





**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS**

**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE  
BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) PARA EL POZO SHUSHUFINDI  
SSFD 106D CON ALTA RELACIÓN GAS-PETRÓLEO (GOR)**

**TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO  
DE PETRÓLEOS**

**Autor:**

**CRISTHIAN ANIBAL CARRANZA LUCAS**

**Director de Tesis:**

**ING. PATRICIO JARAMILLO**

**QUITO-ECUADOR**

**2010**

## **DECLARACIÓN**

Del contenido del presente trabajo se responsabiliza el autor.

---

**CRISTHIAN ANIBAL CARRANZA LUCAS**

**C.I. 080235545-3**

**AUTOR**

Quito, DM, 14 de Abril del 2010

Sr. Ing. MBA. MSc.

**Jorge Viteri Moya**

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Presente

De mi consideración:

Me permito informarle que la tesis: **“CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) PARA POZO SHUSHUFINDI SSFD 106D CON ALTA RELACIÓN GAS-PETRÓLEO (GOR)”**, realizada por el Señor **CRISTHIAN ANIBAL CARRANZA LUCAS**, previa a la obtención del título de **TECNÓLOGO EN PETRÓLEOS**, ha sido concluida bajo mi dirección y tutoría, por lo que solicito el trámite subsiguiente.

Por la atención a la presente, le anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,

**Patricio Jaramillo C. Ing. MSc.**  
**DIRECTOR DE TESIS**



No CRT\_10\_009\_CM

Quito, 21 de Enero del 2010

**A quien interese.-**

A petición verbal del interesado, señor **Carranza Lucas Cristhian Anibal** portador de la cédula de identidad No. **080235545-3** me permito **CERTIFICAR** que el mencionado señor realizó una pasantía para la empresa Schlumberger Surencó S.A. en el Segmento **ARTIFICIAL LIFT** – en el área de **bombas electrosumergibles** desde el **06 de Septiembre del 2009** hasta el **13 de Diciembre del 2009**.

Es todo cuanto puedo afirmar en honor a la verdad.

Cualquier información adicional, por favor comunicarse con el Departamento de Recursos Humanos, al número telefónico 593 2 2979400, extensión 1329.

Atentamente,

**María de Lourdes Rodríguez**  
Gerente de Servicios al Empleado - Ecuador  
**SCHLUMBERGER SURENCO S.A.**



*75 Años  
de fiel compromiso con el país.  
Ecuador 2009*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiar mis pasos por el camino del bien, a mis madres Angela y Gelma por su apoyo incondicional recibido en todo momento de mi vida estudiantil, a mis hermanos y todos y cada uno de mis familiares que de una u otra manera me apoyaron para poder salir adelante con mi carrera universitaria.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, al señor Decano Ing. Jorge Viteri y al Subdecano Ing. Bolívar Haro, por acogerme en sus aulas y permitir desarrollarme académica y personalmente.

Agradezco a mi Director Ing. Patricio Jaramillo por la orientación, ideas y consejos recibidos, que me ayudaron mucho para poder realizar mi proyecto de tesis.

Mi voz de agradecimiento al Ing. Marco Corrales Palma del Departamento de Ingeniería de Petróleos de la Cía. Tree Oil, por su aporte tecnológico, que con sus conocimientos y experiencia me supieron ayudar a culminar este trabajo.

Un agradecimiento muy especial a Darío Paz Salazar, ya que fue un pilar fundamental en mi carrera universitaria, así mismo agradezco a Julio Lucas, Cenen Carrera, Laura Chancay, Gladys Hanze, Gabriela Ramírez, a todos ustedes gracias por su granito de arena.

**CRISTHIAN ANIBAL CARRANZA LUCAS**

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme dado salud y vida para poder realizar con éxito este proyecto de tesis.

A mis padres, los que están y también a los que se fueron, por haber confiado en mí, por su apoyo incondicional, en cada momento difícil de mi vida.

A Gabriela mi novia, gracias por estar siempre a mi lado motivándome cada día para ser mejor.

A cada una de las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de mi trayectoria y que con su granito de arena contribuyeron para que esto se transforme en una realidad.

**CRISTHIAN ANIBAL CARRANZA LUCAS**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA -----	II
DECLARACIÓN -----	III
INFORME DEL DIRECTOR-----	IV
CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA-----	IV
AGRADECIMIENTO -----	VI
DEDICATORIA -----	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO -----	VIII
ÍNDICE GENERAL-----	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES-----	XV
ÍNDICE DE FIGURAS -----	XVI
ÍNDICE DE LISTAS-----	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS -----	XVIII
RESUMEN -----	XIX
SUMMARY -----	XXII

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I-----	1
1. INTRODUCCIÓN-----	1
1.1 PROBLEMA -----	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA-----	2
1.3 OBJETIVO GENERAL -----	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	2
1.5 JUSTIFICACIÓN -----	3
1.6 HIPÓTESIS -----	4
1.7 MARCO CONCEPTUAL -----	4
1.8 METODOLOGÍA -----	6
1.8.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN -----	6
1.8.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN -----	6
CAPÍTULO II-----	7
2. EL SISTEMA DE BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES -----	7
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTE DEL SISTEMA DE DBOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) -----	11
2.1.1 EQUIPOS DE SUPERFICIE-----	11
2.1.1.1 TRANSFORMADORES-----	11
2.1.1.2 TABLERO O VARIADOR DE CONTROL PARA MOTORES -----	13
2.1.1.3 PANELES DE CONTROL (VELOCIDAD FIJA) SWITCHBOARD---	14
2.1.1.3.1 ARRANCADOR SUAVE-----	15
2.1.1.3.2 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD) -----	16

2.1.1.4 MONITOR DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE FONDO DE POZO	18
2.1.1.5 CAJA DE CONEXIONES	20
2.1.1.6 CABEZA DE POZO	21
2.1.1.7 VÁLVULA DE RETENCIÓN	22
2.1.1.8 VÁLVULA DE DRENADO O PURGA	22
2.1.1.9 RELEVADOR DE ROTACIÓN INVERSA	23
2.1.1.10 CENTRALIZADOR	24
2.1.1.11 CABLE DE POTENCIA	24
2.1.1.12 CABLE PLANO DE EXTENSIÓN DEL MOTOR	25
2.1.1.13 FLEJES	26
2.1.1.14 PROTECTORES PARA CABLE	26
2.1.2 EQUIPOS DE FONDO	27
2.1.2.1 BOMBA	27
2.1.2.2 SECCIÓN DE ENTRADA O INTAKE	29
2.1.2.3 EL MOTOR DE LA BES	30
2.1.2.4 EL PROTECTOR	32
2.1.2.5 CABLE DE POTENCIA	33
2.1.2.6 TERMINAL DE CABLE (POTHEAD)	34
2.1.2.7 SENSOR DE FONDO	35
2.2 FACTORES QUE SE INVOLUCRAN EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN POZO	36
2.3 EXPLICACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE DATOS PARA EL DISEÑO	37
2.4 LISTA DE DATOS REQUERIDOS PARA UN BUEN DISEÑO	38

2.4.1 DATOS DEL POZO-----	39
2.4.2 DATOS DE PRODUCCIÓN -----	39
2.4.2 CONDICIONES DEL FLUIDO DEL POZO -----	39
2.4.3 FUENTE DE ENERGÍA-----	40
2.4.4 POTENCIALES PROBLEMAS -----	40
2.5 PROCESO EXPLICATIVO PARA EL DISEÑO-----	41
2.6 ESTADO DEL POZO PREVIO A LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO -----	46
CAPÍTULO III-----	49
3. METODOLOGÍA DE LOS NUEVE PASOS QUE AYUDA A DISEÑAR EL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE CON ALTA RELACION GAS- PETROLEO (GOR)-----	49
3.1 METODOLOGÍA DE LOS NUEVE PASOS -----	50
3.1.1 PASO 1: DATOS BÁSICOS -----	50
3.1.2 PASO 2: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN -----	50
3.1.3 PASO 3: CÁLCULO DE SEPARACIÓN DE GAS-----	52
3.1.4 PASO 4: CABEZA DINÁMICA TOTAL (TDH) -----	52
3.1.5 PASO 5: TIPO DE BOMBA -----	53
3.1.6 PASO 6: TAMAÑO ÓPTIMO DE COMPONENTES-----	54
3.1.7 PASO 7: CABLE ELÉCTRICO -----	55
3.1.8 PASO 8: ACCESORIOS Y EQUIPOS OPCIONALES -----	56
3.1.9 PASO 9: SISTEMA DE BOMBEO DE VELOCIDAD VARIABLE-----	58
3.2 DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE UNA UNIDAD DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE -----	59
3.2.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN -----	60

3.2.1.1	ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD -----	60
3.2.1.2	RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD -----	61
3.2.2	CÁLCULO DE GAS -----	63
3.2.3	RELACIÓN SOLUCIÓN GAS/PETRÓLEO -----	65
3.2.4	FACTOR DE VOLUMEN DE FORMACIÓN -----	66
3.2.5	VOLUMEN TOTAL DE LOS FLUIDOS -----	67
3.2.6	CABEZA DINÁMICA TOTAL -----	70
3.2.7	TIPO DE BOMBA-----	71
3.2.8	EL SISTEMA DE VARIADOR DE FRECUENCIA (VSC) Y LA SELECCIÓN DE LA BOMBA-----	73
3.2.9	DIMENSIÓN ÓPTIMA DE LOS COMPONENTES -----	74
3.2.9.1	BOMBA -----	75
3.2.9.2	SEPARADOR -----	76
3.2.9.3	MOTOR -----	76
3.2.10	SECCIÓN DE SELLO O PROTECTOR-----	77
3.2.11	CABLE ELÉCTRICO -----	77
3.2.11.1	TAMAÑO DEL CABLE -----	78
3.2.11.2	TIPO DE CABLE-----	79
3.2.11.3	LONGITUD DEL CABLE -----	79
3.2.11.4	VENTILACIÓN DEL CABLE -----	80
3.3	EQUIPO ACCESORIO Y OPCIONAL -----	80
3.3.1	CABLE PLANO (CABLE DE EXTENSIÓN DEL MOTOR)-----	80
3.3.1.1	GUARDA CABLE PLANO -----	81
3.3.1.2	BANDAS DE CABLE-----	81



3.3.1.3 NIPLE DE BOTELLA (CROSSOVER) VÁLVULA DE RETENCIÓN Y VÁLVULA DE VACIADO -----	81
3.3.1.4 VORTEX -----	81
3.3.1.4.1 UNIDAD BÁSICA DEL SISTEMA -----	82
3.3.1.4.2 APARATO DE VISUALIZACIÓN-----	82
3.3.1.5 TRANSFORMADORES -----	82
3.3.1.6 CABLE DE SUPERFICIE -----	84
3.3.1.7 CABEZAL DE POZO Y ACCESORIOS -----	84
3.4 EQUIPO DE SERVICIO -----	85
3.5 EQUIPO OPCIONAL -----	85
3.5.1 DISPOSITIVO SENSOR DE LA PRESIÓN DE FONDO DE POZO-----	85
3.5.2 MONITOREO AUTOMÁTICO DE POZO -----	86
CAPÍTULO IV -----	87
4. EJEMPLO DE DISEÑO PARA POZO SHUSHUFINDI SSFD 106D CON ALTA RELACIÓN GAS-PETRÓLEO (GOR) -----	87
4.1 PASO 1: DATOS BÁSICOS-----	87
4.2 PASO 2: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN-----	89
4.3 PASO 3: CÁLCULOS DE GAS-----	92
4.4 PASO 4: CABEZA DINÁMICA TOTAL -----	100
4.5 PASO 5: SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA -----	102
4.6 PASO 6: TAMAÑO ÓPTIMO DE LOS COMPONENTES SEPARADOR DE GAS -----	104
4.7 PASO 7: CABLE ELÉCTRICO -----	106
4.7.1 DETERMINAR EL TAMAÑO DEL CABLE -----	106

4.7.2 TIPO DE CABLE -----	106
4.7.3 LONGITUD DEL CABLE-----	106
4.7.4 VENTEO DEL CABLE -----	107
4.8 PASO 8: EQUIPO ACCESORIO Y MISCELÁNEO -----	107
4.8.1 GUARDAS DEL CABLE-----	107
4.8.2 BANDAS DEL CABLE -----	108
4.9 EQUIPO ACCESORIO DE FONDO DE POZO -----	108
4.9.1 NIPLE DE BOTELLA-----	108
4.9.2 VÁLVULA CHECK -----	108
4.9.3 VÁLVULA DE DRENADO-----	109
4.9.4 CONTROLADOR DE MOTOR-----	109
4.9.5 TRANSFORMADOR-----	110
4.9.6 CABLE DE SUPERFICIE -----	110
4.10 POZO SHUSHUFINDI SSFD 106D -----	111
4.10.1 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EJERCICIO-----	111
4.10.2 LISTA DE EQUIPOS SELECCIONADOS E INSTALADOS -----	112
CAPÍTULO V-----	115
5. 1 CONCLUSIONES-----	115
5.2 RECOMENDACIONES-----	117
GLOSARIO DE TÉRMINOS -----	119
BIBLIOGRAFÍA-----	124
ANEXOS-----	125

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 3.1 ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD-----	61
ECUACIÓN 3.2 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD-----	62
ECUACIÓN 3.3 RELACIÓN GAS/PETRÓLEO -----	65
ECUACIÓN 3.4 FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS -----	66
ECUACIÓN 3.5 FACTOR VOLUMETRICO DE LA FORMACIÓN-----	67
ECUACIÓN 3.6 VOLUMEN TOTAL DEL GAS -----	68
ECUACIÓN 3.7 GAS EN SOLUCIÓN A PRESIÓN DE SUMERSIÓN-----	68
ECUACIÓN 3.8 VOLUMEN TOTAL DEL FLUIDO -----	69
ECUACIÓN 3.9 PORCENTAJE DE GAS LIBRE -----	69
ECUACIÓN 3.10 CABEZA DINAMICA TOTAL -----	70
ECUACIÓN 3.11 CÁLCULO DE NUMERO TOTAL DE ETAPAS-----	75
ECUACIÓN 3.12 POTENCIA AL FRENO REQUERIDA -----	76
ECUACIÓN 3.13 CÁLCULO DE KILO-VOLTIOS-AMPERIOS-----	83
ECUACIÓN 4.1 CÁLCULO DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD -----	89
ECUACIÓN 4.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE FLUJO DEL POZO-----	90
ECUACIÓN 4.3 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL -----	91
ECUACIÓN 4.4 CÁLCULO DE LA RELACIÓN GAS/PETRÓLEO-----	92
ECUACIÓN 4.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DE FORMACIÓN ---	93
ECUACIÓN 4.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DE GAS -----	94
ECUACIÓN 4.7 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DEL GAS-----	94
ECUACIÓN 4.8 CÁLCULO DEL GAS EN SOLUCIÓN -----	95
ECUACIÓN 4.9 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL PETRÓLEO -----	96

ECUACIÓN 4.10 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE GAS LIBRE -----	96
ECUACIÓN 4.11 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL AGUA -----	97
ECUACIÓN 4.12 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE PETRÓLEO-AGUA- GAS-----	97
ECUACIÓN 4.13 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE GAS LIBRE -----	98
ECUACIÓN 4.14 CÁLCULO DE LA MASA TOTAL DE FLUIDO PRODUCIDO	99
ECUACIÓN 4.15 CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA TOTAL-----	100
ECUACIÓN 4.16 CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA COMPUESTA -	99
ECUACIÓN 4.17 CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA -----	100
ECUACIÓN 4.18 CÁLCULO DE LA PERDIDA DE FRICCIÓN EN LA CABEZA	101
ECUACIÓN 4.19 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DESCARGA -----	101
ECUACIÓN 4.20 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS DE LA BOMBA -----	103
ECUACIÓN 4.21 CÁLCULO DE LA POTENCIA AL FRENO -----	104
ECUACIÓN 4.22 CÁLCULO DEL VOLTAJE DE LA SUPERFICIE -----	109
ECUACIÓN 4.23 CÁLCULO DE KILO-VATIOS-AMPERIOS-----	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO BES -----	10
FIGURA 2.2 TRANSFORMADOR-----	12
FIGURA 2.3 TABLERO DE CONTROL-----	13
FIGURA 2.4 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD) -----	18
FIGURA 2.5 UNIDAD DE MONITOREO-----	19
FIGURA 2.6 CAJA DE CONEXIONES-----	20

FIGURA 2.7 CABEZA DE POZO-----	21
FIGURA 2.8 VÁLVULA DE DRENADO O PURGA -----	23
FIGURA 2.9 TIPOS DE ETAPAS -----	28
FIGURA 2.10 SEPARADOR DE GAS O INTAKE -----	29
FIGURA 2.11 CORTE DE UN MOTOR BES-----	31
FIGURA 2.12 EL PROTECTOR-----	32
FIGURA 2.13 TIPOS DE CABLES -----	34
FIGURA 2.14 DISEÑO REDA DE TERMINAL CON CINTA -----	35
FIGURA 2.15 SENSOR DE FONDO -----	36
FIGURA 2.16 CAPACIDAD DE OPERACIÓN EN PRESENCIA DE GAS LIBRE--	42
FIGURA 2.17 GEOMETRÍA DE LOS IMPULSORES-----	43
FIGURA 3.1 ALTURA DINÁMICA TOTAL -----	51
FIGURA 3.2 SECCIÓN DE LA BOMBA -----	53
FIGURA 3.3 CABEZA DE LA BOMBA -----	54
FIGURA 3.4 CABLE PLANO -----	56
FIGURA 3.5 TRANSFORMADOR -----	57
FIGURA 3.6 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE -----	58
FIGURA 3.7 CURVA IPR -----	62
FIGURA 4.1 PÉRDIDA DE FRICCIÓN DEL AGUA EN EL TUBING-----	102
FIGURA 5.1 CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA SERIE 400 -----	128
FIGURA 5.2 CURVA DE VARIACIONES EN LA VELOCIDAD DE LA BOMBA SERIE 400 -----	129
FIGURA 5.3 CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CABLE-----	133
FIGURA 5.4 PERDIDAS EN CABLE KILOWATIOS-HORA-----	136

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 4.1 DATOS DE PRODUCCIÓN-----	88
CUADRO 4.2 CONDICIONES DEL FLUIDO DEL POZO -----	88
CUADRO 4.3 FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA -----	88

## ÍNDICE DE LISTAS

LISTA 4.1 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EJERCICIO-----	111
LISTA 4.2 EQUIPO DE SUPERFICIE -----	113
LISTA 4.3 EQUIPO DE SUBSUELO-----	113

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA # 1 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS SERIE 400 SERIE-----	125
TABLA # 2 DATOS DE SELECCIÓN DE LAS BOMBAS -----	127
TABLA # 3 SELECCIÓN DE MOTORES SERIE 544-----	130
TABLA # 4 SELECCIÓN DEL CABLE DEL MOTOR-----	131
TABLA # 5 SELECCIÓN DEL CABLE DE PODER CENTRILINE -----	134
TABLA # 6 SELECCIÓN DE SWITCHBOARDS -----	137
TABLA # 7 SELECCIÓN ELECTROSPEED ICS-----	139
TABLA # 8 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES - VSD-----	141
TABLA # 9 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE SUPERFICIE -----	142
TABLA # 10 SELECCIÓN DE ACCESORIOS -----	143

## **RESUMEN**

Cuando se implementa nuevas tecnologías en la industria petrolera especialmente en el área de levantamiento artificial con bombas electrosumergibles es posible hoy en día solucionar problemas de producción que años atrás, era un limitante en el área de levantamiento artificial.

Actualmente se realizan trabajos de limpieza de zonas productoras (estimulación), limpiezas al pozo: limpiezas de perforación, limpieza de equipos de levantamiento artificial, limpieza de completaciones, limpieza de tuberías de producción, etc., sin la intervención de una torre de reacondicionamiento.

La presencia de gas libre en la entrada de la bomba y en la tubería de descarga hace que el proceso de selección de equipo sea más complicado. Durante el recorrido del fluido (mezcla de líquido y gas) a través de las etapas de la bomba, desde la entrada hasta la descarga y a través de la tubería de producción, la presión, y consecuentemente las propiedades del fluido, (volumen, densidad, etc.) van cambiando continuamente. Además, por la presencia de gas libre en la tubería de producción puede generar un efecto importante de "levantamiento por gas" (gas-lift) y reducir considerablemente la presión de descarga requerida.

El comportamiento de una bomba centrífuga se ve afectado significativamente por la presencia de gas libre en los pozos del campo Shushufindi. Mientras el gas permanezca en solución, la bomba se comporta normalmente como si estuviera bombeando un

líquido de baja densidad, sin embargo, la bomba comienza a generar una altura de columna menor que la normal a medida que la relación gas/líquido (en condiciones de bombeo) aumenta más allá de ciertos valores "críticos" (generalmente 10% - 15% dependiendo del tipo de bomba). Esto es debido principalmente a la separación de las fases líquido y gas en la etapa de la bomba y debido a un deslizamiento entre las dos fases.

La capacidad de la bomba para manejar la producción gas libre depende entre otros de: la geometría del pozo, las características del fluido, el tipo de bomba.

La geometría de las etapas de la bomba varía dependiendo de la serie y del caudal de flujo para el que están diseñadas. En las bombas de flujo radial, el impulsor descarga la mayor parte del fluido en la dirección radial. Los impulsores de flujo mixto imparten una dirección al fluido que contiene una componente axial considerable, a la vez que mantiene una dirección radial.

En el Capítulo II, se presenta una descripción del Sistema de Bombas Electrosumergibles y de cada una de sus equipos, partes y componentes, tanto de superficie como de subsuelo.

El Capítulo III, se refiere a la técnica de los 9 Pasos para diseñar la Unidad de Bombeo electrosumergible, describiendo cada una de los pasos.



En el Capítulo IV, diseño de una unidad de bombeo electrosumergible, se menciona la importancia de disponer datos confiables. Los datos equivocados dan como resultado una selección del equipo BES inapropiado. Una bomba inapropiada puede funcionar por fuera del límite recomendado, hacer trabajar el motor sobrecargado o en baja carga, o hacer que el pozo produzca tan rápidamente que puede ocasionar un daño en la formación. Por lo que en este capítulo se realiza un ejercicio práctico-real con los datos del Pozo SSFD 106D, ubicado en el campo Shushufindi.

Finalmente en el último capítulo se presentan algunas conclusiones y recomendaciones referentes al trabajo ejecutado, con el fin de cumplir con el objetivo propuesto.

## SUMMARY

When deploying new technologies in the petroleum industry especially in the area of artificial lift to electrical submersible pump is possible today to solve production problems that years ago, it was a limitation in the area of artificial lift.

Are currently carrying out cleaning work producing areas (stimulation), cleaning the well: drilling cleaning, cleaning of artificial lift equipment, cleaning of well completions, production pipe cleaning, etc., without the intervention of a tower refurbishment.

