todas las personas de SCHLUMBERGER, WCP-Artificial Lift Systems, por su ayuda y colaboración en el desarrollo de la práctica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. TIPO DE INSTALACIONES DE LAS BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES	17
1.1 INSTALACIÓN ESTÁNDAR	17
1.2 SISTEMA DE INCREMENTO DE PRESIÓN (Booster)	18
1.3 SISTEMA DE SUCCIÓN EN EL FONDO	19
1.4 APLICACIÓN CON LA DESCARGA EN EL FONDO	20
2. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (B.E.S)	22
2.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL B.E.S	23
2.1.1 El Motor	23
2.1.2 El Protector	42
2.1.3 Sección de entrada a la bomba o intake	61
2.1.4 La Bomba	76
2.1.5 Cable de Potencia	92
2.1.6 Equipo de superficie	106
3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA	108
3.1 DATOS REQUERIDOS	108
3.1.1 Tamaño, peso y profundidad de asentamiento del revestimiento	108
3.1.2 Profundidad de los intervalos perforados	108
3.1.3 Tamaño y Rosca de la tubería de producción	108
3.1.4 Gravedad API del aceite, Corte de agua y relación gas-petróleo (GOR).	109
3.1.5 Gravedad específica de los líquidos y del gas que se van a producir	109
3.1.6 Temperatura del fondo del pozo (BHT)	109
3.1.7 Índice de productividad por relación de desempeño de flujo (IPR).	109
3.1.8 Presión en cabeza del pozo (THP).	109

3.1.9 Nivel	109
3.1.10 Voltajes disponibles en superficie	110
3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE	110
3.2.1 Recopilación de datos	110
3.2.2 Capacidad de producción	112
3.2.3 Cálculos de gas	112
3.2.4 Seleccionar el tipo de bomba	115
3.2.5 Determinar el tamaño óptimo de los componentes	115
3.3.6 Selección del cable	116
3.2.7 Determinación de la capacidad el equipo eléctrico	116
3.2.8 Variador de frecuencia VSD	117
3.3 DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	119
3.3.1 Recopilación de Datos	119
3.3.2 Cálculo de la cabeza dinámica total en pies (TDH).	128
3.3.3 Seleccionar el tipo de bomba	129
3.3.4 Levantamiento por etapas de cada bomba para 2,414.82 BFPD	133
3.3.5 Número de etapas	133
3.3.6 Potencia requerida por la bomba	135
3.3.7 Selección del Protector	136
3.3.8 Selección	137
3.3.9 Selección del cable	137
3.3.10 Sección de entrada a la bomba intake	139
3.3.11 Equipo de monitoreo de un fondo o sensor en fondo	139
3.3.12 Equipo de superficie	139
3.3.14 Resumen	142
4. MONITOREO DE UNA UNIDAD B.E.S INTERACT	144
4.1 QUE ES Inter.ACT?	144
4.2 CUALES SON LAS FUNCIONES DEL Inter..ACT?	144

4.3 PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LA LOCACIÓN Y LA MANERA DE DETECTARLOS EN InterACT	145
4.3.1 Comportamiento normal de un pozo	145
4.3.2 Pozo bloqueado por gas	146
4.3.3 Pozo con problemas de sólidos	147
4.3.4 Pozos trabajando a baja carga	148
4.3.5 Pozos afectados por baches de agua	149
4.4 KIT InterACT	149
4.5 BENEFICIOS DE InterACT	150
4.6 VENTAJAS FRENTE AL SISTEMA SCADA	151
4.7 TAREAS REALIZADAS POR InterACT	151
CONCLUSIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	153

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Componentes de fondo de un sistema B.E.S	18
Figura 2. Aplicación como sistema Booster	19
Figura 3. Sistema con la succión inferior	20
Figura 4. Aplicación con descarga en el fondo	21
Figura 5. Instalación típica B.E.S	22
Figura 6. Partes del motor	24
Figura 7. Flujo de corriente y generación del campo magnético	25
Figura 8. Campo magnético	25
Figura 9. Representación pares de polos	26
Figura 10. Rotación generada por inversión del campo magnético	27
Figura 11. Diagrama de tres fases de potencia	27
Figura 12. Estator	29
Figura 13. Rotor	30
Figura 14. Rotor Bearing	30
Figura 15. Thrust bearing	31
Figura 16. Eje	31
Figura 17. Pothead	32
Figura 18. Housing	32
Figura 19. Cabezas para los diferentes tipos de motor	33
Figura 20. Bases para los diferentes tipos de motor	33
Figura 21. Aislador	34
Figura 22. Thrust Washer	34
Figura 23. Limitación de los motores por temperatura de fondo (BHT)	36
Figura 24. Diagrama para seleccionar el aceite del motor	41
Figura 25. Protectores modulares	44

Figura 26. Protector	46
Figura 27. Cámara de laberinto	47
Figura 28. Protector de bolsa o sello positivo	50
Figura 29. Cámara del cojinete de Empuje (Thrust Bearing) del protector.	51
Figura 30. Cabeza del protector	55
Figura 31. Base del Protector	55
Figura 32. Cuerpo del sello	56
Figura 33. Housing del Protector	56
Figura 34. Sello John Crane	57
Figura 35. Eje del Protector	57
Figura 36. Bolsa de elastómetro	58
Figura 37. Thrust Bearing	58
Figura 38. Snap ring	59
Figura 39. O –ring	59
Figura 40. Tubo compensador	60
Figura 41. Válvula de descarga	60
Figura 42. Plug	61
Figura 42. Sección de entrada ARZ	63
Figura 43. Base de Intake	63
Figura 44. eje del Intake	64
Figura 45. Malla	64
Figura 46. Shedder	65
Figura 47. Separadores de Gas	66
Figura 48. Separador de gas de flujo inverso	66
Figura 49. Cabeza del separador	71
Figura 50. Base del separador	71
Figura 51. Pickup impeller	72
Figura 52. Malla del separador de gas	72
Figura 53. Eje del separador de gas	73
Figura 54. Tubo del eje	73

Figura 55. Housing del separador de gas	74
Figura 56. Manejador de gas AGH	75
Figura 57. partes de la bomba	77
Figura 58. Tipos de configuraciones de bombas	79
Figura 59. Tipos de construcción de acuerdo al manejo de empuje	81
Figura 60. Etapa con impulsor totalmente asentado	82
Figura 61. Espaciamiento de ejes de bombas series 675 y mayores	83
Figura 62. Espaciamiento de algunas bombas de la serie 562 y más pequeñas	84
Figura 63. Housing de la bomba	87
Figura 64. Cabeza de la bomba	88
Figura 65. Base de la bomba	88
Figura 66. Impeller	89
Figura 67. Difusor	89
Figura 68. Eje de la bomba	90
Figura 69. Tubo de compresión	90
Figura 70. Snap Ring	91
Figura 71. Upthrust washer	91
Figura 72. Conductor	95
Figura 73. Aislante	95
Figura 74. Barrera del cable	96
Figura 75. Chaqueta del cable	96
Figura 76. Armadura del cable	97
Figura 77. Familia Redalene	98
Figura 78. Familia Redahot	98
Figura 79. Familia Redablack	99
Figura 80. Familia Pedalead	99
Figura 81. Cable redondo bajo carga de compresión	103
Figura 82. Cable plano bajo carga de compresión	103
Figura 83. Curva de capacidad de diferentes frecuencias, Bomba DN1800.	118
Figura 84. Curva de desempeño de flujo – IPR	123

Figura 85. Gráfica del sistema	130
Figura 86. Curva de desempeño de una bomba SN2600	132
Figura 87. Curva de desempeño de una bomba GN 2500	132
Figura 88. Curva de desempeño de una bomba GN 2100	133
Figura 89. Motor Lead Extensión	137
Figura 90. Caída del voltaje	138
Figura 91. Selección del variador de frecuencia – VSD	141
Figura 92. Comportamiento normal de un pozo	145
Figura 93. Corriente y frecuencia de un pozo bloqueado por gas	146
Figura 94. Presión y temperatura de un pozo bloqueado por gas	147
Figura 95. Pozo afectado por el ingreso de sólidos al sistema	148
Figura 96. Kit de instalación InterACT	150

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. El rango de los Motores REDA a 60 Hz.	38
Tabla 2. Tipos de separadores, eficiencia y manejo	68
Tabla 3. Tipos de separadores, límites en el caudal de operación	69
Tabla 4. Separadores rotativos, potencia requerida @ 60 Hz.	70
Tabla 5. Nomenclatura del cable	93
Tabla 6. Condiciones para la selección de la bomba	131
Tabla 7. Tabla resumen de la unidad seleccionada	143

RESUMEN

TITULO: DESCRIPCIÓN, DISEÑO Y MONITOREO DE UNA UNIDAD DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE*

AUTOR: ROBINSON DARIO MARTINEZ MARTINEZ**

PALABRAS CLAVES: Bombeo, Electrosumergible, Diseño, Descripción, Monitoreo, Interact.

DESCRIPCIÓN: Este libro se ha desarrollado con el fin de proporcionar información detallada acerca del sistema de bombeo electrosumergible (B.E.S), enfocado principalmente en mostrar los componentes que conforman el sistema así como su función específica.

Durante el desarrollo del contenido, se encontrara como primera medida los diferentes tipos de instalación y aplicaciones que se pueden realizar con este sistema. Además, se ha complementado con una gran variedad de imágenes con las cuales se podrán identificar visualmente las diferentes partes por las que esta conformada una bomba, el motor, el protector y en general cada componente del sistema, permitiéndole de esta manera comprender mejor su funcionamiento.

Lo orientará en el diseño de una unidad de bombeo electrosumergible, brindando para ello un procedimiento que será complementado mediante la realización de un ejercicio como ejemplo. Además, se tratan temas acerca de los problemas que se presentan a nivel del yacimiento y del equipo de fondo, así como la manera de detectarlos utilizando ayudas de los sistemas de monitoreo satelital. Para cada problema descrito anteriormente se presenta la grafica del comportamiento típico del equipo que se observa durante el evento, complementada con una corta explicación de la variación registrada de los parámetros, lo cual le permite un mejor entendimiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas
Escuela de Ingeniería de Petróleos
Directora de Escuela Dra. Zuly Imelda Calderón

SUMMARY

TITLE: DESCRIPTION, DESIGN AND MONITORING OF AN ELECTROSUMERGIBLE PUMPING UNIT*

AUTHOR: ROBINSON DARIO MARTINEZ MARTINEZ**

KEY WORDS: Pumping, Electrosumergible, Design, Description, Monitoring, Interact.

DESCRIPTION: This book has been developed with the purpose to provide you detailed information about electrosumergible pumping system (E.S.P), mainly focused in showing the components that conform the system and its specific function.

During the development of the content, first you will find the different installations forms and the applications that you can do with it system. Besides, it has been complemented with a big variety of images with you will can do a visual identification of the different parts that form a pump, an engine, a protector and in general each component of the system, will let you a best understanding about its function.

It will orient you in the design of an electrosumergible pumping unit; will give you a procedure that will be complemented with an exercise as example. Other topics of this book are the problems that appear at the deposit and the equipment, and the way to detect them with satelital monitoring. For each problem described previously a graphic is presented, showing the typical behavior of the equipment during the event and a short explanation of the variation in the parameters for a better understanding of these problems.

* Project of Degree

** Faculty of Engineering Physical - Chemistry
School of Petroleum Engineering
Manager of School: Dra. Zuly Imelda Calderón

INTRODUCCIÓN

La importancia para la industria petrolera de los sistemas de levantamiento artificial, esta basada en la perdida de la energía del yacimiento, sin la cual, este no podría poner fluido en superficie, reduciéndose de esta manera la producción del campo.

El sistema de bombeo electrosumergible B.E.S. es uno de los sistemas de levantamiento artificial existentes en la industria, con el cual logramos incrementar o mantener la producción de fluidos, esta conformado por varios elementos entre los que se encuentran el motor, el protector, la sección de entrada o intake, la bomba, el cable de potencia y el equipo de superficie.

El sistema B.E.S. brinda la posibilidad de manejar altos caudales de producción, lo cual es una grande ventaja frente a los demás sistemas de levantamiento artificial. Una desventaja que presenta este sistema, es la baja eficiencia mostrada en presencia de gas, para lo cual se requieren realizar un tipo especial de instalación, la cual se discutirá mas adelante.

OBJETIVOS

- ❖ Conocer y entender el funcionamiento de una unidad de bombeo electrosumergible, así como identificar las diferentes instalaciones realizadas según la aplicación requerida.
- ❖ Identificar cada uno de los componentes que conforman la unidad de bombeo electrosumergible, su funcionamiento y partes que lo conforman.
- ❖ Aprender a realizar un diseño de una unidad de bombeo electrosumergible, mediante el desarrollo de un procedimiento, complementado con un ejercicio.
- ❖ Conocer las ventajas de la implementación de un sistema de monitoreo para una unidad de bombeo electrosumergible, realizando un análisis de los datos suministrados por este sistema.

1. TIPO DE INSTALACIONES DE LAS BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES

Los componentes comunes de los sistemas de B.E.S. se combinan en diferentes formas para satisfacer las necesidades específicas en ciertas aplicaciones especiales. En algunos casos ciertas modificaciones son necesarias en algunos componentes para estas aplicaciones especiales.

A continuación se presentaran las diversas instalaciones del sistema de B.E.S. según su requerimiento.

1.1 INSTALACIÓN ESTÁNDAR

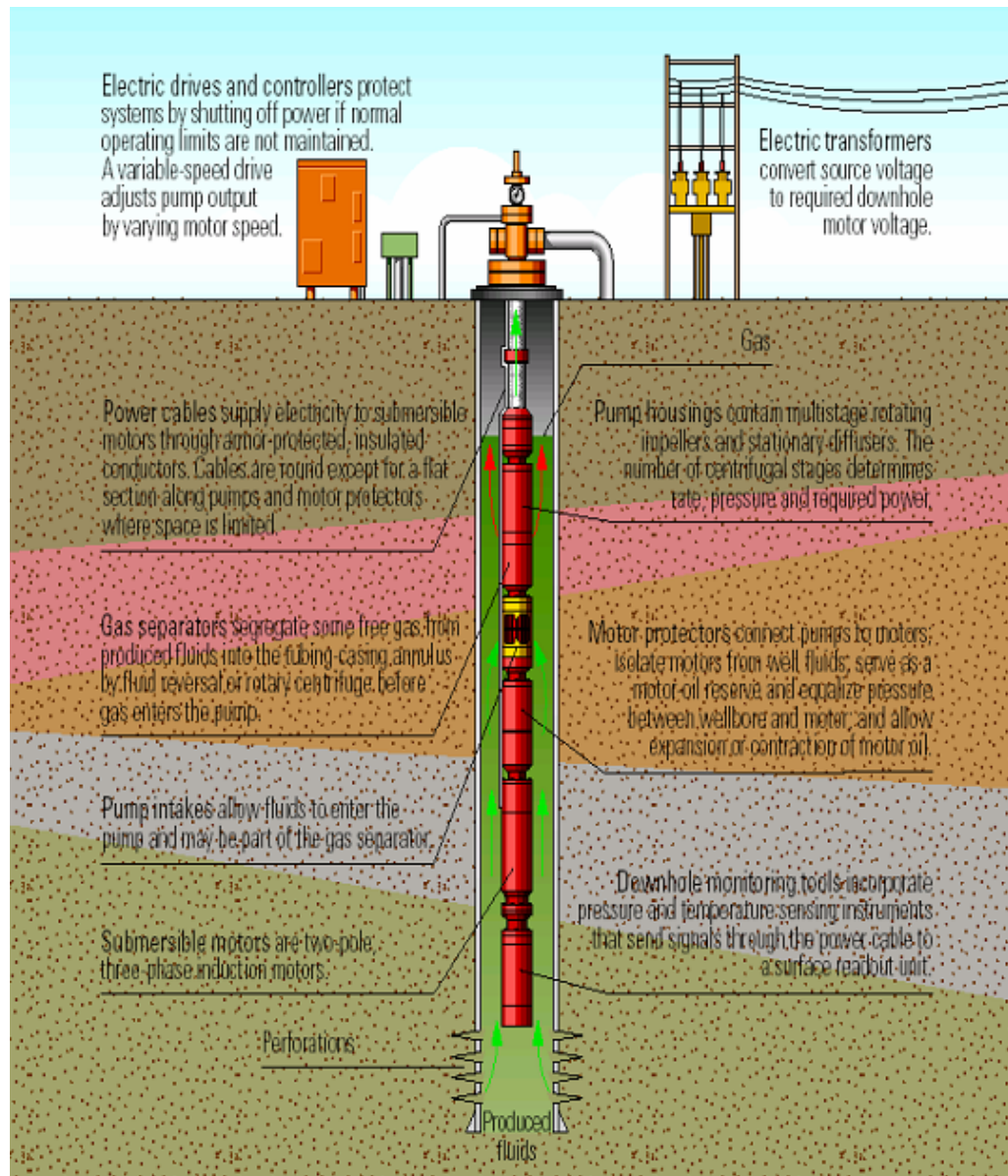
Los componentes comunes de un sistema de B.E.S. para una aplicación típica son:

- Motor Eléctrico
- Protector
- Intake
- Separador de gas (si es requerido)
- Bomba centrífuga de etapas múltiples
- Cable de Extensión
- Cable de potencia.

Todos los equipos están interconectados entre si y colgados del tubing.

En la instalación típica, la succión de la bomba se deja por encima de las perforaciones, de tal forma que el fluido producido pasa bañando la superficie externa del motor permitiendo la transferencia de calor entre el fluido y el aceite del motor, disipando de esta forma el calor generado.

Figura 1. Componentes de fondo de un sistema B.E.S.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

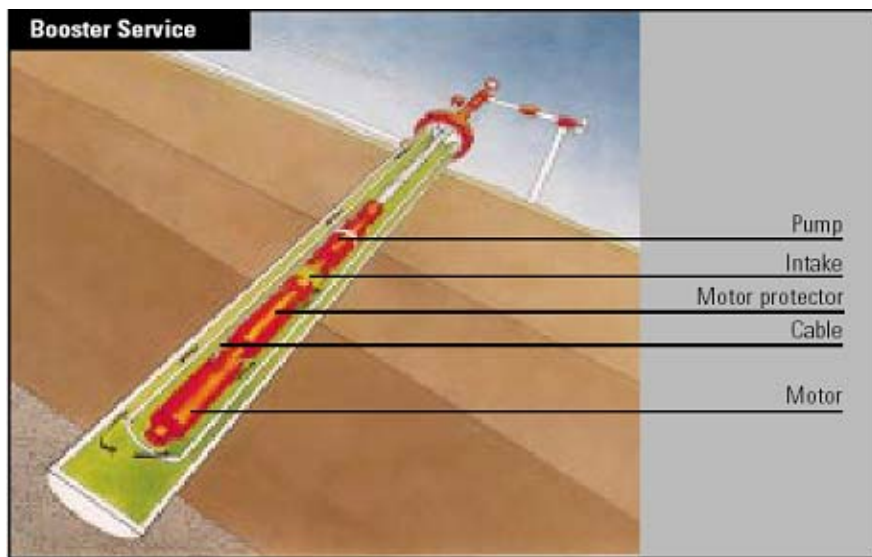
1.2 SISTEMA DE INCREMENTO DE PRESIÓN (Booster)

Una bomba electro sumergible puede ser utilizada para aumentar la presión de una línea, como por ejemplo en una línea de transferencia de gran longitud o para incrementar la presión de inyección en un sistema de re-inyección de agua.

Generalmente la unidad se instalada a muy poca profundidad, solamente la necesaria para alojar la unidad y un tubo de descarga, de esta forma cuando es necesario recuperar la unidad se puede hacer sin necesidad de un taladro de re-acondicionamiento.

El fluido a baja presión entra en el espacio anular en la parte superior y es desviado hacia la parte externa del motor para enfriarlo. Siempre se usa una camisa de fluido en estas aplicaciones. Después, el fluido entra a la bomba y este es enviado a través del tubing a la presión deseada. Este tipo de aplicación es beneficioso en las áreas pobladas debido a que opera en forma muy silenciosa.

Figura 2. Aplicación como sistema Booster



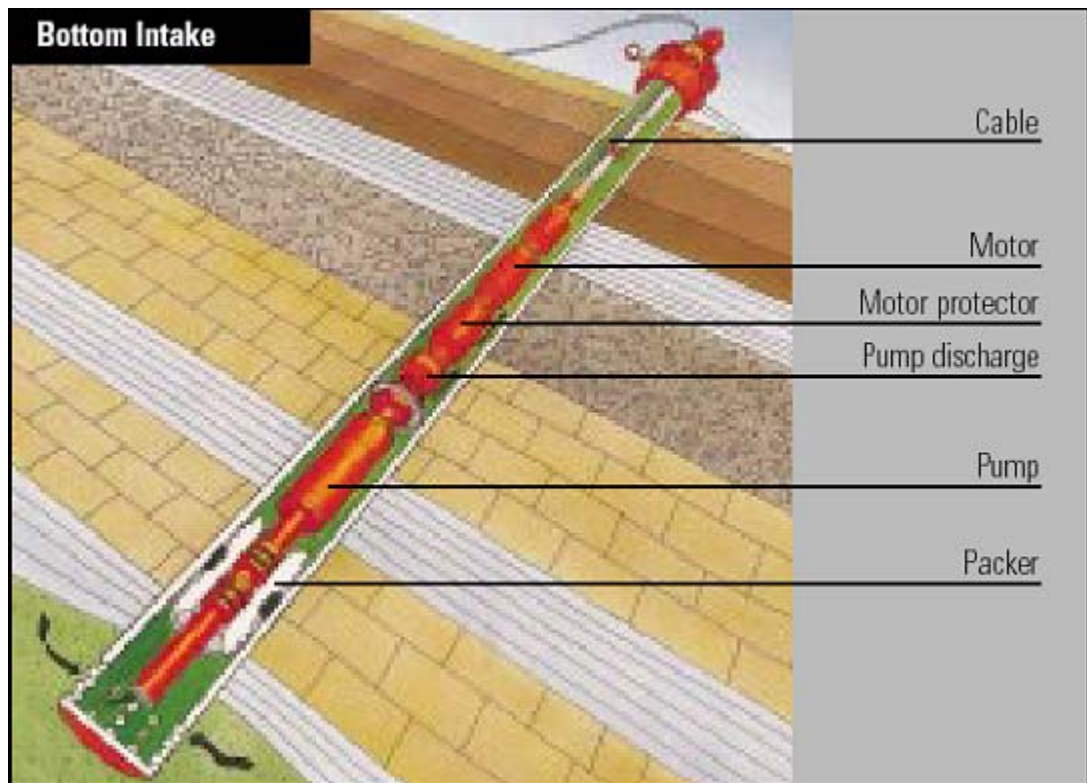
Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

1.3 SISTEMA CON SUCCIÓN EN EL FONDO

En esta aplicación se invierte la disposición de los componentes con respecto a la instalación estándar y se coloca el intake en el fondo y el motor en la parte superior. Este tipo de instalación requiere del uso de empacadura de fondo (Packer) porque el fluido es producido por el espacio anular.

La instalación de la sección de entrada (intake) lo mas bajo posible en el pozo permite aplicaciones como drenaje u operación con presión de succión muy baja.

Figura 3. Sistema con la succión inferior



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

1.4 APLICACIÓN CON LA DESCARGA EN EL FONDO

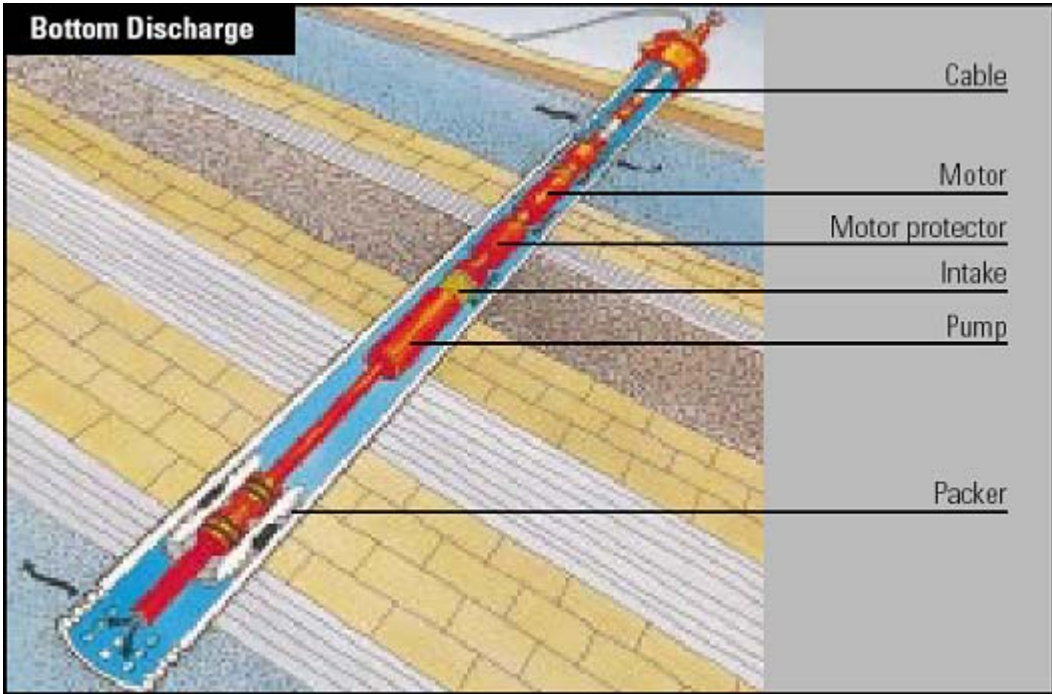
Otra configuración posible es colocar la descarga en la parte más baja para la inyección a alta presión. En esta aplicación la disposición de los componentes es invertida, colocando la bomba en la parte inferior y en posición invertida. También en este caso es necesario instalar una empacadura de fondo.

El fluido de inyección puede entrar por el anular o también por el tubing (o por ambos). Si el fluido de inyección que entra es inyectado por el tubing, se utiliza un

tubo ranurado o una camisa para permitir que el fluido salga al espacio anular justamente por encima del motor.

Este sistema puede también ser usado para inyectar el fluido producido en cierta zona hacia una zona inferior.

Figura 4. Aplicación con descarga en el fondo

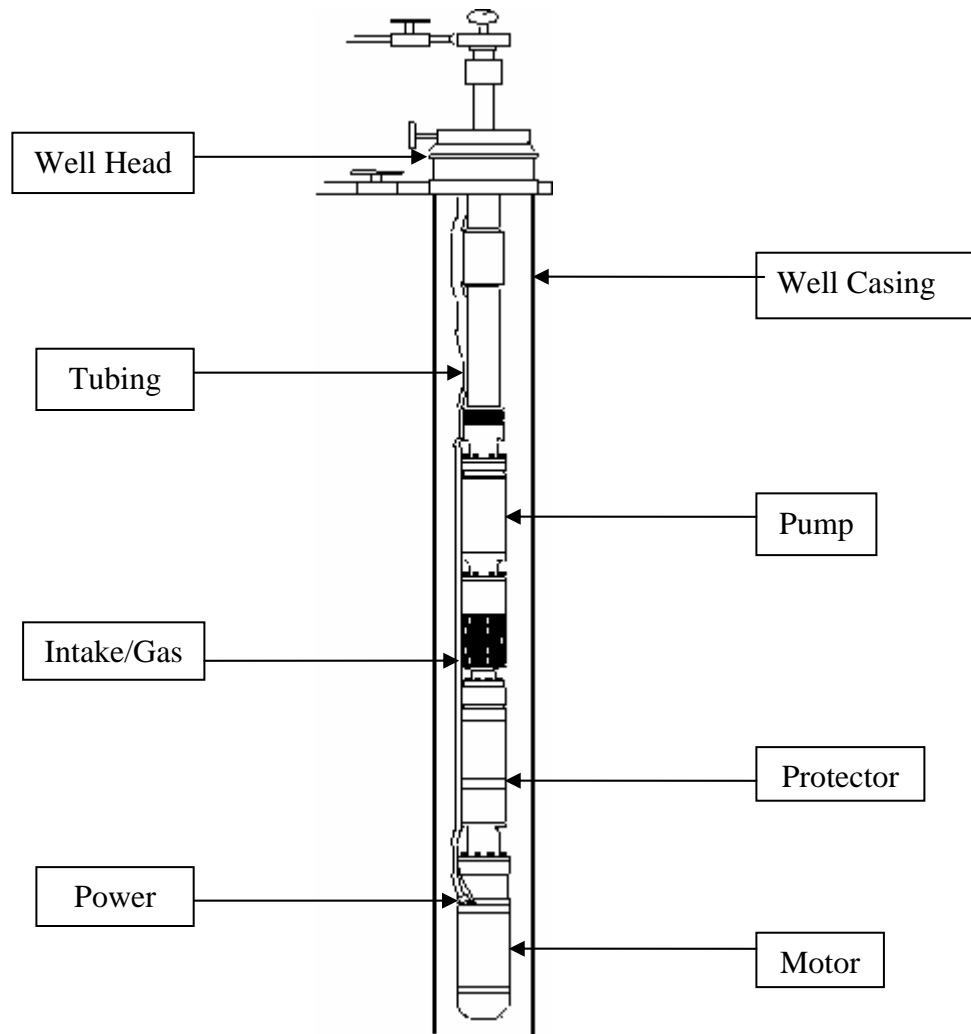


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

2. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (B.E.S.)

Un sistema de bombeo electrosumergible se encuentra configurado en fondo como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Instalación típica B.E.S.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

2.1 ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL B.E.S.

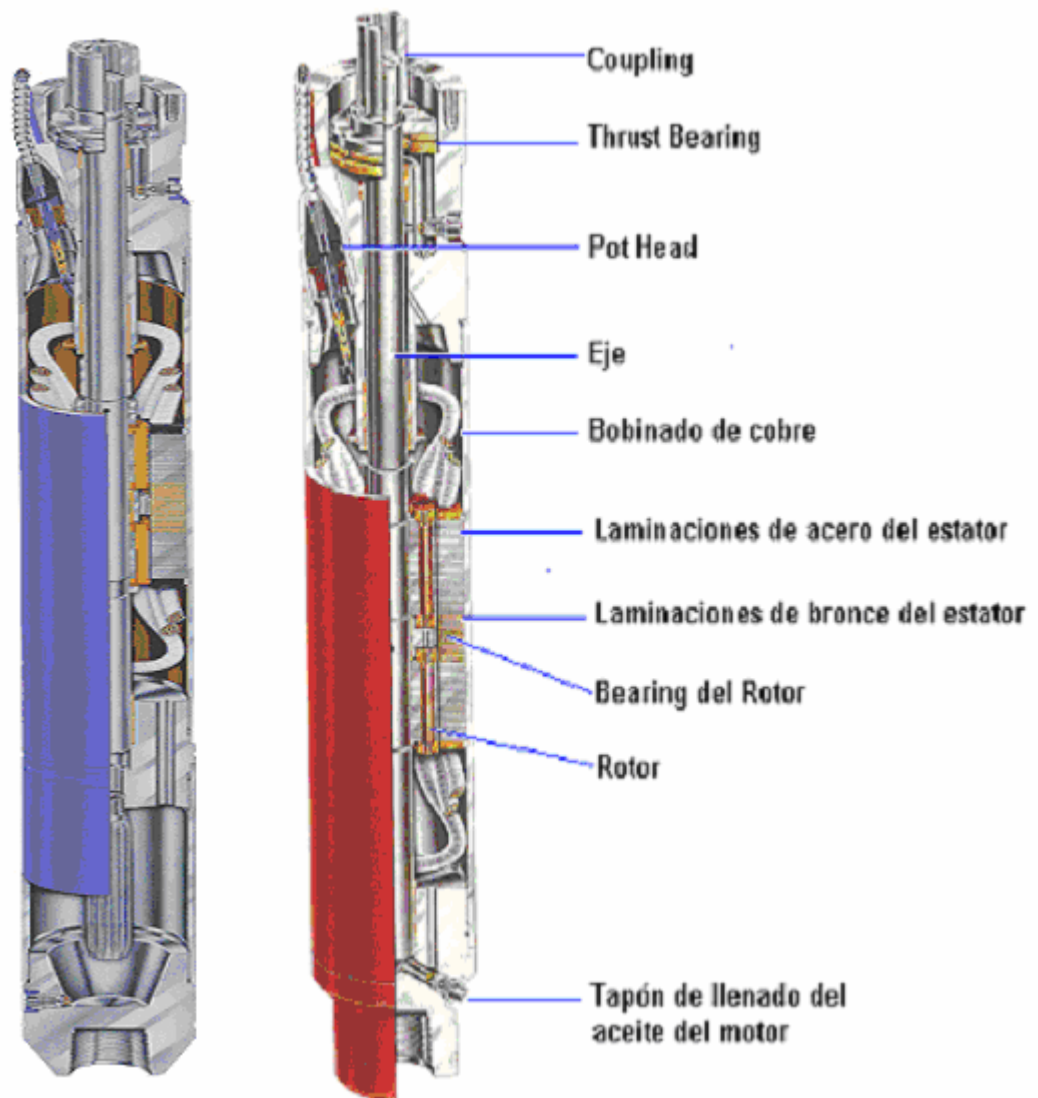
2.1.1 El Motor. Los principios básicos de diseño y operación de los motores de las B.E.S. son los mismos que los motores eléctricos normales de superficie. Son motores de inducción, trifásicos, tipo jaula de ardilla, con dos polos de inducción.

Puesto que el motor B.E.S. debe ser instalado en el interior del casing, debe tener una geometría adecuada. Debido al ambiente en el cual opera el motor también existen otras diferencias en el diseño y construcción del motor de la B.E.S. Los motores son llenados completamente con un aceite mineral altamente refinado o con aceite sintético el cual lubrica los cojinetes y provee resistencia dieléctrica y conductividad térmica para disipar el calor generado hacia el housing del motor. El calor es luego trasferido al fluido que pasa por la superficie externa del motor. El thrust bearing del motor soporta la carga de los rotores y eje.

El motor puede ser utilizado con corriente alterna de 60 o 50 Hz. Físicamente no hay diferencia entre un motor para operación a 50 Hz y uno de 60 Hz, con excepción de la placa de datos del motor. Los motores trabajan a algo menos de 3600 rpm en sistemas de 60 Hz. El voltaje de diseño y operación de estos motores puede ser tan bajo como 230 voltios ó tan alto como 5000 voltios. Los requerimientos de amperaje pueden ser de 12 a 200 amperios.

El comportamiento de los motores cambia de acuerdo a la carga a que están sometidos. Cada tipo de motor tiene sus curvas de rendimiento de velocidad, factor de potencia, eficiencia y amperaje en función del porcentaje de carga.

Figura 6. Partes del motor

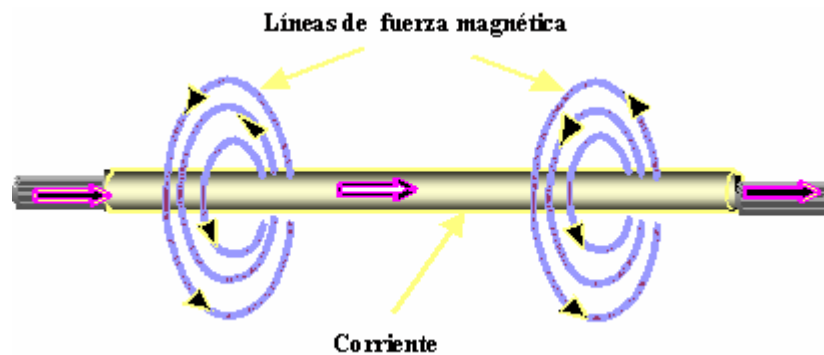


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

➤ **Principio de Operación**

Cuando la corriente eléctrica fluye a través de un conductor, provoca la inducción de un campo magnético.

Figura 7. Flujo de corriente y generación del campo magnético

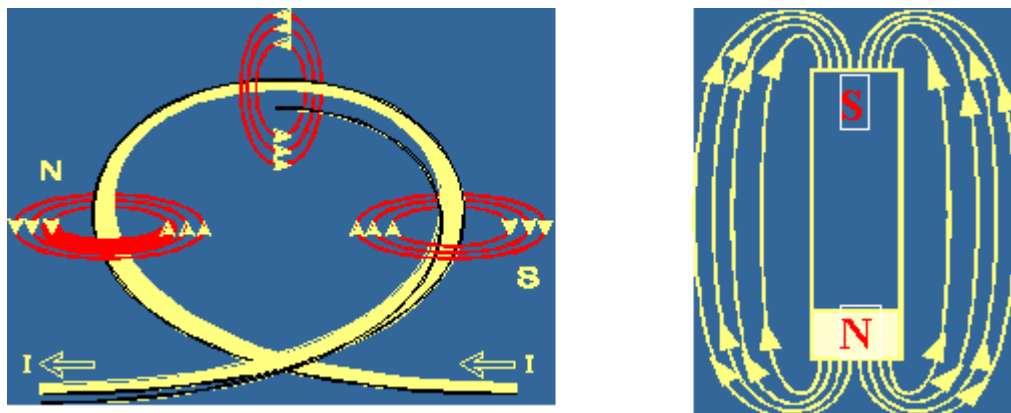


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Si la dirección de la corriente cambia, la dirección del campo magnético también cambia.

Cuando el conductor se encuentra en forma de bucle, las líneas de fuerza son muy similares a las creadas alrededor de un imán.

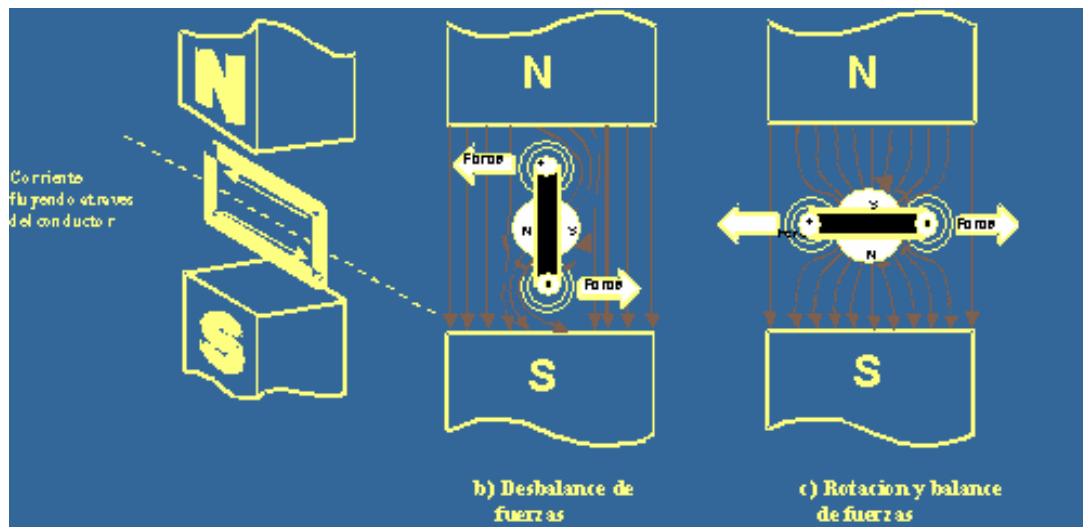
Figura 8. Campo magnético



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Se presentan campos magnéticos de igual magnitud pero dirección contraria. Esto representa dos pares de polos N-S. La atracción-repulsión hace rotar el bucle para balancear fuerzas.

Figura 9. Representación pares de polos

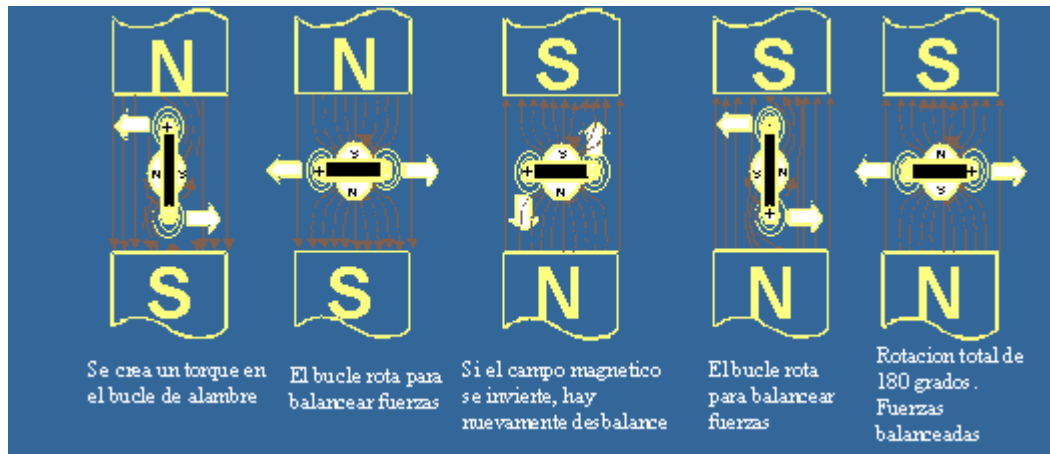


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

La rotación requerida para el balanceo es de 90 grados.

Si se aplica corriente alterna, la dirección de flujo de corriente cambia 50 o 60 veces por segundo (invirtiendo el campo magnético), así la rotación permanece constante mientras haya flujo de corriente.

Figura 10. Rotación generada por inversión del campo magnético

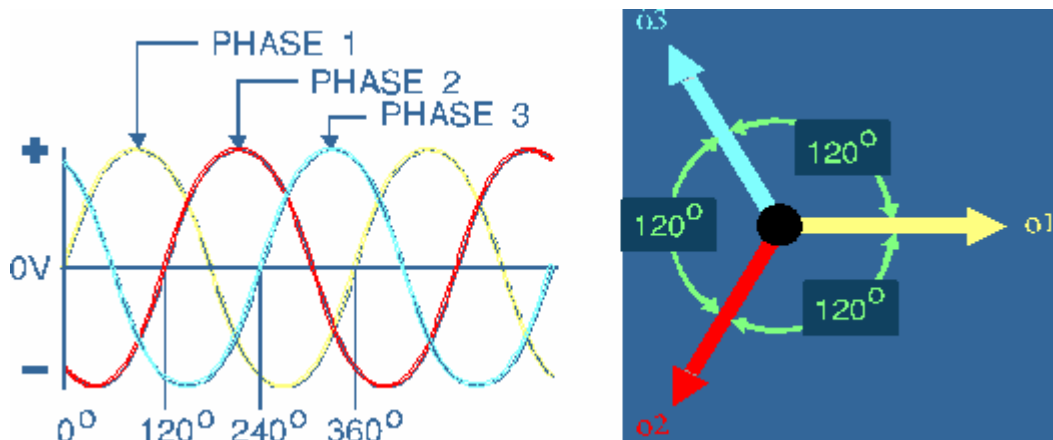


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Lo anterior es el funcionamiento cuando existe una sola fase de potencia.

El motor electrosumergible utiliza 3 fases, con un offset de 120 grados, conectadas en estrella para establecer un punto neutral.

Figura 11. Diagrama de tres fases de potencia



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

La utilización de 3 fases proporciona mayor potencia, incrementando la eficiencia del motor.

➤ **Partes del motor**

En un motor podemos identificar las siguientes partes:

- Estator
- Rotor
- Rotor Bearing
- Thrust Bearing
- Eje
- Pothead

- **Estator**

Es la pieza del motor que genera el campo magnético al hacer circular corriente por su bobinado. Utilizando un tubo metálico (housing), en su interior son colocados unos anillos o laminas perforadas. El material utilizado en las laminaciones es acero de bajo contenido de carbono y últimamente acero inoxidable. Este conjunto forma el cuerpo del estator. Por las laminas perforadas se hacen pasar los alambres que constituyen las bobinas del motor, dejando en el centro un espacio donde se colocará el rotor. Por la utilización de éstos motores en un lugar reducido (diámetro del revestimiento) las bobinas son alargadas.

Figura 12. Estator



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Rotor**

Está compuesto por un eje donde se colocan pequeños rotores de 12 pulgadas de largo cada uno. Cada rotor está sostenido en sus extremos por una balinera, la cual soporta cualquier movimiento radial que pueda tener el rotor al girar. Por regla general, cada uno de estos rotores puede aportar determinada potencia Hp, (varía de acuerdo al motor). De ésta forma, un motor típico de 200 Hp tiene 16 rotores de 12.5 HP cada uno. El conjunto descrito (eje y rotores) es colocado dentro del estator. Al circular la corriente por el estator, genera un campo magnético entre sus bobinas, el cual es cortado por el metal de los estatores generando un movimiento rotacional de éstos. Este movimiento es trasmitido hasta la bomba utilizando conectores (couplings) entre los ejes de los sellos y las bombas.

Figura 13. Rotor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Rotor Bearing**

Su función es brindar la capacidad de empuje radial y axial al motor. Tiene agujeros de flujo para facilitar la lubricación del motor.

Figura 14. Rotor Bearing

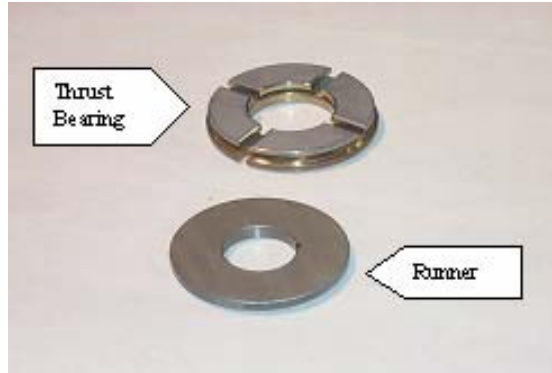


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Thrust Bearing**

Se ubica en la parte superior del motor, y su función es soportar el empuje generado por todos los rotores.

Figura 15. Thrust bearing



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Eje**

El eje del motor electrosumergible permite la circulación de aceite dieléctrico a través de él y del rotor bearing para asegurar la lubricación de sus partes móviles.

Figura 16. Eje



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Pothead**

Este elemento permite conectar el motor de fondo, mediante el cable de potencia, a la potencia suministrada en superficie.

Figura 17. Pothead



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Otras partes que conforman el motor son:

- **Housing**

Contiene y evita que los elementos internos del motor entren en contacto con el fluido del pozo, esta hecho de acero al carbón.

Figura 18. Housing



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Cabeza**

Contiene el buje del eje, tiene un portal para la entrada del cable de potencia hacia el estator, así mismo una válvula de llenado y un soporte del thrust bearing para UT, CT y motores de sección única, esta hecha de acero al carbón.

Figura 19. Cabezas para los diferentes tipos de motor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Base**

Contiene el buje del eje, al igual que la cabeza, tiene un portal para la entrada del cable de potencia hacia el estator, un soporte del thrust bearing para motores LT, una válvula de llenado y drenaje.

Figura 20. Bases para los diferentes tipos de motor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Aislador**

Ésta es una manga blanca de Teflón que aísla un terminal eléctrico de la base o la cabeza de un motor.

Figura 21. Aislador



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Thrust Washer**

Es un cojinete de empuje, que se utiliza entre el rotor y el rotor bearing para eliminar el contacto metal-metal y esta hecho de resina fenolica.

Figura 22. Thrust Washer



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

➤ **Selección del motor**

Los factores que se consideran en el proceso de selección del motor incluyen:

- Serie del motor.
- Tipo de motor.
- Configuración del motor, voltaje, amperaje, sección simple o tándem y características especiales de operación.
- Características de operación a las condiciones de diseño y máxima temperatura de operación del motor.

- **Serie del motor**

En general, el principio básico es seleccionar el motor de mayor diámetro que pueda ser instalado libremente dentro del revestimiento.

Los motores de mayor diámetro normalmente son menos costosos.

Mientras mayor es el diámetro del motor, mayor es la potencia que puede entregar por unidad de longitud.

Los motores de mayor diámetro pueden entregar más potencia sin la necesidad de utilizar motores en “tándem”. “Mientras más simple el sistema mejor”.

- **Tipo de motor**

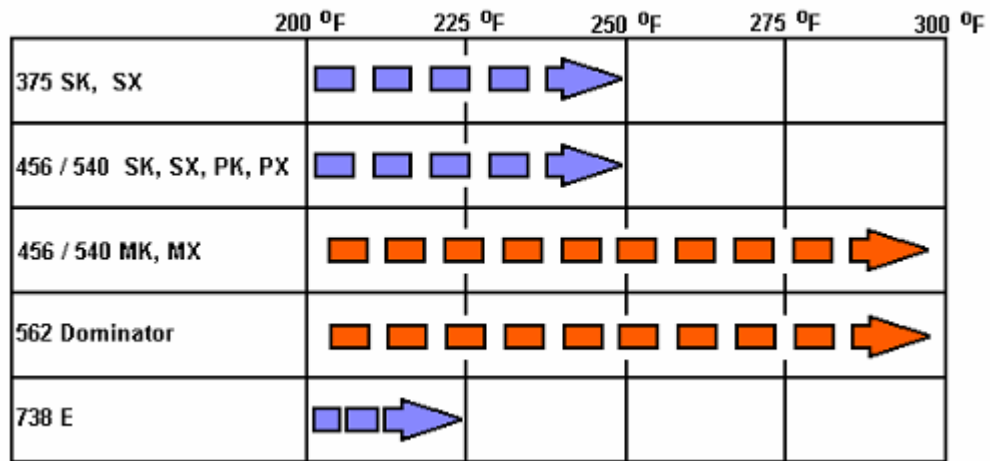
Junto con el desarrollo e introducción de nuevos tipos de motores, REDA ha cambiado la designación clásica de sus motores y se ha introducido una nueva nomenclatura que provee importante información para la aplicación del motor.

El tipo de motor se designa con dos letras:

La primera letra es un código que da información acerca del rango del motor:

S = Estándar	250 F BHT --	Potencia fija
P = Alto desempeño	250 F BHT --	Potencia fija, rango conservativo
M = Intermedio	300 F BHT --	Potencia fija, rango conservativo
R = Optimo	400 F	-- Temperatura interna del motor. Potencia variable, rango óptimo
H = Líneas calientes	500 F	-- Temperatura interna del motor. Potencia fija.

Figura 23. Limitación de los motores por temperatura de fondo (BHT)



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Algunas observaciones sobre los motores REDA.

La temperatura de fondo BHT debe usarse solamente como una primera referencia para la selección del motor. En algunas aplicaciones en pozos relativamente fríos la temperatura interna del motor puede ser muy alta debido a que esta sometido a alta carga y/o bajo caudal. Cuando el fluido se mueve a velocidades muy bajas se remueve muy poco o ningún calor de la housing del motor.

Se debe usar siempre la temperatura interna del motor calculada para las condiciones de operación para verificar si el motor es apropiado para la aplicación. Con el software disponible como el SubPump se puede modelar las condiciones de operación y estimar la temperatura interna del motor.

La segunda letra es un código que provee información referente a las características internas del tipo de aislamiento.

K = Devanado convencional y barniz.

X = Nuevo material de devanado patentado, no usa barniz.

- **Configuración del motor, voltaje y características especiales del motor**

Después de seleccionar la serie y tipo de motor, de acuerdo a la potencia requerida ya se puede determinar si será necesario un solo motor o un tándem de motores.

Ahora se debe seleccionar el voltaje del motor. Inicialmente puede ser confuso ver que para el mismo tipo de motor se tienen varios motores de la misma potencia pero de diferente voltaje y amperaje.

Si los motores son de la misma potencia, el producto de los Voltios y los Amperios debe ser esencialmente constante. Por ejemplo, para un HP determinado, si tenemos un motor de 1,000 Voltios y 50 Amperios, un motor de 2,000 V debe ser de 25 Amperios y uno de 500 Voltios debe ser de 100 Amperios, en otras palabras, los KVA son constantes. Los motores de alto voltaje no son ni mas ni menos eficientes que los de bajo voltaje.

La razón por la cual se tienen varios voltajes en motores de la misma potencia está en el balance de pérdidas en el cable de potencia. Bajo voltaje implica alto amperaje resultando en una mayor caída de voltaje en el cable de potencia.

Aunque la eficiencia del motor no cambia, la eficiencia del sistema disminuirá con mayor amperaje.

Tabla 1. El Rango de los Motores REDA a 60 Hz

HP	Voltios		Amp.	Tipo	L (pie)	Wt (Lb)	Acero al carbón MK Parte Numero	Redalloy MK Parte Numero	
100	83	1305	1088	51.5	S UT	15.7 15.8	1007	1089846 1090216	1090943 1091313
		2313	1928	27.0	S UT	15.7 15.8	1007	1089854 1090224	1090950 1091321
120	100	1105	921	69.5	S UT CT	18.5 18.5 18.8	1194	1089861 1090232 1090372	1090968 1091339 1091479
		2270	1892	32.5	S UT	18.5 18.5	1194	1089879 1090240	1090976 1091347
140	117	1022	852	85	S UT CT	21.2 21.2 21.5	1380	1089887 1090257 1090380	1090984 1091354 1091487
		1299	1083	69.5	S UT CT	21.2 21.2 21.5	1380	1089895 1090265 1090398	1090992 1091362 1091495
		2101	1751	40.5	S UT	21.2 21.2	1380	1089903 1090273	1091008 1091370

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Si el amperaje es demasiado alto, es posible que el motor no arranque debido a la caída de voltaje transitoria que ocurre al arrancar.

Si el motor no recibe en los terminales más del 50% del voltaje nominal, es posible que no arranque.

Los motores B.E.S. están conectados a cables de longitud mucho mayor que los motores de superficie. Si los motores de B.E.S. tuvieran los mismos voltajes que

los motores estándar de superficie tendríamos una gran limitación en los equipos de superficie (arrancadores, transformadores, etc.).

Los arrancadores vienen en ciertos rangos como: 600V, 1000V, 1500V, 2400V, etc. El voltaje del motor a usarse se selecciona asumiendo una longitud de cable tal que el voltaje total (motor mas perdida en el cable) sea ligeramente menor que uno de los niveles de voltaje de superficie estándar. Los motores de alto voltaje requieren cables de calibre más pequeño y los motores de muy bajos HP no podrían ser excitados con voltajes altos debido a que el devanado seria muy pequeño para aceptarlo.

En síntesis, en general es preferible seleccionar el motor de mayor voltaje, siempre y cuando sea posible considerando las perdidas en el cable y los equipos de superficie.

Cuando se requiere mas potencia de la que se puede conseguir con una sola sección de motor se acoplan en tándem dos o más motores. Es preferible usar dos motores del mismo voltaje, amperaje y HP, es decir, si la potencia requerida es 300 HP, la combinación preferible seria dos motores de 150 HP en lugar de combinar un motor de 200 HP con uno de 100 HP. Es posible realizar combinaciones de éste tipo, pero el calibre de devanado de cada uno de ellos debe ser el mismo, para hacerlo se debe consultar a un grupo de ingeniería de soporte.

En pocas palabras, con dos motores en tándem se tiene el doble de la potencia y el doble del voltaje de cada uno, pero el amperaje se mantiene. Con tres motores, se tiene triple cantidad de HP y voltaje pero el amperaje tampoco cambiara.

Por ejemplo, al acoplar un motor de 140 HP, 1299V, 69.5 A UT con un motor de 140 HP, 1299V, 69.5 A CT se tendrán 280 HP, 2598V, 69.5 A.

Además existen otros factores que afectan la vida del motor como transcientes eléctricos, selección apropiada del protector, vibraciones del sistema, etc.