The presence of free gas at the pump inlet and discharge piping makes the team selection process more complicated. During the tour of the fluid (mixture of liquid and gas) through the pump stages, from entry to discharge and through the tubing, pressure, and consequently the fluid properties (volume, density, etc.) are changing. Moreover, the presence of free gas in the tubing can generate a significant effect of "lifting gas (gas-lift) and significantly reduce the discharge pressure required.

The behavior of a centrifugal pump is affected significantly by the presence of free gas wells in Shushufindi field. While the gas remains in solution, the pump behaves normally as if pumping a liquid of low density, however, the pump begins to generate a column height of less than normal relationship as the gas / liquid (in terms of pumping) increases beyond certain values "critical" (usually 10% - 15% depending on the type of pump). This is mainly due to the separation of liquid and gas phases in the phase of the pump due to a slip between the two phases.

The pump capacity to handle free gas production depends, among other things: the well geometry, fluid characteristics, type of bomb.

The geometry of the pump stages varies depending on the series and the flow rate for which they are designed. In the radial flow pumps, the impeller discharges most of the fluid in the radial direction. The mixed flow impellers give direction to the fluid containing a substantial axial component, while maintaining a radial direction.

In Chapter II, a description of the System of electric submersible pumps, before mentioned, and describing each of its equipment, parts and components, both surface and subsurface.

In Chapter III, I mean the technique of the 9 Steps to designing the electrosumergible Pumping Unit, describing each of the steps in this chapter.

In Chapter IV, the design of a pumping unit electrosumergible, mentions the importance of reliable data. The wrong data result in an inappropriate BES team selection. A pump can be operated inappropriately outside the recommended limit, make the engine work overload or low load, or cause the well to produce so quickly that can cause injury in training. So in this chapter is a practical-real SSFD 106D Well, located in the Shushufindi field.

Finally some conclusions and recommendations are given in the last chapter relating to work performed.

# **CAPÍTULO I**

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La elaboración de este trabajo de titulación tiene como objetivo el dar a conocer uno de los componentes técnicos de la industria petrolera a los estudiantes de ingeniería de petróleos y técnicos en petróleos, como es el Levantamiento Artificial del Petróleo mediante equipos de bombeo electrosumergibles.

Como la industria del petróleo tiene un sinfín de actividades en las cuales personal calificado puede informar, como funciona cada una de las ramas de la industria petrolera, en especial a lo concerniente al dimensionamiento de equipos electrosumergibles para pozos del campo Shushufindi que producen fluidos con gran cantidad de gas; la respuesta a este desafío es la tecnología.

#### **1.1 PROBLEMA**

En la actualidad, debido a la declinación natural de los campos, se requiere la necesidad de incrementar la producción de petróleo y en consecuencia la utilización de equipos de levantamiento artificial y consecuentemente han crecido los problemas, siendo el mayor, la presencia de gas libre en la entrada de la bomba y en la tubería de descarga hace que el proceso de selección de equipo sea más complicado. Producidos estos

inconvenientes, necesitamos aplicar un nuevo procedimiento de dimensionamiento para mejorar y alargar la vida del equipo.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Al momento de producir el fluido (agua, petróleo y gas) del pozo existe una baja en la eficiencia del sistema de bombeo electrosumergible (BES), ocasionando daños en los elementos que componen el sistema, dando como resultado paradas de producción para remediar con trabajos de reacondicionamiento, pérdidas de producción y consecuentemente incremento en los costos de producción.

## **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Sugerir procedimientos adecuados de dimensionamiento para lograr un eficiente diseño del equipo de subsuelo BES para que opere en el pozo Shushufindi SSFD 106D y lograr alargar la vida útil del equipo, que de no hacerlo en los actuales momentos se vería envuelto en una serie de inconvenientes técnicos operativos.

## **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar:

- Factores que se consideran en el procedimiento de diseño de un pozo con alta relación gas-petróleo, GOR.

- Proceso explicativo para el diseño.
- Generalidades del procedimiento de los Nueve Pasos que ayude a diseñar el sistema de bombeo electrosumergible.
- La productividad del pozo a la profundidad deseada de operación del equipo BES.
- La profundidad de operación para la producción deseada.
- El tamaño óptimo de la bomba, motor, sección sellante, cabezal del pozo, el equipo accesorio de fondo de pozo.
- El tamaño y tipo del controlador del motor, transformador y del cable sumergible.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La producción de petróleo con abundante gas libre en los pozos productores del área del campo Shushufindi disminuye la eficiencia en el sistema de levantamiento artificial BES, ocasionando problemas operativos con las consecuentes pérdidas de producción e incremento de los costos de producción, por lo que amerita un concienzudo análisis antes de realizar un diseño de un equipo de levantamiento BES, y así ayudar a mejorar su máxima eficiencia, su tiempo de vida y por ende establecer los beneficios que se logran con este tipo de operaciones.

## **1.6 HIPÓTESIS**

Si se evalúa correctamente los parámetros del reservorio o zona productora, las características del fluido del pozo y se realiza un correcto dimensionamiento BES, seguido de un buen diseño de la completación para bombeo electrosumergible, consecuentemente se logrará optimizar la producción, reduciendo de este modo, los costos de producción del pozo.

## **1.7 MARCO CONCEPTUAL**

Las bombas electrosumergibles (BES) son usadas para producir (bombear) fluidos con caudales tan bajos como 250 BFPD y tan altos como 50.000 BFPD y realizar levantamientos superiores a 12000 pies.

Una típica unidad de bombeo electrosumergible consiste de un motor eléctrico, un protector, una toma o succión, una o varias bombas multietapas, cable electrosumergible; equipos de superficie como: caja de empalmes y venteo, un tablero de control y transformadores.

Se puede colocar equipos opcionales como sensores de presión y temperatura, separadores de gas, empacaduras especiales, capilares para inyectar químicos, conectores para empacaduras y conectores para cabezales.



Para la instalación en el pozo la bomba puede ir suspendida en el colgador de la tubería que es parte integrante de la completación del pozo y sumergido en el fluido del pozo. La profundidad de asentamiento o la presión de fondo, no causan problemas ya que el protector o sección sellante iguala las presiones entre el motor y la columna de fluido o cabeza hidrostática.

Las bombas electrosumergible o BES son también usadas en la producción de fluidos de alta viscosidad, pozos con relación gas/ petróleo altas y pozos con altas temperaturas.

El correcto diseño de las bombas, proveerá de una operación larga y relativamente libre de mantenimiento.

Hay varios aspectos que serán considerados en el diseño de las instalaciones BES, como el tamaño de la bomba para la producción deseada, cada bomba tiene su propio rango de flujo dentro del cual es más eficiente. Otro aspecto a considerar es, que serán diseñadas para producir la presión suficiente para empujar el fluido a superficie y que llegue a la estación de producción, esto tiene que ver con el cálculo correcto del número de etapas (bombas centrífugas).

La eficiencia de las bombas y los requerimientos de potencia se ven afectados por las características de los fluidos del pozo, esto tiene que ver con la densidad, viscosidad, cantidad de gas, fluidos corrosivos, etc.

Para diseñar una instalación de un equipo de bombeo electrosumergible (BES) se refiere a la técnica de los 9 Pasos, describiendo cada uno de ellos.

## **1.8 METODOLOGÍA**

- **Diseño o tipo de investigación:** Este estudio posee varias aplicaciones prácticas.

### **1.8.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN:** Se utilizan los siguientes métodos:

- Método de análisis.- Este método será utilizado en la revisión y análisis de la información de los pozos petroleros.
- Método de síntesis.- Aplicable para la estructuración del informe final y en la propuesta.
- Método inductivo.- Se escogerá los pozos en condiciones de aplicar el sistema de bombeo electrosumergible, (BES).

### **1.8.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN:**

- Revisión de literatura: Se buscara información actualizada especialmente de las compañías: Centrilift y Reda-Schlumberger.
- Revisión de Internet.- Se buscara información actualizada.
- Análisis de los datos.- Se realizara un análisis cualitativo y cuantitativo.
- Difusión de resultados.- Los resultados de este estudio serán difundidos mediante este trabajo de titulación y a través del grado oral.

## CAPÍTULO II

## **CAPÍTULO II**

### **2. EL SISTEMA DE BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES<sup>1</sup>**

La fuerza de empuje que desplaza al aceite de un yacimiento proviene de la energía natural de los fluidos comprimidos almacenados en el yacimiento. La energía que realmente hace que el pozo produzca es el resultado de una reducción en la presión entre el yacimiento y la cavidad del pozo. Si la diferencia de presión entre el yacimiento y las instalaciones de producción de la superficie es lo suficientemente grande, el pozo fluirá naturalmente a la superficie utilizando solamente la energía natural suministrada por el yacimiento.

La producción de petróleo por métodos artificiales es requerida cuando la energía natural asociada con los fluidos no produce una presión diferencial suficientemente grande entre el yacimiento y la cavidad del pozo como para levantar los fluidos del yacimiento hasta las instalaciones de superficie, o es insuficiente para producir a niveles económicos.

El bombeo electrosumergible es un sistema integrado de levantamiento artificial, es considerado como un medio económico y efectivo para levantar altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo. Es más aplicable en yacimientos con altos porcentajes de agua y baja relación gas-petróleo; sin embargo en la actualidad estos equipos han obtenido excelentes resultados en la

---

<sup>1</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.

producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos de altas temperaturas y de diámetro reducido, etc.

Las bombas electrosomergibles (BES) son usadas para producir (bombear) fluidos con caudales tan bajos como 250 BFPD y tan altos como 50.000 BFPD y realizar levantamientos superiores a 12000 pies.

Los componentes del sistema de bombeo electrosomergible pueden ser clasificados en dos partes, el equipo de fondo y el equipo de superficie. El equipo de fondo cuelga de la tubería de producción y cumple la función de elevar la columna de fluido necesaria para producir el pozo, consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello, un separador de gas y una bomba centrífuga multietapas. Un cable de poder transmite la energía eléctrica de la boca del pozo hasta el motor. El equipo de superficie provee de energía eléctrica al motor electrosomergible y controla su funcionamiento.

Los principales componentes de superficie son los transformadores, el tablero o variador de control (Speed Star, Sinewave, MVD Medium Voltage Drive), y la caja de venteo. Varios componentes adicionales normalmente incluyen la cabeza de pozo, empacadores, protectores de cable y flejes o sunchos, válvulas de retención y de drenaje, entre otros.

Se puede colocar equipos opcionales como sensores de presión de fondo de pozo y temperatura, separadores de gas, empacaduras especiales, capilares para inyectar químicos, conectores para empacaduras y conectores para cabezales.

Para la instalación en el pozo la bomba puede ir suspendida en el colgador de la tubería que es parte integrante de la completación del pozo y sumergido en el fluido del pozo. La profundidad de asentamiento o la presión de fondo, no causan problemas ya que el protector o sección sellante iguala las presiones entre el motor y la columna de fluido o cabeza hidrostática.

Las bombas electrosomergibles o BES son también usadas en la producción de fluidos de alta viscosidad, pozos con relación gas/ petróleo altas y pozos con altas temperaturas. El correcto diseño de las bombas, proveerá de una operación larga y relativamente libre de mantenimiento.

Hay varios aspectos que serán considerados en el diseño de las instalaciones de bombeo electrosomergible (BES), como el tamaño de la bomba para la producción deseada, cada bomba tiene su propio rango de flujo dentro del cual es más eficiente. Otro aspecto a considerar es, que serán diseñadas para producir la presión suficiente para empujar el fluido a superficie y que llegue a la estación de producción, esto tiene que ver con el cálculo correcto del número de etapas (bombas centrífugas).

La eficiencia de las bombas y los requerimientos de potencia se ven afectados por las características de los fluidos del pozo, esto tiene que ver con la densidad, viscosidad, cantidad de gas, fluidos corrosivos, etc.

En la figura 2.1 podemos observar una instalación típica con los componentes de superficie y los de fondo del sistema de bombeo electrosomergible.

**FIGURA 2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE**



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

## **2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTE DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES)**

A continuación se realiza la descripción de los componentes del sistema de bombeo electrosumergible.

### **2.1.1 EQUIPOS DE SUPERFICIE**

Los componentes básicos de superficie de un sistema de bombeo electrosumergible son: transformadores, el tablero o variador de control (VSD) y la caja de venteo. Varios componentes adicionales normalmente incluyen: la cabeza de pozo, empacadores, protectores de cable y flejes o sunchos, válvulas de retención y de drenaje, entre otros.

#### **2.1.1.1 TRANSFORMADORES**

La distribución de la energía eléctrica en los campos petroleros se realiza generalmente a altos voltajes tal como 13800 voltios. Debido a que el equipo BES funciona con voltajes entre 1000 y 4000 voltios, se requiere la transformación del voltaje mediante transformadores reductores y elevadores<sup>2</sup>.

Se denomina transformador a una maquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto

---

<sup>2</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.



es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

Los transformadores (ver figura 2.2) son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

**FIGURA 2.2 TRANSFORMADOR**



**Fuente:** Principios de Bombeo Electrosomergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### 2.1.1.2 TABLERO O VARIADOR DE CONTROL PARA MOTORES

Hay tres tipos básicos de controladores para motores utilizados en las aplicaciones con equipos electrosumergibles: el panel de control, el “arrancador suave” (soft – start), y el controlador de velocidad variable (VSD). Normalmente todos utilizan un sistema de circuitos de estado sólido que proporcionan protección, lo mismo que un medio de control, para el sistema electrosumergible. Los controladores (ver figura 2.3) varían en tamaño físico, diseño y niveles de potencia.

**FIGURA 2.3 TABLERO DE CONTROL**



**Fuente:** Bombas Electrosumergibles, Aplicaciones Convencionales, Schlumberger.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

### **2.1.1.3 PANELES DE CONTROL (VELOCIDAD FIJA) SWITCHBOARD**

El panel de control (arrancador directo a la línea) consiste de un arrancador de motor, sistema de circuito de estado sólido para la protección de sobrecarga o baja carga, un interruptor de desconexión manual o automático, un circuito temporizador y un amperímetro registrado. Algunos sistemas de control poseen equipos de superficie para uso con equipo de detección y registro de la presión y la temperatura en el fondo del pozo, instalados dentro del gabinete del controlador del motor. Se proveen fusibles para la protección por corto circuito.

Los dispositivos de control externos deben estar en interfase con el controlador según recomendación del fabricante de la bomba para proveer un funcionamiento seguro y libre de problemas. Todos los dispositivos de control externos están conectados a un temporizador el cual activa o desactiva el control después de un cierto intervalo de tiempo. Los dispositivos de control externo normalmente utilizados son controles de nivel de tanque o interruptores de presión de línea.

La mayoría de los controladores de estado sólido ofrecen protección de baja carga en las tres fases, protección por sobrecarga, y protección automática contra desbalances de corriente o voltaje. Es necesaria una protección por baja carga o agotamiento de nivel del pozo dado que un flujo pasante por el motor a baja velocidad no proporcionaría un enfriamiento adecuado. Se incluye generalmente circuitos diseñados para arranques automáticos.

Cuando se arranca un sistema BES, con un panel de control, la frecuencia y el voltaje son los mismos en las terminales de entrada y salida. Esto da como resultado un funcionamiento a velocidad fija. Cuando arranca, el motor alcanzará su velocidad de diseño en una fracción de segundo.

Durante la puesta en operación de un equipo BES, con panel de control, si se aplica el 100% del voltaje de placa, a las terminales del motor en el arranque, éste puede consumir momentáneamente hasta 5 a 8 veces su corriente nominal. Esta alta corriente de arranque permite que el motor entregue varias veces su torque o par nominal, lo cual puede causar esfuerzos eléctricos y mecánicos excesivos en el equipo BES, especialmente en aplicaciones poco profundas.

Los equipos BES, se instalan generalmente a una profundidad que requiere varios miles de pies de cable de potencia. Durante el arranque, el tramo de cable produce una caída de voltaje al motor. Este arranque a voltaje reducido reduce la corriente inicial de arranque y el torque.

#### **2.1.1.3.1 ARRANCADOR SUAVE**

El arrancador suave fue diseñado para reducir los esfuerzos eléctricos y mecánicos que se asocian con el arranque de los equipos BES, para aplicaciones de baja profundidad. El arrancador suave es similar a un panel de control estándar; fue diseñado para hacer caer el voltaje en los terminales del motor durante la fase inicial del arranque<sup>3</sup>. Los

---

<sup>3</sup> CENTRILIFT, *Submersible Pumps System Handbook*, 2001. pp. 1-127

métodos más comunes usados para el arranque a voltajes reducido de los motores trifásicos de corriente alterna tipo jaula de ardilla utilizan reactores primarios, o dispositivos de estado sólido.

El arranque suave se logra controlando la cantidad de potencia entregada al motor a medida que toma velocidad. Los sistemas que utilizan reactores primarios dependen de la energía magnética en el devanado del reactor para hacer bajar el voltaje durante el arranque. Después del encendido, los circuitos del reactor son derivados para permitir una operación normal.

#### **2.1.1.3.2 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD)**

La bomba centrífuga es típicamente poco flexible cuando opera a una velocidad fija; el equipo está limitado a una gama fija de caudales de producción y a una altura de columna dinámica generada que es fija para cada caso.

El Controlador de Velocidad Variable (VSD) ha ganado rápida aceptación como un accesorio del sistema BES, de gran valor para aliviar estas restricciones. Permitiendo que se varíe la velocidad del equipo entre 30 y 90 Hz, con lo cual se puede cambiar el caudal, la altura de columna dinámica o ambas, dependiendo de las aplicaciones. Estos cambios se logran con solo cambiar la velocidad de operación, sin modificaciones al equipo en el fondo del pozo<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> CORRALES, MARCOS; *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. Edición 2008.

La operación básica del variador de velocidad, VSD es convertir la potencia de trifásica de entrada, típicamente a 480 voltios, a un suministro de potencia de (directa). Luego, utilizando los semiconductores de potencia como interruptores de estado sólido, invierte secuencialmente este suministro de corriente continua para regenerar 3 fases de salida en corriente alterna de potencia pseudo-sinusoidal, cuya frecuencia y voltaje son controlables.

La flexibilidad en el bombeo fue el propósito original de la aplicación de los variadores de velocidad (VSD), a los sistemas BES, pero se han logrado obtener muchos otros beneficios. De interés particular son aquellos que pueden alargar la vida del equipo subsuperficial: el arranque suave, la velocidad controlada automáticamente, la supresión de transitorios de línea y la eliminación de los estranguladores en superficie.

El variador de velocidad (VSD) (ver figura 2.4), aísla la carga de las interrupciones de entrada y transitorios causados por rayos; balancea el voltaje de salida para reducir el calentamiento del motor, ignora la inestabilidad en la frecuencia de los suministros con generador, compensa las caídas de tensión o desconecta la unidad de la línea, y minimiza la presión eléctrica y mecánica durante el arranque.

Además, dependiendo de la aplicación, el VSD puede mejorar la eficiencia total del sistema, reducir el tamaño del generador requerido, obviar la necesidad de un estrangulador, reducir el tamaño de la unidad subsuperficial y proveer funciones de control inteligentes para maximizar la producción.

**FIGURA 2.4 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD)**



**Fuente:** Centrilift, Submersible Pump HandBook, 2001

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### **2.1.1.4 MONITOR DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE FONDO DE POZO**

Se puede obtener datos valiosos del comportamiento de la bomba y del yacimiento mediante el empleo de sistemas de detección de presión y de temperatura en el fondo del pozo.

Correlacionando la presión del yacimiento con la tasa de producción, un operador puede determinar cuándo es necesario cambiar el tamaño de la bomba, cambiar el volumen de inyección o considerar una intervención del pozo<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> CENTRILIFT, *Submersible Pumps System Handbook*, 2001. pp. 1-127

Los proveedores de los sistemas BES, ofrecen diferentes tipos de sensores de presión y temperatura de fondo de pozo (ver figura 2.5). Estos sistemas varían en diseño, costo, precisión, confiabilidad, operación y capacidad<sup>6</sup>.

El sistema típico tiene la capacidad de:

- 1) Monitorear continuamente la temperatura y la presión de fondo del pozo.
- 2) Proporcionar la detección de las fallas eléctricas.
- 3) Poder colocarse en interfase con el controlador de velocidad variable para regular la velocidad.
- 4) Transferir los datos electrónicamente.

**FIGURA 2.5 UNIDAD DE MONITOREO**



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

---

<sup>6</sup> SCHLUMBERGER, *Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Aplicaciones Convencionales, Tipos de sensores.*

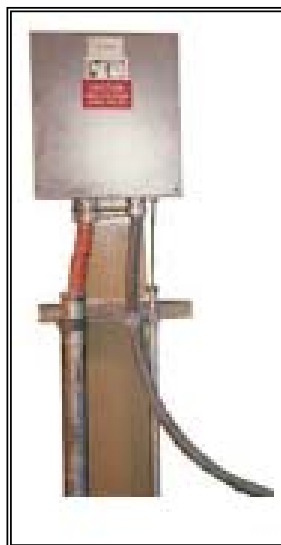


### 2.1.1.5 CAJA DE CONEXIONES<sup>7</sup>

La caja de conexiones, algunas veces llamado Caja de Venteo (ver figura 2.6), realiza tres funciones:

- 1) Proporcionar un punto para conectar el cable proveniente del controlador al cable del pozo.
- 2) Proporcionar un desfogue a la atmósfera para el gas que puede migrar por el cable de potencia desde el fondo.
- 3) Proporcionar punto de pruebas fácilmente accesibles para la revisión eléctrica de los equipos subsuperficiales.

**FIGURA 2.6 CAJA DE CONEXIONES**



**Fuente:** Bombas Electrosumergibles, Aplicaciones Convencionales, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

---

<sup>7</sup> CORRALES, MARCOS; *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. Edición 2008.

#### 2.1.1.6 CABEZA DE POZO

La cabeza de pozo (ver figura 2.7) está diseñada para soportar el peso del equipo subsuperficial y se usa para mantener control sobre el espacio anular del pozo.

Debe estar equipada con un empaquetamiento que proporcione un sello positivo alrededor del cable y de la tubería de producción. El empaquetamiento podrá resistir presiones diferenciales que alcanzan los 10,000 psi<sup>8</sup>.

**FIGURA 2.7 CABEZA DE POZO**



**Fuente:** Bombeo electrosumergible, Aplicaciones Convencionales, Schlumberger.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

---

<sup>8</sup> QUIROGA, KLEBER; *Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos*, Editorial Cepe, Edición 1991.

#### **2.1.1.7 VÁLVULA DE RETENCIÓN**

La válvula de retención, generalmente se ubica de 2 a 3 tramos de tubería por encima de la descarga de la bomba, para mantener una columna llena de fluido sobre la bomba. Si la de retención falla (o si no se instala) la pérdida de fluido de la tubería a través de la bomba puede causar una rotación inversa de la unidad subsuperficial cuando el motor está parado. La aplicación de energía durante el periodo de la rotación inversa puede acusar que se queme el motor o el cable, o que se rompa la flecha de algún componente.