- **Características de operación a las condiciones de diseño y temperatura de operación del motor. Selección del aceite del motor.**

Con la ayuda del software como el SubPUMP se pueden modelar las condiciones de operación del sistema y determinar los parámetros de operación del sistema y determinar los parámetros de operación del motor como porcentaje de carga, velocidad, eficiencia, amperaje y especialmente uno de los factores mas críticos en la operación del motor de B.E.S., la temperatura de operación del motor para las condiciones específicas de operación. Si se utiliza una camisa de fluido, esta también es incluida en el modelo.

Al igual que en la selección de las bombas, se debe considerar las condiciones de operación esperadas, corrosión, escamas, tratamiento con ácido y de acuerdo a estas, definir la metalurgia requerida, housing del motor, materiales de los o-rings, y especialmente el aceite necesario.

- **Aceite del Motor**

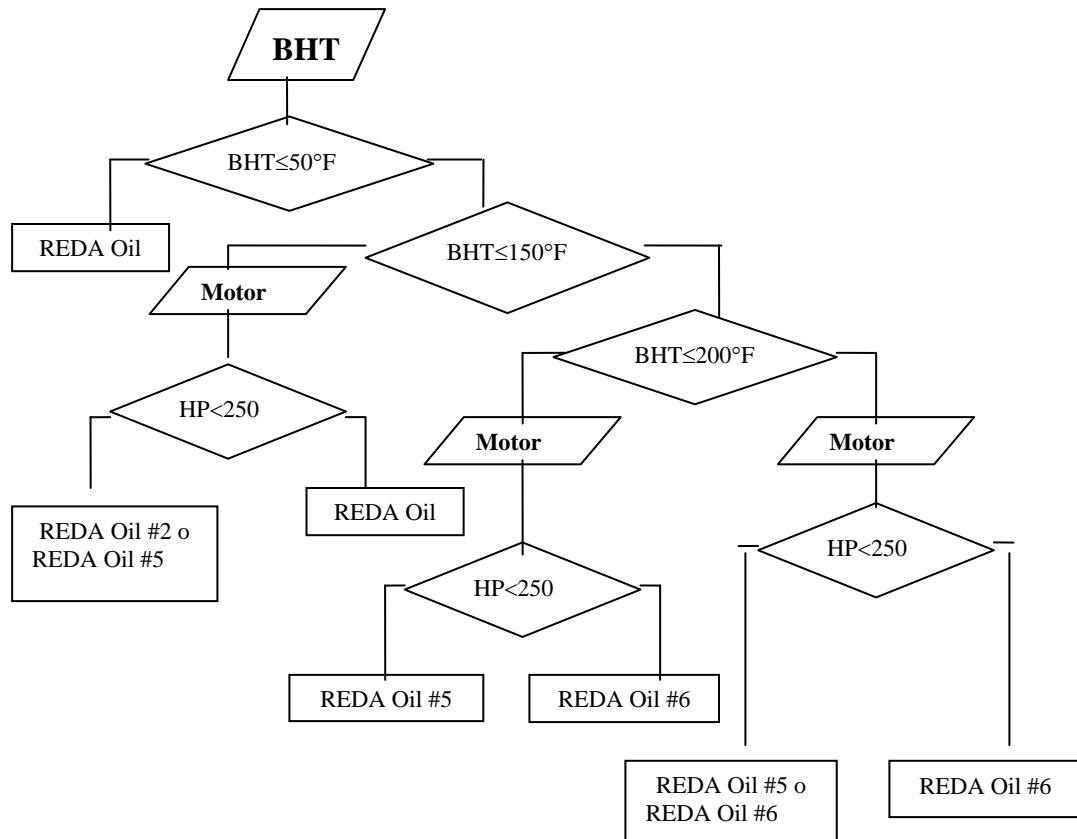
En la selección del aceite a usarse intervienen tres factores principales: la temperatura de fondo (BHT), la temperatura de operación del motor (MOT) y la potencia del motor. En ciertas condiciones también la temperatura ambiente puede ser decisiva. El siguiente diagrama de flujo muestra las recomendaciones básicas para la selección del aceite del motor y protector de acuerdo a la aplicación. Se asume que la velocidad del fluido que refrigera el motor es igual o mayor a 1pies/s y que el incremento de temperatura del motor es menor que 100 F sobre la temperatura externa del fluido.

En síntesis, en aplicaciones de pozos fríos ($BHT \leq 50^\circ F$), use aceite REDA # 3; en aplicaciones a temperatura regular ($50^\circ F < BHT \leq 150^\circ F$) puede usar aceite

Reda #2 o #5 si el motor es de hasta 250 HP. Para potencias mayores a 250 HP se recomienda el uso de aceite #6.

En aplicaciones a temperaturas entre $150^{\circ} F < BHT \leq 200^{\circ} F$ es recomendable usar aceite Reda # 5 si el motor es de hasta 250 HP. Para potencias mayores a 250 HP se recomienda el uso de aceite #6.

Figura 24. Diagrama para seleccionar el aceite del motor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Para aplicaciones en pozos con temperatura de fondo $BHT \geq 200^{\circ} F$ el aceite Reda #5 o #6 es recomendable en motores de hasta 250 HP. Para motores de potencias mayores se debe usar aceite Reda #6.

Si en cualquier aplicación el incremento de temperatura interna del motor es superior a 100° F se debería usar aceite de un grado mayor de viscosidad al recomendado según el proceso mencionado anteriormente.

Todos los aceite de motor Reda son compatibles y pueden mezclarse sin sufrir degradación química. El uso de aceite de mayor viscosidad aumenta la capacidad de carga de los cojinetes así como también ayudan a amortiguar vibraciones sobre los cojinetes radiales.

➤ **Dominador**

Los motores dominadores de la serie 562 son motores de potencia variable e incluyen un nuevo diseño de rotor y estator. Estos motores tienen un amplio rango de operación que permite al usuario decidir cuanto cargar al motor. Independientemente del porcentaje de carga sobre el motor los cambios en el rendimiento del motor serán muy pequeños.

Al operar el motor con cargas ligeras el calor generado será muy bajo lo cual al final se refleja en mayor vida útil. La operación con cargas muy altas sacrifica cierta vida útil pero puede ser más económico para el usuario final dependiendo del objetivo principal de la operación. Al operar el motor con cargas intermedias se tiene un equilibrio. Esto permite determinar el rango óptimo para el motor 562 para cualquier aplicación basada en un análisis caso por caso.

2.1.2 El protector. El protector esta ubicado entre la sección de entrada a la bomba y el motor. El protector es una pieza vital en el ensamblaje y si no es seleccionada apropiadamente puede reducir la vida útil del equipo.

A través del tiempo se ha venido utilizando los protectores en diferentes configuraciones para cumplir con los requerimientos de las diferentes aplicaciones. Los protectores tipo laberinto 66L y protectores de sello positivo tipo pre-llenados,

de bolsa simple (PFSB) y de doble bolsa (PFDB) han sido usados exitosamente alrededor del mundo por décadas. Estos y algunas combinaciones de ellos se usan todavía en muchas partes.

El concepto de la tecnología de protectores modulares permite combinar múltiples secciones o cámaras, tanto de laberinto como de sello positivo, utilizando pocas partes para ensamblar un protector con la combinación requerida para cada aplicación. Aunque los diseños anteriores aun están disponibles, el sistema modular se esta volviendo más común.

El sistema “modular” es realmente muy simple. Consiste en una cabeza, base, eje, sección de sello (tipo laberinto o bolsa) y un cojinete de empuje. Con pocos módulos o partes es posible fabricar muchas configuraciones.

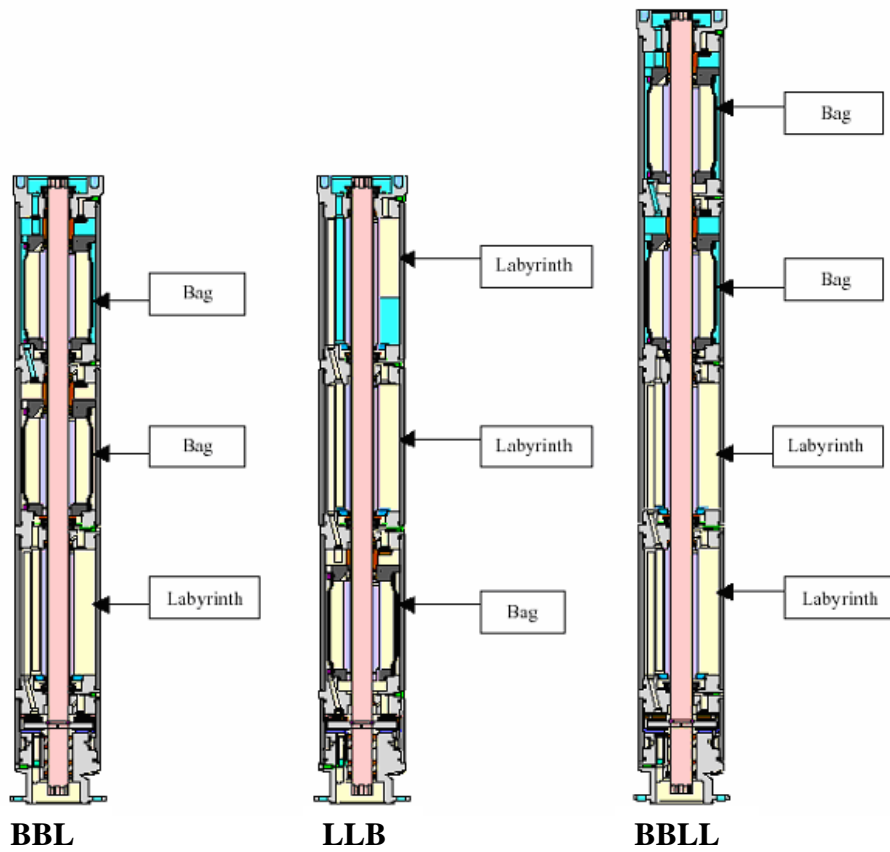
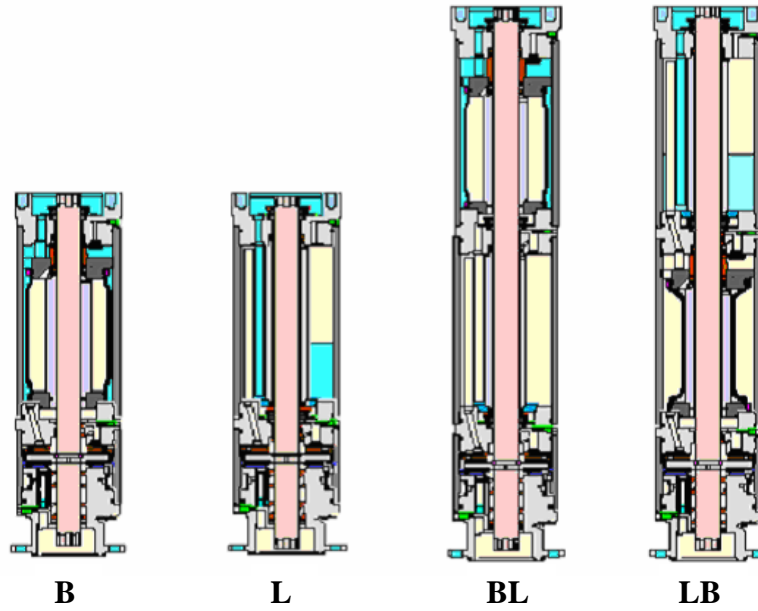
En la figura 25, se observan algunas configuraciones posibles. Independientemente de cual configuración se escoja, las funciones del protector son esencialmente las mismas.

La nomenclatura para denominar los protectores modulares es simple y brinda información de cómo esta configurado un protector.

La denominación del protector siempre comienza desde la cabeza y sigue hacia la base, se denomina de acuerdo a las cámaras de sello utilizadas y a la forma en que estas se conectan entre sí (por Ej. : en “serie” o en “paralelo”).

La “L” se utiliza para cámara tipo laberinto y la “B” para cámaras de tipo bolsa. En cuanto al tipo de conexión, la “P” significa en “PARALELO” y la “S” significa conexión en “SERIE”.

Figura 25. Protectores Modulares



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

En algunas ocasiones se encuentran también las letras “HL”, lo que indica que el protector tiene un cojinete de “alta carga”.

Dados estos códigos para la designación de los protectores, un protector BSBSL-HL es un protector de tres cámaras, que tiene una cámara de bolsa en la cabeza conectada en serie a otra cámara inferior de bolsa la cual esta luego conectada en serie a la ultima cámara de sello que es de tipo laberinto. Además, éste protector tiene cojinetes de alta carga.

◆ **Funciones del protector**

El protector tiene tres funciones principales:

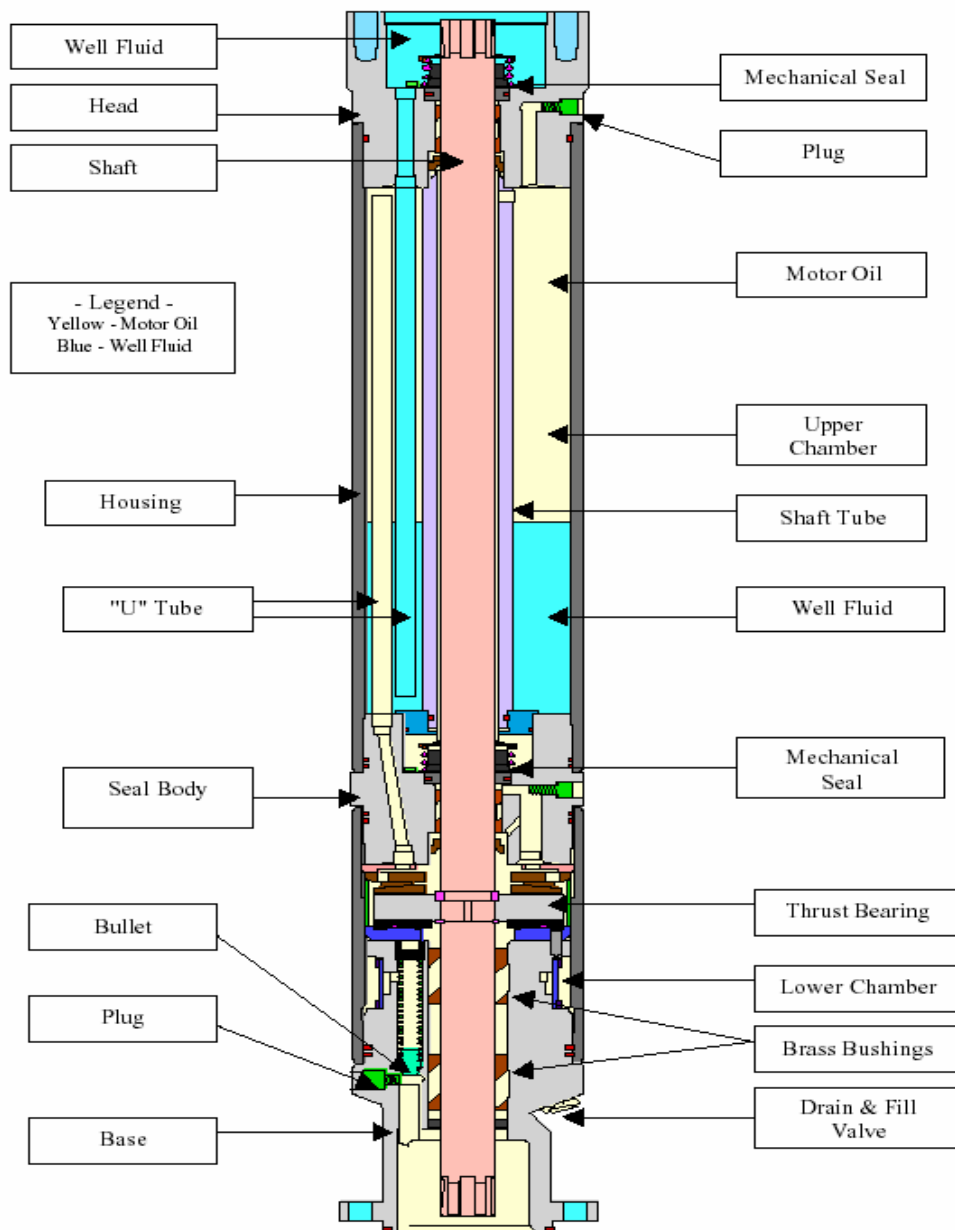
- Proveer un sello y equilibrar las presiones interna y externa para evitar que el aceite del motor sea contaminado por el fluido del pozo, actuando también como un reservorio de aceite para el motor.
- Soportar la carga axial (empuje) desarrollada por la bomba.
- Transmitir el Torque desarrollado en el motor hacia la bomba, a través del eje del protector.

Una de las funciones del protector es evitar el ingreso del fluido del pozo al motor donde podría causar daños irreparables al sistema. Esto se logra a través de equilibrar la presión en el interior del protector con la presión externa del fluido del pozo, independientemente del valor de la presión.

Puesto que la base del protector esta abierta al motor, la presión en el interior del motor se equilibra con la presión del ambiente externo del fluido que rodea a la unidad. Manteniendo una presión diferencial mínima se restringe el ingreso de fluido del pozo hacia el motor. Para lograr esta función, el protector debe permitir

de alguna manera que el fluido del pozo se comunice con el aceite del interior del protector.

Figura 26. Protector



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

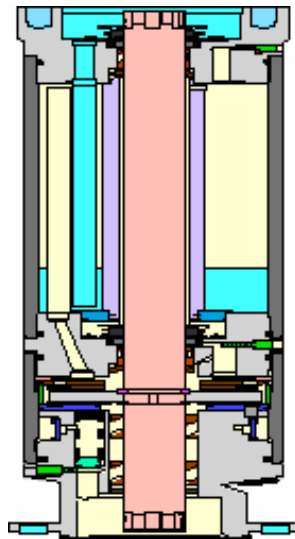
◆ Tipos de protector

Hay algunos diseños de protectores que permiten la transferencia de presión mutuamente sin que se produzca la mezcla de los dos fluidos. Uno de estos tipos es el tipo laberinto.

En la cámara de laberinto se utiliza la diferencia entre la gravedad específica del fluido del pozo y el aceite del motor para mantenerlos separados, a pesar de que están en contacto directo ya que el protector esta abierto a la sección de entrada a la bomba en su parte superior.

El fluido del pozo es generalmente inmisible con el aceite del motor, por esta razón aunque haya un contacto directo no hay tendencia para contaminar el aceite del motor.

Figura 27. Cámara de laberinto



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

En la cámara de laberinto se utiliza la diferencia entre la gravedad específica del fluido del pozo y el aceite del motor para mantenerlos separados, a pesar de que están en contacto directo ya que el protector esta abierto a la sección de entrada a

la bomba en su parte superior. El fluido del pozo es generalmente inmisible con el aceite del motor, por esta razón aunque haya un contacto directo no hay tendencia para contaminar el aceite del motor.

La cámara del laberinto esta aislada de la rotación del eje por un tubo exterior al eje, por lo tanto no se mezcla cuando gira la unidad.

Hay sistemas en las que el sistema de laberinto no es aplicable. En casos donde el fluido del pozo es más liviano que el aceite del motor (aproximadamente 0.85), el aceite del motor iría al fondo de la cámara y sería desplazado rápidamente por el fluido del pozo.

Si la gravedad específica del fluido del pozo es muy cercana o menor a la gravedad específica del aceite del motor, éste tipo de protector no debería ser utilizado.

Los protectores de laberinto tampoco deben ser aplicados en pozos horizontales o altamente desviados. El diseño de la separación por gravedad requiere que la unidad este en posición vertical, o casi vertical. Mientras mayor es el ángulo, menor será la capacidad de expansión de aceite. Cuando se hacen inspecciones en el campo de los equipos recuperados del pozo la inspección del protector tipo laberinto debe hacerse “antes” de que el protector sea acostado. Una vez que el protector ha sido puesto en posición horizontal la restricción del tubo “U” es removida y el fluido del pozo se puede distribuir en todas las cámaras.

Para aplicaciones donde las gravedades específicas del fluido del pozo y del aceite del motor son similares o en pozos demasiado desviados, se utilizan protectores de “sello positivo” o “bolsa” los cuales mantiene separados físicamente los dos fluidos.

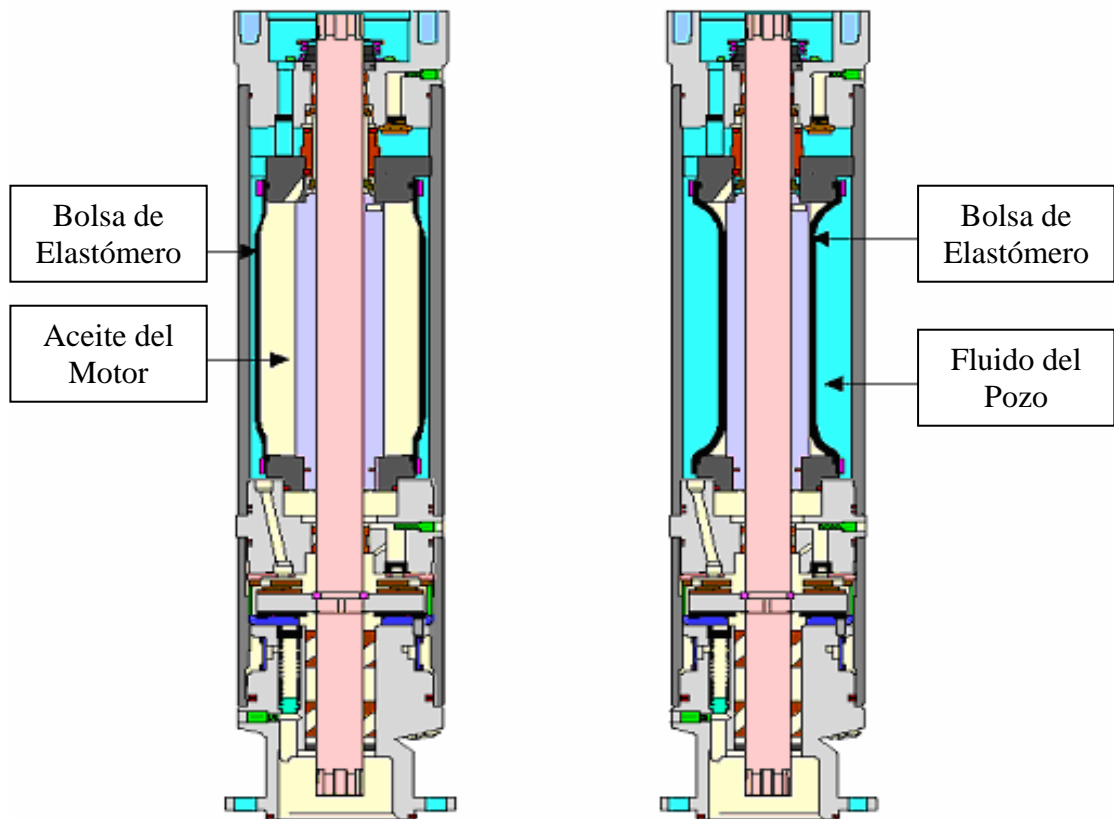
Este sistema es similar al “fuelle” encontrado en algunos motores de pozos de agua excepto que la bolsa tiene mucha mayor capacidad para la expansión y contracción que un típico “fuelle”.

El material de esta bolsa es un elastómero de alta temperatura y alto rendimiento que puede resistir las severas condiciones típicas encontradas en los pozos de petróleo.

La bolsa mantiene el fluido del pozo en el exterior y el aceite limpio del motor en el interior. Cuando el aceite del motor se expande o se contrae, la bolsa simplemente se infla o se contrae para adaptarse al cambio de volumen.

El protector de sello positivo ofrece una gran ventaja por su flexibilidad y es útil en una amplia variedad de aplicaciones. Sin embargo, se debe tener cuidado en las aplicaciones de éste tipo de protectores en pozos con fluidos que contienen químicos o que son tratados continuamente con químicos. Como con cualquier elastómero que se aplica en el área petrolera, se debe tener en cuenta éste efecto para garantizar que el elastómero no será dañado por el fluido del pozo. Si el sello positivo se rompe, el motor puede ser contaminado fácilmente con el fluido del pozo.

Figura 28. Protector de bolsa o sello positivo

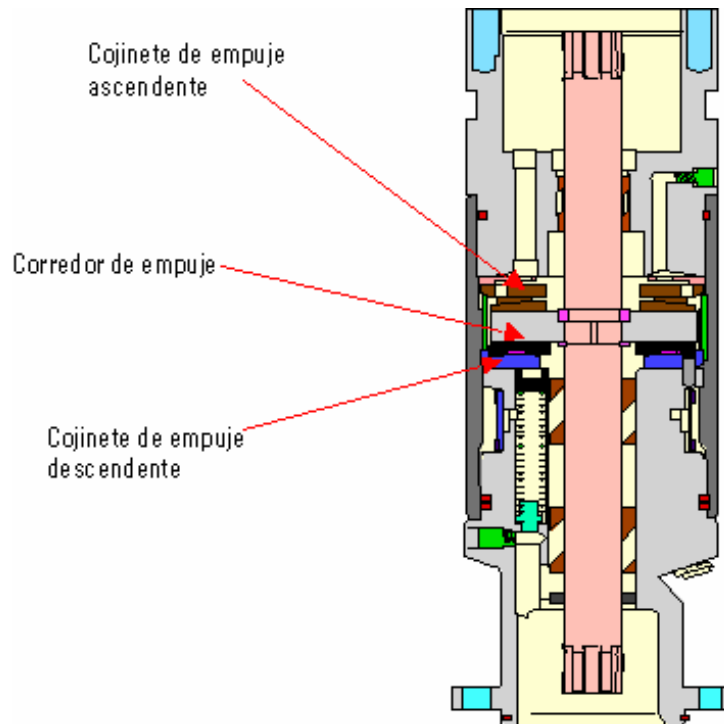


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Otra función del protector es absorber el empuje generado por la bomba. El cojinete de empuje del protector posee una superficie relativamente grande sobre la cual absorbe el empuje. Además, puesto que el cojinete de carga (thrust bearing) opera y absorbe la carga en un entorno de aceite limpio, el tiempo de servicio de la B.E.S. se prolonga.

Siempre se debe seleccionar un cojinete de empuje que tenga capacidad para soportar una carga mayor que el máximo empuje que la bomba seleccionada sea capaz de generar en la condición mas critica de operación.

Figura 29. Cámara del Cojinete de Empuje (Thrust Bearing) del protector.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Siempre se debe seleccionar un cojinete de empuje que tenga la capacidad para soportar una carga mayor que el máximo empuje que la bomba seleccionada sea capaz de generar en la condición mas critica de operación.

Otra función que el protector lleva a cabo es la transmisión de torque del motor a la bomba, puesto que esta físicamente localizado entre los dos.

Aunque puede parecer un poco trivial, en el proceso de selección necesitamos estar seguros de que el eje del protector es capaz de transmitir todo el torque requerido sin exceder su resistencia máxima, lo cual podría resultar en un eje roto. Sabiendo como operan independientemente las cámaras de tipo laberinto y las de sello positivo o bolsa, veamos las combinaciones entre ellas para adaptar la configuración final del protector.

Una conexión en serie es simplemente una cámara en línea después de la otra, al igual que las resistencias en un circuito eléctrico. Para que el fluido del pozo entre a la cámara inferior, este tiene que desplazar antes todo el aceite de la cámara superior.

Si se tienen dos bolsas en serie, significa que la bolsa inferior es un sello redundante a la bolsa superior y esta allí como “seguro” adicional en caso de que la superior falle por alguna razón.

En sistemas en serie no se incrementa la capacidad de expansión.

Cuando se conectan dos bolsas en paralelo se duplica la capacidad volumétrica de expansión disponible. Esto es útil en aplicación de HP superiores (motores mas grandes tienen mas aceite) donde la expansión y contracción puede exceder la capacidad volumétrica de una sola bolsa. Si se utiliza una sola bolsa y la capacidad es excedida, la unidad permitirá la penetración del fluido del pozo, el uso de dos bolsas eliminaría esta posibilidad.

Aunque hay muchas combinaciones posibles, nunca se pueden combinar dos cámaras de laberinto en paralelo.

Así mismo, no es posible conectar una cámara laberíntica en paralelo a una sección de sello positivo.

Las configuraciones permitidas entre dos cámaras son: LSL, LSB, BSL, BSB y BPB.

◆ Ciclos de operación del protector

– **Llenado con aceite del motor y protector**

Todos los protectores son llenados con aceite previamente inspeccionado y probado en taller con el fin de reemplazar el aceite perdido durante el acople de los componentes.

Cualquier desviación en los procedimientos específicos de llenado, puede ocasionar problemas como presencia de aire atrapado en el interior del protector lo cual puede causar falla de los sellos mecánicos durante la operación.

Puesto que el llenado de aceite del sistema se hace a una temperatura ambiente, la temperatura del aceite será también igual a la temperatura del ambiente (OAT) Outside Ambient Temperature.

– **Asentamiento de la B.E.S. a profundidad de asentamiento, el aceite se expande.**

En este paso a medida que la B.E.S. es bajada en el pozo el aceite del motor y del protector se va calentando gradualmente hasta llegar hasta la profundidad de asentamiento (BHT) Bottom Hole Temperature.

El incremento gradual de temperatura originara que el aceite del motor y del protector comienza a expandirse hasta que la temperatura se equilibra con la temperatura externa BHT. El volumen expandido del aceite dependerá del diferencial térmico entre la superficie OAT y la temperatura a la profundidad de asentamiento BHT. Para fines de ilustración, asumamos que el aceite se expande 9%.

Pero el sistema puede alojar solamente 100% del volumen, por lo tanto el sistema expelerá el 9% adicional. Este aceite nunca será recuperado por el protector.

- **La B.E.S. entra en operación. El aceite se expande mas.**

Cuando el sistema se arranca y la B.E.S. entra en servicio, la temperatura del motor se incrementa a partir de la temperatura de fondo BHT hasta que alcanza la temperatura a la cual se estabiliza para la operación del sistema MOT (motor operating temperature). Este incremento de temperatura provoca una expansión adicional del aceite, para propósitos de ilustración en el ejemplo asumamos un incremento de 2% al 4% del volumen.

Pero nuevamente, el sistema solo puede alojar 100% del volumen por lo tanto el 2-4% adicional de aceite será expelido hacia el pozo.

- **El motor para, el aceite se contrae**

Después de cierto tiempo de operación se apaga la B.E.S., sea para realizar mantenimiento de los equipos de superficie. En el transcurso de cierto tiempo, generalmente entre 2 a 4 horas, la temperatura del motor disminuye desde MOT hasta equilibrarse nuevamente con la temperatura externa del fluido BHT, por lo tanto el aceite se contraerá el mismo volumen que se expandió en el punto anterior. Ahora el sistema contiene solamente 96-98% de aceite, por lo tanto el protector por primera vez permite el ingreso de fluido del pozo a su cámara superior un una cantidad igual al 2-4% (en este ejemplo) de volumen faltante.

Dependiendo de la operación cíclica a la que estuvo sometido el equipo y de la BHT, el volumen contraído puede exceder la capacidad de la cámara de laberinto o de la bolsa, lo que se evidencia como desgarramiento de los elastómeros de las bolsas y presencia de fluido en las cámaras inferiores.

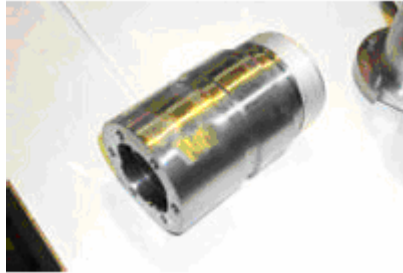
◆ **Partes del protector**

A continuación se presenta una lista de algunos componentes del protector y un breve comentario sobre su función.

- **Cabeza**

Esta hecha de acero al carbón, contiene un buje de bronce para el eje, un plug usado en el proceso de llenado de aceite y una válvula de descarga, la cabeza esta conectada con el intake.

Figura 30. Cabeza del protector



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Base**

Esta hecha de acero al carbón, contiene un plug, y una válvula de llenado y drenaje, permite el paso de aceite entre el motor y el protector, esta conectada al motor.

Figura 31. Base del protector



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Cuerpo del sello**

Esta hecho en acero al carbón, es llamado el housing del sello mecánico John Crane, contiene un buje y un plug para ayudar al proceso de llenado.

Figura 32. Cuerpo del sello

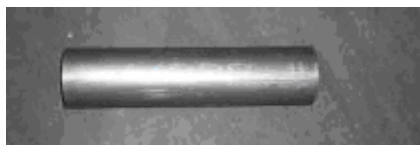


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Housing**

Esta hecho de acero al carbón, contiene y protege todas las partes del protector en su interior.

Figura 33. Housing del Protector

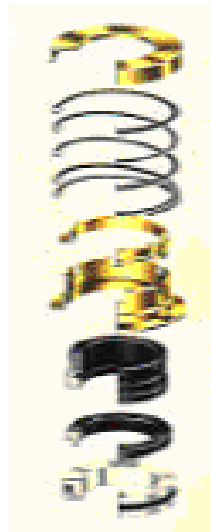


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Sello John Crane**

Es un sello mecánico para prevenir la migración de fluidos abajo del eje del protector hacia el motor.

Figura 34. Sello John Crane



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Eje**

El eje del protector recorre toda la longitud del protector y esta hecho de monel, conecta el motor a la entrada de la bomba.

Figura 35. Eje del protector



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Bolsa**

La bolsa de elastómero contiene aceite del motor limpio y sirve como sello positivo entre el fluido del pozo y el aceite del motor. La bolsa se expande y se contrae cuando el aceite del motor es calentado y enfriado.

Figura 36. Bolsa de elastómero

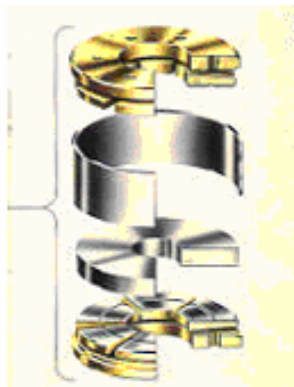


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Thrust Bearing**

Esta hecho de acero al carbón y es usado para absorber las fuerzas axiales originadas por la bomba.

Figura 37. Thrust Bearing



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Snap ring**

Son anillos de forma circular con una lengüeta en su OD que se abre para introducirse en el eje. Están hechos de monel, tratados al calor y endurecidos.

Figura 38. Snap ring



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **O-ring**

Es común a muchas piezas y sirve como sello entre las piezas de acoplamiento. Se hace de los elastómeros construidos para soportar ambientes ásperos en el pozo.

Figura 39. O-ring



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Tubo compensador**

Este es un tubo de acero galvanizado que se encuentra en protectores de laberinto y forma parte del tubo "U".

Figura 40. Tubo compensador



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Válvula de descarga**

Válvula de descarga de acero inoxidable que se utiliza en protectores de sello positivo y modulares para proporcionar la igualación de presión del aceite del motor.

Figura 41. Válvula de descarga



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Plug**

Son usados para abrir y cerrar la válvula del protector en la base.

Figura 42. Plug



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

2.1.3 Sección de entrada a la bomba o intake. Hay dos tipos básicos de intake, un intake estándar y un separador de gas. El separador de intake/gas se sujeta a la base de la bomba y a la cabeza del protector. La función de intake es proporcionar al fluido del pozo una trayectoria a la bomba.

La función del separador de gas es proporcionar una trayectoria para el líquido hacia la bomba pero también separa y quita el gas antes de que alcance la bomba.

Cuando la presión del líquido se disminuye, el gas comienza a liberarse de la solución. El gas no es bueno para la bomba.

Si hay demasiado gas, las burbujas afectan drásticamente el funcionamiento de la bomba desplazando el líquido y causándole a la bomba un bloqueo por gas.

Esto significa que la alta cantidad de gas, ha tomado demasiado volumen en las paletas del impeler y el líquido no puede ser levantado a superficie.

Cuando ocurre esto, pueden suceder dos cosas:

- 1) Perdida producción.
- 2) Posiblemente la bomba trabaja por intervalos, debido a que tiene una escasa carga en el motor.

En cualquier caso el cliente no estará feliz con su producción y la vida del funcionamiento del equipo puede ser reducida.

➤ **Tipos de intake**

▪ **Estándar**

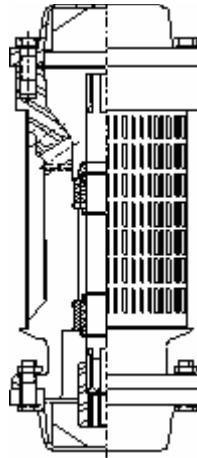
Suministra agujeros de entrada al fluido, une la base de la bomba con la cabeza del protector mediante un eje corto.

▪ **Intake ARZ**

A diferencia del estándar, presenta cojinetes de zirconio que lo protege contra el desgaste abrasivo y la vibración lateral.

Debido a la eficiencia y resistencia del sistema de cojinetes, el rendimiento y tiempo de servicio del sistema BES se mejoran sustancialmente. El beneficio se entiende fácilmente si se considera que la sección de entrada esta ubicada inmediatamente por encima del protector en el ensamble del equipo.

Figura 42. Sección de entrada ARZ



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Intake integral**

Algunas bombas utilizan el intake integral, la diferencia es que se diseñan como parte de la base de la bomba. Estos se encuentran típicamente en bombas sumergibles más grandes, bombas de la baja temperatura y bombas de pozos de agua.

- **Partes de la sección de entrada o intake**

- **Base**

Esta hecha de acero al carbón, contiene los bujes y el eje, tiene grandes agujeros perforados para permitir la entrada del fluido a la bomba.

Figura 43. Base del intake



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Eje**

El eje esta hecho de monel, transmite la rotación a la bomba.

Figura 44. Eje del Intake



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Malla**

La malla esta hecha de una hoja de acero inoxidable, tiene muchas ranuras para permitir la entrada fluido

Figura 45. Malla



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Shedder**

El shedder se hace de caucho altamente saturado del nitrilo (HSN). Actúa como paraguas para desviar los abrasivos lejos del cojinete.

Figura 46. Shedder



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

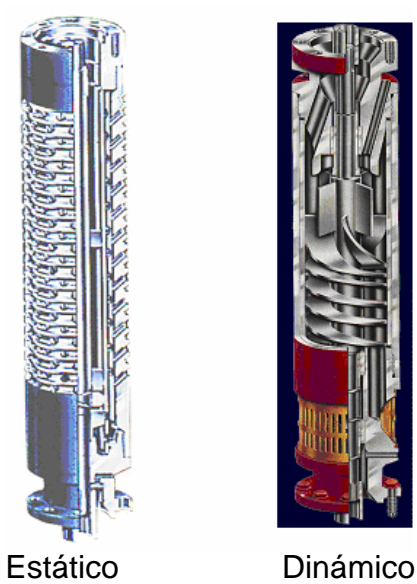
➤ **Separadores de gas**

El diseño original de los separadores de gas estático se basaba en el incremento de la separación por medio de la inversión de la dirección del flujo en la sección de entrada a la B.E.S. Por eso son conocidos como separadores de gas de flujo inverso (RF, Reverse Flow).

Puesto que estos separadores no entregan efectivamente ningún trabajo al fluido también se los conoce como Separadores Estáticos.

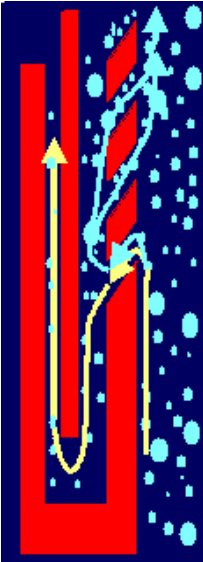
Un separador tipo RF (flujo inverso) se muestra en la figura 48. Cuando el fluido entra al separador de gas la dirección del flujo se invierte, disminuyendo la cantidad de gas arrastrada por el líquido que entra al separador. Algunas de las burbujas de gas siguen su camino por el espacio anular, otras entran al separador pero se separan en el espacio anular entre la carcasa y la camisa interna del separador de gas, y finalmente el gas que no se logra separar pasa con el líquido al interior de la bomba.

Figura 47. Separadores de Gas



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Figura 48. Separador de gas de flujo inverso



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

A diferencia de los separadores estáticos, los separadores de gas “Dinámicos o Rotativos” si ejercen un trabajo en el fluido para lograr mayor separación de gas dentro del separador. Para entender el proceso de separación en un separador dinámico, se puede dividir el separador en tres secciones: Cámara de incremento de presión, Cámara de separación y By-pass. En la primera sección el inductor aumenta la presión de la mezcla. En la Cámara de separación las fases se separan por medio de centrifugación. Puesto que la fase líquida es más pesada, ésta es impulsada hacia afuera (contra la pared interna de la carcasa) y la fase gaseosa se concentra en el centro por ser más liviana. En la parte superior del separador los fluidos de producción son re-direccionados, el gas que venia por la parte central es direccionado al espacio anular y la fase líquida desde el exterior es dirigida hacia la bomba por la parte interior del By-pass.

La desventaja de los separadores dinámicos KGS y *RS es que el subconjunto del inductor y centrifuga (la cámara de presión y la de separación) representan una longitud considerable entre cojinetes y una masa también considerable que puede estar en des balance por algunos factores como que el inductor y la centrifuga manejan un fluido heterogéneo de gravedad específica variable, que pueden ser erosionados en forma irregular por la presencia de abrasivos, o por un efecto combinado.

Para minimizar éste efecto Reda desarrollo la línea de separadores de gas tipo *RS-ES que reduce considerablemente la masa del elemento rotativo y también disminuye la distancia entre cojinetes pero manteniendo la misma eficiencia de separación.

La última tecnología de los separadores dinámicos de gas es la línea de separadores tipo VORTEX. Este separador utiliza el efecto de remolino (Vortex) que se genera en el fluido al pasar por los puertos de entrada, inductor, propulsor y By-pass de descarga. El separador Vortex también utiliza el sistema de cojinetes flexibles resistentes a la abrasión ARZ bajo un nuevo esquema de

distribución que ha permitido obtener mucho mayor rendimiento y durabilidad en fluidos severamente abrasivos.

La eficiencia de separación no es un número fácil de predecir debido a la cantidad de variables que intervienen como tamaño de revestimiento, propiedades del fluido, velocidades, caudal, tipo de flujo, dimensiones de los equipos, velocidad de rotación, etc. Algunos valores promedio comúnmente usados para eficiencia de separación se muestran en la tabla 2.

En experimentos realizados en la universidad de Tulsa se demostró que los separadores de gas tienen dos zonas extremas de operación dependiendo del caudal y de la presión.

Una zona en la cual los separadores rotativos son muy eficientes y en otra zona en la cual son totalmente ineficientes.

Tabla 2. Tipos de separadores, eficiencia y manejo

Tipo de Separador	Eficiencia de separación	Porcentaje de gas que pasa a la bomba
Sección de entrada	0 – 20 %	80 – 100 %
estándar	25 – 50 %	50 – 75 %
Flujo inverso	80 – 95 %	5 – 20 %
Rotativo		

La transición entre las dos zonas es repentina, se produce en forma brusca al llegar a cierto volumen de fluido. El uso de programas de computación ayudan a estimar el punto de transición.

Los rangos de flujo en los cuales son efectivos los separadores de gas se muestran en la Tabla 3.

Cuando se selecciona un separador tipo rotativo se deben tomar en cuenta algunas recomendaciones prácticas como siguen:

En aplicaciones con cantidades moderadas de gas en las cuales un separador de flujo inverso le permite operar el pozo sin problemas es preferible usar éste tipo de separador estático. “Mientras más sencillo sea el sistema B.E.S., mejor”.

Como los separadores rotativos si entregan energía al fluido, es necesario considerar la potencia requerida por el separador en los HP totales requeridos del motor para la aplicación.

Tabla 3. Tipos de separadores, límites en el caudal de operación

TIPO	CAUDAL MAXIMO (Efectivo)	CAUDAL MAXIMO (Permisible)	CAUDAL MINIMO
338 Series ARZ (338 Series)	2440 BPD		250 BPD
400 Series 65GS RF DRS, DRS-ES	1750 BPD 2500 BPD 4000 BPD	4300 BPD 6000 BPD	NA NA 500 BPD
513 / 538 Series 74GS RF GRS, GRS-ES	3600 BPD 4800 BPD 7000 BPD	9000 BPD 12000 BPD	NA NA 1000 BPD
VGSA S20-90	9000 BPD		NA

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Tabla 4. Separadores rotativos, potencia requerida @ 60 Hz

Separador Rotativo	Potencia Requerida @ 60 Hz
Serie 338, ARS	1.75 HP
Serie 400, DRS	1.25 HP
Serie 540, GRS	7.00 HP
Serie 538, VGS S20-90	< 5.0 HP.

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Durante la selección del Separador de Gas se debe tomar en cuenta el volumen total que va a manejar el separador y verificar que este dentro del rango de operación recomendado en el cual el separador es eficiente. La desventaja del uso de los separadores de gas rotativo KGS y *RS es que en algunas aplicaciones se tiene un acelerado desgaste de los cojinetes.

Los nuevos separadores de gas *RS-ES tienen menor longitud y sin embargo tienen esencialmente la misma eficiencia que el diseño anterior. Se a acortado el sistema inductor y la longitud entre soportes (cojinetes), por lo que, al tener menos inercia se reduce la tendencia a la generación de des balance, vibraciones y fallas.

A pesar de tener bocines de circonio y deflectores de arena (sand shedder), el separador de gas *RS-ES no está diseñado específicamente para operar en ambientes con abrasión severa. (El gas no es un buen lubricante).

En instalaciones en pozos con revestimiento de 7.00 pulgadas o mayor diámetro es recomendable reemplazar el uso de separador tipo KGS, GRS y GRS-ES de diseños anteriores por el nuevo separador de gas Vortex VGSA-90.

La mejor eficiencia y rendimiento del nuevo separador dinámico Vortex han sido verificados en pruebas de laboratorio y campo.

- **Partes de un separador**

- **Cabeza**

Esta hecha de acero inoxidable, contiene un buje de Níquel-resistente para el eje, une el separador con la bomba.

Figura 49. Cabeza del separador



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Base**

La base esta hecha de acero inoxidable, contiene un buje de Níquel-resistente para el eje, une el protector con el intake.

Figura 50. Base del separador



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Pickup Impeller**

Esta hecho de Níquel-resistente, su función es levantar el fluido hasta la bomba.

Figura 51. Pickup impeller



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Malla**

Cumple las mismas funciones que se presentaron anteriormente para el intake.

Figura 52. Malla del separador de gas



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Eje**

Esta hecho de Monel, en sus extremos se conectan a cuples para transmitir la rotación del protector a la bomba.

Figura 53. Eje del separador de gas



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Tubo del eje**

Esta hecho de acero inoxidable, su función es cubrir el eje impidiendo el contacto de este con el fluido del pozo.

Figura 54. Tubo del eje



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Housing**

Esta hecho de una aleación de acero, tiene múltiples agujeros perforados para permitir la entrada del fluido.

Figura 55. Housing del separador de gas

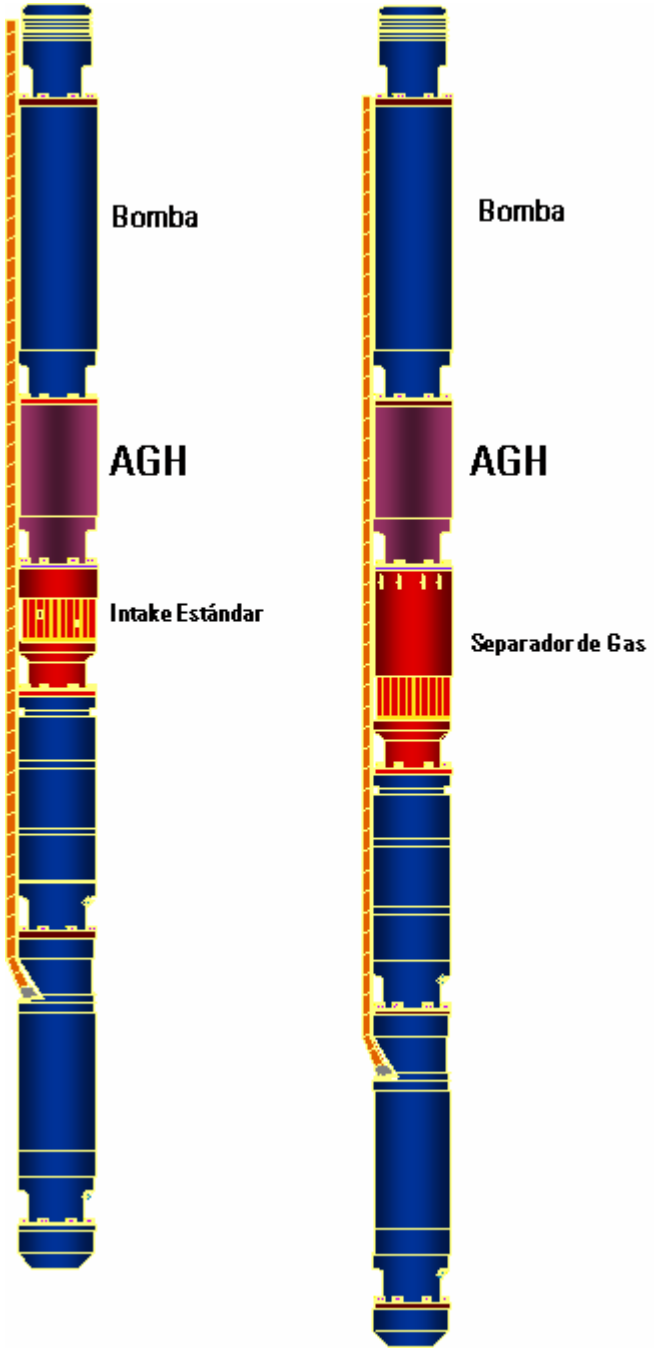


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Manejadores de Gas**

Los manejadores de gas trabajan con el mismo principio que los separadores. Se diferencian en que manejan cantidades mayores de gas. La siguiente es la manera como se realiza el montaje de dichos componentes:

Figura 56. Manejador de gas AGH



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

2.1.4 La bomba. Las bombas sumergibles son bombas centrífugas de etapas múltiples. El tipo o geometría de la etapa determina el volumen de fluido que maneja la bomba y el número de etapas determina el levantamiento total generado (TDH). Las bombas se construyen en un amplio rango de capacidades para aplicaciones en diferentes tamaños de revestimiento.

Las etapas se designan de acuerdo al punto de máxima eficiencia (BEP) en barriles por día a 60 Hz. Por ejemplo, la etapa DN 1750 está diseñada para producir 1750 BPD en su punto de máxima eficiencia.

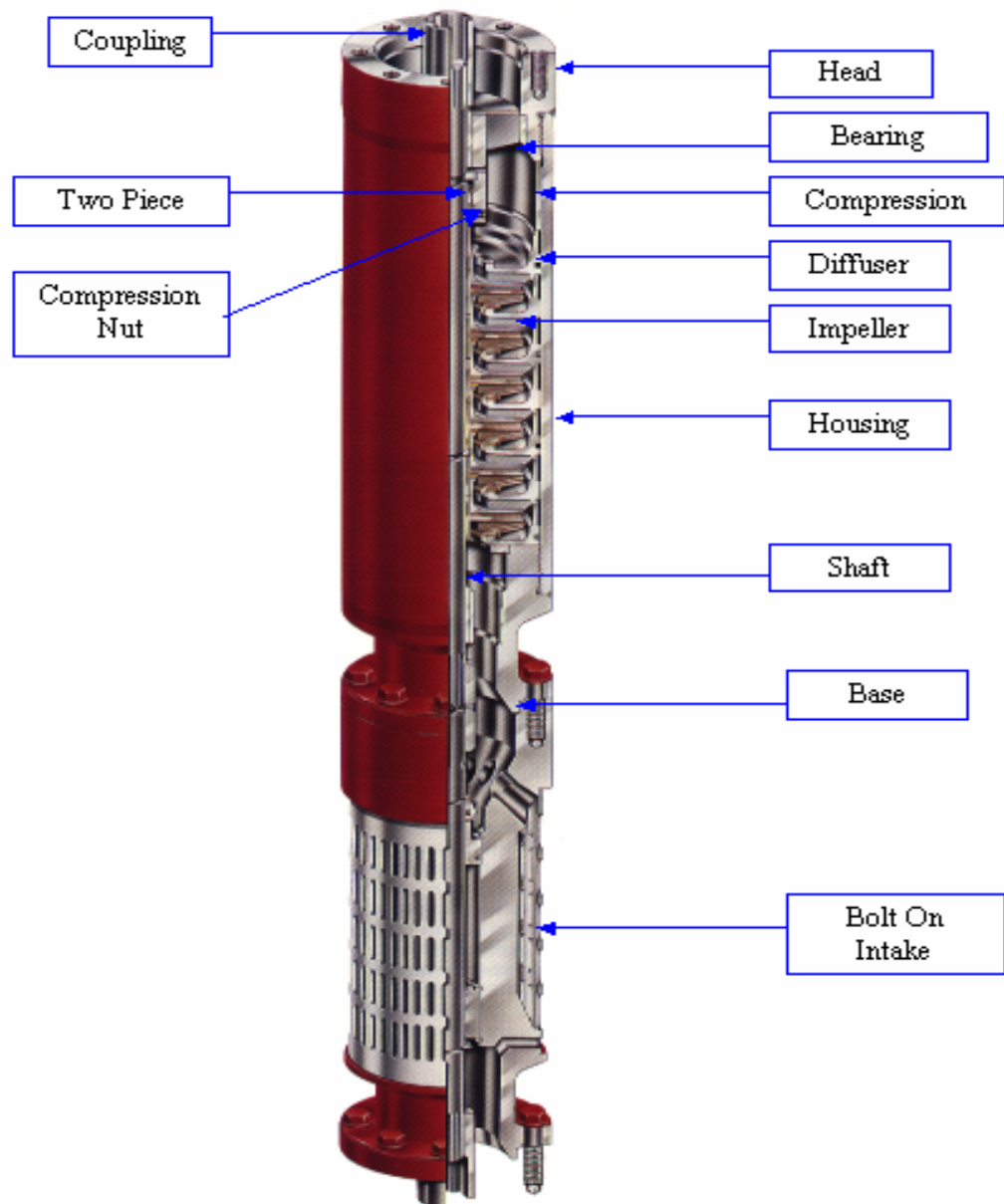
La letra “N” en el nombre de la bomba (DN 1750) indica que el material de las etapas es Ni-Resist, el cual es el material estándar del que se construyen los impulsores y difusores. Para aplicaciones especiales tales como ambientes extremadamente corrosivos, producción de fluidos con abrasivos o con problemas de asfaltenos o escamas, REDA utiliza aleaciones y revestimientos especiales. Cuando se requiere producir fluido con muy baja lubricidad se utilizan sistemas de cojinetes autolubricantes de graphalloy.

La ausencia de la letra “N” en la denominación de la etapa indica que el material del impulsor es plástico.

Los números del housing tales como “40”, “110”, etc., se refieren a una longitud del housing predeterminada y esta longitud es común para todos los tipos de bombas desde la “A” hasta la “J” (ver descripción de nomenclatura más adelante). Como no todas las etapas tienen la misma dimensión, el número de etapas alojadas en una housing determinada no será necesariamente el mismo para los diferentes tipos de etapas. Incluso con el mismo tipo de etapa el número de etapas alojadas en una misma housing puede variar con los diferentes tipos de construcción como FL (flotante), BFL (flotante en el fondo), CR (Compression Ring), FL-ARZ (Flotante con sistema de cojinetes resistente a la abrasión), FL-ES

(flotante con estabilización mejorada – cojinetes resistentes a la abrasión en la base y en la cabeza), etc.

Figura 57. Partes de la bomba



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

El uso de housing de longitud fija permite el uso de partes comunes (housing, ejes) en diferentes tipos de bombas.