En las aplicaciones donde es posible la ocurrencia de un bloqueo por gas, es preferible ubicar la válvula de retención más arriba, a 5 o 6 uniones por encima de la bomba. Esto proporcionará una columna de fluido capaz de romper un bloqueo de gas en el caso de que el equipo se pare.

#### **2.1.1.8 VÁLVULA DE DRENADO O PURGA**

Cada vez que se utilice una válvula de retención en la tubería de producción, se recomienda instalar una válvula de drenado (ver figura 2.8) inmediatamente por arriba de la válvula de retención para evitar la eventual remoción de la tubería con todo el fluido contenido en él.

Si no hay válvula de retención no hay razón para que exista una válvula de drenado, ya que el fluido de la tubería por lo general es drenado a través de la bomba cuando se realiza la remoción.

**FIGURA 2.8 VÁLVULA DE DRENADO O PURGA**



**Fuente:** Fotografía tomada en Schlumberger, Base Coca

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### **2.1.1.9 RELEVADOR DE ROTACIÓN INVERSA**

Hay aparatos electrónicos en el mercado que pueden detectar la rotación inversa de la bomba y evitar el arranque de un sistema BES durante el tiempo que perdure esta condición. Las partes electrónicas del relevador de rotación inversa están ubicadas en el controlador y la unidad de sensores está conectada eléctricamente al cable de potencia BES.

Cuando el sistema BES, se detiene y se permite que el fluido producido retroceda a través de la tubería y la bomba, la potencia que está siendo generada por el motor que gira en reversa puede ser detectada por el revelador de rotación inversa, bloqueando cualquier intento de arranque hasta que la condición haya terminado.

#### **2.1.1.10 CENTRALIZADOR<sup>9</sup>**

Son frecuentemente utilizados en aplicaciones del sistema BES para ubicar el equipo en el centro del pozo y son especialmente útiles en pozos desviados, para eliminar el daño externo y para asegurar la refrigeración uniforme del equipo.

Hay varios tipos de centralizadores disponibles en la industria diseñados para proteger al cable y el equipo electrosumergible evitando la fricción con las tuberías del pozo.

En ambientes corrosivos donde se utilizan revestimientos para proteger el diámetro exterior del equipo BES, los centralizadores pueden ser muy efectivos en la prevención del daño mecánico al revestimiento durante la instalación del equipo.

La experiencia ha demostrado que si el revestimiento se daña durante la instalación, la corrosión se acelera en el punto donde se localiza el daño.

#### **2.1.1.11 CABLE DE POTENCIA**

La potencia es transmitida al motor electrosumergible por medio de un cable de potencia trifásico el cual se fija a la tubería de producción por medio de flejes o con protectores sujetadores especiales.

---

<sup>9</sup> QUIROGA, KLEBER; *Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos*, Editorial CEPE, Edición 1991.

Este cable debe ser pequeño en diámetro, bien protegido del abuso mecánico y resistente al deterioro de sus características físicas y eléctricas por efecto de los ambientes calientes y agresivos de los pozos.

Los cables están disponibles en una variedad de tamaño de conductor, que permiten una eficiente adecuación a los requerimientos del motor. Estos pueden estar fabricados en configuraciones redondas o plana con armaduras de acero galvanizado, acero inoxidable, o de monel, capaces de soportar los ambientes agresivos de un pozo petrolífero o de agua.

Todos los cables están fabricados con especificaciones rigurosas empleando materiales especialmente diseñados para diferentes aplicaciones<sup>10</sup>.

#### **2.1.1.12 CABLE PLANO DE EXTENSIÓN DEL MOTOR**

El cable plano de extensión del motor pasa desde el motor a lo largo de la sección sello, el separador de gas, y la bomba, más un mínimo de 6 pies por encima de la cabeza de descarga de la bomba.

Es normalmente necesario utilizar una construcción de cable plano debido al limitado espacio anular entre el diámetro exterior del equipo y el diámetro inferior de la tubería de revestimiento, aunque, si el espacio existe, existe también cable redondo.

---

<sup>10</sup> SCHLUMBERGER; *Manual de Entrenamiento*, Componentes del cable.

#### **2.1.1.13 FLEJES**

Los flejes se utilizan para fijar el cable de potencia a la tubería de producción. Se utiliza generalmente un intervalo de 15 pies (5 metros) entre los flejes. Se utiliza también los flejes para fijar el cable de extensión del motor a la bomba y al sello; se recomienda el uso de un fleje cada 18 pulgadas y el empleo de guardacables para máxima protección.

Los materiales básicos utilizados en la construcción de los flejes son el acero al carbón, el acero inoxidable y el monel. Los materiales varían también en el ancho y espesor, proporcionando más fuerza y soporte.

#### **2.1.1.14 PROTECTORES PARA CABLE**

Se utilizan protectores especiales para el cable aportándose mayor protección mecánica en aquellos casos donde los pozos son desviados. Estos protectores son básicamente de dos tipos:

- 1) Protectores en las uniones de la tubería (“cross – coupling”) – protegen y sujetan al cable en la zona de mayor riesgo: donde el diámetro de la tubería de producción es mayor.
- 2) Protectores para el medio de cada tubo – proveen protección adicional. Los materiales pueden variar bastante pero estos protectores son generalmente de metal colado (acero común, inoxidable, etc.) o de algún tipo de caucho.

## **2.1.2 EQUIPOS DE FONDO**

Los componentes básicos de subsuelo de un sistema de bombeo electrosomergible son: motor, protector, intake o (separador de gas), bomba, cable de conexión del motor y cable de potencia. Entre los elementos complementarios del sistema están el manejador avanzado de gas (AGH) y la unidad sensora de presión, temperatura, vibración, pérdidas de corriente, Phoenix. Algunos de los accesorios comúnmente usados son válvulas check, centralizadores, protectores de cable, “Y”, empacaduras, conectores eléctricos y sistemas de inyección de químicos.

### **2.1.2.1 BOMBA<sup>11</sup>**

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) (ver figura 2.9).

Las bombas se construyen en un amplio rango de capacidades para aplicaciones en diferentes tamaños de casings. Las etapas se diseñan de acuerdo al punto de máxima eficiencia en barriles por día a 60 Hz.

Con respecto a la forma en que se maneja el empuje generado en la bomba, tenemos tres tipos básicos de construcción de bombas:

---

<sup>11</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosomergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.



- 1.- Construcción flotante. Cada impulsor tiene libertad para moverse hacia arriba o abajo en el eje, se puede decir que “flota” en el eje.
- 2.- Construcción con los impulsores inferiores 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.
- 3.- Construcción tipo compresión. 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 tal forma que si un impulsor trata de moverse hacia arriba o hacia abajo, este tratará de mover también al eje y al conjunto de todos los impulsores con él.

## **FIGURA 2.9 TIPOS DE ETAPAS**

**FLUJO MIXTO**



**FLUJO RADIAL**



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### 2.1.2.2 SECCIÓN DE ENTRADA O INTAKE<sup>12</sup>

Una de las razones que degradan el rendimiento del sistema electrosumergible es la cantidad de gas libre a la entrada de la bomba. Dependiendo de la cantidad de gas esperada en la sección de entrada a las condiciones de diseño se determina el uso de una sección de entrada simple -Intake- o un separador de gas (ver figura 2.10). El beneficio puede entenderse fácilmente si se considera que el intake está ubicado inmediatamente por encima del protector en el ensamble del equipo. Las vibraciones generadas en un intake operando con los bocines gastados afectan directamente a los sellos mecánicos del protector.

**FIGURA 2.10 SEPARADOR DE GAS O INTAKE**

DINÁMICO



ESTÁTICO



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

<sup>12</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.

### 2.1.2.3 EL MOTOR DE LA BES

Los principios básicos de diseño y operación de los motores de las BES 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 de la BES 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 BES (ver figura 2.11). 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 transferido 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 Hz ó 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.

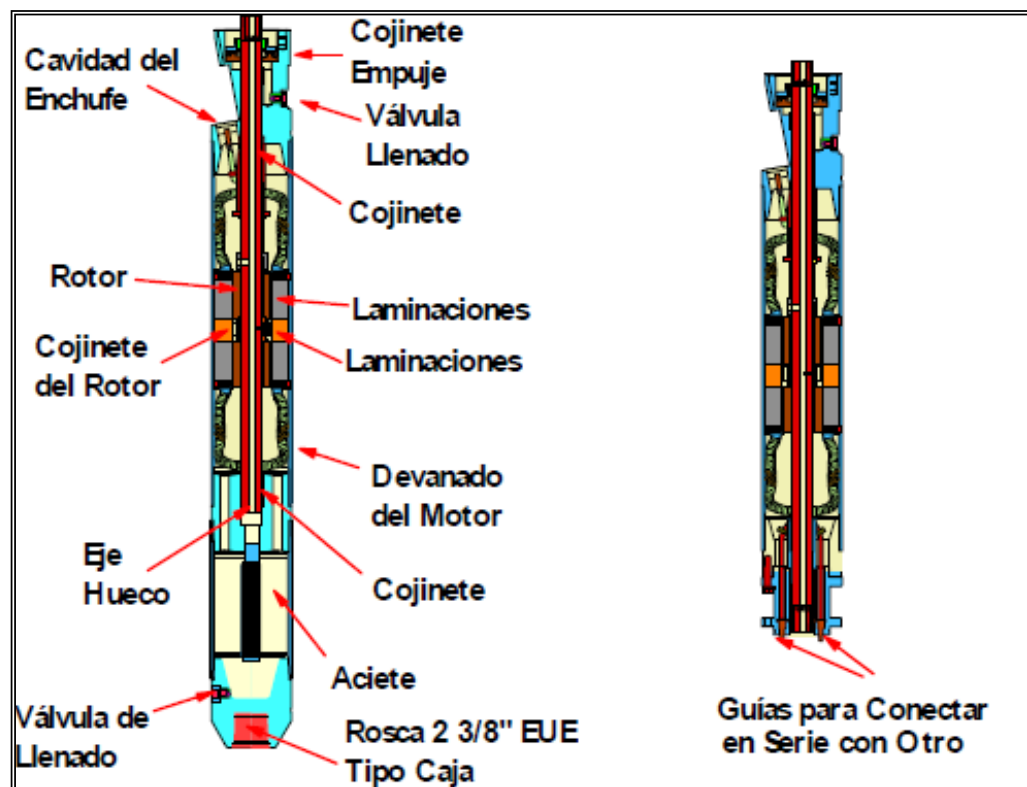
El comportamiento de los motores cambia de acuerdo a la carga a que están sometidos. Cada tipo de motor tiene sus curvas de rendimiento de velocidad, factor de potencia, eficiencia y amperaje en función del porcentaje de carga<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.

- Rotor: Es uno de los componentes internos del motor electrosumergible y es el que genera los HP del motor. Por ejemplo en un motor de 180 HP y si el motor consta de 10 rotores, cada uno de ellos está aportando 18 HP.
- Estator: Es el bobinado del motor electrosumergible y viene encapsulado, y está diseñado para trabajar a diferentes temperaturas y para su aplicación en los pozos BES se debe tener en cuenta varios factores, tales como la temperatura de fondo del pozo, la posición de sentado, etc.

**FIGURA 2.11 CORTE DE UN MOTOR BES**



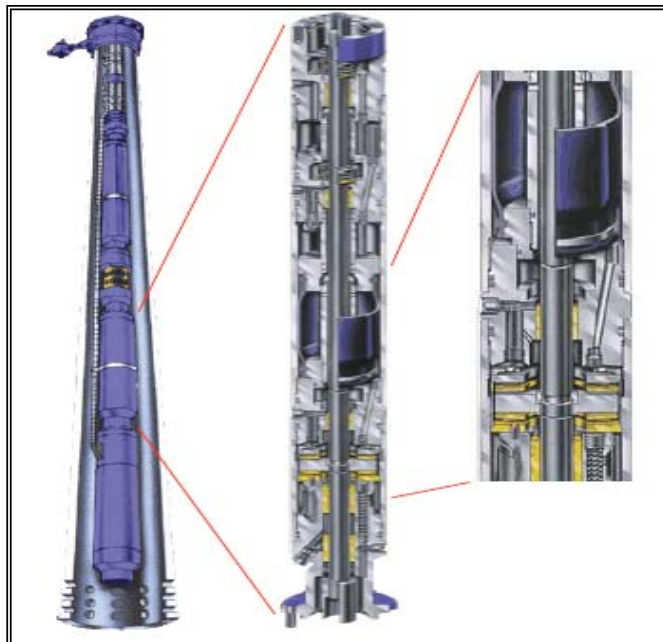
**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

#### 2.1.2.4 EL PROTECTOR<sup>14</sup>

El protector está ubicado entre el intake 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 han venido utilizando los protectores en diferentes configuraciones para cumplir con los requerimientos de las diferentes aplicaciones. Los protectores tipo laberinto y protectores de sello positivo tipo prellenados de bolsa simple y de doble bolsa han sido usados exitosamente alrededor del mundo por décadas. El sistema "modular" es realmente muy simple. Consiste de 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.

**FIGURA 2.12 EL PROTECTOR**



**Fuente:** Bombas electrosumergibles, Aplicaciones Convencionales, Schlumberger

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

<sup>14</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008.

### 2.1.2.5 CABLE DE POTENCIA

El cable de potencia<sup>15</sup> es uno de los componentes más importantes y sensibles en el sistema de BES. Su función es transmitir la energía eléctrica desde la superficie al motor, y transmitir las señales de presión, temperatura, etc. desde el instrumento sensor de fondo a la superficie.

Todos los cables 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.

El éxito o fracaso de la instalación depende en gran parte de la adecuada selección del cable de potencia para las condiciones de operación. En pozos muy profundos que requieren cables especiales, el cable puede ser el componente más costoso del sistema.

Los cables modulares están disponibles en configuración redonda y plana (ver figura 2.13) y los conductores a su vez pueden ser sólidos, trenzados o compactados<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> CENTRILIFT, Submersible Pumps System Handbook, 2001. pp. 1-127

<sup>16</sup> SCHLUMBERGER; *Principio de Bombeo Electrosumergible*, Plan de entrenamiento 2008.

**FIGURA 2.13 TIPOS DE CABLES**

PLANO



REDONDO



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### **2.1.2.6 TERMINAL DE CABLE (POTHEAD)**

La electricidad pasa dentro el motor a través del terminal de cable (pothead).

- Terminal de cable con cinta.- La cinta se enrolla alrededor de los conectores individuales dentro del motor (ver figura 2.14).
- Terminal insertable.- El enchufe está montado en el motor.
- Terminal con conexión directa.- El cable de potencia se conecta directamente al terminal. (tipo enchufe)

Ventajas: - Fácil de instalar

Desventajas: - Menor resistencia a falla; - no están confiable como el de cinta.

**FIGURA 2.14 DISEÑO REDA DE TERMINAL CON CINTA**



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### **2.1.2.7 SENSOR DE FONDO**

El circuito de devanado del motor de tipo tándem superior o centro se cierra abajo con una base universal o por el sensor de fondo (Phoenix XT)<sup>17</sup> (ver figura 2.15). El Sensor puede medir varios parámetros de fondo como son:

- Presión de Intake
- Presión de Descarga Tipo 1
- Temperatura de Intake
- Temperatura de Motor
- Vibración
- Flujo Tipo 2
- Pérdidas de Corriente

Todos estos parámetros pueden ser enviados al VSD y pueden ser mostrados y registrados en la tarjeta del controlador.

---

<sup>17</sup> SCHLUMBERGER; *Principio de Bombeo Electrosumergible*, Plan de entrenamiento 2008.



**FIGURA 2.15 SENSOR DE FONDO**



**Fuente:** Manual Principios de Bombeo Electrosumergible, Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

## **2.2 FACTORES QUE SE INVOLUCRAN EL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN POZO**

### **Introducción**

El diseño de una instalación de bombeo electrosumergible, al igual que otros métodos de levantamiento artificial, involucra un gran número de factores. El procedimiento varía considerablemente con las condiciones del pozo y con los fluidos que van a ser bombeados.

Es muy importante obtener información detallada acerca del estado mecánico del pozo, la historia de la producción y las condiciones del yacimiento. La obtención de buenos datos acerca de estas condiciones antes de realizar el diseño es esencial para un diseño exitoso.

Una vez que el equipo de bombeo electrosumergible ha sido diseñado correctamente y su operación ha sido monitoreada adecuadamente, el equipo instalado empieza a ser relativamente económico y libre de problemas.

El ejemplo de diseño incorporado en este trabajo representa el procedimiento básico de diseño para instalaciones de bombeo electrosumergible y no necesariamente representa todos los métodos usados en la industria de este tipo de producción.

### **2.3 EXPLICACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE DATOS PARA EL DISEÑO**

Es importante comenzar esta sección acerca del diseño del equipo con una explicación sobre los datos requeridos para el diseño correcto de una instalación de un equipo bombeo electrosumergible.

La selección de una unidad de bombeo electrosumergible, en la mayoría de las condiciones, no es una tarea difícil, especialmente si los datos son confiables. Pero si la información, especialmente la pertinente a la capacidad del pozo, es pobre, el diseño generalmente será marginal.

Los datos erróneos frecuentemente traen como resultado una bomba mal diseñada y una operación costosa. Una bomba mal seleccionada puede funcionar fuera del rango recomendado, sobrecargando el motor o haciéndolo trabajar por debajo de la carga o bajar muy rápidamente el nivel del pozo trabajando con un caudal excesivo que puede

causar daño en la formación. Por otra parte, la bomba puede que no sea lo suficientemente grande para proporcionar el rango de producción deseado.<sup>18</sup>

Muy frecuentemente se utilizan los datos de otros pozos en el mismo campo o en un área cercana, suponiendo que los pozos del mismo horizonte de producción tendrán características similares.

Desafortunadamente para el ingeniero que debe diseñar las instalaciones electrosumergibles, los pozos de petróleo son como huellas digitales, es decir, no hay dos que sean iguales.

## **2.4 LISTA DE DATOS REQUERIDOS PARA UN BUEN DISEÑO**

A continuación se encuentra la lista de datos requeridos para un buen diseño de un equipo electrosumergible:

### **2.4.1 DATOS DEL POZO**

- a) Diámetro y peso de la tubería de revestimiento.
- b) Diámetro, tipo y conexión de la tubería de producción (nueva o usada).
- c) Intervalo de perforaciones del pozo, con disparos o abierto.
- d) Profundidad de asentamiento de la bomba, (medida y vertical).

---

<sup>18</sup> CORRALES, MARCOS; *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. 2008

#### **2.4.2 DATOS DE PRODUCCIÓN**

- a) Presión de la tubería de producción en la cabeza del pozo.
- b) Presión en la tubería de revestimiento en la cabeza de pozo.
- c) Tasa de producción actual.
- d) Nivel de fluido producido y/o presión de entrada a la bomba.
- e) Nivel de fluido estático y/o presión estática de fondo de pozo.
- f) Profundidad de referencia.
- g) Temperatura en el fondo del pozo.
- h) Tasa de producción deseada.
- i) Relación gas - petróleo (GOR).
- j) Corte de agua.

#### **2.4.3 CONDICIONES DEL FLUIDO DEL POZO**

- a) Gravedad específica del agua.
- b) Gravedad específica o API del petróleo.
- c) Gravedad específica del gas.
- d) Presión del punto de burbuja del gas.
- e) Viscosidad del petróleo.
- f) Datos de presión, volumen y temperatura (PVT).

#### **2.4.4 FUENTES DE ENERGÍA**

- a) Voltaje primario disponible.
- b) Frecuencia.
- c) Capacidades de la fuente de poder.

#### **2.4.5 POTENCIALES PROBLEMAS**

El procedimiento de selección a utilizarse varía significativamente según las condiciones de producción y las propiedades del fluido del pozo. Los posibles problemas podrían ser uno o varios de los mencionados a continuación:

- a) Arena.
- b) Deposición<sup>19</sup>
- c) Corrosión
- d) Parafina
- e) Emulsión
- f) Gas
- g) Alta temperatura

En este trabajo se presentara un caso para un pozo con flujo multifásico (pozos con alta relación gas-petróleo (GOR)).

---

<sup>19</sup> Deposición, es un proceso químico en que se depositan delgadas capas de diversos materiales.

## 2.5 PROCESO EXPLICATIVO PARA EL DISEÑO

La presencia de gas libre en la entrada de la bomba y en la tubería de descarga hace que el proceso de selección de equipo sea más complicado.

Durante el recorrido del fluido (mezcla de líquido y gas) a través de las etapas de la bomba, desde la entrada hasta la descarga y a través de la tubería de producción, la presión, y consecuentemente las propiedades del fluido, (volumen, densidad, etc.) van cambiando continuamente. Además, por la presencia de gas libre en la tubería de producción puede generar un efecto importante de "levantamiento por gas" (gas-lift) y reducir considerablemente la presión de descarga requerida.

El comportamiento de una bomba centrífuga se ve afectado significativamente por la presencia de gas libre. Mientras el gas permanezca en solución, la bomba se comporta normalmente como si estuviera bombeando un líquido de baja densidad, sin embargo, la bomba comienza a generar una altura de columna menor que la normal a medida que la relación gas/líquido (en condiciones de bombeo) aumenta más allá de ciertos valores "críticos" (generalmente 10% - 15% dependiendo del tipo de bomba). Esto es debido principalmente a la separación de las fases líquido y gas en la etapa de la bomba y debido a un deslizamiento entre las dos fases.<sup>20</sup>

La capacidad de la bomba para manejar la producción gas libre depende entre otros de: la geometría del pozo, las características del fluido, el tipo de bomba.

---

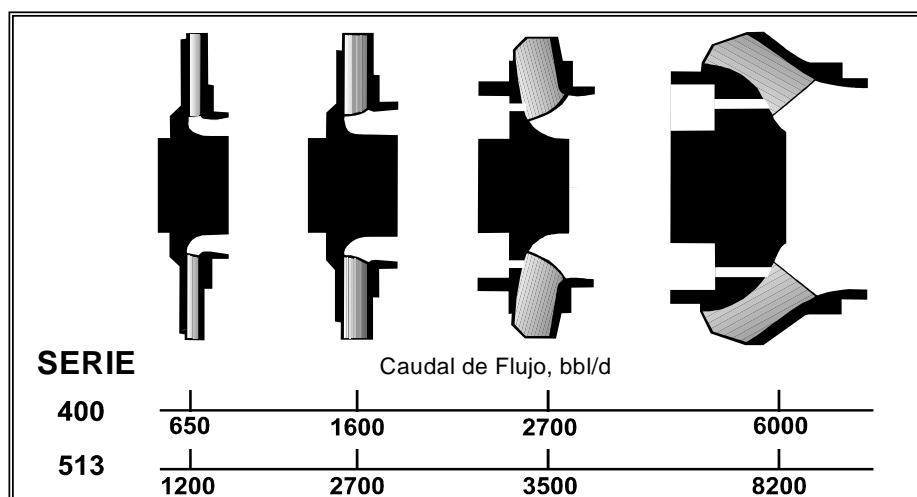
<sup>20</sup> ING. MARCO CORRALES, *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. 2008

La geometría de las etapas de la bomba varía dependiendo de la serie y del caudal de flujo para el que están diseñadas.