Por ejemplo una bomba A1200 tiene impulsores de plástico (Ryton) y están diseñados para operar a máxima eficiencia aproximadamente cuando manejan un caudal de 1,200 BPD a 60 Hz. La bomba AN 1200 tiene la misma geometría y tendrá casi exactamente el mismo comportamiento, pero sus impulsores metálicos son de Ni-Resist. Los difusores son metálicos de Ni-Resist en los dos casos.

Esta nomenclatura es válida para las series: 338 (A), 400 (D), 540 (G), 562 (H) y 625 (J) pero no aplica en las bombas más grandes.

Las bombas M520, M675, N1500 y P2000 tienen etapas de Ni-Resist, aunque la letra “N” no aparece en el nombre. Adicionalmente, estas bombas no están clasificadas en “BPD” sino en “gpm”. Esto se debe a que estas bombas se usan generalmente en sistemas de bombeo horizontal “HPS”.

Por ejemplo, una M675 esta diseñada para ser más eficiente alrededor de los 675 gpm (a 60 Hz).

La designación de los tamaños de housing para las bombas tipo “M” y más grandes se basa estrictamente en el número de etapas, 2, 5, 9, etc.

➤ **Configuración de la bomba**

Las bombas REDA vienen en diferentes configuraciones, la mayoría de ellas (especialmente las de diámetro menor) vienen como tipo sencillo - S, Tandem Central – CT. Otros tipos son Tandem Superior “Upper” – UT y Tandem Inferior “Lower” –LT.

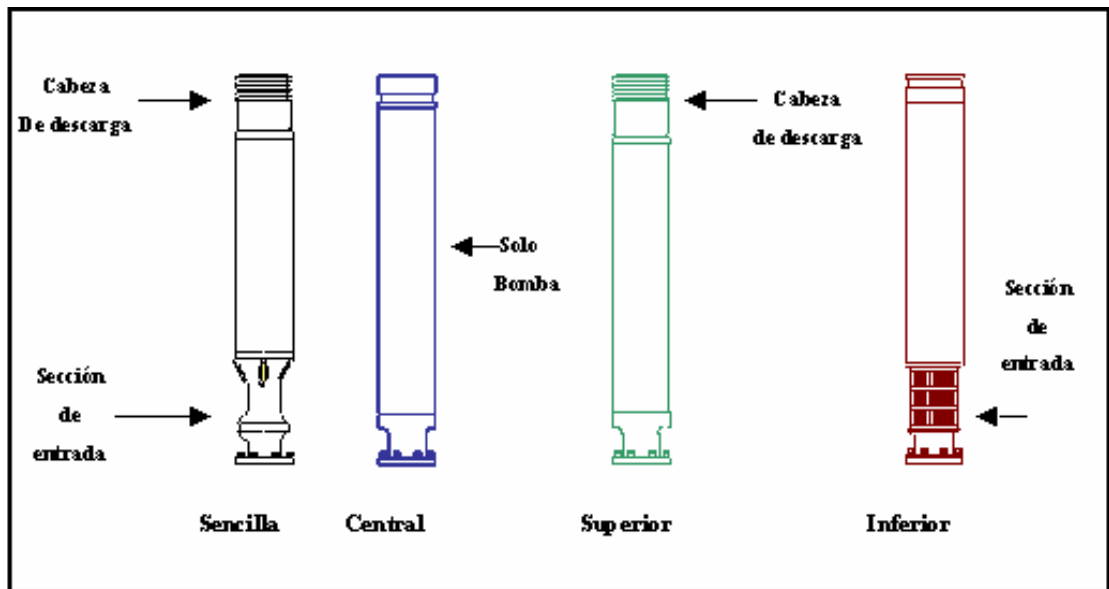
Una bomba single tiene una sección de entrada a la bomba (intake) y una cabeza de descarga intrínseca a la misma y no se puede adherir ninguna otra bomba al sistema.

Una bomba central tandem - CT, no tiene cabeza o descarga inherente y se le debe proporcionar de alguna manera otra bomba, y/o una sección de entrada y/o la cabeza de descarga.

Una bomba Upper Tandem – UT tiene una cabeza de descarga pero no tiene sección de entrada. Esta se puede colocar en el tope de otra bomba o de una sección de entrada.

Una bomba Lower Tandem – LT tiene sección de entrada integral pero no tiene cabeza de descarga, esta puede ir debajo de otra bomba o ser completada adicionando una cabeza de descarga.

Figura 58. Tipos de configuraciones de bombas.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

➤ **Tipo de construcción de la bomba para el manejo de empuje**

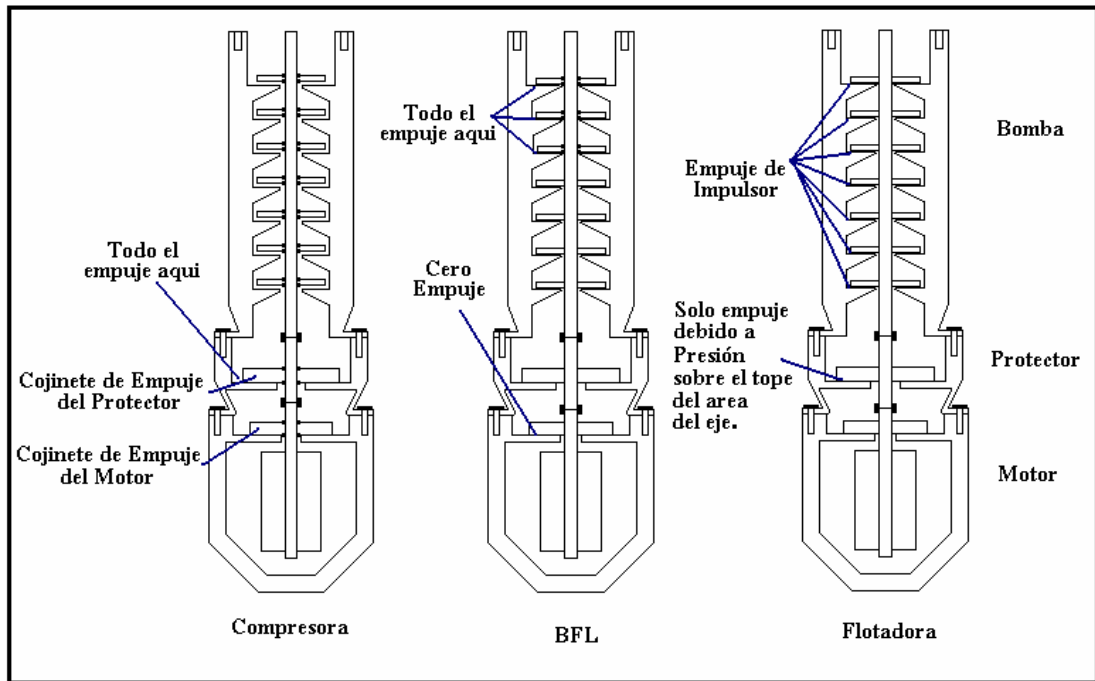
Con respecto a la forma en que se maneja el empuje generado en la bomba, La carga axial desarrollada por un impulsor depende del diseño mecánico e hidráulico de tal impulsor y del punto de operación de la bomba. Si la bomba opera a una rata mayor que la de diseño, se puede producir excesivo empuje ascendente o por el contrario cuando la bomba opera a una rata menor que la de diseño se puede presentar excesivo empuje descendente.

REDA cuenta con tres tipos básicos de construcción de bombas.

- Construcción Flotante “FL”. Cada impulsor tiene libertad de moverse hacia arriba o abajo a través del eje, se puede decir que “flota” en el eje.
- Tipo “BFL” construcción con los impulsores del fondo tipo flotante. Los impulsores superiores son del tipo compresión mientras los inferiores son del tipo flotante. Este es un diseño especial para eliminar todo el empuje descendente transmitido al protector.
- Construcción tipo compresión “CR” Figura 2.57. Cada impulsor está fijo al eje de forma rígida de modo que no puede moverse sin movimiento del eje. Todos los impulsores son comprimidos en conjunto conformando un solo cuerpo rígido, de esta forma si un impulsor trata de moverse hacia arriba o hacia abajo, éste tratará de mover también al eje y al conjunto de todos los impulsores también.

Debido a las anteriores razones una bomba del tipo impulsor flotante debe operarse en el rango de producción recomendado, el cual varia según el tipo de bomba. Se recomienda como regla que la rata de operación no debe ser menor al 75% ni superior al 25% de la máxima eficiencia.

Figura 59. Tipos de construcción de acuerdo al manejo de empuje



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

El impulsor tipo compresor, evita el movimiento sobre el eje, permaneciendo en un punto fijo en la etapa. De ésta manera todos los impulsores se tocan entre sí, trasmitiendo los empujes hidráulicos generados al eje, el cual a su vez lo transmite al cojinete del protector que lo debe soportar.

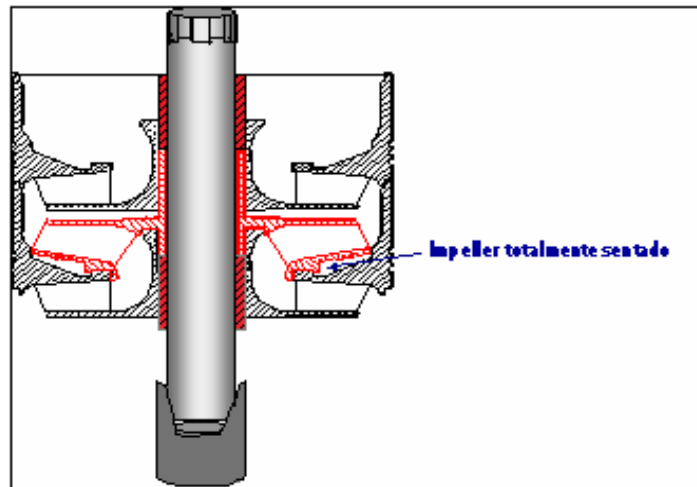
Para un impulsor de tipo compresor o balanceado, debe tenerse mucho cuidado, ya que durante el arranque se puede dañar el eje, debido al empuje axial producido por los impulsores.

➤ Acople entre bombas

Cuando se acoplan los equipos durante la instalación cada impulsor estará asentado sobre su difusor inferior debido a la gravedad. Existe cierto espacio libre o juego entre el extremo inferior del eje y el divisor del acople que se usa entre ejes de bombas, por lo que el eje puede deslizarse hacia abajo permitiendo que

los impulsores giren asentados directamente sobre las arandelas de empuje descendente (downthrust washers) si estos están presentes, generando desgaste de la etapa por empuje descendente, como se ve en la figura 59.

Figura 60. Etapa con impulsor totalmente asentado.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

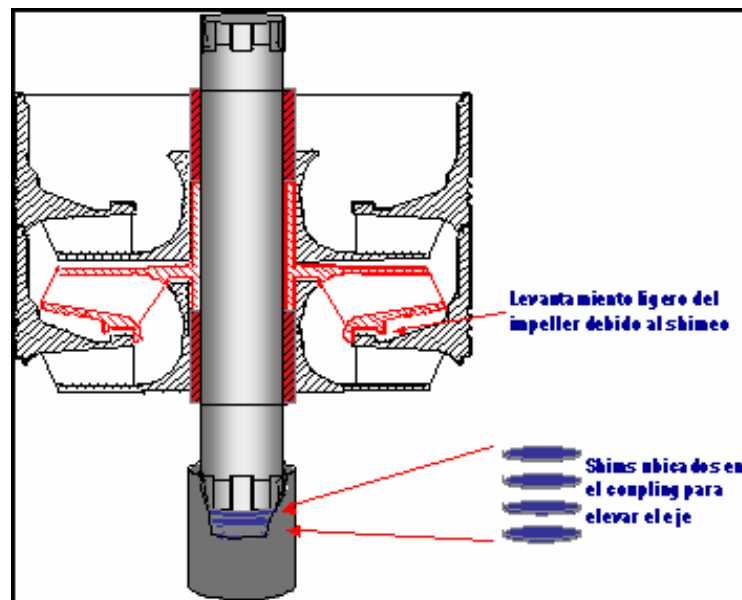
Cuando se instalan bombas de tipo compresión es necesario realizar un proceso de calibración de la posición del eje conocido como procedimiento de espaciado de campo "Fiel Spacing Procedure", mediante el cual se instalan laminas metálicas (shims) en los acoples entre bomba-bomba y bomba-intake usando herramientas especiales.

Dependiendo del tipo de etapa de la bomba que se está instalando y de su ubicación en el conjunto (tandem superior, central ó inferior) para garantizar que en todos los casos el empuje sea transmitido al cojinete de carga del protector en algunos casos se requiere "levantar" el eje y por lo tanto los impulsores para evitar que estos se apoyen sobre los difusores inferiores; en otros se necesitan "levantar" el eje solamente la cantidad necesaria para que los impulsores topen las arandelas de empuje descendente pero en otros será necesario dejar un "juego" o permitir cierto deslizamiento del eje hacia abajo.

Cuando se instalan bombas serie 675 y más grandes, las cuales no tienen arandelas de empuje descendente, el eje es levantado de tal forma que los impulsores también se levantan y se despegan de los difusores inferiores.

Para asegurar que el empuje sea transmitido al cojinete de empuje del protector se recomienda levantar $1/32''$ las bombas serie 675 y $1/16''$ las bombas más grandes, de acuerdo al procedimiento.

Figura 61. Espaciamiento de ejes de bombas serie 675 y mayores.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

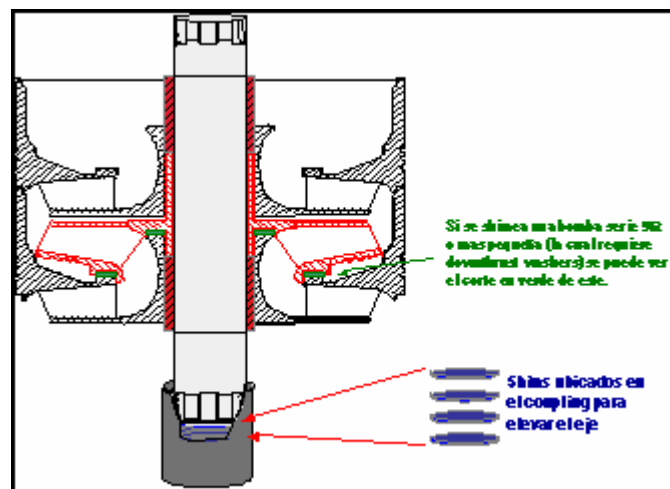
Las bombas de serie 562 y más pequeñas tienen arandelas de empuje descendente. Cuando se hace el espaciamiento de campo en estas bombas, no se requiere levantar el eje, se colocan solamente la cantidad de láminas necesarias para asegurar que los extremos de los ejes estén a “tope”.

Cuando se instalan bombas tipo ARZ CR, con arandelas de empuje de rulon, se debe dejar una holgura de $1/64''$ entre el eje de la bomba inferior y el divisor del

acople, de tal forma que el eje de la bomba caiga 1/64" y 1/32". Los ejes de todas las bombas superiores se acoplan a "tope" con la bomba inferior.

La holgura o levantamiento requerido para cada tipo de bomba varía entre 1/16" y 1/64" y debe ser definido para el tipo específico de la bomba de acuerdo a los boletines de servicio de la compañía.

Figura 62. Espaciamiento de algunas bombas de la Serie 562 y más pequeñas.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

En el momento de seleccionar una bomba se recomienda:

- Escoger la bomba de mayor diámetro que pueda ser instalada libremente en el revestimiento para manejar el caudal de diseño que se espera. Las bombas de mayor diámetro serán más eficientes y menos costosas. Además las etapas más grandes tienen mejor comportamiento con fluidos viscosos o con alto contenido de gas.
- Seleccionar la bomba más eficiente al caudal de operación del diseño, por esto después de haber definido el tamaño o serie de la bomba se debe considerar la eficiencia de la bomba al caudal de diseño esperado y a las condiciones de operación que se espera. Se debe evitar en lo posible seleccionar las bombas

para operación fuera del rango operativo recomendado ROR. Cuando la bomba opera en empuje ascendente pierde eficiencia y el fluido recircula por el “skirt” faldón inferior del impulsor. Si el fluido contiene abrasivos se produce la erosión de las arandelas y del mismo material de las etapas.

- Cuando se diseñe bombas en tándem, se debe hacer con carcaza de igual tamaño. La necesidad del tándem se debe a que las etapas requeridas son superiores a las que pueden contener las carcazas estándar existentes, por tanto se usan dos o más bombas en tándem. Si se combinan bombas con diferente configuración (FL, CR, HSS, roscas Buttress, etc.), la información de cada bomba y su ubicación deben ser conocidas para su correcta instalación.
- Se debe verificar la capacidad de carga del cojinete de empuje del protector, esto es indispensable para verificar que el empuje generado no exceda su capacidad, tanto a condiciones de operación como en el caso de máxima carga (en el momento del arranque).
- Para manejar fluidos moderadamente abrasivos las bombas “FL” son muy efectivas, debido al sello que proporcionan las arandelas de empuje evitando que el fluido pase a los cojinetes radiales. Aunque si se usara una combinación de bombas ARZ o con estabilización mejorada “ES”, sería una mejor aplicación, dependiendo de las condiciones del fluido.
- Si el fluido es severamente abrasivo se recomienda utilizar bombas tipo “Compresión” ARZ-CR ya que el empuje es manejado en el cojinete de empuje del protector, el cual está lubricado con aceite limpio, mientras que en las bombas tipo “FL” la arandela de empuje es lubricada por el mismo fluido producido.

- Cuando el índice de productividad del pozo es desconocido, es un valor asumido o es un dato no muy seguro, es ventajoso aplicar una bomba compresora. Debido a que en éste tipo de bombas el empuje que se genere por operar la bomba a tasas superiores o inferiores a las de diseño es manejado en el protector, si se selecciona apropiadamente el cojinete de empuje del protector, el rango de operación de la bomba es más amplio.
- Cuando se maneje gas libre se debe usar en lo posible etapas de flujo mixto y como el gas ocupara un volumen considerable en la etapa, las etapas más grandes son mejores para manejar la eficiencia volumétrica.
- Cuando las aplicaciones son en condiciones extremas de abrasión, corrosión, fluidos con muy baja lubricidad, etc. Se cuenta con bombas especiales fabricadas con materiales y/o recubrimientos especiales para incrementar el tiempo de servicio.

➤ **Especificación de la Bomba**

Existe una serie de parámetros que se deben tener en cuenta para especificar la bomba a usar. La especificación incluye códigos que resumen las características de la bomba.

Por ejemplo: **122-DN 3000 CR (UT-CT) ARZ-RA,**

Lo que significa en su orden:

No. de etapas	: "122" en éste caso 61 etapas por bomba
Serie	: "D", Serie 400, (OD = 4.0")
Material del Impulsor	: "N", Ni-resistente
Tipo	: "3000", Caudal que maneja

Construcción	: “CR”, Compresora
Tándem	: “UT”, Tándem superior y central
Metalurgia	: “RA”, Resistente a la corrosión
Etapas especiales	: “ARZ”, Resistente a la abrasión.

Además la bomba consta de un número de serie que le asigna la compañía durante su ensamble.

➤ **Partes de la bomba**

- **Housing**

El housing contiene los impellers, difusores, el eje y todos los otros componentes relacionados con la bomba.

Figura 63. Housing de la bomba.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Cabeza**

Sirve como soporte al eje, la cabeza al igual que la base comprime los difusores evitando que roten dentro del housing.

Figura 64. Cabeza de la bomba



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Base**

Sirve como soporte al eje, la base al igual que la cabeza comprime los difusores evitando que roten dentro del housing.

Figura 65. Base de la bomba



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Impeller**

El impeller esta fijado al eje de tal forma que rota a la misma velocidad del motor. El impeller agrega la velocidad y la cabeza (presión) al líquido bombeado vía fuerza centrífuga.

Figura 66. Impeller



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Difusor**

Se encuentra fijado al housing, convierte la cabeza de velocidad generada por el impeller a cabeza estática (Presión).

Figura 67. Difusor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Eje**

El eje transmite la rotación del motor a los impeller de la bomba.

Figura 68. Eje de la bomba



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Tubo de compresión**

Nos permite realizar la compresión requerida a los difusores para que estos no roten cuando la bomba inicie el trabajo. Esta hecho de acero inoxidable

Figura 69. Tubo de compresión



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Snap ring**

Es un anillo de acero que se utiliza para fijar la posición de un componente al eje.

Figura 70. Snap Ring



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

- **Upthrust washer**

Es colocado en el tope del impeller y soporta algunas fuerzas axiales generadas por este.

Figura 71. Upthrust washer



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

2.1.5 Cable de potencia. El cable de potencia es uno de los componentes más importantes y sensible en el Sistema de B.E.S.

Su función es transmitir la energía eléctrica desde la superficie del motor y transmitir las señales de presión, temperatura, registradas por el sensor de fondo a la superficie.

Todos los cables Schlumberger utilizan conductores de cobre estañado. Las tres fases son aisladas individualmente, el aislamiento es físicamente pegado con adhesivo al conductor. Los conductores pueden tener además una barrera protectora y/o una fibra trenzada sobre el aislamiento. Luego los conductores son encamisados para proveer protección mecánica y química y finalmente, por lo general se envuelven los conductores con armadura metálica.

➤ **Nomenclatura del cable**

La nomenclatura identifica unicamente los componentes de construcción del cable, los diseños indican los materiales seleccionados, empezando por el aislante y terminando con la armadura. La nomenclatura de los cables se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5. Nomenclatura del cable

<i>Componente</i>	<i>Abreviación</i>	<i>Descripción del Material</i>
Aislante	PPE, P	Copolimero polipropileno
	E	Goma EPDM (Etileno Propileno Dieno Metileno) goma
	K	Kapton
	T	Cinta Semiconductiva (REDASURFACE)
Barrera	S	PVDF (Fluoro-polivinilieno)
	TB	Cinta Tedlar
	F	Teflon de extrusión FEP
	TB	Cinta de alta temperatura
	L	Plomo
Chaqueta	PE	HDPE (Polietileno de alta densidad)
	O	Compuesto de caucho de nitrilo resistente al aceite
	E	EPDM, compuesto de caucho
Armadura	G	Acero galvanizado
	HG	Acero altamente galvanizado
	DG	Doble galvanizado
	SS	Acero inoxidable
	M	Monel
		Perfil estandar
	FP	Perfil plano

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Ejemplos

ETEB FSS5R

- E Aislante EPDM
- TB Cinta Tedlar
- E Chaqueta de EPDM
- F Armadura de Perfil plano
- SS Armadura de acero inoxidable
- 5 Rating 5KV
- R Cable redondo

➤ **Materiales de construcción del cable**

El cable es considerado un ensamblaje de componentes (Conductor, aislante etc.). La selección de esos componentes esta basada a través de un análisis de las condiciones de los pozos y el funcionamiento previsto.

A través de la selección apropiada de los materiales, el diseño del cable puede ser adaptado para suministrar la mejor aplicación para el funcionamiento.

El centro es la optimización total (costo-funcionamiento) para el cliente.

Los materiales usados comúnmente para los varios componentes de cable son:

Conductor:

- Trenzado
- Compacto
- Solido

Figura 72. Conductor



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Aislante:

- Copolimero polipropileno
- EPDM (Etileno, Propileno, diene Metileno)

Figura 73. Aislante

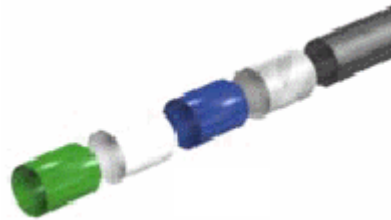


Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Barrera

- PDVF
- Teflón FEP
- Cinta Tedlar
- Cinta de alta temperatura
- Plomo

Figura 74. Barrera del cable



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Chaqueta

- HDPE (Alta densidad polietileno)
- Caucho de nitrilo resistente al aceite
- Caucho EPDM

Figura 75. Chaqueta del cable



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Armadura

Acero galvanizado

Acero pesado galvanizado

Acero doble galvanizado

Monel

Perfil estandar

Perfil plano

Figura 76. Armadura del cable



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

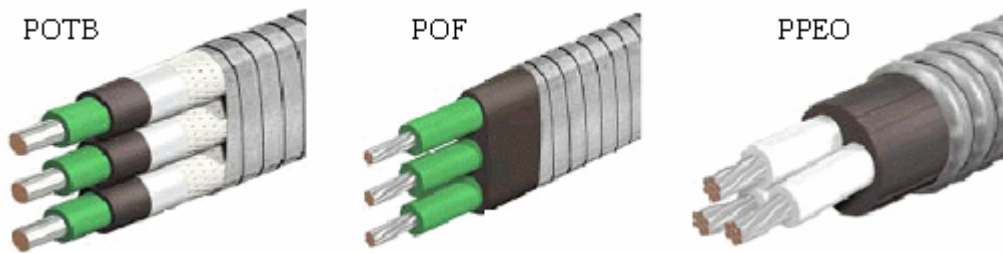
➤ Tipos de cable

Los cables de uso más común han sido agrupados en familias como REDALENE, REDABLACK, REDAHOT y REDALEAD. Dentro de estas familias de cables se pueden tener variaciones con diferentes rangos de operación, dependiendo de su construcción. Los más comunes son:

Los cables de la familia **REDALENE** tienen aislamiento de polipropileno (P o PPE) y forro de nitrilo resistente al aceite, (O). La temperatura máxima de estos conductores es 205° F y la mínima temperatura para su manipulación e instalación es -45° F.

REDAVALU es un tipo de cable alternativo al REDALENE, su costo es menor y puede usarse en pozos con fluidos que no son agresivos y de temperaturas relativamente bajas.

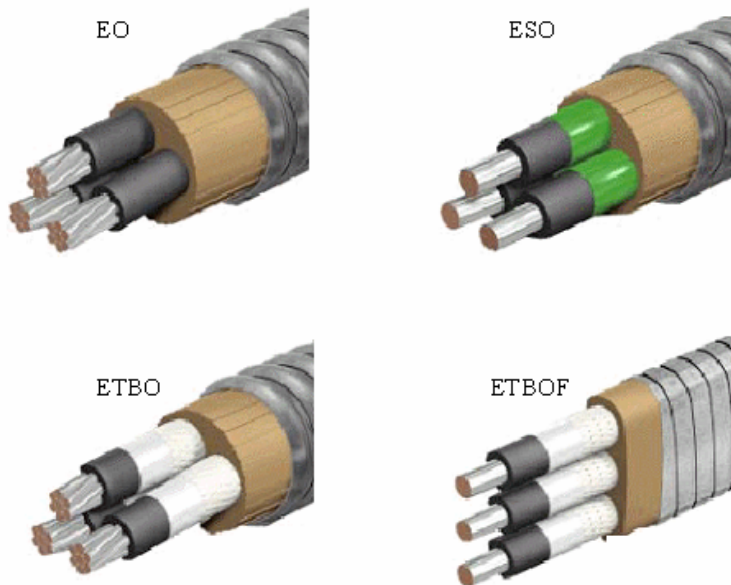
Figura 77. Familia Redalene



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Los cables tipo **REDAHOT** tienen aislamiento de EPDM (E) y forro de Nitrilo resistente al petróleo (O). La temperatura máxima de los conductores es 275° F.

Figura 78. Familia Redahot



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Los cables tipo **REDABLACK** utilizan aislamiento de EPDM (E) y también forro de EPDM (E). Los rangos de temperatura mas comunes son 300 y 400° F, de acuerdo a las opciones seleccionadas.

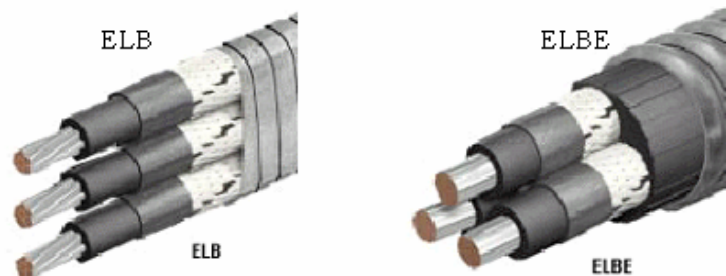
Figura 79. Familia Redablack



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Los cables tipo **REDALEAD** tienen aislamiento de EPDM (E) y un forro impenetrable de plomo (L). El rango de temperatura para estos cables es 400° F o 450° F, dependiendo de su configuración.

Figura 80. Familia Pedalead



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

➤ **Selección del cable de Potencia**

El proceso de selección del cable es básicamente un proceso de dos pasos:

- Selección del tamaño del cable (AWG), y
- Selección de la configuración apropiada, considerando
 - ✓ Voltaje requerido en superficie
 - ✓ Temperatura del conductor a las condiciones de operación
 - ✓ Temperatura de superficie
 - ✓ Condiciones especiales de operación, tipo de fluido, tratamientos químicos, gas, nivel de fluido, etc.

➤ **Tamaño o calibre AWG del cable**

En general, la selección del calibre del cable se hace balanceando las condiciones de operación y el costo. En lo referente al calibre del cable, el propósito principal es transportar la energía eléctrica desde la superficie al motor. En éste sentido se podría decir que el cable de mayor calibre es mejor por que en éste se tendrán menores perdidas de voltaje lo que se traduce en mayor eficiencia del sistema.

Cables de mayor calibre contribuyen a la mayor eficiencia del sistema, pero por otro lado se debe considerar también que los cables de mayor calibre son mas costosos. Por lo tanto se debe buscar un punto de equilibrio entre costo inicial y costo de operación.

Para seleccionar el calibre del cable se debe evaluar la caída de voltaje en los conductores, la cual es función de la intensidad de corriente que pasa por el conductor, la longitud del cable y de la temperatura del conductor.

Las forma mas sencilla para determinar la perdida de voltaje en el cable es usando una carta de caída de voltaje.

Existen factores de corrección para la caída de voltaje en el cable dependiendo de la temperatura pero en general es mejor ignorar éste factor de corrección. La razón para esto es que las pérdidas de voltaje no están en fase con las pérdidas de voltaje en el motor sino con la corriente. Para obtener la verdadera caída de voltaje en el cable sería necesario calcular el factor de potencia con lo cual se obtendría una caída de voltaje menor a la que se obtiene si se hace el cálculo basado solamente en la “resistencia”.

Mientras que el motor constituye una carga “inductiva”, el cable es una carga casi puramente “resistiva”. Esto significa que no toda la corriente se pierde en el sistema el cual tiene un factor de potencia menor que 1.0.

Un aspecto que se debe considerar son los problemas que se pueden presentar durante el arranque del equipo. La longitud y calibre del cable son los factores de mayor influencia en las características de arranque del motor sumergible, por lo tanto la selección adecuada del cable y el sistema de arranque son primordiales para el arranque seguro del motor. Un calibre determinado de cable puede ser aceptable para las condiciones de operación pero puede ser muy pequeño para las condiciones de arranque, especialmente con motores de alto amperaje.

Cuando el motor de la B.E.S. arranca se produce un breve pero significativo transiente de corriente que normalmente es alrededor de cinco veces mayor a la corriente con carga normal. Puede llegar a ser ocho veces mas alta o a veces mas en pozos poco profundos (con longitudes de cable relativamente cortos). Este golpe de corriente de arranque “in-rush” es necesario para magnetizar las limitaciones del motor, cargar el cable, etc. No hay forma de eliminarlo a menos que se use algún tipo de arranque suave (soft start) que disminuye el tiempo de arranque reduciendo por lo tanto los efectos del golpe de corriente de arranque.

La forma más sencilla de calcular la caída de voltaje durante el arranque es realizar el calculo considerando una corriente igual a cinco veces la corriente

normal con carga y encontrar en la carta la caída de voltaje por 1,000 pies de cable y multiplicarla por la longitud de cable en miles de pies.

Para determinar el voltaje suministrado al motor durante el arranque, se debe tomar en cuenta que el voltaje de superficie será programado de acuerdo al voltaje requerido para las condiciones normales de operación y no puede ser cambiado para arrancar el equipo. El voltaje de suministro durante el arranque se puede calcular entonces restando la caída de voltaje durante el arranque del voltaje de superficie. Se puede entonces calcular el porcentaje del voltaje nominal de placa que el motor está recibiendo durante el arranque, dividiendo el voltaje de arranque sobre el voltaje nominal de placa y multiplicar el valor obtenido por 100.

Una buena regla es que el motor de la B.E.S. no arranca si el voltaje suministrado durante el arranque es menor al 50% del voltaje de placa.

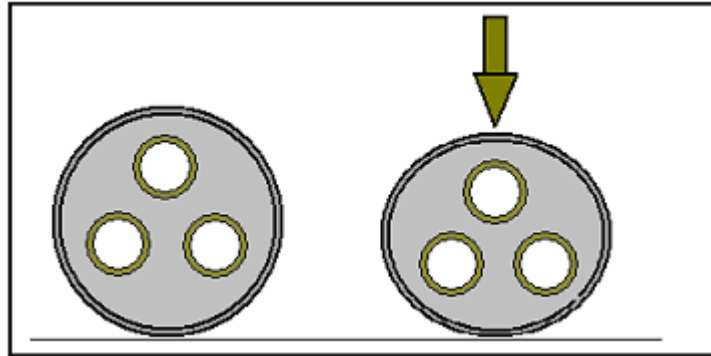
➤ **Selección de la configuración del cable**

Con respecto a las limitaciones físicas tubería de producción / revestimiento que determina si el cable cabe o no en el pozo, en general se puede decir que entre más pequeño el cable mejor. Esto se puede lograr sea usando un calibre menor o usando cable de construcción plana (conductores paralelos) en lugar de cable redondo.

Una desventaja del cable plano sobre el cable redondo es que en general ofrece menor protección mecánica que su equivalente redondo, haciendo que sea más susceptible a daño durante la instalación.

Bajo una carga de compresión los conductores en el cable redondo pueden moverse ligeramente permitiendo manejar la carga.

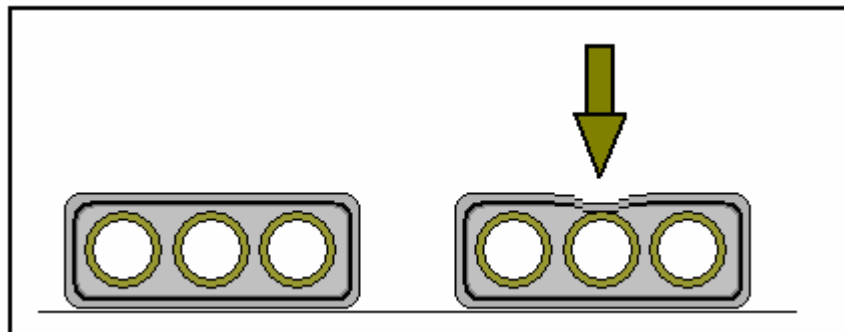
Figura 81. Cable redondo bajo carga de compresión 1



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

En cambio en el cable paralelo, no hay lugar para desplazarse para absorber esfuerzo, por tanto se comprime el aislamiento.

Figura 82. Cable plano bajo carga de compresión



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

La otra desventaja del cable plano es su asimetría, el cable redondo es completamente simétrico. Cierta cantidad de la corriente que circula por los conductores se pierde en forma de calor de tal forma que el cable tiende a calentarse sobre la temperatura ambiente.

En el cable redondo, los tres conductores se calientan uniformemente.

En el cable paralelo (plano), los dos conductores de los extremos están en ambientes similares, por lo que tienden a calentarse uniformemente. Sin embargo, el conductor central está rodeado por dos “calentadores” de tal forma que no puede disipar el calor al fluido del pozo. Como resultado de esto, el conductor central del cable paralelo funciona más caliente que los otros dos.

Como la caída de voltaje en un conductor es función de la temperatura, si aumenta la temperatura, la caída de voltaje también se incrementa. Cuando se usa cable plano, por lo general, el voltaje en las tres fases de los terminales del motor está desbalanceado, aun cuando el voltaje esté perfectamente balanceado en superficie. El desbalance de voltaje puede provocar un calentamiento adicional en el motor. Aunque esto generalmente no es crítico, vale la pena tenerlo en cuenta.

En la práctica, el voltaje de superficie tampoco está totalmente balanceado, es una buena práctica conectar el cable en las tres conexiones posibles (sin cambiar el sentido de giro) y escoger aquella con el menor desbalance de corriente.

Cuando se consideran los límites de temperatura del cable es importante notar que estos límites son para la temperatura del conductor, no para la temperatura del fondo del pozo. Los conductores van a estar más calientes que el fluido que los rodea, dependiendo de la caída de voltaje, esta diferencia puede ser muy significativa.

El aislamiento de los conductores generalmente se clasifica como termoplástico, es decir que se funde cuando se calienta o termoestable, que no se funde. El aislamiento de polipropileno / etileno es termoplástico y normalmente tiene un rango entre 200° F y 210° F. Esta no es temperatura de fondo sino temperatura de aislamiento, pero en vista que el aislamiento está pegado al conductor, la

temperatura del conductor es la de interés. Este límite de temperatura no deja mucho margen de error. Por encima de esta temperatura el aislamiento se pondrá blando y hasta se puede fundir, lo cual puede determinar la falla del cable.

El cable redondo tiene un pre-esfuerzo intrínseco como consecuencia del proceso de cableado o trenzado de los conductores, éste esfuerzo hace que los conductores tengan la tendencia de desplazarse hacia el centro. Si el aislamiento termoplástico se ablanda, los conductores se moverán hacia el centro y se producirá un corto circuito.

La temperatura del conductor se calcula usando la ecuación:

$$T_c = (A * I^2) + BHT \dots\dots\dots\text{ecuación 2.1}$$

donde

- T_c : Temperatura del conductor corregida, en °F
- I : Corriente, Amperios
- BHT : Temperatura ambiente del pozo, °F
- a : constante, depende del tipo de cable

En los catálogos de REDA existen cartas de amperios máximos para cada tipo de cable. Estas cartas asumen la máxima temperatura del conductor y muestran la máxima corriente a la que se podría usar el cable para una temperatura de fondo dada.

Este valor de corriente máxima no debe utilizarse como una medida, aunque nunca debe ser excedida. Los efectos de degradación térmica y ataque químico se incrementan en forma logarítmica con la temperatura, por tanto usar un cable a sus máximos límites puede acortar su tiempo de vida.

2.1.6 Equipo de superficie. Esta conformado por los equipos que suministran la energía eléctrica para la optima operación del sistema de bombeo electrosumergible.

El equipo de superficie esta conformado por:

- Generador
- Transformador reductor (SDT)
- Variador o controlador de frecuencia
- Transformador elevador (SUT)
- Caja de conexiones

➤ **Generador**

Equipo que genera la potencia eléctrica necesaria para la operación del equipo de fondo.

Podemos encontrar generadores que trabajan con gas o diesel, como también se puede utilizar la red eléctrica nacional para el suministro de energía.

➤ **Transformador reductor (SDT)**

Se utiliza cuando tomamos la energía eléctrica de la red de alto tensión para reducir este voltaje al requerido en la entrada del variador de frecuencia.

Si se tiene un generador, no es necesario utilizar el transformador reductor.

➤ **Variador o controlador de frecuencia**

Permite controlar la frecuencia de trabajo del motor de la bomba electrosumergible, permitiendo su operación a varias frecuencias sin necesidad de sacar el equipo de fondo y consiguiendo un desempeño optimo del equipo de subsuelo.

Se alimenta con corriente alterna de 480 voltios de forma senoidal y la convierte a corriente continua (para alimentación del sistema de control y cambio de frecuencias), posteriormente es convertida nuevamente a corrientes alternas de salida rectificadas "sin picos".

La capacidad del variador ó controlador viene dada en KVA (Relación KiloVoltio-Amperio), indicando la relación máxima que soporta cada equipo.

➤ **Transformador elevador (SUT)**

Su función es incrementar el voltaje de salida del variador, hasta el valor requerido (voltaje nominal) por el motor de la B.E.S para que opere eficientemente.

➤ **Caja de conexiones**

Es una caja que se instala cerca al cabezal del pozo y en la cual se une el cable de potencia que suministra la energía al motor con el equipo de superficie. Su principal función es ventear cualquier migración de gas proveniente del pozo a través de la chaqueta de caucho del cable.

3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOMBA

3.1 DATOS REQUERIDOS

Para realizar un apropiado diseño del equipo de bombeo electrosumergible, se debe contar con ciertos datos iniciales actuales que deben ser confiables, ya que de estos dependerán los resultados obtenidos.

La importancia de cada uno de cada uno de los datos requeridos se comentara a continuación.

3.1.1. Tamaño, peso y profundidad de asentamiento del revestimiento. Se debe conocer el tamaño del revestimiento y su diámetro interno para garantizar que la unidad de bombeo electrosumergible encaje dentro del revestimiento y nos permita realizar la mejor selección del equipo que se acomode a estas condiciones y cumpla con las exigencias de producción.

3.1.2 Profundidad de los intervalos perforados. Se requiere conocer esta profundidad de los intervalos perforados para decidir en donde localizar el sistema de bombeo electrosumergible, teniendo en cuenta que el fluido del yacimiento es el encargado de refrigerar el motor. Si ubicamos nuestro sistema por debajo de este valor de profundidad, se deberá utilizar una instalación encamisada como se explico con anterioridad, con el fin de que el fluido disipe el calor generado por el motor.

3.1.3 Tamaño y Rosca de la tubería de producción. El tamaño de la tubería de producción nos permite calcular la perdida por fricción que debe ser incluida en el diseño.

Con el tipo de rosca y el tamaño de los hilos se escogerá el adecuado tipo de rosca de las diferentes válvulas, acoples y cabeza de pozo.

3.1.4 Gravedad API del aceite, Corte de agua y relación gas-petróleo (GOR).

Con estos valores podremos calcular la viscosidad del fluido a producir, valor que se requiere para realizar el diseño de nuestro sistema B.E.S.

3.1.5 Gravedad específica de los líquidos y del gas que se van a producir.

Estos valores permiten calcular la potencia que se requiere para producir el fluido, el cual es una mezcla de agua, aceite y gas en determinado caso.

3.1.6 Temperatura del fondo del pozo (BHT)

Nos brinda la pauta para conocer cuanto se puede refrigerar el motor con este fluido, así como también es un dato importante a la hora de seleccionar el tipo de cable que se utilizara en nuestro diseño.

3.1.7 Índice de productividad o relación de desempeño de flujo (IPR). Nos permite conocer la capacidad de producción que tiene el pozo al generar una caída de presión, este índice IPR garantizará que la unidad no quede sobre ni bajo diseñada.

3.1.8 Presión en cabeza del pozo (THP). Se requiere para garantizar que el fluido de producción llegue hasta la estación de recolección o batería, este valor se incluye en los cálculos de la carga dinámica total en pies (TDH).

3.1.9 Nivel de sumergencia deseado y presión de entrada a la bomba (PIP) deseada. Se utiliza para determinar la profundidad de asentamiento de la bomba, puesto que a veces no se requiere que sea sumergida hasta el valor máximo, permitiendo ahorrar el uso innecesario de tubería de producción y de cable el cual es uno de los componentes más costosos del sistema B.E.S.

3.1.10 Voltajes disponibles en superficie. Es importante conocer el voltaje o potencia disponible para evitar que por una fuente errada de potencia se genere daño en cualquiera de los componentes eléctricos y también llegar a limitar el sistema por no poder someterlo a cargas eléctricas superiores.

3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE

Para el diseño de un sistema de bombeo electrosumergible podemos tomar los siguientes pasos que se detallaran a continuación.

3.2.1 Recopilación de Datos

➤ Estado mecánico

- Diámetro del revestimiento.
- Diámetro de la tubería de producción y características.
- Intervalos abiertos (perforaciones)

➤ Datos de producción

– Actuales

- Relación gas-aceite (GOR)
- Profundidad del punto medio de perforaciones (MPP)
- Presión en cabeza (THP Y CHP)
- Temperatura de fondo del pozo (BHT)
- Presión estática del pozo @ nivel de referencia.
- Presión en el revestimiento
- Corte de agua
- Rata de producción

– **Proyección**

- La proyección de producción depende directamente del yacimiento y lo suministra el grupo de ingeniería de yacimientos de cada compañía operadora incluyendo los siguientes datos.
- Nivel de sumergencia de la bomba
- Presión estática del pozo al nivel de referencia.
- Relación gas-aceite (GOR)
- Presiones en cabeza (THP y CHP)
- Temperatura en fondo (BHT)
- Corte de agua

➤ **Datos del fluido a producir**

- Gravedad específica del gas (SG_g)
- Gravedad específica del agua (SG_w)
- Gravedad API del aceite
- Viscosidad del aceite (μ_o)
- Presión de burbuja del aceite (P_b)

➤ **Fuentes de energía**

- Voltaje disponible en superficie
- Frecuencia en superficie

➤ **Posibles problemas**

- Depositación de parafinas
- Corrosión
- Producción de arena
- Formación de escamas

3.2.2 Capacidad de producción. Se debe determinar la productividad del pozo a la profundidad de la bomba o determinar la profundidad de asentamiento de la bomba a una rata de producción deseada.

También hay que predecir el comportamiento del pozo, dependiendo si se usa el índice de productividad (PI), o la relación de desempeño de flujo de Vogel (IPR) según sea el tipo de yacimiento.

3.2.3 Cálculos de gas. Para tener certeza si se debe instalar algún accesorio para manejo del gas se debe calcular la cantidad de gas presente en la entrada a la bomba (intake), debido a que la presencia de gas hace que la presión y la densidad del fluido varíen constantemente dentro del sistema.

En casos en los cuales no se conoce con certeza la relación gas-aceite se pueden usar correlaciones una de las mas útiles y aplicadas son las de Standings que sirven para determinar la relación gas-aceite y el factor volumétrico de formación:

➤ **Relación gas-aceite en solución**

$$R_s = SG_g \left(\frac{P_b}{18} * \frac{10^{0.0125*API}}{10^{0.00091*T(^{\circ}F)}} \right)^{1.2048} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.1}$$

- Donde:
- SG_g = Gravedad específica del gas
 - P_b = Presión de burbuja [psi]
 - T = Temperatura de fondo del pozo [F]

➤ **Factor volumétrico de formación del aceite**

$$B_o = 0.972 + 0.000147 F^{1.175} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.2}$$

Donde:

$$F = R_s \left(\frac{SG_g}{SG_o} \right)^{0.5} + 1.25T \dots\dots\dots \text{ecuación 3.3}$$

T = Temperatura de fondo, BHT [F]

SG_g = Gravedad específica del gas

SG_o = Gravedad específica del aceite

➤ **Factor volumétrico de formación del gas**

$$B_g = 5.04 \frac{ZT}{P} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.4}$$

Donde: Z = Factor de compresibilidad del gas (0.81 a 0.91)

T = Temperatura del fondo del pozo [R] (R=460 +F)

P = Presión de sumergencia [psi]

Se puede determinar el volumen de agua y de gas libre a partir de datos de producción cuando se conoce la relación gas-aceite (GOR) usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Gas total} = \frac{GOR * BOPD}{1,000} [MCF] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.5}$$

El gas en solución a la profundidad de asentamiento puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Gas en solución} = \frac{R_s * BOPD}{1,000} [MCF] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.6}$$

La ecuación 3.7 permite calcular el gas libre que pasa a través de la entrada a la bomba:

$$\text{Gas Libre} = \text{Gas total} - \text{Gas en solución} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.7}$$

Para el cálculo del volumen de aceite, de agua y de gas a la profundidad de asentamiento de la bomba se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V_o = BOPD * B_o \quad [BOPD] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.8}$$

$$V_g = \text{Gas Libre} * B_g \quad [BOPD] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.9}$$

$$V_w = BOPD * B_w \quad [BOPD] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.10}$$

El volumen total del fluido que va a manejar la bomba será:

$$V_T = V_o + V_g + V_w \quad [Bls] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.11}$$

Cuando se realiza un diseño de un sistema de bombeo electro sumergible se recomienda que el porcentaje de gas libre que pasa a través de la bomba no sea superior al 10%. Este porcentaje se puede calcular de la siguiente forma:

$$\% \text{ Gas Libre} = \frac{\text{Gas Libre}}{V_T} * 100 \dots\dots\dots \text{ecuación 3.12}$$

Cuando el porcentaje de gas libre es mayor al 10%, es indispensable instalar un separador de gas a cambio de la sección de entrada a la bomba estándar (intake), el cual va ubicado en la misma posición que iría la sección de entrada.

Cálculo de la cabeza dinámica total en pies (TDH)

Este valor corresponde a la cabeza que la bomba debe vencer para que el fluido llegue a superficie y en general la ecuación para calcularla es la siguiente:

$$TDH = LNV + Pf + THP \quad [pies] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.13}$$

Donde:

- LNV = Es el levantamiento neto vertical y es la cabeza en pies que requiere levantar la bomba desde el nivel dinámico de fluido.
- Pf = Pérdidas por fricción en la tubería y demás accesorios.
- THP = Cabeza requerida para que el fluido entre al sistema de superficie y llegue hasta la estación de recolección o batería.

3.2.4 Seleccionar el tipo de bomba. Utilizando los catálogos con los que cuenta REDA, con el caudal deseado o de diseño y la cabeza dinámica total en pies calculada, se podrá seleccionar el tipo de bomba que tendrá la más alta eficiencia para producir dicho caudal dentro de un rango de bombas que podrían realizar éste trabajo.

3.2.5 Determinar el tamaño óptimo de los componentes. Con la ayuda del catálogo, se debe seleccionar el número de etapas, tamaño óptimo del motor y sello, así como verificar las limitaciones del equipo.

$$Total \ etapas = \frac{TDH}{Cabeza \ por \ etapas} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.14}$$

Para calcular la potencia requerida de la bomba seleccionada se utiliza la siguiente ecuación, tomando de las curvas de desempeño por etapa la potencia requerida por etapa de la bomba seleccionada:

$$HP = [Etapas\ totales] * [HP\ por\ etapa] \dots\dots\dots \text{ecuación 3.15}$$

Se debe tener especial cuidado al seleccionar el protector o sello del sistema, se recomienda usar como guía o referencia la tabla de aplicaciones de configuración del protector que se encuentra en el segundo informe o segundo capítulo de éste documento en la sección de aplicaciones del protector.

3.2.6 Selección del cable. La selección del cable involucra: tamaño, tipo y longitud.

El tamaño del cable depende de factores como caída de voltaje, amperaje y espacio disponible en el anular.

El fluido del pozo y la temperatura son condiciones que afectan directamente la selección del tipo de cable que se va a usar, o mejor del tipo de armadura que debe tener éste para enfrentar las condiciones de operación; ya sea por temperatura o por ambiente corrosivo.

La longitud del cable a usar la determina la profundidad de asentamiento de la bomba. Generalmente se adicionan 100 o 200 pies más de cable, los cuales se usan para conectar el equipo de subsuelo con el equipo eléctrico de superficie.

3.2.7 Determinación de la capacidad del equipo eléctrico. Para seleccionar el variador y transformadores que serán usados, es necesario calcular la potencia eléctrica que requieren estos equipos con el fin de escoger el que mejor se ajuste a las condiciones de operación del equipo de subsuelo.

La potencia eléctrica se mide en Kilovoltio-Amperio y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$KVA = \frac{V_s * Amp * \sqrt{3}}{1,000} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.16}$$

Donde:

V_s = Voltaje en superficie

Amp = Amperaje nominal del motor

El voltaje en superficie se calcula conociendo el voltaje de operación del motor y las pérdidas en el cable con la siguiente ecuación:

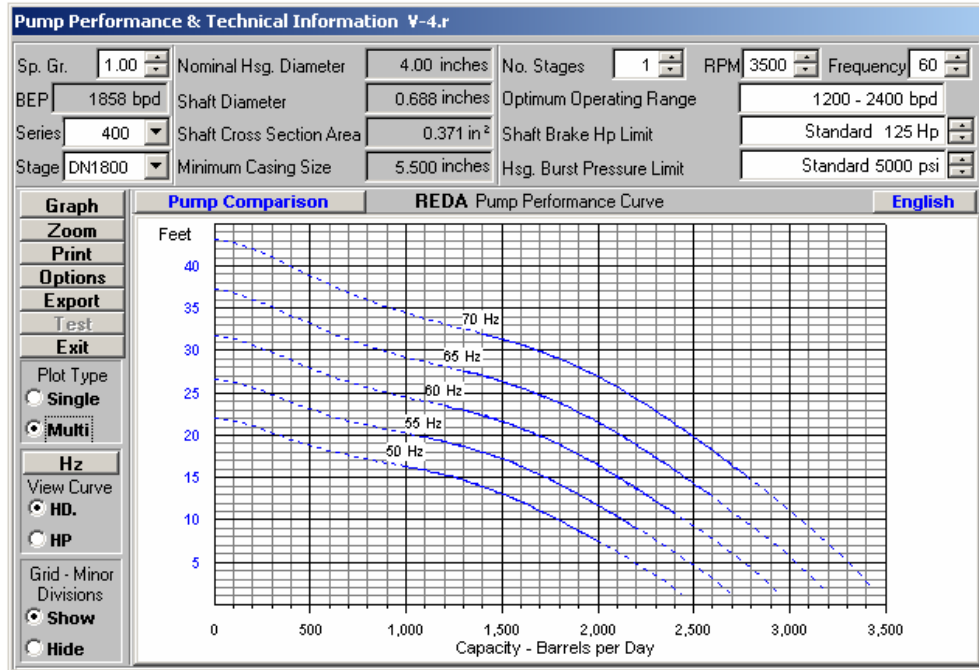
$$V_s = V_{OPER} + \text{Pérdidas en el cable} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.17}$$

Donde: las pérdidas en el cable se obtienen con la figura de caída de voltaje en el cable que se encuentra en el tercer informe o figura 90 de éste documento en la sección de aplicación del cable de potencia; y el voltaje de operación a la frecuencia de trabajo del equipo se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{OPER} = \frac{Hz}{60} * V_{Nominal} \dots\dots\dots \text{ecuación 3.18}$$

3.2.8 Variador de Frecuencia VSD. Los efectos de variación de frecuencia pueden verse al elaborar las curvas de capacidad a diferentes frecuencias basados en la curva de comportamiento a 60 Hertz como se observa en la figura 82.

Figura 83. Curva de capacidad a diferentes frecuencias, Bomba DN1800.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Las ecuaciones usadas para tal fin son las siguientes y se conocen como leyes de afinidad de las bombas centrífugas.

$$\frac{\text{Nueva Tasa}}{\text{Tasa a 60Hz}} = \frac{\text{Nueva frecuencia}}{60\text{Hz}} \dots\dots\dots\text{ecuación 3.19}$$

$$\frac{\text{Nueva Cabeza}}{\text{Cabeza a 60Hz}} = \left[\frac{\text{Nueva frecuencia}}{60\text{Hz}} \right]^2 \dots\dots\dots\text{ecuación 3.20}$$

$$\frac{\text{Nueva Potencia}}{\text{Potencia a 60Hz}} = \left[\frac{\text{Nueva frecuencia}}{60\text{Hz}} \right]^3 \dots\dots\dots\text{ecuación 3.21}$$

3.3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE

3.3.1 Recopilación de Datos

➤ Estado mecánico

- Diámetro del revestimiento : 7", 23 lpp
- Diámetro de la tubería de producción : 2 7/8", 6,5 lpp
- Punto medio de perforaciones (MPP) : 7,500 pies TVD

➤ Datos de producción

- Actuales

- Presión estática : 2,750 psi a MPP
- Presión en cabeza (WHP) : 200 psi
- Presión en el revestimiento : 0 psi
- Rata de producción deseada : 1,900 bpd
- Profundidad (MPP) : 7,500 pies TVD
- Temperatura de fondo (BHT) : 210 F
- Relación gas-aceite (GOR) : 110 SCF/Bbl
- Corte de agua : 50 %

➤ Datos del fluido a producir

- Gravedad específica del agua (SG_w) : 1.07
- Gravedad API del aceite : 35° API
- Gravedad específica del gas (SG_g) : 0.67
- Presión de burbuja (P_b) : 630 psi
- Factor volumétrico del aceite (B_o) : 1.05 Bbl/STB
- Factor volumétrico del agua (B_w) : 1 Bbl/STB
- Factor de compresibilidad del gas (Z) : 0.88

➤ **Fuentes de energía**

- Voltaje disponible en superficie : 13.8 KV
- Frecuencia en superficie : 60 Hz

➤ **Posibles problemas**

- Formación de escamas : Tratamiento químico, ácido anti-formación de escamas

➤ **Profundidad del punto medio de perforaciones**

- MPP : 7,500 pies

Para éste diseño hay dos condiciones diferentes; tasa de producción deseada (1,900 BPD) y tasa de producción a una presión de entrada a la bomba de 1,000 psi (PIP).