En las bombas de flujo radial, el impulsor descarga la mayor parte del fluido en la dirección radial. Los impulsores de flujo mixto imparten una dirección al fluido que contiene una componente axial considerable, a la vez que mantiene una dirección radial.

La figura 2.16 presenta un estimado de la capacidad de operación de diferentes tipos de configuraciones para el manejo del gas libre. La figura muestra como cada configuración tiene un límite en la cantidad de gas libre que puede manejar en la entrada de la bomba.

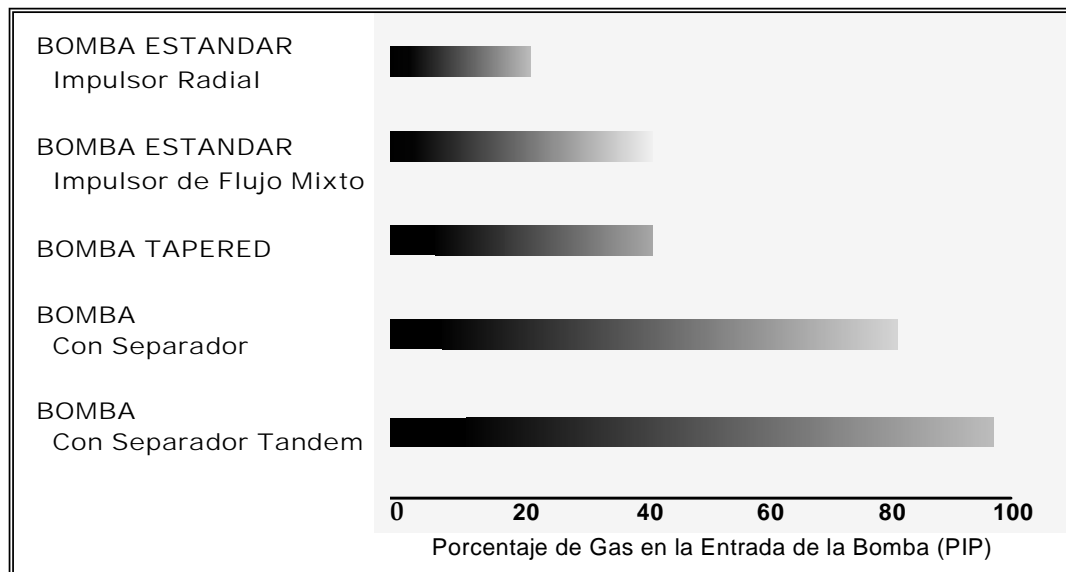
**FIGURA 2.16 CAPACIDAD DE OPERACIÓN EN PRESENCIA DE GAS LIBRE**



**Fuente:** Centrilift, Submersible Pumps System Handbook

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

**FIGURA 2.17 GEOMETRÍA DE LOS IMPULSORES**



**Fuente:** Centrilift, Submersible Pumps System Handbook

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

Diferentes estudios se han realizado para determinar el comportamiento del flujo bifásico dentro de la bomba electrosumergible, sin embargo no existe una correlación general que describa el efecto del gas libre en el comportamiento de la bomba.

Una bomba centrífuga se selecciona generalmente asumiendo que no existe deslizamiento entre las dos fases o corrigiendo el desempeño de las etapas basándose en datos reales de ensayos en el campo o de laboratorio, y en experiencias anteriores.

El siguiente es un procedimiento paso a paso recomendado cuando se diseña un sistema electrosumergible para producir mezclas de líquido y gas:

Para obtener y analizar los datos disponibles:



1. Determinar el caudal de flujo, la profundidad de asentamiento de la bomba y la presión de entrada de la bomba.
2. Utilizar el método IPR de Vogel para determinar la presión fluyente en el fondo del pozo al caudal deseado. La presión de entrada de la bomba se calcula corrigiendo la presión de fondo de pozo fluyente con la diferencia entre la profundidad de asentamiento de la bomba y la profundidad de referencia.
3. Determinar la presión de descarga de la bomba utilizando las correlaciones de flujo multifásico y los datos PVT.
4. Calcular el volumen del petróleo, el gas libre y el agua en la entrada de la bomba, utilizando los datos de prueba o las correlaciones para flujo multifásico que mejor se adecuen a las condiciones de operación.
5. Calcular el porcentaje de gas libre para el volumen total de fluidos. Si se indica gas excesivo utilizar un separador y corregir los volúmenes del fluido en base a la eficiencia del separador de gas seleccionado.
6. Seleccionar una bomba capaz de manejar el volumen de entrada total en base a las curvas de desempeño de la bomba, que quepa en la tubería de revestimiento del pozo.
7. Determinar la altura de columna desarrollada y el consumo de potencia para este tipo de etapa de bomba, considerando la gravedad específica compuesta de los fluidos.
8. Calcular el número de etapas de la bomba y determinar la potencia requerida.
9. Seleccionar la sección sello apropiada y, si fuera necesario, el separador del gas y calcular los correspondientes requerimientos de potencia. Revisar las limitaciones de carga y seleccionar un motor para suministrar la potencia total.

10. Seleccionar el tipo y el tamaño del cable en base a la corriente del motor, la temperatura del conductor y las limitaciones de espacio. Calcular el voltaje de superficie y la potencia eléctrica (KVA) total.
11. Seleccionar los accesorios y equipos opcionales como en los ejemplos anteriores. Si la relación gas/petróleo en solución ( $R_s$ ), el factor de volumen del gas ( $B_g$ ), y el factor de volumen de la formación ( $B_o$ ) no están disponibles con los datos del yacimiento, deben ser calculados. Las correlaciones más comunes a partir de las cuales se puede obtener la relación gas/petróleo en solución ( $R_s$ ) y el factor de volumen de formación ( $B_g$ ) son varias, para el presente caso escogemos el de Standing<sup>21</sup>.

La correlación que se seleccione afectará definitivamente al diseño, por lo que se debe seleccionar la que mejor se ajuste a las condiciones reales.

Los cálculos necesarios para la selección de una unidad electrosumergible para aplicaciones con alto GOR son bastante extensos y los especialistas en bombeo electrosumergibles, exhortan usar un programa de computación para éste propósito.

Sin embargo, un método simplificado utilizado comúnmente que se basa en el uso de dos monogramas de Standing.

---

<sup>21</sup> QUIROGA, KLEBER; *Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos*, Editorial Cepe, Edición 1991.

## **2.6 ESTADO DEL POZO PREVIO A LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO<sup>22</sup>**

La completación del pozo Shushufindi SSFD 106D, fue diseñada con una configuración de tubería de revestimiento (casing) que se acoplaba a las necesidades específicas modernas. La configuración de tubería de revestimiento es la siguiente:

Primero se baja una tubería de revestimiento guía de 18 pulgadas de diámetro, la cual tiene por objeto verticalizar la perforación, esta tubería tiene una longitud de 65 pies. La tubería guía se lo cementa en su totalidad. El siguiente revestimiento en bajarse es el revestimiento superficial, de 13 3/8 pulgadas de diámetro, el cual se lo baja hasta los 5902 pies, esta tubería aísla las zonas superficiales para evitar la posible contaminación de acuíferos subterráneos de agua dulce. Esta tubería esta cementada hasta superficie. El siguiente es el revestimiento intermedio, de 9-5/8 pulgadas de diámetro y se lo baja hasta los 9375 pies, profundidad a la que se encuentra la base de la Formación Ortegua. Este casing se lo cementa desde el fondo hasta su tope.

Para llegar a la profundidad de las zonas productivas, es decir formación Hollín, se perfora hasta los 10715 pies de profundidad para poder bajar la tubería de revestimiento de producción. Como este “casing”, resultaría muy largo y costoso se baja un liner de 7” colgado al final del “casing” Intermedio de 9-5/8” hasta el fondo de la perforación.

El liner es cementado en su totalidad para asegurar el correcto aislamiento entre las zonas productoras. La configuración del pozo revestido se muestra en el diagrama de completación del pozo.

---

<sup>22</sup> PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D.

Una vez completado el proceso de revestimiento, se procede a realizar los disparos de las zonas productoras o denominadas zonas de interés y se realiza la evaluación de todas las zonas productoras y de esta manera podemos hacer un análisis del potencial del yacimiento.

Una vez hechas las perforaciones de estas zonas y evaluadas se procede a realizar una simulación en el programa Desing Pro<sup>23</sup> para poder seleccionar el equipo BES adecuado para el pozo.

Es válido resaltar la importancia de un buen trabajo de cementación primario en las zonas productivas, porque una mala cementación provocaría la intercomunicación de los fluidos en el pozo y si en un futuro quisiéramos producir de la otra zona sin sacar la completación de fondo nos afectaría considerablemente el objetivo del proyecto.

Por lo antes mencionado, es evidente que la buena cementación debe ser considerada en un proyecto de producción. El cemento por tanto deberá tener buenas condiciones de adherencia tanto a la tubería de revestimiento como a las paredes de la formación, en todo el intervalo de producción del pozo, y en especial entre las formaciones productoras.

Como una regla, se podría establecer que es necesario tener en cuenta una cementación buena de 30 pies tanto por arriba como por debajo de las arenas productivas.<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> DESING PRO; Programa computacional utilizado por Schlumberger, para diseñar equipos BES.

<sup>24</sup> CORRALES, MARCOS; *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. 2008

En el pozo Shushufindi SSFD 106D en los registros CBL, VDL se observa buena cementación. Los registros muestran, en todo el intervalo productivo, la buena adherencia del cemento tanto a las paredes de la formación como a las paredes de la tubería de revestimiento.

## **CAPÍTULO III**

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE LOS NUEVE PASOS<sup>25</sup> QUE AYUDA A DISEÑAR EL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE CON ALTA RELACIÓN GAS-PETRÓLEO (GOR)**

#### **Introducción**

Las compañías manufactureras de equipos electrosumergibles y proveedoras de servicios, han establecido un procedimiento que ayuda a diseñar el sistema de bombeo electrosumergible adecuado para un pozo en particular.

Estas compañías que instalan y operan los equipos electro sumergibles (REDA, CENTRILIFT, etc.), disponen de programas computarizados para dimensionar equipos de acuerdo al tamaño del pozo, tipo de fluido, etc., Sin embargo, para efectos de entender y analizar los parámetros involucrados, a continuación menciono un modelo tipo para dimensionamiento manual.

El procedimiento manual no computarizado, se compone de nueve pasos y se explica en las secciones que vienen a continuación, incluyendo los cálculos de gas y la operación del variador de velocidad.

---

<sup>25</sup> BAKER HUGHES – CENTRILIF, *The 9 Step Manuals*.1999.

### **3.1 METODOLOGÍA DE LOS NUEVE PASOS**

La metodología de los nueve pasos es:

#### **3.1.1 PASO 1: DATOS BÁSICOS**

Reunir y analizar los datos referidos a la producción del pozo, fluidos y energía eléctrica, como lo son los datos del pozo, datos de producción, las condiciones del fluido del pozo, la fuente de energía y los principales problemas.

El procedimiento de selección real puede variar significativamente dependiendo de las propiedades el fluido del pozo. Los tres principales tipos de aplicaciones BES son:

1. Pozos de alto corte de agua que producen agua dulce o salmuera.
2. Pozos con flujos multifase (GOR alta).
3. Pozos productores de líquidos de alta viscosidad.

#### **3.1.2 PASO 2: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

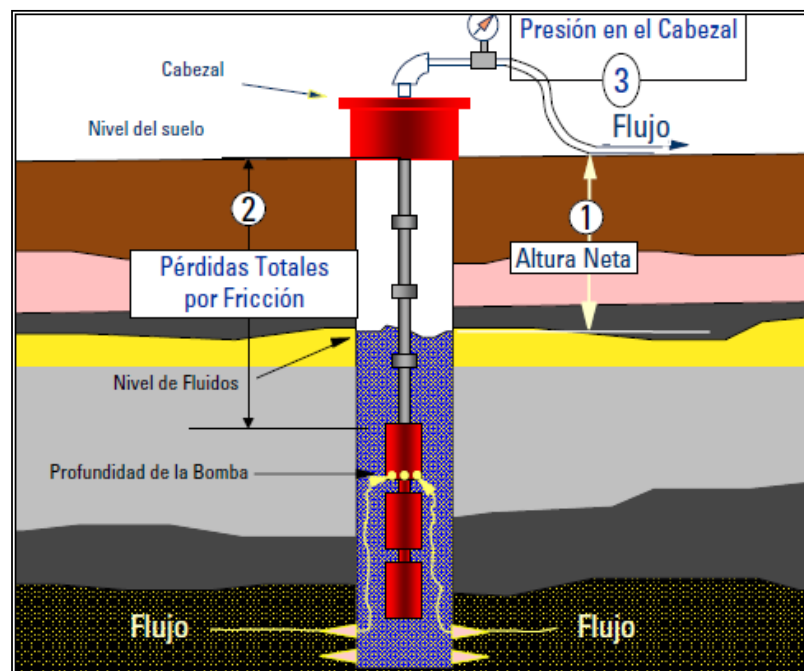
Determinar la productividad del pozo a la profundidad a la que se desea instalar la bomba o determinar la profundidad de instalación de la bomba a la tasa de producción deseada.



La siguiente es una simplificación de los procedimientos para predecir el desempeño del pozo. Esta discusión asume una eficiencia de flujo. Un daño de pozo u otros factores afectarán la eficiencia del flujo y podría cambiar la productividad del pozo.

El régimen de producción se puede determinar usando una variedad de métodos. Si la presión dinámica del pozo ( $P_{wf}$ ) es mayor que la presión de burbujeo ( $P_b$ ), se usa el método de Índice de Productividad (PI).  $P_{wf}$  es menor que  $P_b$ , resultando en un flujo multifásico, entonces se debe usar el método de Vogel de Relación de la Performance de Afluencia (Inflow Performance Relationship- IPR) (ver figura 3.1).

**FIGURA 3.1 ALTURA DINÁMICA TOTAL**



**Fuente:** Manual de Reda-Schlumberger

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### **3.1.3 PASO 3: CÁLCULO DE SEPARACIÓN DE GAS**

Calcular los volúmenes de fluidos, incluyendo el gas, en las condiciones de entrada de la bomba.

Es esencial determinar el efecto del gas en el volumen de fluido a bombear, a fin de seleccionar la bomba y el separador apropiados.

Si la relación gas en solución / petróleo ( $R_s$ ), el factor volumétrico del gas ( $B_g$ ), y el factor de volumen de formación ( $B_o$ ) no están disponibles entre los datos del reservorio, ellos pueden ser estimados. Cuando se conocen estos tres valores, se pueden determinar los volúmenes de petróleo, agua y gas, y se pueden calcular los porcentajes de cada uno.

### **3.1.4 PASO 4: CABEZA DINÁMICA TOTAL (TDH)**

El paso siguiente es determinar la altura de columna total requerida para bombear la capacidad deseada. La altura total a bombear se refiere a los pies de líquidos bombeados y se calculan como la suma de:

- 1) Elevación neta del pozo
- 2) Pérdida de carga por fricción en el tubing
- 3) Presión de descarga en boca del pozo.

### 3.1.5 PASO 5: TIPO DE BOMBA

Están basadas en el régimen de producción estimado y diámetro de casing. Elegir el tipo de bomba que produzca el régimen deseado, operando dentro del rango óptimo de volumen y próximo al pico de eficiencia de la bomba.

Si el volumen deseado, se encuentra aproximadamente en un punto donde se pueden elegir dos tipos de bomba, seleccionar aquella que requiera mayor número de etapas.

Ver en anexos No 2, tabla # 2 Datos de selección de las bombas.

**FIGURA 3.2 SECCIÓN DE LA BOMBA**



**Fuente:** Foto tomada en Petroproducción

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

**FIGURA 3.3 CABEZA DE LA BOMBA**



**Fuente:** Foto tomada en Petroproducción

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

### **3.1.6 PASO 6: TAMAÑO ÓPTIMO DE COMPONENTES**

Los equipos están contruidos en varios tamaños y pueden armarse en distintas combinaciones. Estas combinaciones deben ser cuidadosamente analizadas para que operen el sistema de bombeo electrosumergible dentro de los requerimientos de producción, los límites de resistencia de materiales y los límites de temperatura. Cuando se dimensionen los componentes, se debe consultar lo siguiente:

- ✓ Combinaciones de equipos
- ✓ Límites máximos de carga
- ✓ Velocidades de un fluido pasando alrededor de un motor electrosumergible en función del caudal, diámetro del casing y serie del motor.

La velocidad del fluido debe exceder un pie por segundo (0,305 m/seg) para asegurar un enfriamiento adecuado del motor. En los casos en que no se alcance esta velocidad, debe instalarse una camisa para el motor y el sello.

### **3.1.7 PASO 7: CABLE ELÉCTRICO**

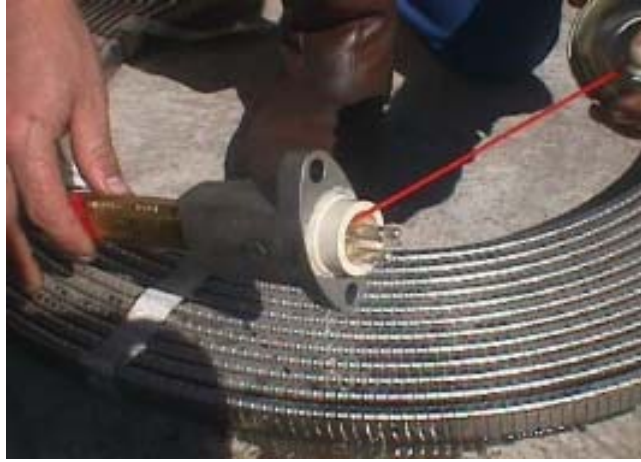
Generalmente se dispone en stock de cables número 1, 2, 4 y 6. Todos se encuentran en ambas configuraciones, redondo o plano. También se dispone de varios tipos de armadura y aislamiento, para protección contra fluidos corrosivos y condiciones severas.

Se selecciona el tipo de cable, según:

- Equipo accesorio de fondo de pozo
- Tamaño y tipo de controlador del motor
- Tamaño y tipo de transformador
- Tamaño y tipo del cable de superficie
- Tamaño y tipo del cabezal de pozo
- Equipo de servicio requerido para la instalación completa
- Equipo opcional.

Ver anexos No 6, tabla # 4 Selección de cable del motor y anexos No 8, tabla # 5 Selección de cable de poder Centriline.

**FIGURA 3.4 CABLE PLANO**



**Fuente:** Foto tomada en Schlumberger, Base Coca

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### **3.1.8 PASO 8: ACCESORIOS Y EQUIPOS OPCIONALES**

Seleccione el controlador del motor, transformador, tubería de la cabeza y el equipo opcional:

1. Accesorio y equipo de subsuelo:
  - ✓ cable plano (extensión del motor principal)
  - ✓ protector de cable plano
  - ✓ bandas de cable
  - ✓ válvula de retención y válvula de drenaje.
2. Controladores de motores
3. Transformadores monofásicos y trifásicos.

4. Cable superficial
5. Cabezas de pozo y accesorios
6. Equipo para servicios:
  - ✓ bobinas de cables
  - ✓ soportes de carrete y cable
7. Equipamiento opcional:
  - ✓ dispositivo de detección de presión en el pozo
  - ✓ control automático de pozos

**FIGURA 3.5 TRANSFORMADOR**



**Fuente:** Foto tomada en Schlumberger, Base Coca

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### 3.1.9 PASO 9: SISTEMA DE BOMBEO DE VELOCIDAD VARIABLE

Si las condiciones así lo aseguran, seleccionar el sistema de bombeo electrosumergible de velocidad variable, para obtener una flexibilidad operacional adicional.

El sistema BES puede ser modificado para incluir un controlador de frecuencia variable electrospeed para que opere en un rango mucho más amplio de la capacidad, la cabeza y la eficiencia. Puesto que un motor de la bomba electrosumergible es un motor de inducción, su velocidad es proporcional a la frecuencia de la fuente de alimentación eléctrica. Al ajustar la frecuencia, el sistema de velocidad variable (ver figura 3.6), la bomba electrosumergible ofrece un extraordinario potencial para impulsar la producción, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentar los beneficios.

**FIGURA 3. 6 CONTROLADOR DE VELOCIDAD VARIABLE**



**Fuente:** Foto tomada en Petroproducción

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas



### **3.2 DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE UNA UNIDAD DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE**

El diseño de una unidad de bombeo electrosumergible, no es una tarea difícil, especialmente si se tiene a disposición datos confiables. Pero si la información referente a la capacidad del pozo, es pobre, la eficiencia del diseño será generalmente secundaria. Los datos erróneos generalmente dan como resultado una bomba inapropiada y una operación costosa.

Una bomba inapropiada puede funcionar por fuera del límite recomendado, hacer trabajar el motor sobrecargado o en baja carga, o hacer que el pozo produzca tan rápidamente que puede ocasionar un daño en la formación. Por otra parte, la bomba puede que no sea lo suficientemente grande para proporcionar la producción deseada.

Frecuentemente se utiliza los datos de los otros pozos del mismo campo o de las áreas cercanas, bajo el supuesto de que los pozos del mismo horizonte de producción tendrán las mismas características. El procedimiento de selección real puede variar significativamente dependiendo de las propiedades de los fluidos del pozo.

Los tres tipos principales de aplicaciones BES son:

1. Pozos con alto corte de agua que producen agua fresca o salmuera
2. Pozos con flujo multifásico (GOR alto)
3. Pozos que produzcan fluidos altamente viscosos

Resumir o estimar con el mayor criterio posible, la siguiente información y pasarla a la hoja de datos requeridos del pozo:

1. Datos del pozo
2. Datos de producción
3. Condiciones del fluido del pozo
4. Fuente de energía
5. Posibles problemas

### **3.2.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN**

La siguiente información es una simplificación de los procedimientos para predecir el comportamiento del pozo. Esta discusión asume la eficiencia del flujo de uno. Un pozo dañado u otros factores afectarán la eficiencia de flujo y pueden cambiar la productividad del pozo.

#### **3.2.1.1 ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD<sup>26</sup>**

Cuando la presión del flujo del pozo ( $P_{wf}$ ) es mayor que la presión del punto de burbuja ( $P_b$ ) el flujo del fluido es similar al flujo de una fase y la curva de productividad es una línea recta con pendiente  $J$ , como se da en el índice de productividad.