➤ **Gravedad específica del aceite y de la mezcla**

$$SG_{aceite} = \frac{141.5}{131.5 + 35} = 0.85$$

$$SG_{mezcla} = SG_{agua} * WC + SG_{aceite} * (1-WC)$$

$$SG_{mezcla} = 1,07 * 0,5 + 0,85 * 0,5 = 0,96$$

➤ **Presión a MPP**

$$P_{MPP} = 2,750 \text{ psi}$$

➤ **Profundidad de asentamiento de la bomba**

Profundidad de la Bomba : 7,000 pies

➤ **Presión a la entrada de la bomba (PIP)**

Condición para producción deseada de 1,900 BFPD:

Puesto que la producción deseada es 1,900 BFPD y el índice de productividad es de 1.5 BFPD/psi, se tendrá un diferencial de presión de:

$$DD = \frac{1,900}{1.5} = 1,266 \text{ psi}$$

por lo que la presión de surgencia o P_{wf} será igual a:

$$P_{wf} = 2,750 - 1,266 = 1,484 \text{ psi}$$

Para calcular PIP se debe determinar la diferencia de presión entre la profundidad de asentamiento de la bomba y la profundidad del punto medio de perforaciones (MPP). Esta diferencia de presión no es más que el peso de la columna hidrostática en esta diferencia de profundidades y se utiliza la gravedad específica de la mezcla calculada anteriormente. Se obtiene así:

$$\Delta P = (7,500 - 7,000) * 0.96 * 0.433 = 207.84 \text{ psi}$$

$$PIP = P_{wf} + CHP \pm \Delta P = 1,484 + 0 - 207.84 = 1,276.16 \text{ psi}$$

Conociendo el valor de PIP se puede obtener la sumergencia de la bomba en pies con la siguiente ecuación y se usa la gravedad específica del aceite, puesto que de la sección de entrada a la bomba hacia arriba se supone que el fluido es solo aceite debido al efecto de separación de la mezcla por gravedad:

$$\text{Sumergencia} = \frac{1,276.16}{0.85 * 0.433} = 3,467 \text{ pies}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP:

Para éste caso se puede calcular P_{wf} partiendo del valor de PIP y utilizando el mismo diferencial de presión que en la condición anterior, puesto que se trata del mismo fluido:

$$\Delta P = (7,500 - 7,000) * 0.96 * 0.433 = 207.84 \text{ psi}$$

$$P_{wf} = PIP + \Delta P = 1,000 + 207.84 = 1,207.84 \text{ psi}$$

Se calcula la sumergencia de la bomba en pies de la misma forma que para la condición de producción deseada de 1,900 BFPD, pero tomando el valor de PIP correspondiente:

$$\text{Sumergencia} = \frac{1,000}{0.85 * 0.433} = 2,717 \text{ pies}$$

➤ Capacidad de producción

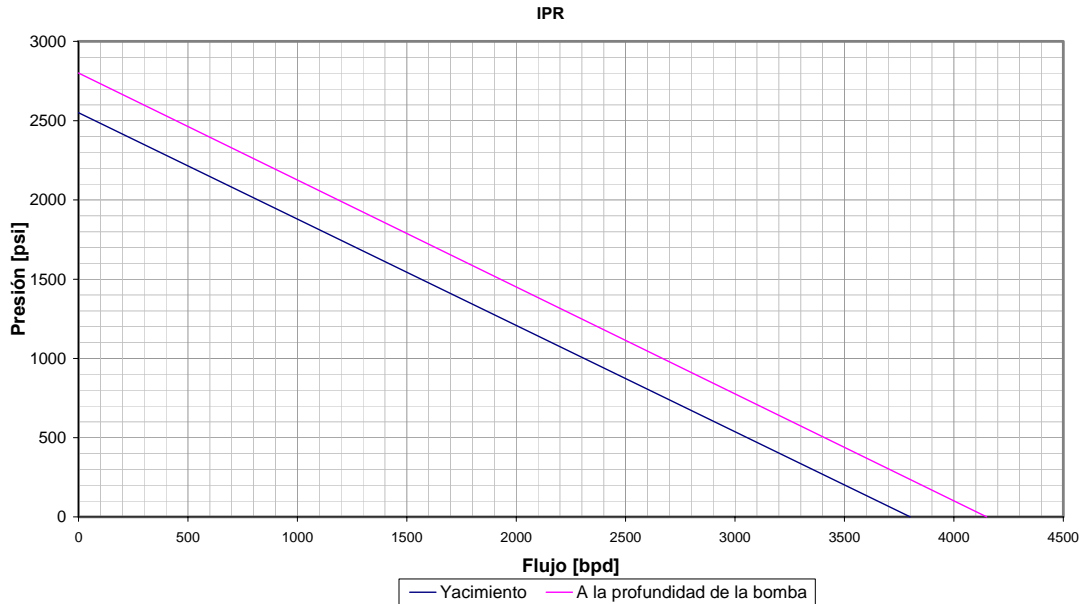
El índice de productividad es el valor que representa la capacidad de producción de un pozo. Cuando no se tiene disponibilidad de éste dato, se debe calcular obteniendo el índice de productividad específico de cada arena productora si existen más de una de estas. Para éste ejemplo éste valor ya ha sido determinado y ha sido suministrado.

- Índice de productividad: 1.5 BPD/Psi

Para el análisis del comportamiento de producción del pozo se usa el índice de producción IPR, puesto que para las condiciones de diseño la presión estática estará sobre la presión de burbuja (630 psi).

En la curva de flujo a la profundidad de la bomba, se observa que si la presión se reduce hasta 1,000 psi es posible producir 2310 bpd.

Figura 84. Curva de desempeño de flujo – IPR



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

➤ **Cálculos del porcentaje de gas libre que maneja la bomba:**

Se requiere inicialmente determinar el volumen total que maneja la bomba en fondo, para esto debemos hallar los volúmenes correspondientes de gas, agua y aceite.

Con los datos suministrados éste es un proceso sencillo usando las ecuaciones correspondientes. Ecuaciones 3.8 y 3.10 respectivamente:

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$V_o = BFPD * (1 - W_c) * B_o = 1,900 * (1 - 0.5) * 1.05 = 997 BOPD$$

$$V_w = BFPD * (W_c) * B_w = 1,900 * (0.5) * 1 = 950 BWPD$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$V_o = BFPD * (1 - Wc) * B_o = 2,310 * (1 - 0.5) * 1.05 = 1,212.75 BOPD$$

$$V_w = BFPD * (Wc) * B_w = 2,310 * (0.5) * 1 = 1,155 BWPD$$

Para el calculo del gas en fondo se debe proceder a calcular inicialmente el gas en solución con la ecuación 3.1

$$R_s = SG_g \left(\frac{P_b}{18} * \frac{10^{0.0125 * API}}{10^{0.00091 * T(^{\circ}F)}} \right)^{1.2048}$$

$$R_s = 0.67 \left(\frac{630}{18} * \frac{10^{0.0125 * 35}}{10^{0.00091 * 210(^{\circ}F)}} \right)^{1.2048} = 96 scf / STB$$

Ahora procedemos a calcular el factor volumétrico del gas a las dos condiciones con la ecuación 3.4

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$B_g = 5.04 \frac{0.88 * (210 + 460)}{(1,276.16 + 14.7)} = 2.302 Bls / Mcf$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$B_g = 5.04 \frac{0.88 * (210 + 460)}{(1000 + 14.7)} = 2.929 \text{ Bls / Mcf}$$

Se procede a calcular el gas total que se producirá. Para éste calculo se utiliza la ecuación 3.5

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$\text{Gas total} = \frac{110 * 1,900 * (1 - 0.5)}{1,000} = 104.5 \text{ MCF}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$\text{Gas total} = \frac{110 * 2,310 * (1 - 0.5)}{1,000} = 127.05 \text{ MCF}$$

El gas en solución a la profundidad de asentamiento se puede determinar usando la ecuación 3.6

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$\text{Gas en solución} = \frac{R_s * BOPD}{1,000} = \frac{96 * 1,900 * (1 - 0.5)}{1,000} = 91.2 \text{ MCF}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$\text{Gas en solución} = \frac{R_s * BOPD}{1,000} = \frac{96 * 2,310 * (1 - 0.5)}{1,000} = 110.88 \text{ MCF}$$

Ahora se puede calcular el gas libre con la ecuación 3.7

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$\text{Gas Libre} = \text{Gas total} - \text{Gas en solución}$$

$$\text{Gas Libre} = 104.5 - 91.2 = 13.3 \text{ MCF}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$\text{Gas Libre} = \text{Gas total} - \text{Gas en solución}$$

$$\text{Gas Libre} = 127.05 - 110.88 = 16.07 \text{ MCF}$$

Para calcular el volumen de gas que pasa por la sección de entrada a la bomba se usa la ecuación 3.9

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$V_g = \text{Gas Libre} * B_g = 13.3 * 2.302 = 30.62 \text{ [BGPD]}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$V_g = \text{Gas Libre} * B_g = 16.07 * 2.929 = 47.07 \text{ [BGPD]}$$

El volumen total del fluido que va a manejar la bomba se obtiene utilizando la ecuación 3.11

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$V_T = V_o + V_G + V_w = 997 + 30.617 + 950 = 1977.62 \text{ [Bls]}$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$V_T = V_o + V_G + V_w = 1,212.75 + 47.07 + 1,155 = 2,414.82 \text{ [Bls]}$$

El porcentaje de gas libre en la entrada a la bomba se puede calcular con la ecuación 3.12

Condición de producción deseada de 1,900 BFPD

$$\% \text{ Gas Libre} = \frac{30.62}{1,977.62} * 100 = 1.55 \%$$

Condición de producción a 1,000 psi de PIP (Q = 2,310 BFPD)

$$\% \text{ Gas Libre} = \frac{47.07}{2,414.82} * 100 = 1.95 \%$$

De aquí en adelante, el diseño se concentrara en el caso de las condiciones mas críticas, es decir a las condiciones a las cuales la unidad deberá manejar mayor caudal. Para éste ejemplo éste caso corresponde a la producción a una presión de 1,000 psi de PIP (2,310 BFPD).

Una ves diseñado el equipo para 2,310 BFPD y se den las condiciones para operar la unidad para producir la tasa deseada de 1,900 BFPD es posible que la bomba funcione fuera del rango de operación (empuje descendente), pero esto no se considera riesgoso por lo que REDA cuenta con la tecnología de construcción tipo compresión, la cual maneja satisfactoriamente tanto los empujes descendentes como los ascendentes.

3.3.2 Cálculo de la cabeza dinámica total en pies (TDH). Como se explica anteriormente la cabeza dinámica total consta de tres componentes principales: el levantamiento neto vertical, las perdidas por fricción en la tubería y la presión en cabeza (THP).

Calculo del Levantamiento Neto vertical

$$LNV = \text{Profundidad de la bomba} - \text{sumergencia de la bomba @ 2,310 BFPD}$$

$$LNV = 7,000 - 2,717 = 4,283 \text{ pies}$$

Cálculo de las pérdidas por fricción

De acuerdo a la tubería de producción a instalar y la respectiva profundidad de asentamiento de la bomba se tiene:

Tubería de Producción	:	7,000 pies de 2 7/8"
Tasa de producción	:	2,310 BFPD

Realizando el método gráfico expuesto en el tercer informe de éste documento en la sección de que hace mención a éste cálculo se tiene:

Para tubería de 2 7/8" y una tasa de 2,310 BFPD se tiene 50 pies de pérdidas por cada 1,000 pies de tubería y por tanto:

$$50 * 7,000 / 1,000 = 350 \text{ pies de pérdidas por fricción.}$$

Cálculo de la presión en cabeza en pies

$$Cabeza [pies] = \frac{presión [psi] * 2.31 [pies / psi]}{SG}$$

$$Cabeza [pies] = \frac{200 * 2.31}{0.96} = 481.25 \text{ pies}$$

Con esto se puede hallar la cabeza dinámica total con:

$$TDH = LNV + PF + THP [pies]$$

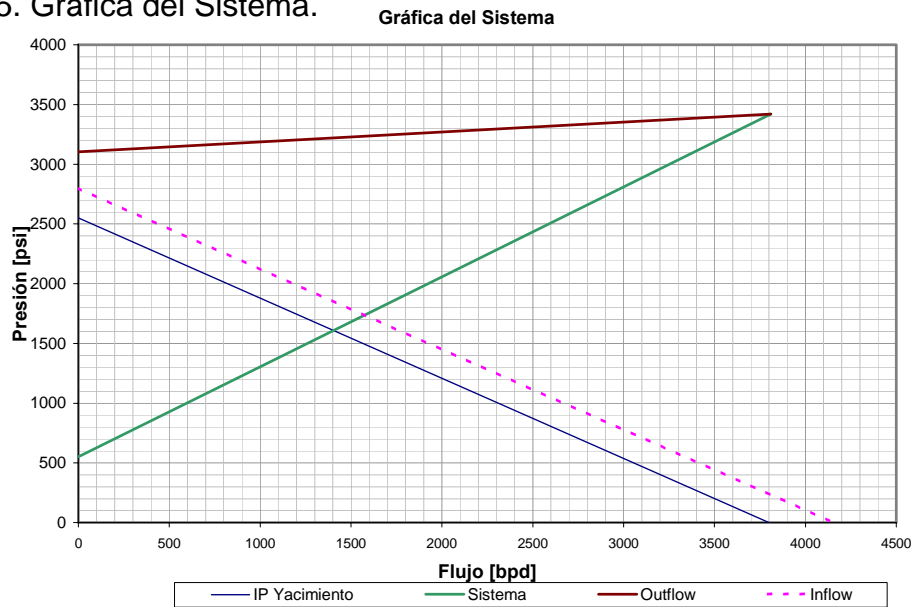
$$TDH = 4,283 + 350 + 481.25 = 5114.25 \text{ pies}$$

3.3.3 Seleccionar el tipo de bomba. Para seleccionar la bomba es necesario conocer el fluido que manejará la bomba en fondo: para las condiciones de diseño es:

$$\text{Volumen total en fondo} = 2,414.82 \text{ BFPD}$$

Con esta condición de producción y la presión del sistema se puede seleccionar la bomba.

Figura 85. Gráfica del Sistema.



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

La curva de desempeño de outflow y inflow, incluyendo la IPR para las condiciones de yacimiento se presenta de la forma en que se observa en la figura 84.

La selección del equipo de fondo (BHA) depende de muchos factores; uno de los más importantes es la cantidad de gas. En éste caso en particular, el GOR (110 SCF/Bbl) no afectará la decisión final (menos del 10 % de gas libre a la entrada de la bomba), pero en caso en los cuales se tiene mayor presencia de gas se deberá considerar el uso de tecnología especial para la separación y o manejo de éste. El calculo realizado anteriormente arrojó un valor de 1.95 % de gas libre en la bomba para la condición de producción a PIP = 1,000 psi (2,310 BFPD).

Utilizando los catálogos con los que cuenta REDA, con el caudal deseado o de diseño y la cabeza dinámica total en pies calculada, se podrá seleccionar el tipo

de bomba que tendrá la más alta eficiencia para producir dicho caudal dentro de un rango de bombas que podrían realizar éste trabajo.

La siguiente tabla es una tabla de selección de bombas para el rango a las condiciones requeridas en éste diseño (2,414.82 bpd que manejara la bomba en fondo):

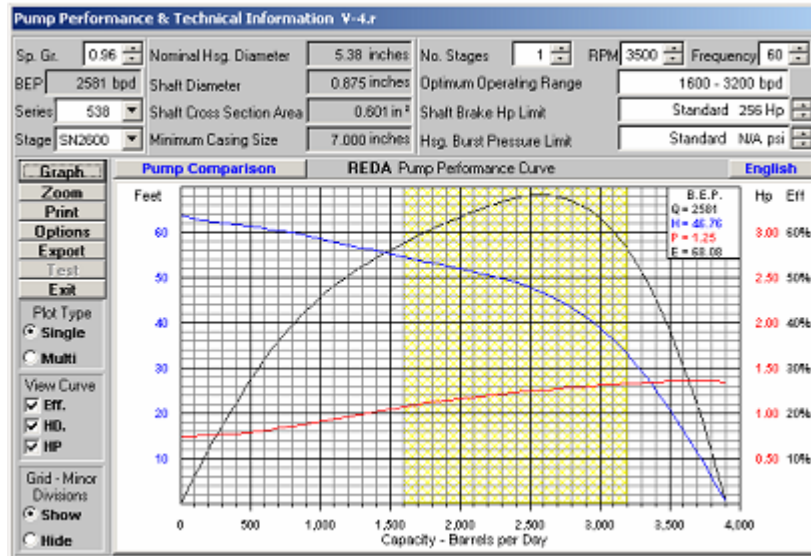
Tabla 6. Condiciones para la selección de la bomba

Bomba	OD	Clearance	η	Etapas	HP	Eje	Carcaza Redalloy	L	W
SN2600	5.38	0,861	6 8	112	NA	NA	NA	NA	NA
GN2500	5.13	1,111	6 2	131	15 4	ST D	110 X 131 STG	16,1	730
GN2100	5.13	1,111	6 2	147	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

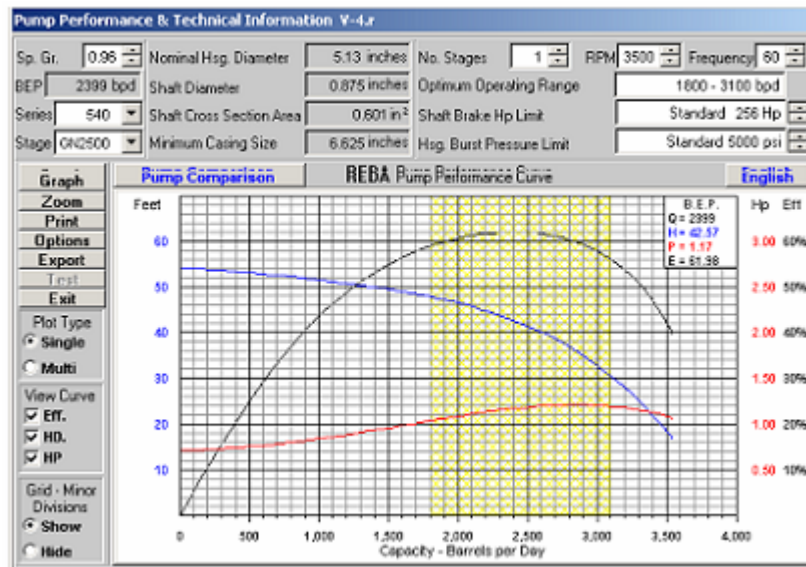
Observemos las curvas de desempeño de cada una de las bombas que aplican para manejar la producción de diseño:

Figura 86. Curva de desempeño de una bomba SN2600



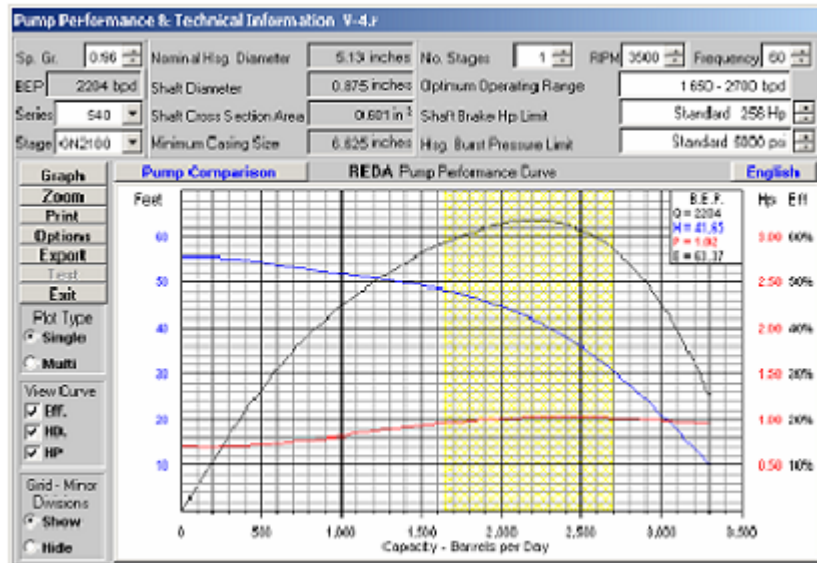
Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Figura 87. Curva de desempeño de una bomba GN 2500



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Figura 88. Curva de desempeño de una bomba GN 2100



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

3.3.4 Levantamiento por etapas de cada bomba para 2,414.82 BFPD

- SN 2,600 : 48 pies
- GN 2,500 : 42.5 pies
- GN 2,100 : 37 pies

3.3.5 Numero de etapas. Con la ecuación 4.14 se determina el numero de etapas mínima que requerirá cada una de las bombas para generar el levantamiento en pies necesario para llevar el fluido hasta superficie a la presión en cabeza (THP) con la cual se realiza el diseño:

$$Total\ etapas = \frac{TDH}{Cabeza\ por\ etapas} = \frac{5114.25}{Cabeza\ por\ etapa\ cada\ bomba}$$

SN 2,600 : 107 etapas
GN 2,500 : 120 etapas
GN 2,100 : 139 etapas

La bomba adecuada es GN 2,500; aunque como se observa en la curva de desempeño la bomba SN 2,600 tiene mayor eficiencia, genera mas levantamiento en pies por etapa y por tanto requiere menor numero de etapas, su restricción es su OD de 5,38 pulgadas puesto que el diámetro interno del revestimiento es 6,241 pulgadas, por tanto se podrían presentar algunos problemas por el clearance (pegas y daño de cable). Por otro lado, la bomba GN 2,100 tiene menos eficiencia, pero éste tipo de bomba requiere mas etapas para manejar la misma cantidad de fluido. Es necesario un tándem de bombas para cumplir con éste requerimiento.

Con la GN 2,500, la eficiencia es aproximadamente la misma a la de la GN 2,100, y no requerirá bombas en tándem para completar las etapas que generen el levantamiento requerido. Aunque la bomba requerirá 120 etapas como mínimo, la carcaza 110 estándar tiene capacidad para 131 etapas.

La bomba seleccionada es: **GN 2500, 131 etapas, CR, CT, RA, ES**

Esto indica que la bomba maneja 2,500 BFPD a 60 Hz de frecuencia, que consta de 131 etapas, que es de construcción tipo compresión (CT), para asegurar el buen manejo de los empujes, de metalurgia resistente a la corrosión (RA) y es una bomba estabilizada (ES).

Para diferentes producciones que 2,500 BFPD se tiene las siguientes frecuencias:

Q = 2,414 BPD se requieren 59,2 Hz

Q = 1,995 BPD se requieren 53,2 Hz

3.3.6 Potencia requerida por la bomba. Para calcular la potencia requerida de la bomba seleccionada se utiliza la ecuación 4.15, tomando de las curvas de desempeño por etapa la potencia requerida por etapa de la bomba seleccionada:

$$HP = [Etapas\ totales] * [HP\ por\ etapa]$$

$$HP = [131] * [1.17] = 153.27\ HP$$

La bomba requiere 153.27 HP, mas 20 % de factor de seguridad para la operación del variador; el motor necesita al menos 184 HP. El motor serie 540 no es una buena opción debido a los problemas con el clearance.

Pero si selecciona un motor serie 456 Dominador para 192 HP; con carcasa resistente a la corrosión (Redalloy) debido al tratamiento ácido que se hace para el control de la formación de escamas; es una opción adecuada.

WDG	Voltios	Amperios	Tipo	Longitud
Peso				
4,160	1,890	65	UT	28.2
				1,292

OD: 4.56"

La carga del motor es

$$\% \text{ Carga del Motor} = \frac{HP_{pump}}{HP_{motor}}$$

$$\% \text{ Carga del Motor} = \frac{154}{192} = 80,2\ \%$$

Se debe realizar el calculo de la frecuencia a la cual el eje de la bomba falla, y es como sigue:

Caballaje de la placa del eje de la bomba @ 60 Hz = 256 HP

Este valor se encuentra en el lado derecho de la parte superior de la curva de desempeño de la bomba GN 2,500

$$Frecuencia = 60 * \sqrt{\frac{ShaftNPHP}{PumpHP}}$$

$$Freq = 60 * \sqrt{\frac{256}{154}} = 77,36 \text{ Hz}$$

3.3.7 Selección del Protector. Se selecciona un protector Modular serie 400 de cuatro cámaras como siguen:

LSLSBPB – HL

Elastómero Aflas; Carcaza resistente a la corrosión; Eje para alta carga.

3.3.8 Selección de la extensión de conexión del motor (Motor Lead Extension):

Figura 89. Motor Lead Extensión



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Se utilizara el estándar de 40 pies.

Clearance:	ID CSG	: 6,241"	DRIFT
	OD BHA	: 5,13"	
	Cable	: 0,525"	
	Total	: 0,586"	OK

No hay problemas con el clearance al usar éste tipo de Extensión plana de cable (FCE).

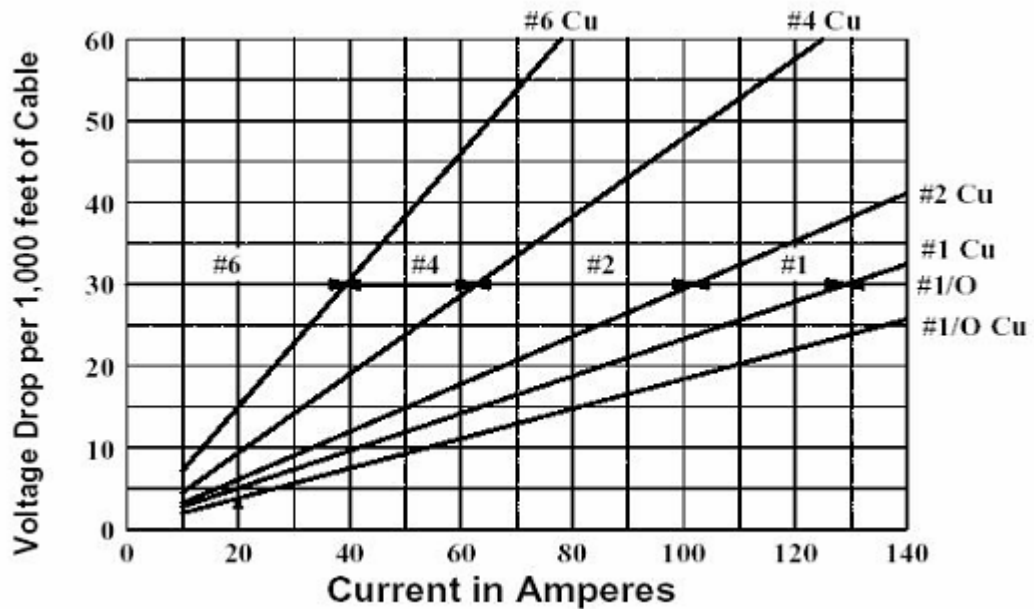
3.3.9 Selección del cable. Para seleccionar el cable de potencia, es importante considerar la máxima caída de voltaje. A 65 Amperios, la caída de voltaje es 19,2 V/1000 pies con cable # 2.