---

<sup>26</sup> SCHLUMBERGER, Principios de Bombeo Electrosumergible, Plan de Entrenamiento 2008.

### ECUACIÓN 3.1 ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD

$$PI = J = \frac{Q}{P_r - P_{wf}}$$

Donde:

PI: Índice de productividad

Q: La tasa de producción de prueba del fluido, bls

Pwf: La presión del flujo del pozo a la tasa de prueba Q, psi

Pr: Presión estática del pozo, psi

J = bls/psi

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### 3.2.1.2 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD<sup>27</sup>

Si Pwf es menor que Pb, resultando en un flujo multifásico, debe usarse el método IPR de Vogel.

La relación está dada por la siguiente ecuación:

---

<sup>27</sup> QUIROGA, KLEBER; *Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos*, Editorial CEPE, Edición 1991.

### ECUACIÓN 3.2 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

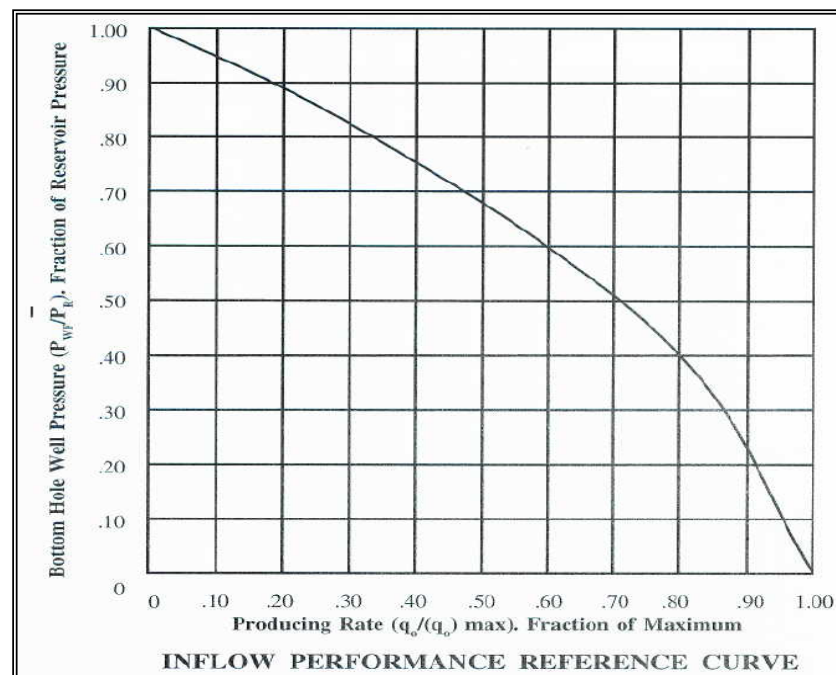
$$Q_0 \text{ max} = \frac{Q_0}{1 - 0.2 \cdot \left( \frac{P_{wf}}{P_r} \right) - 0.8 \cdot \left( \frac{P_{wf}}{P_r} \right)^2}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

Esta ecuación fue usada primero por W.E. Gilbert y después desarrollada por J.V. Vogel, quien desarrolló una curva de referencia adimensional que puede ser usada para determinar la curva IPR para un pozo en particular.

**FIGURA 3.7 CURVA IPR**



**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### 3.2.2 CÁLCULO DE GAS

La presencia de gas libre en la entrada de la bomba y en la tubería de producción hace que el proceso de selección del equipo sea más complicado y voluminoso. Como el fluido (mezcla de líquido y gas) fluye a través de las etapas de la bomba desde la entrada hasta la descarga y a través de la tubería de producción, la presión y en consecuencia, las propiedades del fluido (como volumen, densidad, etc.) van cambiando continuamente. Además, la presencia de gas libre en la tubería de producción puede crear un efecto significativo de “gas-lift” (levantamiento de gas) reduciendo considerablemente la presión requerida de descarga.

El desempeño de una bomba centrífuga también se ve considerablemente afectado por el gas. En la medida en que el gas permanezca en solución, la bomba se comporta normalmente como si estuviera bombeando un líquido de baja densidad. Sin embargo, la bomba comienza a producir una cabeza menor de lo normal a medida que la relación gas a líquido (en condiciones de bombeo) aumenta hacia un cierto valor “crítico” (normalmente alrededor del 10-15%). Esto es debido principalmente a la separación de las fases de líquido y gas en la etapa de la bomba y debido a un deslizamiento entre estas dos fases.

Este fenómeno no ha sido bien estudiado y no existe una correlación general que describa el efecto de gas libre en el desempeño de una bomba.

Una bomba electrosomergible se selecciona generalmente asumiendo que no hay deslizamiento de la etapa con base en los datos de prueba reales del campo y con base en la experiencia pasada.

Idealmente, un pozo podría ser productivo con una presión de sumersión mayor que la presión del punto de burbuja para mantener cualquier gas en solución a la entrada de la bomba. Típicamente esto no es posible, de manera que los gases deben ser separados de los otros fluidos antes de la entrada de la bomba para alcanzar la máxima eficiencia del sistema.

Las compañías ofrecen varios tipos de separadores de gas. Los más comunes son dos. Uno es un separador de gas de flujo inverso, que usa la flotación natural de los fluidos para la separación y puede manejar gas libre hasta el 10% por volumen. El otro es un separador de gas rotativo que separa el gas libre utilizando la fuerza centrífuga con eficiencia típicamente superior al 90%. Es esencial determinar el efecto del gas en el volumen del fluido para seleccionar el separador y la bomba adecuados.

Si la relación de la solución gas/aceite ( $R_s$ ), el factor de volumen del gas ( $B_g$ ), y el factor del volumen de formación ( $B_o$ ) no están disponibles de los datos del yacimiento, estos deben ser calculados, y hay un número de correlaciones de multifase entre las que se pueden seleccionar.

Centrilift señala que la correlación seleccionada afectará al diseño, por lo cual se debe seleccionar la que más se ajuste a sus condiciones.

### 3.2.3 RELACIÓN SOLUCIÓN GAS/PETRÓLEO

La siguiente es la correlación de Standing para solucionar la relación gas/petróleo,  $R_s$  y el factor de volumen de formación,  $B_g$ :

#### ECUACIÓN 3.3 RELACIÓN GAS/PETRÓLEO

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

Donde:

$Y_g$ : gravedad específica del gas

$P_b$ : presión del punto de burbuja, psi (kg/cm<sup>2</sup>)

$T$ : temperatura de fondo de pozo, °F (°C)

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### FACTOR DE VOLUMEN DEL GAS

La siguiente es la correlación de Standing para solucionar el factor de volumen de formación,  $B_g$ :

### ECUACIÓN 3.4 FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS

$$B_g = 5.04 \cdot \frac{Z \cdot T}{P}$$

En unidades métricas

$$B_g = 0.00377 \cdot \frac{Z \cdot T}{P}$$

Donde:

Z: factor de compresibilidad del gas (0.81 a 0.91)

T: temperatura de fondo de pozo en grados Rankine ( $460 + ^\circ\text{F}$ ), en unidades métricas  
Kelvin ( $273 + ^\circ\text{C}$ )

P: presión de sumersión psi o ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

El factor de volumen del gas,  $B_g$ , se expresa en barriles de formación bbl /mcf gas

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

#### 3.2.4 FACTOR DE VOLUMEN DE FORMACIÓN

El factor de volumen de formación  $B_o$ , representa el volumen incrementado que un barril de petróleo ocupa en comparación con un barril almacenado.



### ECUACIÓN 3.5 FACTOR VOLUMETRICO DE LA FORMACIÓN

$$B_0 = 0.972 + 0.000145 \cdot F^{1.175}$$

Donde:

$$F = R_s \cdot \left( \frac{Y_g}{Y_o} \right)^{0.25} + 1.25 \cdot T$$

T: Temperatura de fondo de pozo, °F o en unidades métricas

$$B_0 = 0.972 + 0.000147 \cdot \left( 5.61 \cdot R_s \cdot \left( \frac{Y_g}{Y_o} \right) + 1.25 \cdot (1.8 \cdot t + 32) \right)^{1.175}$$

Donde:

$Y_g$ : gravedad específica de gas

$Y_o$ : gravedad específica de petróleo

t: temperatura de fondo de pozo, °C

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

#### 3.2.5 VOLUMEN TOTAL DE LOS FLUIDOS

Cuando se conocen estas tres variables  $R_s$ ,  $B_g$  y  $B_o$  los volúmenes de petróleo, agua y gas libre pueden ser determinados y los porcentajes de cada uno pueden ser calculados.

El volumen total del gas (tanto libre como en solución) se puede determinar como sigue:

### ECUACIÓN 3.6 VOLUMEN TOTAL DEL GAS

$$\text{Gas total} = \frac{\text{GOR Producido} \times \text{BOPD}}{1000} = \text{mcf}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

El gas en solución a presión de sumersión puede ser determinado como sigue:

### ECUACIÓN 3.7 GAS EN SOLUCIÓN A PRESIÓN DE SUMERSIÓN

$$\text{Gas total} = \frac{\text{GOR} \times \text{BOPD}}{1000} = \text{mcf}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

El Gas Libre es igual al Gas Total menos el Gas en Solución.

El volumen del petróleo ( $V_o$ ) en la entrada de la bomba es igual a los barriles almacenados en tanque multiplicado por  $B_o$ , el factor del volumen de la formación.

El volumen del gas ( $V_g$ ) en la entrada de la bomba es igual a la cantidad de gas libre multiplicado por  $B_g$ , el factor de volumen del gas.

El volumen del agua ( $V_w$ ) en la formación es el mismo que el los barriles almacenados en tanques.

El volumen del fluido total ( $V_t$ ) se puede ahora determinar:

### **ECUACIÓN 3.8 VOLUMEN TOTAL DEL FLUIDO**

$$V_t = V_o + V_g + V_w$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

El porcentaje de gas libre para el volumen total de los fluidos se puede ahora calcular:

### **ECUACIÓN 3.9 PORCENTAJE DE GAS LIBRE**

$$\% \text{ Gas libre} = \frac{V_g}{V_t}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### **3.2.6 CABEZA DINÁMICA TOTAL**

El siguiente paso es determinar la cabeza dinámica total que se requiere para bombear la capacidad deseada.

La cabeza de bomba total se refiere a pies (metros) de líquido que sea bombeado y se calcula que sea la suma de:

- a) Levantamiento neto del pozo (levantamiento dinámico)
- b) Pérdida por fricción de la tubería del pozo
- c) Presión de descarga de la cabeza del pozo.

La ecuación simplificada es la siguiente:

#### **ECUACIÓN 3.10 CABEZA DINAMICA TOTAL**

$$TDH = H_d + F_t + P_d$$

Donde:

TDH: cabeza dinámica total en pies (metros) entregada por la bomba cuando se bombea el volumen deseado.

H<sub>d</sub>: distancia vertical en pies (metros) entre la cabeza del pozo y el nivel estimado de producción de fluido a la capacidad esperada.

Ft: la cabeza requerida para superar la pérdida por fricción en la tubería, medida en pies (metros)

Pd: la cabeza requerida para superar la fricción en la tubería de la superficie, las válvulas y conexiones, y para superar los cambios de elevación entre la cabeza del pozo y la estación de producción. Normalmente, esto se mide en presión manométrica psi (kg/cm²) en la cabeza del pozo y puede ser convertido a cabeza, en pies (metros) como sigue:

$$P_d = \frac{\text{psi} \cdot 2.31 \text{ ft} / \text{psi}}{\text{Peso específico}}$$

ó

$$P_d = \frac{\text{psi}}{0.433 \text{ psi} / \text{ft} \cdot \text{peso.especifico}}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### 3.2.7 TIPO DE BOMBA

Las curvas de desempeño de las bombas (60Hz y 50Hz) están incluidas en la sección “Curvas de bombas” de los catálogos. Con base en la tasa de producción esperada de

fluido y el tamaño del revestimiento se selecciona el tipo de bomba que estará operando dentro del rango de funcionamiento de la bomba y lo más cercano a la máxima eficiencia de la bomba, a la tasa de producción esperada.

Cuando dos o más tipos de bombas tienen eficiencias similares en el volumen deseado, las siguientes condiciones determinan la elección de la bomba:

Los precios de las bombas y los precios y tamaños correspondientes de los motores pueden de alguna manera ser diferentes.

Normalmente, la bomba y el motor de diámetro más grande son menos costosos y operan a eficiencias más altas.

Si el volumen deseado cae al punto donde dos tipos de bombas tienen aproximadamente la misma eficiencia, se debe elegir el tipo de bomba que requiera el mayor número de etapas. Dicha bomba producirá una capacidad muy cercana al volumen deseado aun cuando el levantamiento del pozo sea substancialmente mayor o menor de lo esperado.

Si se presenta gas en el fluido producido, se puede requerir un separador de gas para alcanzar una operación eficiente.

En los pozos donde el fluido es bastante viscoso y/o se tiende a emulsificar, o en otras circunstancias extraordinarias, se puede necesitar de algunas correcciones de las bombas para asegurar una operación más eficiente.

### **3.2.8 EL SISTEMA DE VARIADOR DE FRECUENCIA (VSC) Y LA SELECCIÓN DE LA BOMBA**

Si en un pozo no se conoce con exactitud su producción, es ideal utilizar un sistema de variador de frecuencia (VSC). Un controlador de velocidad variable convierte efectivamente una bomba sencilla en una familia de bombas, de modo que, una bomba se puede ajustar para el nivel de producción deseado, una vez que se tengan más datos.

El sistema de variador de frecuencia (VSC) mejora el funcionamiento de la bomba también bajo otras condiciones, incluyendo los pozos que contienen mucho gas, los pozos abrasivos, los pozos de bajo volumen, etc. Proporciona arranques suaves elimina la operación intermitente, rompe los sellos de gas, aísla el equipo de las fluctuaciones de energía, minimiza el calentamiento de fondo de pozo, y otras cosas más.

Se debe revisar el Paso 9 cuando se considere el sistema de variador de frecuencia (VSC). Las curvas de ejecución de frecuencia variable están incluidas en la sección "Curva de Bomba" del catálogo Centrilift (ver anexo No 4, figura 5.2 curva de variaciones en la velocidad de la bomba serie 400).

El Sistema de Variador de Frecuencia (VSC) puede proporcionar economías adicionales en gastos de capital y gastos de operación y debe ser considerado en el Paso 6. "Tamaño Óptimo de los Componentes," El controlador de velocidad variable y los transformadores para el Sistema de variador de frecuencia (VSC) se explican en los Pasos 8 y 9.

### **3.2.9 DIMENSIÓN ÓPTIMA DE LOS COMPONENTES**

Los componentes están contruidos en una cantidad de tamaños que pueden ser ensamblados en una variedad de combinaciones.

Estas combinaciones deben ser cuidadosamente determinadas para manejar el sistema de bombeo electrosomergible dentro de los requerimientos de la producción, resistencia de los materiales y límites de temperatura.

Mientras se efectúa el dimensionamiento de los componentes, se debe revisar cada una de las tablas y cuadros de:

- Combinación de Equipos en Revestimientos Varios
- Límites de Carga máxima
- Diámetro Máximo de las Unidades
- Velocidad de Paso del Fluido por el motor
- Limitaciones de HP en el eje a las diferentes frecuencias

Una velocidad del fluido de un pie por segundo (0.305 metros por segundo) se recomienda para asegurar el enfriamiento adecuado del motor. En caso de que esta velocidad no se alcance, puede ser necesario el uso de una camisa de motor para incrementar la velocidad.



### 3.2.9.1 BOMBA

Revisando la curva de desempeño de Centrilift o Reda del tipo de bomba seleccionado, se determina el número de etapas requeridas para producir la capacidad anticipada vs. la cabeza dinámica total calculada.

Las curvas de desempeño para 60Hz. y 50Hz., desempeño de frecuencia variable se encuentran en anexos No 11 y 12, ver las tablas # 7 y 8, respectivamente.

Observamos que las curvas características de las bombas son curvas de desempeño para una sola etapa con base en agua con gravedad específica de 1.00.

En la intersección de la tasa de producción deseada (escala horizontal) y la curva de capacidad de cabeza (escala vertical), se ve el valor de la cabeza en la escala izquierda. Luego se divide la cabeza dinámica total por este valor de cabeza para determinar el número de etapas.

#### ECUACIÓN 3.11 CÁLCULO DE NUMERO TOTAL DE ETAPAS

$$\text{Número total de etapas} = \frac{TDH \text{ (cabeza dinámica total)}}{\text{Cabeza / etapa}}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### **3.2.9.2 SEPARADOR**

Seleccionar el tipo de separador a instalar en base al volumen de gas libre que pasara por la bomba. Cuando hay alto volumen de petróleos o altas relaciones gas/petróleo se debe consultar a los representantes de bombas electrosumergibles (REDA, CENTRILIFT, ESP).

Los representantes de las bombas electrosumergibles hacen los ajustes necesarios en requerimientos de caballos de fuerza y la longitud del revestimiento.

### **3.2.9.3 MOTOR**

Para seleccionar el tamaño del motor adecuado para un tamaño de bomba determinado, primero se debe seleccionar los caballos de potencia al freno, requeridos por la bomba.

Los caballos de fuerza por etapa se obtienen refiriéndose de nuevo a la curva de desempeño para la bomba seleccionada y leyendo el valor de la escala correcta. La potencia al freno requerida para manejar una bomba dada se calculan fácilmente con la siguiente fórmula:

#### **ECUACIÓN 3.12 POTENCIA AL FRENO REQUERIDA**

$$BHP = Etapas\ total \times BHP / Etapa \times Peso\ especifico$$

Los motores REDA se fabrican en las siguientes series:

- ✓ 375 para casings de 4 ½" o mayores
- ✓ 456 para casings de 5 ½" o mayores
- ✓ 540 para casings de 6 5/8" o mayores
- ✓ 738 para casings de 8 5/8" o mayores

Los motores CENTRILIFT se fabrican en las siguientes series:

- ✓ 450 para casings de 5 ½" o mayores
- ✓ 544 para casings de 7" o mayores
- ✓ 725 para casings de 8 5/8" o mayores

### **3.2.10 SECCIÓN DE SELLO O PROTECTOR**

Los sellos de serie 400 para bombas serie 400 que utilizan motores serie 450. Cuando se utilizan motores series 544 o 562 con una bomba serie 513, se requiere de un sello serie 513. Se requiere de un adaptador de series 513-400 cada vez que un sello de serie 513 se instale con una bomba de serie 400.

### **3.2.11 CABLE ELÉCTRICO**

Los cables eléctricos están normalmente disponibles en tamaños de conductores de 1, 2, 4 y 6. Estos tamaños se ofrecen tanto en configuraciones redondas como planas.

Existen varios tipos de armaduras y aislamientos para la protección contra los fluidos corrosivos y los ambientes agresivos. La selección del cable involucra la determinación de:

- Tamaño del cable
- Tipo de cable
- Longitud del cable

#### **3.2.11.1 TAMAÑO DEL CABLE**

El tamaño adecuado del cable depende de los factores combinados de caída de tensión, amperaje y espacio disponible entre los acoples de tubería de producción y la tubería de revestimiento.

Debemos ver la curva de caída de tensión del cable, para la caída de voltaje en el cable<sup>28</sup>. De acuerdo con el amperaje del motor seleccionado y la temperatura dada de fondo de pozo, se recomienda la selección de un tamaño del cable que dé una caída de tensión de menos de 30 Volts por 1000 pies (305 metros).

Esta curva también le permite determinar el voltaje de superficie necesario (voltaje del motor más caída de tensión en el cable) que se requiere para hacer funcionar el motor.

---

<sup>28</sup> Ver anexo No 7, Figura 5.3 Caída de tensión en el cable.

Finalmente se debe referir a la tabla de combinación del equipo (ver anexos del No 1 al 14) para determinar si el tamaño seleccionado se puede utilizar con la tubería propuesta y los tamaños del revestimiento del pozo.

El diámetro del cable más el diámetro del acople de la tubería necesitará ser menor que el diámetro interno (I.D.) del revestimiento. Para determinar el tamaño óptimo del cable, se debe considerar los requerimientos futuros del equipo que puedan requerir el uso de un cable de mayor tamaño.

Si el costo del consumo eléctrico es un factor importante, la curva de pérdida en Kilovatio-Hora<sup>29</sup> puede utilizarse para justificar la selección del cable.

#### **3.2.11.2 TIPO DE CABLE**

La selección del tipo de cable se basa primeramente en las condiciones del fluido, la temperatura del fondo de pozo y las limitaciones de espacio dentro del anillo del revestimiento. Debemos referirnos a las páginas de precios de su catálogo para obtener las especificaciones del cable. (Ver en anexo No 6 y 8, tablas # 4 y 5, respectivamente).

#### **3.2.11.3 LONGITUD DEL CABLE**

Donde no hay suficiente espacio para instalar cable redondo, debemos usar cable de configuración plana.

---

<sup>29</sup> Ver anexo No 9, Figura 5.4 Perdidas en cable kilovatios-hora.

Es de al menos 100 pies (30 metros) más largo que la profundidad establecida para la bomba permitiendo hacer las conexiones en la superficie a una distancia segura de la cabeza del pozo.

#### **3.2.11.4 VENTILACIÓN DEL CABLE**

La caja de venteo está disponible para proteger el controlador del motor de dichos gases.

En los pozos es necesario liberar los gases del cable antes del controlador de la conexión al motor para evitar ambiente explosivos.

### **3.3 EQUIPO ACCESORIO Y OPCIONAL**

Existen algunos accesorios y equipos de uso opcional, el uso de los mismos dependerá de la compañía operadora, del técnico, del diseño, entre otros.

#### **3.3.1 CABLE PLANO (CABLE DE EXTENSIÓN DEL MOTOR)**

Se seleccionan longitudes de al menos 5 a 10 pies más larga que la bomba, admisión (estándar o separador de gas) y sección de sello para las series del motor escogido.

### **3.3.1.1 GUARDA CABLE PLANO**

Son secciones de guarda cables de 6 pies (1.8 m) por lo menos igual a la longitud del cable plano.

### **3.3.1.2 BANDAS DE CABLE**

Se usa banda de cable (suncho) de 30 pulgadas (76 cm) cada 2 pies (60 cm) para engrapar el cable plano a la bomba.

La banda de 22 pulgadas (56 cm) de longitud puede usarse para tuberías hasta 3 1/2" O.D. Para tubería de 4 1/2" y 5 1/2" O.D. se usa bandas de 30 pulgadas (76 cm).

Se requiere de una banda para cada 15 pies (5 m) de profundidad establecida.

### **3.3.1.3 NIPLE DE BOTELLA (CROSSOVER) VÁLVULA DE RETENCIÓN Y VÁLVULA DE VACIADO**

Debemos seleccionar estos accesorios con base en los diámetros externos requeridos y en el tipo de roscas.

### **3.3.1.4 VORTEX<sup>30</sup>**

---

<sup>30</sup> CENTRILIFT, *Submersible Pumps System Handbook*, 2001. pp. 1-127

Es un controlador digital que utiliza tecnología de punta. Se compone de dos partes:

#### **3.3.1.4.1 UNIDAD BÁSICA DEL SISTEMA**

La unidad básica del sistema, realiza todas las operaciones de parada y de arranque automático. Se instala en el compartimiento de baja tensión de los tableros de control.

#### **3.3.1.4.2 APARATO DE VISUALIZACIÓN**

Permite observar las lecturas en tiempo real, los parámetros de referencia seleccionados y las alarmas. Se instala normalmente en el compartimiento de la carta amperométrica para su fácil acceso.

Por ejemplo el tablero de control Vortex de la Compañía Centrilift, provee todas las funciones básicas para sobrecarga o baja carga, parada por desequilibrio entre fases, por rotación de fases incorrecta, etc. y más de 90 parámetros de control incluyendo clave de acceso y protocolo de comunicación

#### **3.3.1.5 TRANSFORMADORES**

El tipo de transformador seleccionado depende del tamaño del sistema de potencia primario y del voltaje secundario requerido (ver anexo No 12, tabla #8 Selección de transformadores - VSD).



Los elevadores trifásico aislados generalmente son seleccionados para aumentar el voltaje de un sistema de voltaje bajo, mientras que un banco de tres transformadores monofásicos generalmente es seleccionado para reducir una fuente de poder primario de alto voltaje al voltaje de superficie requerido.

En los sistemas existentes, algunas de las unidades de Centrilift funcionarán sin necesidad de utilizar un transformador adicional.

Para las nuevas instalaciones de unidades de voltajes altos, es generalmente menos costoso instalar tres transformadores monofásicos, conectados en estrella, para eliminar el autotransformador.

La selección del transformador puede variar significativamente en aplicaciones especiales.

Al escoger el tamaño de un elevador o un banco de tres transformadores monofásicos se utiliza la siguiente ecuación para calcular el KVA total requerido:

### **ECUACIÓN 3.13 CÁLCULO DE KILO-VOLTIOS-AMPERIOS**

$$KVA = \frac{V_s \cdot A_m \cdot 1.73}{1000}$$

Donde:

KVA: Kilo-Voltios-Amperios o 1000 voltios-amperios

Vs: Voltaje de superficie, voltios

Am: corriente nominal del motor en amperios

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

### **3.3.1.6 CABLE DE SUPERFICIE**

Se debe proveer aproximadamente la longitud requerida para conectar el controlador al sistema de energía primaria o al transformador. Generalmente se requiere de dos piezas para las instalaciones usando un autotransformador.

El tamaño debe ser igual al tamaño del cable del pozo excepto en el case de un elevador o un autotransformador, en donde las corrientes primaria y secundaria no son las mismas.

### **3.3.1.7 CABEZAL DE POZO Y ACCESORIOS**

Se requiere seleccionar el tamaño de la cabeza de pozo en base al tamaño de la tubería del revestimiento, el tamaño de la tubería de producción, la carga máxima recomendada, la presión de la superficie, profundidad máxima de instalación. Los cables eléctricos pasan a través de la cabeza del pozo donde no se requieren ajustes de presión.

También están disponibles los mandriles (EFT). Las cabezas de pozo con EFT sellan contra la presión de fondo de pozo y previenen los escapes de gas a la superficie.

### **3.4 EQUIPO DE SERVICIO**

Debemos seleccionar el tamaño del carrete de cable requerido para manejar el tamaño del cable seleccionado previamente, seleccionar, el juego de los soportes de carretes con base en el tamaño del carrete de cable.

Las guías del cable están diseñadas para manejar los tamaños de cable 1 a 6.

### **3.5 EQUIPO OPCIONAL**

En el equipo opcional podemos mencionar dos tipos los cuales son:

#### **3.5.1 DISPOSITIVO SENSOR DE LA PRESIÓN DE FONDO DE POZO**

El sensor de fondo proporciona una medición continua de las presiones de fondo de pozo. Existen otros sistemas para esta función.

Su uso dependerá de la calidad de información requerida.

### **3.5.2 MONITOREO AUTOMÁTICO DE POZO**

Los controladores del motor están disponibles para el monitoreo continuo del funcionamiento de la bomba desde un lugar central.

## **CAPÍTULO IV**

## CAPÍTULO IV

### 4. EJEMPLO DE DISEÑO PARA POZO SHUSHUFINDI SSFD 106D CON ALTA RELACIÓN GAS -PETRÓLEO (GOR)<sup>31</sup>

En este capítulo se describe las características del pozo Shushufindi SSFD 106D para mejorar su tasa de producción.

Mediante el procedimiento de los 9 pasos vamos a diseñar el sistema de bombeo electrosumergible para este pozo que contiene una alta relación gas/petróleo.

#### 4.1. PASO 1: DATOS BÁSICOS

Tubería de revestimiento:	9 8/5 47 lbs 5853 ft.
Liner:	7" x 26 lbs./ft. @ 9150 ft.
Profundidad total del pozo:	10601 FT
Tubería de producción:	3 1/2" EUE 8RD
Profundidad de asentamiento de la bomba:	8358 FT
Producción actual:	750 BFPD
Presión estática de fondo ( $P_r$ ):	3655 PSIG @ 10601 FT
Presión de fondo fluyente ( $P_{wf}$ ):	3055 PSIG @ 750 BFPD
Taladro:	Dygoil 20

---

<sup>31</sup> PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D.

#### CUADRO 4.1 DATOS DE PRODUCCIÓN

Datos de Producción
Producción deseada ( $Q_d$ ) = 1080 BFPD
Corte de agua W.C. = 65.3%
Índice de Productividad (IP) = 1.25 bpd/psi
Presión en la cabeza del pozo = 120 psi
Relación gas-petróleo producido (GOR) = 530 scf/stb
Temperatura de fondo de pozo = 220 °F

**Fuente:** PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### CUADRO 4.2 CONDICIONES DEL FLUIDO DEL POZO

Condiciones del Fluido del Pozo
Gravedad específica del agua = 1.085
Gravedad API del petróleo ( $Y_o$ ) = 33° API (0.86)
Gravedad específica del gas ( $Y_g$ ) = 0.7
Presión de burbuja ( $P_b$ ) = 1880 psi

**Fuente:** PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### CUADRO 4.3 FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Fuente de Energía Eléctrica
Voltaje primario = 12470 volts
Frecuencia = 60 Hertz

**Fuente:** PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

## 4.2 PASO 2: CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Se determina la productividad del pozo a la presión de prueba y producción. En este caso, la tasa de producción deseada y la profundidad establecida de la bomba están dadas. La presión de entrada de la bomba a la tasa de producción deseada se puede calcular de las condiciones a partir de la producción presente.

Ya que la presión de flujo del pozo (2755 psi) es mayor que la presión del punto de burbuja (1880 psi) el método de PI constante probablemente dará los resultados más satisfactorios. Primero, determinamos el PI usando los datos de prueba:

### ECUACIÓN 4.1 CÁLCULO DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD

$$PI = \frac{Q}{P_r - P_{wf}}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$PI = \frac{750 \text{ bpd}}{3275 \text{ psi} - 2755 \text{ psi}} = 1.44 \text{ bpd / psi}$$

Luego, determinamos la nueva presión de flujo del pozo (Pwf) a la tasa de producción deseada (Qd).



## ECUACIÓN 4.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE FLUJO DEL POZO

$$P_{wf} = \bar{P}_r - \left( \frac{Q_d}{PI} \right)$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$P_{wf} = 3275 \text{ psi} - \left( \frac{1080 \text{ bpd}}{1.44 \text{ bpd/psi}} \right) = 2525 \text{ psi}$$

La presión de flujo del pozo de 2525 psi está todavía por encima de la presión del punto de burbuja de 1880 psi, por lo tanto, el enfoque PI debe dar buenos resultados.

La presión de entrada de la bomba puede ser determinada corrigiendo la presión de fondo de pozo por la diferencia en profundidad entre el asentamiento de la bomba y la profundidad de referencia y considerando además la pérdida por fricción en el espacio anular de la tubería de revestimiento.

Debido a que hay tanto agua como petróleo en los fluidos producidos, es necesario calcular una gravedad específica compuesta de los fluidos producidos.

Corte de agua: 65.3%       $0.653 \times 1.085 = 0.7085$

Petróleo: 34,7%       $0.347 \times 0.86 = 0.2984$

La gravedad específica del compuesto es la suma de los porcentajes pesados:

$$\text{Peso específico} = 0.7085 + 0.2984 = 1.01$$

La presión debido a la diferencia entre la profundidad de las perforaciones y la profundidad de asentamiento de la bomba ( $10601' - 8358' = 2243'$ ) puede ser determinada como sigue:

#### ECUACIÓN 4.3 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL

$$psi = \frac{\text{cabeza(ft)} \cdot \text{peso específico}}{2.31 \text{ ft/psi}}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$psi = \frac{2243 \text{ ft} \times 1.01}{2.31 \text{ ft/psi}} = 980.7 \text{ psi}$$

Por lo tanto, la presión de entrada de la bomba será:

$$2525 \text{ psi} - 981 \text{ psi} = 1544 \text{ psi}$$

### 4.3 PASO 3: CÁLCULOS DE GAS

En este tercer paso necesitamos determinar la mezcla total del fluido, inclusive de agua, petróleo y gas libre que va a ser absorbida por la bomba.

Determinaremos la relación de la solución Gas/Petróleo ( $R_s$ ) en la presión de entrada de la bomba con el monograma de Standing o sustituyendo la presión de entrada de la bomba por la presión de punto de burbuja ( $P_b$ ) en la ecuación de Standing:

#### ECUACIÓN 4.4 CÁLCULO DE LA RELACIÓN GAS/PETRÓLEO

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

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$R_s = 0.7 \cdot \left( \frac{1544}{18} \cdot \frac{10^{0.0125 \cdot 33}}{10^{0.00091 \cdot 220}} \right)^{1.2048}$$

$$R_s = 269.28 \text{ scf/stb}$$

Se determina el Factor de Volumen de Formación ( $B_o$ ) usando la ecuación de Standing como sigue:

#### ECUACIÓN 4.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DE FORMACIÓN

$$B_o = 0.972 + 0.000147 \cdot F^{1.175}$$

Donde:

$$F = R_s \cdot \left( \frac{Y_g}{Y_o} \right)^{0.5} + 1.25 \cdot T$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

$$F = 269.28 \left( \frac{0.7}{0.86} \right)^{0.5} + 1.25 \cdot 220 = 517.89$$

Por lo tanto

$$B_o = 0.972 + 0.000147 (517.89)^{1.175}$$

$$B_o = 1.199 \text{ reservorio bbl/stock tanque bbl}$$

Determinaremos el Factor de Volumen del Gas ( $B_g$ ) como sigue:

#### ECUACIÓN 4.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE VOLUMEN DE GAS

$$B_g = \frac{5.04 \cdot Z \cdot T}{P}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$B_g = \frac{5.04 \times 0.85 \times (460 + 220)}{1014} = 2.87 \text{ bbl/mcf}$$

Luego, se determina el volumen total de los fluidos y el porcentaje de gas libre liberado en la entrada de la bomba:

Usando el GOR que se produce, y el volumen del petróleo, se determina el volumen total del gas ( $T_G$ ):

#### ECUACIÓN 4.7 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DEL GAS

$$T_G = \frac{\text{BOPD} \cdot \text{GOR}}{1000}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$T_G = \frac{1080 \cdot 0.25 \cdot 530}{1000}$$

$$T_G = \frac{143100}{1000} = 143.1 \text{ mcf}$$

$$T_G = 25.487 \text{ bbls}$$

Usando el GOR en solución ( $R_s$ ) en la entrada de la bomba, se determina el gas en solución ( $S_G$ )

#### ECUACIÓN 4.8 CÁLCULO DEL GAS EN SOLUCIÓN

$$S_G = \frac{BOPD * R_s}{1000}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$S_G = \frac{(1080 \cdot 0,25) \cdot 269.28}{1000} = 72.7 \text{ mcf}$$

$$S_G = 12.948 \text{ bbls}$$

La diferencia representa el volumen de gas libre ( $F_G$ ) liberado de la solución por la disminución de la presión desde el punto de burbuja de 1880 psi, a la presión de entrada de la bomba de 1544 psi.

$$F_G = 143.1 \text{ mcf} - 72.7 \text{ mcf} = 70.4 \text{ mcf}$$

$$F_G = 25.487 \text{ bbls} - 12.946 \text{ bbls} = 12.539 \text{ bbls}$$

El volumen del petróleo ( $V_o$ ) a la entrada de la bomba:

#### **ECUACIÓN 4.9 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL PETRÓLEO**

$$V_o = \text{BOPD} \times \text{Factor de Volumen de Formacion } B_o$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$V_o = 300 \text{ BOPD} \times 1.199$$

$$V_o = 359.78 \text{ BOPD}$$

El volumen del gas libre ( $V_g$ ) a la entrada de la bomba

#### **ECUACIÓN 4.10 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE GAS LIBRE**

$$V_g = \text{Gas libre} \times \text{Factor volumétrico del gas } (B_g)$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$V_g = 70.4 \text{ mcf} \times 2.87 \text{ bbl/mcf}$$

$$V_g = 202.048 \text{ BGPD}$$

El volumen del agua ( $V_w$ ) a la entrada de la bomba:

#### **ECUACIÓN 4.11 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL AGUA**

$$V_w = \text{Volumen total del fluido} \times \% \text{ de agua}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$V_w = 1080 \text{ BPD} \times 0.653$$

$$V_w = 705.24 \text{ BWPD}$$

El volumen ( $V_t$ ) del petróleo, agua y gas a la entrada de la bomba, puede ser determinado ahora:

#### **ECUACIÓN 4.12 CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE PETRÓLEO- AGUA-GAS**

$$V_t = V_o + V_g + V_w$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$V_t = 359.782 + 202.048 + 705.24$$

$$V_t = 1267.07 \text{ BFPD}$$



La relación o porcentaje de gas libre presente a la entrada de la bomba con respecto al volumen total del fluido es:

#### ECUACIÓN 4.13 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE GAS LIBRE

$$\% \text{ Gas libre} = \frac{V_g}{V_t}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$\% \text{ Free Gas} = \frac{202.05 \text{ BGPD}}{1267.07 \text{ BFPD}} \cdot 100 = 15.946 \%$$

Como este valor es mayor que el 10% por volumen, tendrá mayor efecto en el desempeño de la bomba, por lo tanto, se requiere de un separador de gas.

De igual manera, existe suficiente gas como para que tenga afecte sobre la gravedad específica del compuesto del fluido del pozo a la entrada de la bomba.

La gravedad específica del compuesto, incluyendo el gas, puede ser determinada calculando primero la Masa Total del Fluido Producido (TMPF) de los datos originales dados:

#### ECUACIÓN 4.14 CÁLCULO DE LA MASA TOTAL DE FLUIDO PRODUCIDO

$$TMPF = \{(BOPD \cdot SP.Gr.oil + BOPD \cdot Sp.Gr.water) \cdot 62.4 \cdot 5.6146\} + (GOR \cdot BOPD \cdot Sp.Gr.gas \cdot 0.0752)$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$TMPF = \{(359.78 \times 0.86 + 705.24 \times 1.085) \times 62.4 \times 5.6146\} + (530 \times 359.78 \times 0.7 \times 0.0752)$$

$$TMPF = 386522.42 \text{ lbs/día}$$

#### ECUACIÓN 4.15 CÁLCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA COMPUESTA

$$\text{Gravedad específica compuesta} = \frac{TMPF}{BFPD \times 5.6146 \times 62.4}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$\text{Gravedad específica compuesta} = \frac{386522.42 \text{ lbs/día}}{1267.07 \times 5.6146 \times 62.4}$$

$$\text{Gravedad específica compuesta} = 0.871$$

Ahora que se conoce el volumen total del fluido que entra a la primera etapa de la bomba (1267 BFPD) y que se ha determinado la gravedad específica compuesta podemos continuar con el siguiente paso de diseño del sistema BES.

#### 4.4 PASO 4: CABEZA DINÁMICA TOTAL

Ahora con datos disponibles podemos determinar la cabeza dinámica total que la bomba requiere.

##### ECUACIÓN 4.16 CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA TOTAL

$$TDH = Hd + Ft + Pd$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

Hd: Distancia vertical en pies entre el nivel estimado de producción y la superficie:

##### ECUACIÓN 4.17 CÁLCULO DE LA CABEZA DINÁMICA

$$H_d = Pump.depth - \left( \frac{PIP \cdot 2.31 ft / psi}{Specific.Gravity} \right)$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$H_d = 8358 ft - \left( \frac{2184.1 psi \cdot 2.31 ft/psi}{0.871} \right)$$

$$H_d = 2565.43 ft$$

Ft: Pérdida por fricción de la tubería.

Pérdida por fricción en la cabeza = 40 ft /1000 ft (De Figura 4.1)

#### **ECUACIÓN 4.18 CÁLCULO DE LA PERDIDA DE FRICCIÓN EN LA CABEZA**

$$F_t = \frac{8358 \text{ ft} \cdot 40 \text{ ft}}{1000 \text{ ft}} = 334.32 \text{ ft}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

Pd: Presión de descarga (presión deseada de cabeza de pozo)

#### **ECUACIÓN 4.19 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE DESCARGA**

$$P_d = \frac{120 \text{ psi} \cdot 2.31 \text{ ft} / \text{psi}}{0.871} = 318.25 \text{ ft}$$

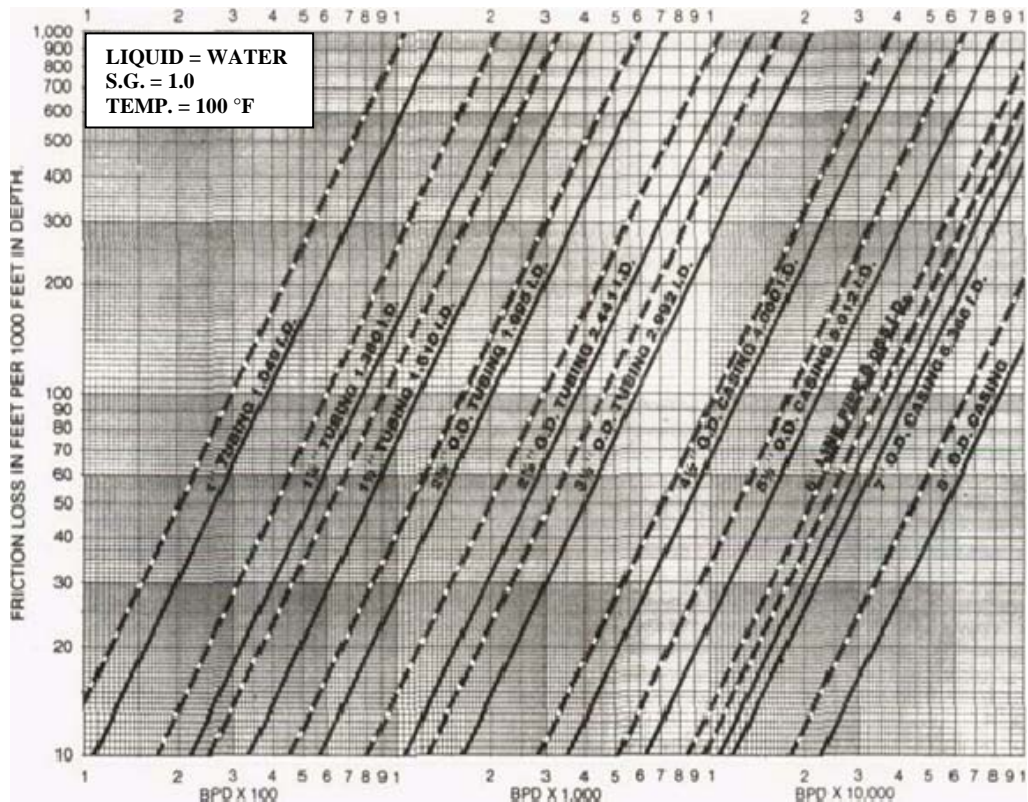
**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

TDH = 2565.43 ft + 334.32 ft + 318.25 ft

TDH = 3218 ft

**FIGURA 4. 1 PÉRDIDA DE FRICCIÓN DEL AGUA EN EL TUBING**



**Fuente:** Petroproducción

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### 4.5 PASO 5: SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA

Seleccionaremos el tipo de bomba con la eficiencia más alta a la capacidad calculada, 1080 BPD que se ajustará en el revestimiento. Seleccionaremos la bomba serie 400 y ubicaremos su curva de desempeño.

La cabeza en pies para una etapa a 1080 BPD es 14.43 pies. Los caballos de potencia al freno (BHP) por etapa es 0.644.

Para determinar el número total de etapas requeridas, se divide la cabeza dinámica total por la cabeza por etapa tomada de la curva:

#### **ECUACIÓN 4.20 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS DE LA BOMBA**

$$\text{Numero etapas} = \frac{\text{TDH}}{\text{Cabeza / etapas}}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$\text{Numero etapas} = \frac{3218 \text{ ft}}{14.43 \text{ ft}} = 223 \text{ etapas}$$

Luego, debemos remitirnos al catalogo (ver anexos No 1 y 3, tabla # 1 y figura 5.1, respectivamente) para ver los datos de la bomba serie 400. La bomba superior alberga un máximo de 108 etapas, la inferior 115 etapas. La suma de etapas de las dos bombas es de 223 etapas que es lo requerido por el TDH.

Una vez que se haya decidido el número máximo de etapas de la bomba, se calcula el total de caballos de potencia al freno requeridos como sigue:

#### **ECUACIÓN 4.21 CÁLCULO DE LA POTENCIA AL FRENO**

$$\text{BHP} = \text{BHP} / \text{etapa} \times \text{No. Etapas} \times \text{Gravedad específica compuesta}$$

$$\text{BHP} = 0.644 \times 223 \times 0.871$$

$$\text{BHP} = 125 \text{ HP}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### **4.6 PASO 6: TAMAÑO ÓPTIMO DE LOS COMPONENTES SEPARADOR DE GAS**

Si se requiere de un separador de gas, debemos remitirnos al catalogo para seleccionar es separador adecuado y determinar sus requerimientos de potencia.

- **Sello**

Normalmente la serie del sello es la misma que la de la bomba, aún cuando hay excepciones y hay disponibles adaptadores especiales para conectar las unidades. Elegiremos la serie 513, sello GSB.

El requerimiento de potencia para el sello depende de la cabeza total producida por la bomba. Las curvas de Potencia vs. TDH muestra el requerimiento de 3.2 caballos de fuerza para el funcionamiento del sello serie 513 con un TDH de 3218 pies. Por lo tanto, el requerimiento de potencia total para este ejemplo es de 91.5 HP para la bomba más 3.0 HP para el sello.