También es importante verificar la armadura, debido al contenido de químicos y al tratamiento químico que se este realizando. En éste caso el tratamiento ácido anti-formación de escamas.

El cable seleccionado es:

Cable plano # 2 resistente a la corrosión (Redalead ELB); Armadura Monel; 4KV; 2/7; Con capilar para inyección de química en fondo; longitud 7000 pies.

Figura 90. Caída de Voltaje



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

3.3.10 Sección de entrada a la bomba (Intake). Debido a las diferentes características del equipo (OD del protector y de la bomba) es necesario seleccionar un adaptador entre protector y sección de entrada a la bomba de serie 400 en la base a serie 540 en la cabeza. Las características de la sección de entrada a la bomba son:

400/540; ARZ; HSS; RA

ARZ : Resistente a la abrasión

HSS : Tipo de rosca

RA : Resistente a la corrosión

3.3.11 Equipo de monitoreo en fondo o sensor en fondo. Es importante adjuntar un sensor en fondo para verificar el correcto desempeño del equipo en fondo; debido a que la tasa de producción se esta incrementando y al alto corte de agua (50%). Es una buena aplicación seleccionar un sensor para medir: La temperatura en fondo, La presión en fondo y la presión que descarga la bomba.

Para verificar el desempeño del motor se recomienda registrar la temperatura del motor. Por esta razón el sensor seleccionado y del que dispone la tecnología de REDA es:

PUMP WATCHER de 4 Canales

Este tipo de sensor satisface con la medición y registro de los parámetros anteriormente mencionados.

3.3.12 Equipo de superficie

➤ **Transformador Reductor (Step Down Transformer)**

Como la potencia disponible es de 13,8 KV es necesario usar un transformador reductor de voltaje de tres fases SDT para reducir el voltaje hasta 480 voltios que

es el requerido para el funcionamiento del variador o controlador de frecuencia (VSD).

De 13,800 V @ 480 V

➤ **Variador de Frecuencia (VSD)**

para seleccionar el VSD es necesario calcular el voltaje en superficie y los Kilovoltio-amperios (KVA) requeridos:

$$V_{\text{voltaje en superficie}} = (V_{\text{pérdida}/1000 \text{ pies}} * \text{Longitud del Cable})/1,000 + \text{Voltaje del Motor}$$

$$V_{\text{voltaje en superficie}} = 19.5 * 7,000/1,000 + 1,890$$

$$V_{\text{voltaje en superficie}} = 2026,5 \text{ V}$$

$$KVA_{\text{@ superficie}} = \frac{1.732 * (V_{\text{motor}} + V_{\text{pérdida}}) * A_{\text{motor}}}{1,000}$$

$$KVA_{\text{@ superficie}} = \frac{1.732 * (V_{\text{superficie}}) * A_{\text{motor}}}{1,000} = \frac{1.732 * 2,026.5 * 65}{1,000} = 228.14 \text{ KVA}$$

Con éste KVA, mas 15% de factor de seguridad debido a las pérdidas. Ahora en los catálogos se busca el VSD adecuado:

Figura 91. Selección del Variador de Frecuencia - VSD

VSD KVA @ 480 VOLTS	INPUT VOLTAGE	CARRIER FREQ. DERATE	BASE FREQUENCY	RUN FREQUENCY
<input type="radio"/> 66 @ 79	<input checked="" type="radio"/> 480	<input checked="" type="radio"/> 2.2 Khz @ 0 %	<input type="radio"/> 45	<input type="radio"/> 68
<input type="radio"/> 83 @ 100	<input type="radio"/> 475	<input type="radio"/> 3 Khz @ 14 %	<input type="radio"/> 46	<input type="radio"/> 69
<input type="radio"/> 111 @ 134	<input type="radio"/> 470	<input type="radio"/> 4 Khz @ 27 %	<input type="radio"/> 47	<input type="radio"/> 70
<input type="radio"/> 130 @ 156	<input type="radio"/> 465	POWER SYSTEM	<input type="radio"/> 48	<input type="radio"/> 71
<input type="radio"/> 163 @ 196	<input type="radio"/> 460	<input type="radio"/> STIFF	<input type="radio"/> 49	<input type="radio"/> 72
<input type="radio"/> 200 @ 241	<input type="radio"/> 455	<input checked="" type="radio"/> WEAK	<input type="radio"/> 50	<input type="radio"/> 73
<input checked="" type="radio"/> 260 @ 313	<input type="radio"/> 450	PUMP APPLICATION	<input type="radio"/> 51	<input type="radio"/> 74
<input type="radio"/> 325 @ 391	<input type="radio"/> 440	<input checked="" type="radio"/> ESP	<input type="radio"/> 52	<input type="radio"/> 75
<input type="radio"/> 390 @ 469	<input type="radio"/> 430	<input type="radio"/> PC PUMP	<input type="radio"/> 53	<input type="radio"/> 76
<input type="radio"/> 454 @ 546	<input type="radio"/> 425	<input type="radio"/> HPS	<input type="radio"/> 54	<input type="radio"/> 77
<input type="radio"/> 518 @ 624	<input type="radio"/> 420	FILTER APPLIED	<input type="radio"/> 55	<input type="radio"/> 78
<input type="radio"/> 600 @ 722	<input type="radio"/> 415	<input checked="" type="radio"/> YES	<input type="radio"/> 56	<input type="radio"/> 79
<input type="radio"/> 700 @ 843	<input type="radio"/> 410	<input type="radio"/> NO	<input type="radio"/> 57	<input type="radio"/> 80
<input type="radio"/> 815 @ 981	<input type="radio"/> 390	X-FORMER APPLIED	<input type="radio"/> 58	<input type="radio"/> 81
<input type="radio"/> 932 @ 1122	<input type="radio"/> 380	<input checked="" type="radio"/> YES	<input type="radio"/> 59	<input type="radio"/> 82
<input type="radio"/> 1000 @ 1203	<input type="radio"/> 370	<input type="radio"/> NO	<input checked="" type="radio"/> 60	<input checked="" type="radio"/> 83
<input type="radio"/> 1200 @ 1445	<input type="radio"/> 360	NEMA TYPE	<input type="radio"/> 61	<input type="radio"/> 84
INFO ON THIS VSD	<input type="radio"/> 350	<input checked="" type="radio"/> NEMA 3	<input type="radio"/> 62	<input type="radio"/> 85
AVAILABLE KVA : 239 VSD PART NO. 7026693	<input type="radio"/> 340	PULSE NUMBER	<input type="radio"/> 63	<input type="radio"/> 86
		<input checked="" type="radio"/> 6 PULSE	<input type="radio"/> 64	<input type="radio"/> 87
		<input type="radio"/> 12 PULSE	<input type="radio"/> 65	<input type="radio"/> 88
			<input type="radio"/> 66	<input type="radio"/> 89
			<input type="radio"/> 67	<input type="radio"/> 90
			KVA @ RUN FREQ. : 239	

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

En esta selección, esta incluido el factor de seguridad; los KVA a la frecuencia de operación es 239 KVA.

Por tanto, el VSD seleccionado es: **De 260 KVA**

Onda de Frecuencia: 2,2 KHz, Sistema de potencia débil, Nema 3, 6 Pulsos.

➤ **Transformador elevador - SUT**

El voltaje requerido por el motor es 1,890 V, mas las pérdidas de voltaje en el cable (136,5 V); es necesario tener al menos 2,026 V en superficie.

El voltaje de salida del variador es solamente 480 V, es indispensable instalar un transformador elevador -SUT. Con las siguientes características:

$KVA_{SUT} = 300 \text{ KVA}$

Relación de transformación de 480 V a 2,100 V

➤ **Caja de Conexiones**

Para conectar la salida del transformador elevador con el cable del motor es necesario usar una caja de conexiones. Esta caja de conexiones evita la presencia de gas en el variador.

En REDA éste componente del equipo en superficie es referenciado por un numero de parte así:

Reda P/N: 7011950

➤ **Cabeza de pozo**

En la cabeza del pozo, para realizar la conexión se usa un penetrador, una sección de conexión inferior a éste penetrador conocido como “lower pig tail” y una sección de conexión superior al penetrador conocida como “upper pig tail”.

3.3.14 Resumen. Extensión plana de cable FCE: Serie 456; #4; 4KV; KELB; Monel; 40 pies.

Cable capilar: Redalead; #2; Flat; ELB; Monel; 4KV; 2/7.

Caja de conexiones.

Equipo de superficie:

SDT; 13,8 KV @ 480 V, VSD 260 KVA y SUT 300 KVA; 480 V @ 2100 V

La unidad de bombeo electro sumergible seleccionada es la siguiente:

Tabla 7 Tabla resumen de la unidad seleccionada

BHA	Descripción	OD Pulg.	Long. Pies	Peso Libras	Profundidad Pies
Cabeza de descarga	540 x 2 ⁷ / ₈ "	3 ½"	0,8'	23	6983,1'
Bomba	GN2500, 131 Etp, CR, CT, ES, RA,	5,13"	16,1'	790	6983,9'
Sección de entrada a la bomba	400/540; ARZ; HSS; RA	5,13"	3,2'	75	7000'
Protector o sello	Serie 400 ; LSLSBPB – HL; Aflas; RA; HSS	4,0"	15'	385	7015'
Motor	456 Dominador; 192 HP; UT; WDG 4160; 1890 V; 65 A; RA	4,56"	28,2'	1292	7043,2'
DME	Pump Watcher 4 Canales	4,56"	3,2'	70	7046,4'
		Total	66,5	2635	

Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

4. MONITOREO DE UNA UNIDAD B.E.S. INTERACT

4.1 QUE ES Inter. ACT?

Es un Sistema de Control y Monitoreo remoto, mediante el cual se puede obtener información en tiempo real de un pozo productor o equipo instalado, desde cualquier lugar del mundo a través de un computador personal o portátil y una conexión de Internet o Intranet.

4.2 CUALES SON LAS FUNCIONES DE InterACT?

- ✓ Proporciona información inmediata de datos recientes o históricos de cualquier locación remota.
- ✓ Dos vías de comunicación lo que significa que se puede enviar y recibir información esencial para el funcionamiento y monitoreo de los pozos y los equipos instalados.
- ✓ Acceso en tiempo real a datos de las variables de producción desde cualquier PC con conexión a Internet.
- ✓ Detecta y envía alarmas de atención de variables monitoreadas por el sistema, tales como temperatura, amperaje del motor, presión, entre otras.
- ✓ Las alarmas enviadas por el sistema pueden ser determinadas para que informen al personal vía beeper, celular, fax, líneas telefónicas fijas, E-mail etc.
- ✓ Control remoto del equipo instalado en las locaciones desde cualquier lugar del mundo a través de una línea de Internet o intranet.

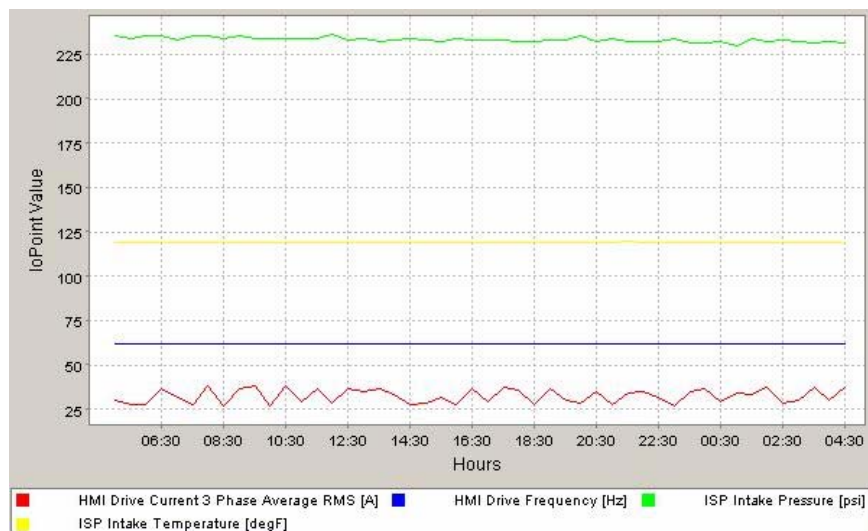
4.3 PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LA LOCACIÓN Y LA MANERA DE DETECTARLOS EN InterACT

El sistema de monitoreo nos permite evaluar a diario las condiciones de los diferentes pozos que se encuentran en el sistema, permitiendo realizar un seguimiento preventivo y evitar que se presenten futuros problemas en el equipo así mismo se puede aconsejar a la compañía operadora del campo la realización de algún trabajo específico en pozo.

Se presentan a continuación algunas graficas obtenidas de los parámetros monitoreados (Presión, Temperatura, Frecuencia, Corriente, entre otros.) los cuales me permiten detectar anomalías que afectan la producción.

4.3.1 Comportamiento normal de un pozo. Se observa un comportamiento estable en los diferentes parámetros observados para este pozo, lo cual me indica un perfecto funcionamiento del sistema B.E.S así como un comportamiento estable del yacimiento.

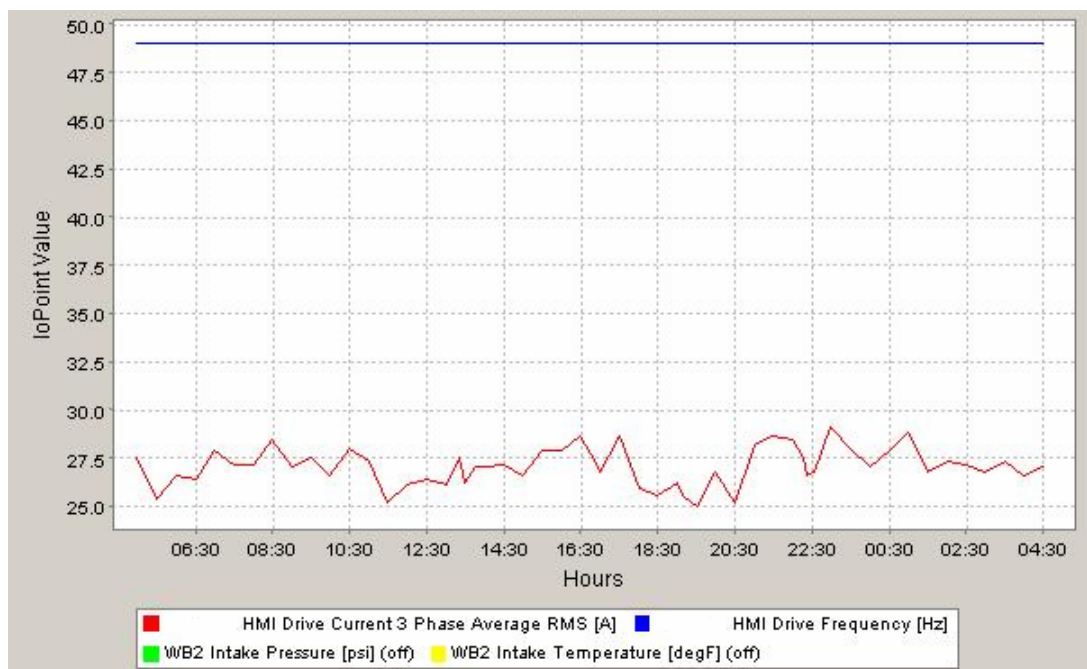
Figura 92. Comportamiento normal de un pozo



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

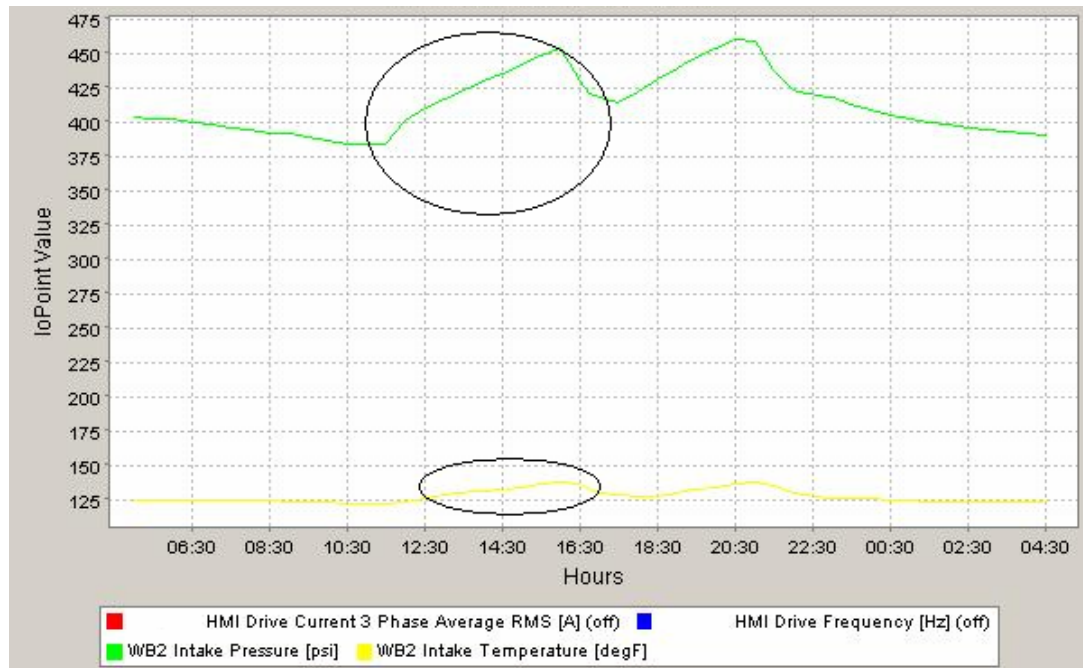
4.3.2 Pozo bloqueado por gas. Cuando el pozo se bloquea por gas, se observa que la carga (valor de corriente) disminuye porque varia la gravedad especifica del fluido a levantar, por lo tanto la presión incrementa en mi pozo y al no haber flujo de fluidos del yacimiento a superficie esto impide que el motor se refrigere por lo tanto la temperatura se incrementa.

Figura 93. Corriente y frecuencia de un pozo bloqueado por gas



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

Figura 94. Presión y temperatura en un pozo bloqueado por gas



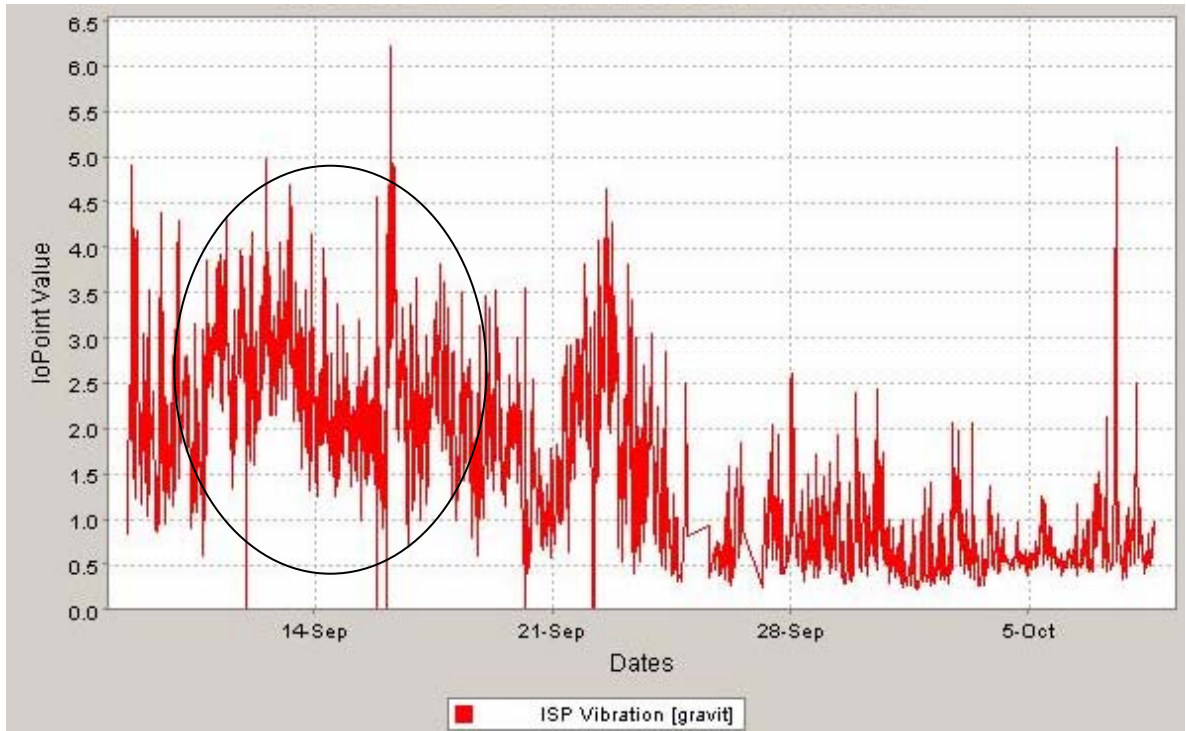
Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

4.3.3 Pozo con problema de sólidos. Al ingresar sólidos provenientes del yacimiento a nuestro sistema de bombeo electrosumergible, ocasiona un aumento en la vibración, parámetro que también se encuentra registrado en el monitoreo.

Para este caso se recomienda realizar trabajos en el pozo para evitar la pérdida del equipo ya que los sólidos son un agente abrasivo y deterioran nuestro sistema B.E.S.

Se debe tener en cuenta que si la vibración se ha presentado por un periodo muy largo, esto puede indicar el desgaste de la bomba.

Figura 95. Pozo afectado por el ingreso de sólidos al sistema



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

4.3.4 Pozos trabajando a baja carga. Cuando en un pozo se baja la carga, se puede pensar en lo siguiente:

- Esta ingresando gas en el pozo, por lo tanto la gravedad específica del fluido se reduce, disminuyendo por lo tanto la carga al motor, el pozo se esta bloqueando por gas.
- En superficie se ha realizado un choque en alguna válvula lo cual me genera que el fluido que se encuentra en la bomba empieza a adquirir la misma velocidad de los impulsores y al estar cercana a esta velocidad la carga disminuye porque el motor no requiere la misma carga para levantar este fluido.

4.3.5 Pozos afectados por baches de agua. En un pozo que en determinado momento es afectado por un bache de agua, podemos observar el siguiente comportamiento:

La presión y la carga se incrementan, mientras la temperatura se mantiene en un valor casi constante.

Este comportamiento es el mismo presentado cuando hay entrada de sólidos en el pozo, por tal razón es indispensable para poder dar un criterio mas exacto el conocer los datos de vibración, con los cuales podré descartar la posibilidad de sólidos en el sistema.

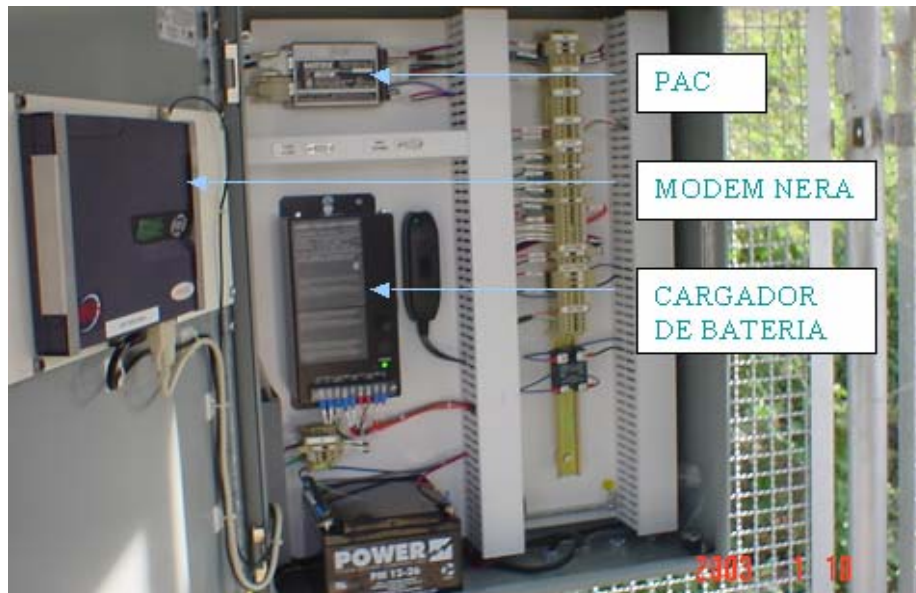
Hay que tener en cuenta que si se presenta la vibración esta debe corresponder al mismo tiempo del evento, porque esta también puede ser generada por el desgaste de la bomba.

4.4 KIT InrerACT

El kit instalado en el pozo para realizar la transmisión y monitoreo de los datos esta conformado por:

- PAC (Processor Assisted Connector)
- Modem MPDS NERA
- Fuente de alimentación de 120 / 240 Voltios
- Antena de comunicación Satelital
- Batería 12 Vdc

Figura 96. Kit de instalación InterACT



Fuente: SCHLUMBERGER -WCP-Artificial Lift System

4.5 BENEFICIOS DE InterACT

- Reducción del tiempo de parada.
- Protección de los equipos debido a la configuración de las alarmas de emergencia; dando así una respuesta más rápida a fallas y minimiza el “downtime” de los equipos de producción.
- Se pueden tomar decisiones desde la locación de producción y se pueden emitir comandos de control y de supervisión o extraer más información, gracias a que estos datos se obtienen en tiempo real y se pueden observar valores históricos.
- Disminuye el número de visitas al pozo.
- Apagado del pozo por estado de emergencia

4.6 VENTAJAS FRENTE AL SISTEMA SCADA

- Instalación y comisionamiento rápido y simple.
- No requiere de una infraestructura de comunicación tal como: antenas repetidoras, frecuencias de radio en el sitio, tendido de cables hasta locación.
- No requiere un software adicional en el PC.
- Acceso desde un Browser Internet PC – WAP.
- Colección de datos de manera más rápida y a menor costo

4.7 TAREAS REALIZADAS POR InterACT

- Apoyo a ingeniería en la realización de los informes mensuales.
- Actualización, instalación sistema de monitoreo remoto InterACT.
- Apoyo en servicios de Pull y Run de ESP.
- Monitoreo, control y comisionamiento de la página web de InterACT.
- Apoyo en el mantenimiento preventivo y correctivo de VSD

CONCLUSIONES

Del presente libro podemos concluir que:

- ❖ En general, en todo diseño el principio básico, es seleccionar el motor de mayor diámetro que pueda ser instalado libremente dentro del revestimiento.
- ❖ Es importante determinar la cantidad de gas que se encuentra en yacimiento y el gas liberado a las condiciones en la entrada de la bomba, para establecer si es prioridad instalar un separador o un manejador de gas y evitar futuros problemas por bloqueos de gas los cuales podrían afectar la producción.
- ❖ Se deben conocer las condiciones extremas de abrasión, corrosión o fluidos con muy baja lubricidad para determinar los materiales especiales que debe tener la bomba e incrementar el tiempo de operación.
- ❖ En el momento de realizar un diseño de una unidad de bombeo electrosumergible, es importante contar con los datos iniciales exactos representativos del yacimiento y del tipo de fluido que allí encontramos, con el fin de lograr la mejor combinación de los componentes del sistema y obtener el mayor beneficio con una menor inversión.
- ❖ El sistema de monitoreo satelital, permite reducir el tiempo de reacción a un evento ocurrido en un pozo, permitiendo reducir sustancialmente las pérdidas de producción.
- ❖ El sistema InterACT nos permite realizar un seguimiento en tiempo real de las condiciones presentes en el sistema de bombeo electrosumergible y prever posibles problemas.

BIBLIOGRAFÍA

OFS-1 Schlumberger, Course. Artificial Lift Systems.

REDA, Production Systems, Motor Training Manual 2002.

REDA, Production Systems, Protector Training Manual 2002.

REDA, Service Manual, 1995.