- **Motor**

Un motor de serie 540 debe usarse con la bomba de serie 400. En este ejemplo elegiremos el motor de serie 540 de 125 HP del catálogo (ver anexos No 5, tabla # 3). El voltaje del motor puede elegirse con base en las siguientes consideraciones

Los motores de alto voltaje y en consecuencia baja corriente, tienen menores pérdidas de cable y requieren de cables conductores de menor tamaño. Los motores de alto voltaje tienen características de encendido superiores: una característica que puede ser bastante importante si se esperan pérdidas de voltaje excesivas durante el encendido

Sin embargo, a mayor voltaje del motor, mayor costo tendrá el controlador del motor.

En algunos casos, los ahorros debidos al tamaño menor del cable pueden ser compensados por la diferencia en el costo del controlador del motor y puede ser necesario hacer un análisis económico para los diferentes voltajes de los motores. Sin embargo, para este ejemplo, elegimos el motor de alto voltaje. (125 HP 1605 Volts 48 Amps)

Al remitirse a la sección de Ingeniería se puede ver que todos los parámetros de funcionamiento están dentro de sus rangos recomendados (por ejemplo, el cojinete de empuje, capacidad de carga del eje, incremento repentino de la presión de la carcasa y velocidad del fluido)



## **4.7 PASO 7: CABLE ELÉCTRICO**

En este paso se procede a calcular todo lo concerniente al cable, tamaño, tipo, longitud y protección para el mismo.

### **4.7.1 DETERMINAR EL TAMAÑO DEL CABLE**

El tamaño del cable se determina con base en su capacidad de transportar corriente. Usando los amperios del motor (48) y el cuadro de caída de voltaje del cable en el catálogo, seleccione un tamaño de cable con una caída de voltaje de menos de 20 voltios cada 1000 pies. Todos los tamaños de los conductores (1 a 6) están en esta categoría. El cable #6 tiene una caída de voltaje de  $18.5 \times 1.201 = 22.2$  voltios/1000 pies y es el menos costoso. Este será el tamaño de cable que usaremos en nuestro ejemplo.

### **4.7.2 TIPO DE CABLE**

Debido a las condiciones gaseosas y a la temperatura de fondo se usaría el cable 200 Centrline (ver anexos No 6, tabla # 4). Se revisó para estar seguro que el diámetro del cable más el diámetro del cuello de la tubería es menor que el I.D. del revestimiento.

### **4.7.3 LONGITUD DEL CABLE**

La profundidad establecida de la bomba es 8358 pies. Con 120 pies de cable para las conexiones de la superficie, la longitud total del cable debe ser 8478 pies. También se

notará que la longitud del cable se encuentra dentro de la longitud máxima recomendada.

#### **4.7.4 VENTEO DEL CABLE**

Debe instalarse una caja de venteo del cable entre la cabeza del pozo y el controlador del motor para prevenir que pase gas al controlador.

### **4.8 PASO 8: EQUIPO ACCESORIO Y MISCELÁNEO**

Cable Plano – Motor Lead Extensión:

Longitud de bomba:	21.14 ft
Longitud de sello:	6.3 ft
Plus 6 ft:	6.0 ft
	<hr/>
Longitud total:	33.44 ft

Seleccionamos 35 ft de cable plano. ( ver anexos No 8, tabla # 5)

#### **4.8.1 GUARDAS DEL CABLE**

Las guardas del cable están disponibles en secciones de 6 pies, por lo tanto, 6 secciones serán suficientes.

#### **4.8.2 BANDAS DEL CABLE**

La bomba y sello son aproximadamente de 30 pies de largo. Se necesitarán bandas de 22 pulgadas para zunchar a la carcasa, manteniéndolas espaciadas a intervalos de 2 pies (15 bandas).

Sobre la bomba, para zunchar la tubería más el cable, se pueden usar bandas de 22 pulgadas. Las bandas deben estar espaciadas a intervalos de 15 pies. La profundidad establecida de 8358 pies requerirá de 557 bandas.

### **4.9 PASO 9: EQUIPO ACCESORIO DE FONDO DE POZO**

En este paso se procede a calcular algunos accesorios de fondo de pozo.

#### **4.9.1 NIPLE DE BOTELLA**

La salida de la bomba es de 2 7/8 pulgadas, así que no se requiere niple de botella para la tubería de 2 7/8 pulgadas.

#### **4.9.2 VÁLVULA CHECK**

Se requerirá de la válvula de retención de rosca redonda EUE 8 de 2 7/8 pulgadas.

### 4.9.3 VÁLVULA DE DRENADO

Se requerirá de la válvula de drenado de rosca redonda EUE de 2 7/8 pulgadas.

### 4.9.4 CONTROLADOR DE MOTOR

La selección del controlador del motor de basa en su voltaje, amperaje, y el KVA nominal. Por lo tanto, antes de seleccionar el controlador debemos primero determinar el voltaje del motor.

Asumiremos que el voltaje del controlador será el mismo que el voltaje de superficie que se envía al fondo de pozo. El voltaje de la superficie (SV) es la suma del voltaje del motor y la pérdida del voltaje total en el cable.

### ECUACIÓN 4.22 CÁLCULO DEL VOLTAJE DE LA SUPERFICIE

$$SV = 2145 + \left[ \frac{22.2 \text{ volts} \times 8508}{1000 \text{ ft}} \right]$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

$$SV = 2333.88$$

El amperaje del motor es 48 Amperios, el KVA ahora puede ser calculado:

#### ECUACIÓN 4.23 CÁLCULO DE KILO-VATIOS-AMPERIOS

$$KVA = \frac{SV \cdot Motor.Amp \cdot 1.73}{1000}$$

**Fuente:** Baker Hughes-Centrilift, The 9 Step Manuals, 1999.

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

$$KVA = \frac{2333.88 \times 48 \times 1.73}{1000}$$

$$KVA = 193.8$$

El controlador del motor 6H-CG se ajusta a estos requerimientos.

#### 4.9.5 TRANSFORMADOR

La selección del transformador está basada en el suministro de energía primaria disponible (12470 Volts), el requerimiento del voltaje secundario (2334 Volts) y el requerimiento de los KVA (194 KVA). Elegiremos 4 transformadores monofásicos 48.5 KVA como se muestra en el catálogo (ver anexos No 12, tabla # 8).

#### 4.9.6 CABLE DE SUPERFICIE

Seleccionaremos 55 pies de cable # 2 para conexión de la superficie a los transformadores.

#### 4.10 POZO SHUSHUFINDI SSFD 106D

A continuación se detallan los resultados de los cálculos realizados y la lista de equipos seleccionados para este pozo.

##### 4.10.1 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EJERCICIO

En la presente tabla se evidencia los resultados de los cálculos del ejercicio

**LISTA 4.1 RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DEL EJERCICIO**

<b>Índice de productividad (PI)</b>	1.44 bpd / psi
<b>Presión de fondo fluyente (Pwf)</b>	2525 psi
<b>Gravedad específica del agua (Gw)</b>	0.7085
<b>Gravedad específica del petróleo (Go)</b>	0.2984
<b>Gravedad específica del compuesto (Gt)</b>	1.01
<b>Presión de entrada de la bomba</b>	1544 psi
<b>Relación gas-petróleo (Rs)</b>	269.28 scf /stb
<b>Factor Volumétrico del petróleo (Bo)</b>	1.199 reservorio bbl / stock tanque bbl
<b>Factor Volumétrico del gas (Bg)</b>	2.87 bbl / mcf
<b>Volumen total del gas (Tg)</b>	143.1 mcf $\approx$ 25.487 bbls
<b>Gas en solución (Sg)</b>	104.4 mcf $\approx$ 12.948 bbls
<b>Volumen de gas libre</b>	11.66 mcf $\approx$ 12.539 bbls

<b>Volumen de petróleo a la entrada de la bomba (Vo)</b>	359.78 BOPD
<b>Volumen de gas libre a la entrada de la bomba (Vg)</b>	202.05 BGPD
<b>Volumen de agua a la entrada de la bomba (Vw)</b>	705.24 BWPD
<b>Volumen total de fluido a la entrada de la bomba (Vt)</b>	1267.07 BFPD
<b>Porcentaje de gas libre</b>	15.95 %
<b>Masa total de fluido producido (TMPF)</b>	386522.42 lbs/día
<b>Gravedad especifica compuesta</b>	0.871
<b>Cabeza dinámica (Hd)</b>	2565.43 ft
<b>Pérdida por fricción en la tubería (Ft)</b>	334.32 ft
<b>Presión de descarga</b>	318.25 ft
<b>Cabeza dinámica total</b>	3218 ft

**Fuente:** Resultados de los cálculos del ejercicio para el pozo Shushufindi SSFD 106D

**Elaborado por:** Cristhian Carranza Lucas

#### 4.10.2 LISTA DE EQUIPOS SELECCIONADOS E INSTALADOS

Campo: Shushufindi - Petroproducción

Pozo: SSFD 106D

### LISTA 4.2 EQUIPO DE SUPERFICIE

	Manufacturer	kVA	Pri Volts	Sec Volts	Impedance
STEP-DOWN TRANSFORMER	FOHAMA	300 kVA	13800 Vol	480 Vol	4,0%
STEP-UP TRANSFORMER	Schlumberger	300 kVA	480 Vol	2052 Vol	4,5%
	<b>Tipo</b>	<b>kVA</b>	<b>Amps</b>	<b>Motor Controler</b>	
DRIVE	Sinewave	390KVA	516 Amp	Uni Conn	

Fuente: Schlumberger - Reda

Elaborado por: Cristhian Carranza Lucas

### LISTA 4.3 EQUIPO DE SUBSUELO

ACCESORIO	Series		Descripción	Longitud
	Top 1	400	Cabeza de la bomba 400 3 1/2 8RD EUE	0,58
	2	540-400	Adaptador del protector 540 @ Gas Sp 400	0,33
	3	540	Adaptador del motor 540 @ Sensor 450	0,66
	4	5"½	Guia del motor 5" ½	2,1

BOMBAS	Series		Tipo	Etapas	Longitud
	Top 1	400	DN 1100	108	9,17
	2	400	DN 1100	115	11,97
	3	400	AGH		6,33

INTAKE	Series		Tipo	Longitud
	Top 1	400-375	SEPARADOR DE GAS	3,1

PROTECTOR	Series		Tipo	Serie Numero	Longitud
	Top 1	540	LSBPBSL-INC-RLOY-AFL	3FN4C00367	11,36



<b>MOTOR</b>		<b>Series</b>	<b>Volt</b>	<b>Amp</b>	<b>HP</b>	<b>Longitud</b>
	Top 1	540	1605	48	125	15,9

<b>CABLE</b>		<b>Profile</b>	<b>Tipo</b>	<b>AWG</b>	<b>Longitud</b>
	Top 1	FLAT	CENTRILINE	2/7	4239
	2	FLAT	CENTRILINE	2/7	4239
	3	FLAT	CENTRILINE	2/7	120
	MLE	FLAT	FLAT CABLE EXTENSIÓN	4	35

<b>DME</b>	<b>Tipo</b>	<b>Serie Numero</b>	<b>Longitud</b>
	PHOENIX TYPE 0	XT0-11229	1,83

**Fuente:** Schlumberger - Reda

**Elaborado por:** Crithian Carranza Lucas

## CAPÍTULO V

## **CAPÍTULO V**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- El sistema de levantamiento artificial de bombeo electrosumergible es uno de los más eficientes para la producción de pozos a grandes profundidades, con altos caudales, las cuales son características en la producción del pozo Shushufindi SSFD 106D.
- La presencia de gas en estado libre complica aún más los cálculos manuales y el programa computarizado es capaz de calcular un mayor número de puntos a lo largo del pozo, usando diferentes correlaciones de flujo multifásico y correlaciones para los cálculos de las propiedades PVT de los fluidos.
- El comportamiento de una bomba centrífuga se ve afectado significativamente por la presencia de gas libre en los pozos del campo Shushufindi. Mientras el gas permanezca en solución, la bomba se comporta normalmente como si estuviera bombeando un líquido de baja densidad, sin embargo, la bomba comienza a generar una altura de columna menor que la normal a medida que la relación gas/líquido (en condiciones de bombeo) aumenta más allá de ciertos valores "críticos" (generalmente 10% - 15% dependiendo del tipo de bomba). Esto debido principalmente a la separación de las fases líquido y gas en la etapa de la bomba y debido a un deslizamiento entre las dos fases.

- A pesar de que el gas libre tendrá un poco de densidad el efecto se puede ignorar en la gradiente total del dimensionamiento.
- Una de las grandes ventajas de usar equipos BES con sensores es que podemos tener un control de los equipos satelitalmente y podemos observar en tiempo real el comportamiento del yacimiento, el cual también nos permite variar parámetros en el variador de frecuencia remotamente e incluso podemos arrancar los equipos remotamente desde cualquier lugar.
- Pese a que existen equipos tradicionales para evaluación de pozos podemos optimizar el mismo equipo BES y hacer pruebas de producción a diferentes ratas. También es posible realizar con el sensor que está incluido dentro de la completación BES cierres de pozo, restauración de presiones y análisis de Build-Up, y de esta manera optimizamos gastos económicos.
- Un correcto dimensionamiento del equipo de bombeo electrosomergible, es uno de los principales factores para conseguir una vida operativa larga de los equipos y mantener una producción del pozo estable, un inapropiado dimensionamiento dará como resultado que las bombas operen fuera del rango recomendado, lo cual ocasionara desgastes prematuros y por ende fallas o daños en el equipo de subsuelo.
- El uso de un separador de gas rotativo en el pozo Shushufindi SSFD 106D, que posee una alta relación gas-petróleo, es muy importante, para evitar con ello que el gas ingrese a la bomba en un porcentaje considerable y reduzca el flujo de la bomba o forme un candado de gas y quede bloqueado sin poder producir.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para conseguir un buen dimensionamiento de un equipo BES, es indispensable disponer de datos confiables como son: PVT, pruebas de producción y la configuración mecánica del pozo adicionalmente a ello también es menester de que quien diseñe lo haga con un buen criterio esto quiere decir que prima la experiencia y el conocimiento técnico.
- Una sugerencia importante es el aprovechar las grandes ventajas de usar equipos sensores con los equipos BES; porque podemos tener un control de los equipos satelitalmente y observar en tiempo real el comportamiento del yacimiento, el cual también nos permite variar parámetros en el variador de frecuencia remotamente e incluso podemos arrancar los equipos remotamente desde cualquier lugar.
- Tener siempre en cuenta que aunque el equipo BES haya sido correctamente diseñado una instalación incorrecta seguramente causará una falla. Una apropiada instalación y manejo de los equipos serán determinante en el futuro de la operación.
- Por otro lado, las compañías de producción deben adoptar prácticas que sean compatibles con sus procedimientos normales y que a la vez permitan realizar un buen trabajo con unidades BES que finalmente se reanudará en beneficio de la propia operación.

- El uso de las completaciones de bombeo electrosurgible son cada vez más habituales, ya que estas combinan el monitoreo y control de la producción y requieren el uso de programas computarizados para el dimensionamiento y control del flujo sumamente confiables. Esto permitirá trabajar dentro de estrechos parámetros de operación y permitirá una conversión económica para el levantamiento artificial, pero cabe recalcar que el uso de los 9 Pasos nos ayudara a diseñar un apropiado sistema de bombeo electrosurgible para un pozo en particular, ya que este método es eficaz para dimensionar un equipo en situ.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ARCILLAS:** Son minerales muy pequeños con una micro estructura en capas y un gran área de superficie, los materiales arcillosos están formados por pequeñas partículas que son clasificadas según su estructura dentro de un grupo específico denominado minerales arcillosos.
- **ARENA “T inferior”:** Arena cuarzosa en secuencias métricas grano-decrecientes de grano grueso a muy fino, con estratificación cruzada en intercalaciones lutáceas. Tiene un importante contenido de glauconita, la misma que parece ya en la parte media y superior del cuerpo de “Ti”.
- **ARENAMIENTO:** Fenómeno donde material de la formación viaja hacia el pozo y la superficie como parte de los fluidos producidos.
- **ARENISCA:** Roca sedimentaria clástica formada por granos de arena cuyo tamaño varía entre 2 – 0,0625mm.
- **COMPLETACIÓN<sup>32</sup>:** Es la preparación de un pozo para ponerlo en producción. Después que un pozo es entubado y cementado, cada horizonte productivo es puesto en contacto permanente con el pozo, permitiendo el flujo de fluidos del reservorio hacia la superficie a través de la tubería de producción y el equipo apropiado para

---

<sup>32</sup> QUIROGA, KLEBER; *Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos*, Editorial Cepe, Edición 1991.

controlar la tasa de flujo. El contacto con cada horizonte puede ser alcanzado directamente (a hueco abierto) o por cañoneo a través de la tubería de revestimiento.

Otra definición.- Trabajos posteriores a la perforación que tienen por objeto poner el pozo en condiciones de producir.

- CORTE DE AGUA: Representa el porcentaje de agua que se produce con un barril de petróleo.
- DIFERENCIAL DE PRESIÓN: ( $P_s - P_{wf}$ ) Drawdown. Es la diferencia entre la presión existente en el límite exterior de un pozo y la presión de fondo de producción del mismo.
- FINO: Es aquella partícula que posea un tamaño entre el rango de 44 a 74 micrones.
- GRADIENTE DE PRESIÓN: Esta es la presión que ejerce el fluido por cada pie de altura del fluido.
- GRAVEDAD ESPECIFICA DEL PETRÓLEO ( $Y_o$ ): Es la relación de la densidad, o peso específico del proyecto con respecto a la densidad del agua a condiciones estándar.
- HERRAMIENTA “Y”: Es una herramienta en forma de “Y”, de ahí su nombre. Posee en su interior un sistema de comunicaciones y sello para desviar los fluidos provenientes de los equipos sumergibles por diferentes direcciones, permitiendo de



este modo la producción individual de los yacimientos. En su interior presenta una cavidad en la que se alojará un stinger conectado con una tubería de 2 3/8 pulgadas de diámetro, por la que se producirá de la zona inferior, Mientras que, por el espacio anular que queda entre ésta tubería y la herramienta Y de 5 1/2 pulgadas, el cual será sostenida por tubería del mismo diámetro se producirá de la zona superior.

- NEPLO “NO-GO”: Es una herramienta que permite se asiente la válvula estacionaria que funciona a manera de válvula "check" y permite probar la tubería que es desplazada hacia el fondo<sup>33</sup>.
- PRESIÓN: Es la fuerza por unidad de área de un fluido. Se puede considerar como un esfuerzo de compresión. Las unidades más comunes para expresar a la presión son libras por pulgada cuadrada (psi) y Kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo con el principio de Pascal, si la presión se aplica a la superficie de un fluido, esta presión es transmitida igualmente en todas las direcciones.
- PRESIÓN DE ENTRADA A LA BOMBA (PIP): En las operaciones con bombas electrocentrífugas nos interesa saber los pies de fluido sobre la bomba o la presión de entrada a la bomba.

Para definir correctamente este dato, es importante saber la gravedad específica o gradiente del fluido en el espacio anular de la tubería de revestimiento. Si se conoce

---

<sup>33</sup> QUIROGA, KLEBER; Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos, Editorial Cepe, Edición 1991.

el gradiente del fluido o la gravedad específica, podemos estimar la presión de entrada de la bomba o el nivel de fluido sobre la bomba<sup>34</sup>.

- **PRESIÓN DE BURBUJA (Pb):** La presión de burbuja de un hidrocarburo es la presión más alta a la cual las primeras moléculas de gas salen de solución y forman una burbuja de gas. Esta presión depende en parte de las propiedades del fluido.

El gas y el aceite conforman una mezcla de múltiples componentes y las cantidades de gas-aceite están determinadas por un equilibrio gas-líquido.<sup>35</sup>

- **PROTECTOLIZER:** También conocidas como “ clamps “, son piezas de acero muy resistente que se utilizan para sujetar las piezas individuales y realizar los acoples. Existen varios tipos de clamps, de acuerdo a las piezas que deban sujetar. Es así que tenemos los MLE Clamps, que se usan para sujetar y asegurar las secciones de los equipos electrosumergible.
- **RELACIÓN GAS – PETRÓLEO (GOR):** Es el volumen total de gas producido por día dividido por el volumen total de petróleo producido por día, las unidades de GOR son Scf/Stb. El GOR de producción es calculado en la superficie, por lo tanto se considera que todo el gas existente se encuentra en estado libre.
- **REDUCTORES:** Permiten el acople de tuberías de diferentes diámetros son también conocidos como "crossovers".

---

<sup>34</sup> SCHLUMBERGER; *Manual Bombeo Electrosumergible Español*, Plan de Entrenamiento 2008

<sup>35</sup> CORRALES, MARCOS; *Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP*. Manual Didáctico. Edición 2008

- **TUBOS CORTOS:** O también llamados pump joints, se usan para lograr un espaciamiento correcto de la sarta de completación. En el diseño se hace uso de una gran cantidad de estos tubos, los cuales pueden ser de diferentes longitudes, de acuerdo a las necesidades requeridas.
- **VÁLVULA CHECK:** Conocida comúnmente como Standing Valve, es una válvula de bola para altas presiones la cual es asentada y fijada en la cavidad del No-Go y esta se encuentra ubicada sobre el primer tubo que se encuentra por encima de la completación BES. El standing valve actúa a manera de válvula "check". Esta válvula permite el flujo desde el interior del pozo hacia el interior del tubing, pero no en sentido contrario.

## BIBLIOGRAFÍA

- PETROPRODUCCION, Historial de producción del pozo SSFD 106D.
- QUIROGA, KLEBER; Manual de Pruebas, Completación y Reacondicionamiento de Pozos Petrolíferos, Editorial Cepe, Edición 1991.
- HARVEY, J.C; Geología para Ingenieros Geotécnicos.
- CORRALES, MARCOS; Fundamentos para la Ingeniería del Levantamiento Artificial con ESP. Manual Didáctico. Edición 2008.
- CENTRILIFT, Submersible Pumps System Handbook, 2001. pp. 1-127
- BAKER HUGHES – CENTRILIF, The 9 Step Manuals, 1999.
- SCHLUMBERGER, Principios de Bombeo Electrosumergible, Plan de Entrenamiento 2008.
- SCHLUMBERGER, Bombas electrosumergibles, Aplicaciones Convencionales.
- SCHLUMBERGER, Submersible Pumps System Manual.
- SCHLUMBERGER, Sinewave Variable Speed Drive Manual.
- SCHLUMBERGER, ESP Watcher Manual.
- Información obtenida a través de Internet:
  - <http://es.wikipedia.org/wiki/Capacitor>
  - <http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo>
  - <http://es.wikipedia.org/wiki/Transistor>

# ANEXOS

## ANEXO No 1

### TABLA # 1 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS SERIE 400 SERIE



Centrilift

## F PUMPS - 400 SERIES

400 SERIES OPTIONAL CONFIGURATIONS (MODELS), BOLT-ON DISCHARGE, INTAKE AND GAS SEPARATOR

PART NUMBER	MODEL	DESCRIPTION	LENGTH		WEIGHT	
			FT.	M.	LBS.	KG.
		DISCHARGE				
41670	FPDIS	Discharge, 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " EUE 8Rd., Carbon Steel	0.51	0.16	9	4
41559	FPXDIS	Discharge, 2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " EUE 8Rd., Corrosion Resistant Metallurgy	0.51	0.16	9	4
45895	FPHVDIS <sup>4</sup>	Discharge, 2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> " EUE 8Rd., Carbon Steel	0.62	0.19	11	4
		INTAKE				
413000118	FPINT	Intake, Std., Carbon Steel	0.91	0.28	23	10
413000407	FPINTAR	Intake, Std., Carbon Steel with AR Bearing	0.91	0.28	23	10
413000134	FPXINT	Intake, Std., Corrosion Resistant Metallurgy	0.91	0.28	23	10
413000589	FPXINTAR	Intake, Std., Corrosion Resistant Metallurgy with AR Bearing	0.91	0.28	23	10
413000274	FPDSINT	Intake, 400 Pump-338 Seal, Carbon Steel	0.96	0.29	24	10
		RGS - ROTARY GAS SEPARATOR				
413000068	FPAINT <sup>1</sup>	Gas Separator, Reverse Flow, Carbon Steel	2.15	0.66	50	22
423000082	FRSBR <sup>2</sup>	Rotary Gas Separator, Carbon Steel, Premium Alloy Bearing	2.67	0.81	75	34
423000058	FRSXB <sup>2</sup>	Rotary Gas Separator, Corrosion Resistant	2.67	0.81	75	34
423000090	FRSXBAR <sup>2</sup>	Rotary Gas Separator, Corrosion Resistant, Premium Alloy Bearing	2.67	0.81	75	34
423000744	FRSTBAR <sup>2</sup>	Rotary Gas Separator, Tandem, Carbon Steel, Premium Alloy Bearing	4.45	1.36	150	68
423000769	FRSTXBAR <sup>2</sup>	Rotary Gas Separator, Tandem, Corrosion Resistant, Premium Alloy Bearing	5.34	1.62	150	68

400 SERIES PUMP ADAPTER KITS

PART NUMBER	MODEL	DESCRIPTION	LENGTH		WEIGHT	
			FT.	M.	LBS.	KG.
42669	FP/DS	400 Pump-338 Seal, Standard Fastener	0.17	0.05	8	3.6
44522	FP/DSX	400 Pump-338 Seal, Corrosion Resistant Fastener	0.17	0.05	8	3.6
43269	FP/GS <sup>3</sup>	400 Pump-513 Seal, Standard Fastener	0.10	0.03	8	3.6
43490	FPX/GSX <sup>3</sup>	400X Pump-513X Seal, Corrosion Resistant Metallurgy	0.10	0.03	8	3.6
42505	FP/GINT	400 Pump-513 Intake, Standard Fastener	0.14	0.04	10	4.5
44523	FP/GINTX	400 Pump-513 Intake, Corrosion Resistant Metallurgy	0.14	0.04	10	4.5
49200	FRS/GS <sup>4</sup>	400 Gas Separator to 513 Seal, Standard Fastener	0.10	0.03	8	3.6
49201	FRSX/GSX <sup>4</sup>	400 Gas Separator to 513 Seal, Corrosion Resistant Fastener	0.10	0.03	8	3.6

NOTES	
1	Maximum flow rate of 2500 BFPD.
2	Maximum flow rate of 4400 BFPD. FRS BHP required = 4.5; FRST BHP required = 9.0 The gas separator to be used with the FC4300 & FC6000 requires special order.
3	For use with all 400 series pumps except FC4300 & FC6000
4	For use only with high volume pumps (FC4300 & FC6000).

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla



## F PUMPS - 400 SERIES

### 400 SERIES PUMP OPTIONAL FEATURES

PART NUMBER	DESCRIPTION
	Corrosion Resistant Housing, Head, Base and Fasteners (MT Pump Only)
	Corrosion Resistant Coating (Fasteners not included)
	Coating Removal During Equipment Repair
	Corrosion Resistant Fasteners - Per Flange Connection
	High Strength Shaft (Monel)
	High Strength Shaft (Inconel)
42076	Screen, Junk, 400 Series Intake, Stainless Steel
48016	Screen, Integral Intake FP and FPLT
49274	Screen, 400 Rotary Gas Separator
	No Bronze Construction
	Rubber Bearings
	Tapered Pump Design

### ADDITIONAL MODEL CONFIGURATION OPTIONS

The following information is provided for use in conjunction with the corresponding pump model tables which follow. The chart at the bottom of the page is used to calculate price adders for configurations other than MT - Middle Tandem.

### DESCRIPTIONS

FPMT	Middle tandem pump, requires bolt-on discharge and intake to run as a single pump.
FPVMT	Middle tandem high volume pump, must be run with lower tandem high volume pump.
FP	Pump with integral discharge and intake.
FPUT	Upper tandem pump with integral discharge, requires bolt-on intake if not run with lower tandem pump.
FPLT	Lower tandem pump with integral intake, requires bolt-on discharge if not run with upper tandem pump.
FPHVLT	Middle tandem high volume pump, requires high volume bolt-on discharge if not run with upper tandem pump.

### ADDITIONAL MODEL CONFIGURATION OPTIONS (additions to the subsequent tables)

MODEL TYPE	MAX. NO. STAGES	LENGTH *		WEIGHT**	
		FT.	M.	LBS.	KG.
FP		0.4	0.12	10	4
FPUT	SAME	0.2	0.06	4	2
FPLT	AS	0.2	0.06	6	3
FPVMT	TABLES	0.2	0.06	6	3
FPHVLT		0.2	0.06	6	3

\* For shipping length - add 0.2 Feet (0.06 M) per shipping cap. \*\* For shipping weight - add these numbers to the subsequent tables.

**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 2

### TABLA # 2 DATOS DE SELECCIÓN DE LAS BOMBAS



Centrilift

### PUMP SELECTION DATA

Series	Type	60Hz (BPD)			50Hz (M <sup>3</sup> /D)		
		Rate @ Best Efficiency	Operating Range		Rate @ Best Efficiency	Operating Range	
338	DC750	750	550	1000	99	73	132
	DC800	750	550	950	99	73	126
	DC950	950	600	1300	126	79	172
	DC1000	950	600	1300	126	93	172
	DC1250	1200	950	1700	159	126	225
	DC2200	2300	1000	2760	305	132	366
	DC2500	2400	1200	3100	318	159	411
400	FS400	400	250	530	53	33	70
	FS650	650	520	850	86	69	113
	FS950	940	700	1200	125	93	159
	FS1200	1200	900	1520	159	119	201
	FS1650	1620	1200	2100	215	159	278
	FC450	450	200	625	60	26	83
	FC650	630	450	800	83	60	106
	FC925	900	700	1150	119	93	152
	FC1200	1140	900	1550	151	119	205
	FC1600	1660	1000	2100	220	132	278
	FC1800	1800	1000	2500	238	132	331
	FC2200	2300	1500	2800	305	199	371
	FC2700	2650	1500	3300	351	199	503
	FC4300	4300	3200	5400	570	424	715
	FC6000	5600	3600	6800	742	477	901
	FCNPSH	3650	250	4750	484	33	629
513	GS2300	2450	1500	3000	325	199	397
	GC1150	1180	750	1500	156	99	199
	GC1700	1800	1300	2300	238	172	305
	GC2200	2200	1500	3000	291	199	397
	GC2900	2800	1500	3500	371	199	464
	GC3000	2900	2200	3600	384	291	477
	GC3500	3600	2200	4400	477	291	583
	GC4100	4000	2500	5000	530	331	662
	GC6100	6300	3650	8100	835	484	1073
	GC8200	8000	4400	10000	1060	583	1325
	GC10000	9500	4400	12000	1259	583	1590
	GCNPSH	7600	500	11500	1007	66	1524
562	KC12000	12000	9500	14500	1590	1259	1921
	KC15000	14500	11250	18750	1921	1490	2484
	KC16000	16000	11250	20000	2120	1490	2650
	KC20000	19000	17500	24000	2517	2318	3180
675	HC7000	6800	4500	9000	901	596	1192
	HC9000	8800	6000	11500	1166	795	1524
	HC12000	11500	7500	15000	1524	994	1987
	HC19000	19400	12000	24500	2570	1590	3246
	HC27000	28000	23500	33600	3710	3113	4451
	HC35000	36000	33500	46000	4769	4438	6094
875	IA600	21000	10300	27500	2783	1365	3643
	IB700	24500	12700	32200	3246	1683	4266
1025	JA1100	36500	19200	45900	4836	2544	6081
	JB1300	43000	19900	58900	5697	2636	7803

**NOTE:** Catalog pump curves represent the performance measurements of a standard floater or fixed impeller centrifugal pump. Performance curves for nonstandard pumps i.e., compression pumps, AR pumps, tapered pumps, etc., can be requested at the Centrilift location of assembly.

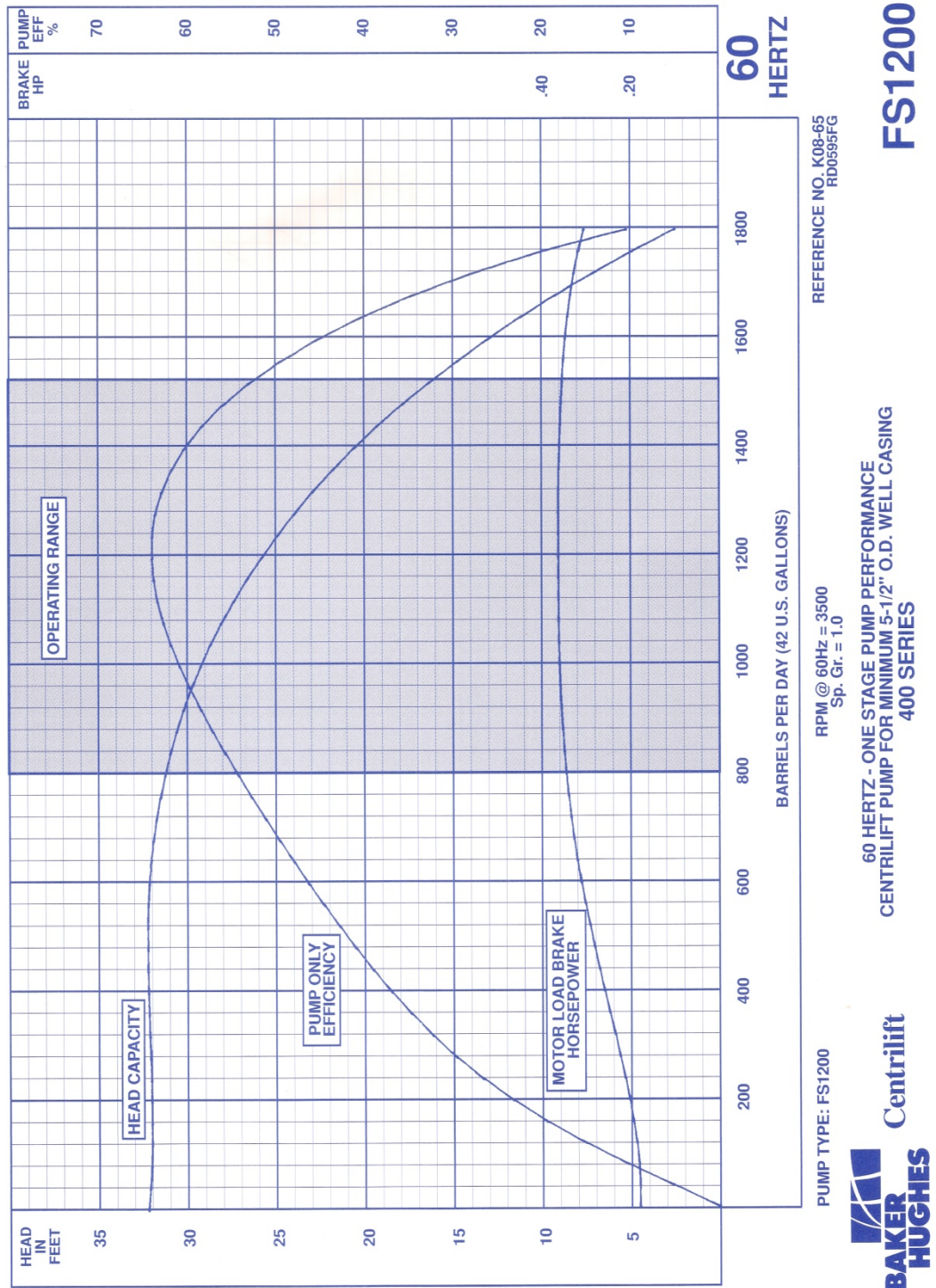
**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 3

**FIGURA 5.1 CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA SERIE 400**

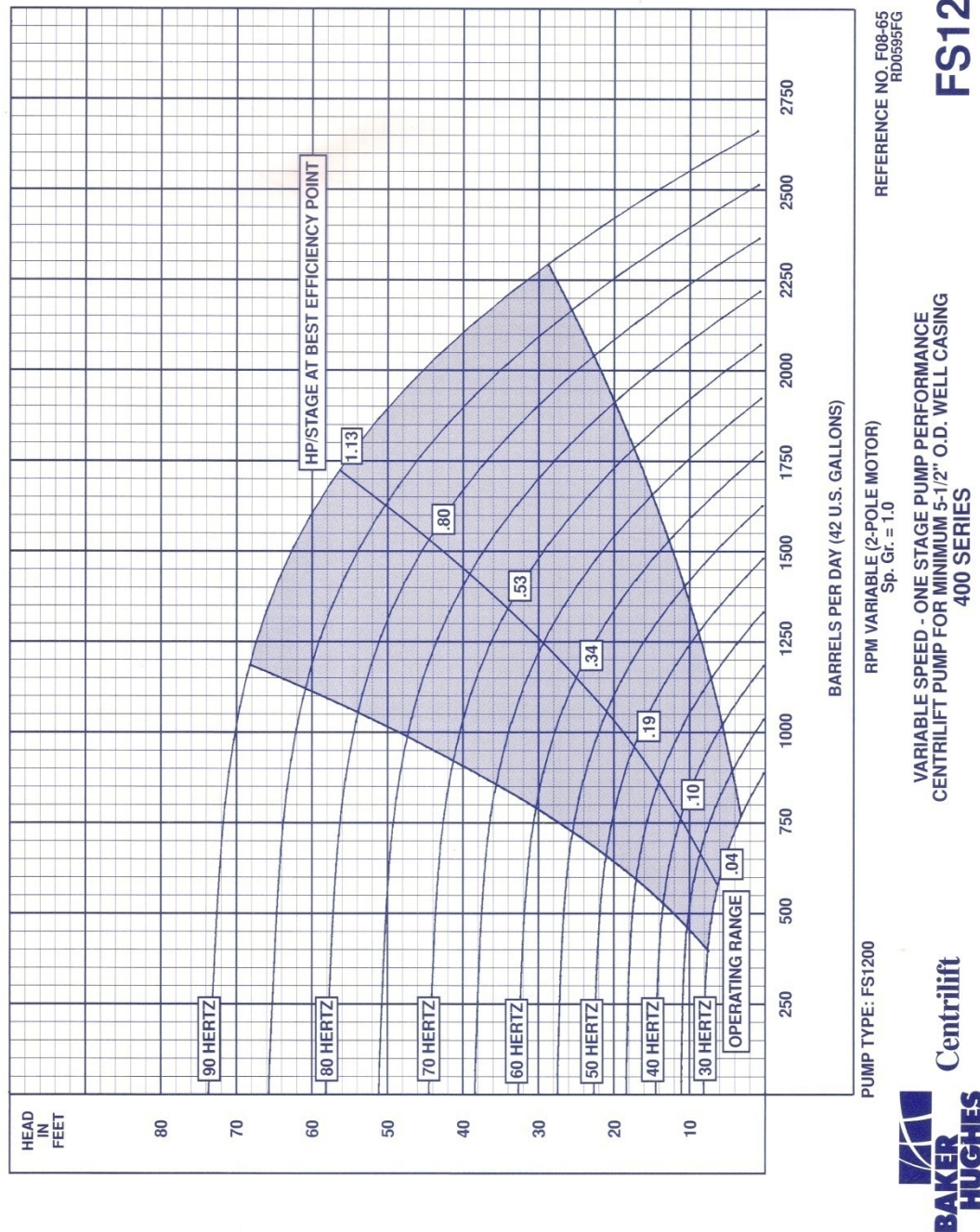


**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift

## ANEXO No 4

**FIGURA 5.2 CURVA DE VARIACIONES EN LA VELOCIDAD DE LA BOMBA SERIE 400**



**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 5

### TABLA # 3 SELECCIÓN DE MOTORES SERIE 544

## 544 SERIES MOTORS



544 SERIES MODEL GMF (STANDARD METALLURGY ONLY)

5.44 INCH (138.2 MM) O.D.

SIZE HP		VOLT/AMPS		LENGTH *		WEIGHT	
60 HZ	50 HZ	60 HZ	50 HZ	FT.	M.	LBS.	KG.
30	25	440/45	367/45	4.60	1.40	336	153
30	25	795/24	662/24	4.60	1.40	336	153
30	25	1240/16	1033/16	4.60	1.40	336	153
50	42	450/70	375/70	6.00	1.83	432	196
50	42	780/40	650/40	6.00	1.83	432	196
50	42	1170/27	975/27	6.00	1.83	432	196
63	52	860/47	717/47	7.40	2.26	528	240
63	52	1210/33	1008/33	7.40	2.26	528	240
63	52	1560/26	1300/26	7.40	2.26	528	240
75	62	845/56	704/56	8.80	2.68	624	283
75	62	1270/38	1058/38	8.80	2.68	624	283
75	62	1705/28	1421/28	8.80	2.68	624	283
100	83	925/71	771/71	10.2	3.11	720	327
100	83	1330/49	1108/49	10.2	3.11	720	327
100	83	2130/31	1775/31	10.2	3.11	720	327
125	104	1245/67	1037/67	13.0	3.96	912	413
125	104	2150/39	1792/39	13.0	3.96	912	413
150	125	1280/76	1067/76	15.7	4.79	1096	497
150	125	2160/45	1800/45	15.7	4.79	1096	497
188	157	1295/96	1079/96	18.5	5.64	1288	584
188	157	2100/59	1750/59	18.5	5.64	1288	584
225	187	2260/65	1883/65	22.7	6.93	1535	698
275	229	2330/78	1942/78	26.9	8.21	1876	853
275	229	2730/66	2275/66	26.9	8.21	1876	853
300	250	2140/91	1783/91	29.6	9.02	2048	929
300	250	2580/76	2150/76	29.6	9.02	2048	929
330	275	2350/92	1958/92	32.4	9.88	2240	1016
330	275	2840/76	2367/76	32.4	9.88	2240	1016

\* For shipping length - add 0.2 Feet (0.06 M) per shipping cap.

NOTES
The above motor ratings represent nominal well conditions. Contact your Centrillift sales representative for special applications.

**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrillift

## ANEXO No 6

### TABLA # 4 SELECCIÓN DEL CABLE DEL MOTOR



Centrilift

## MOTOR LEAD CABLE

#### 450 SERIES MOLDED POTHEADS (cont'd)

PART NUMBER	TYPE	LENGTH		ARMOR	AWG.	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
		FT.	M.			IN.	MM.	LBS.	KG.
46107	LEAD-4KV	20	6.1	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	22	7.3
49987	LEAD-4KV	40	12.2	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	42	14.1
46109	LEAD-4KV	55	16.8	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	58	19.1
46110	LEAD-4KV	70	21.3	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	73	24.5
46111	LEAD-4KV	90	27.4	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	94	31.8
46112	LEAD-4KV	110	33.5	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	114	41.5
58916	LEAD-4KV	130	40.0	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	136	61.5

#### 450 SERIES TWO-PIECE POTHEADS

PART NUMBER	TYPE	LENGTH		ARMOR	AWG.	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
		FT.	M.			IN.	MM.	LBS.	KG.
49930	KT-3-4KV	20	6.1	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	15	6.8
49931	KT-3-4KV	40	12.2	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	29	13.3
49932	KT-3-4KV	55	16.8	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	40	18.1
49933	KT-3-4KV	70	21.3	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	51	22.9
49934	KT-3-4KV	90	27.4	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	65	29.4
49935	KT-3-4KV	110	33.5	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	79	35.8

49923	KHT-5KV	20	6.1	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	14	6.2
49924	KHT-5KV	40	12.2	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	27	12.0
49925	KHT-5KV	55	16.8	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	36	16.4
49926	KHT-5KV	70	21.3	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	46	20.7
49927	KHT-5KV	90	27.4	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	59	26.5
49928	KHT-5KV	110	33.5	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	71	32.3

54748	LEAD-4KV	20	6.1	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	19	8.6
54749	LEAD-4KV	40	12.2	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	42	19.1
54750	LEAD-4KV	55	16.8	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	58	26.1
54751	LEAD-4KV	70	21.3	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	73	33.1
54752	LEAD-4KV	90	27.4	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	94	42.4
54753	LEAD-4KV	110	33.5	Monel	6	0.45X1.12	11.4X28.3	114	51.8

#### 544/562 SERIES MOLDED POTHEADS

PART NUMBER	TYPE	LENGTH		ARMOR	AWG.	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
		FT.	M.			IN.	MM.	LBS.	KG.
49730	KT3-4KV	20	6.1	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	15	6.8
49731	KT3-4KV	40	12.2	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	29	13.3
49732	KT3-4KV	55	16.8	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	40	18.1
49733	KT3-4KV	70	21.3	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	51	22.9
49734	KT3-4KV	90	27.4	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	65	29.4
49735	KT3-4KV	110	33.5	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	79	35.8
49736	KT3-4KV	200	61	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	143	64.8

51679	KT3-4KV	20	6.2	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	15	6.7
51680	KT3-4KV	40	12.2	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	29	12.9
51681	KT3-4KV	55	16.8	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	40	18.1
51682	KT3-4KV	70	21.3	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	49	22.3
51683	KT3-4KV	90	27.4	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	63	28.6
51697	KT3-4KV	110	33.5	Galv.	5	0.45X1.20	11.4X30.4	77	34.8

\* For non-standard lengths, please contact your Centrilift sales representative.

Continúa en la siguiente página



Continuación de la tabla



## MOTOR LEAD CABLE

### 544/562 SERIES MOLDED POTHEADS (cont'd)

PART NUMBER	TYPE	LENGTH *		ARMOR	AWG.	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
		FT.	M.			IN.	MM.	LBS.	KG.
49437	KHT-5KV	20	6.1	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	14	6.2
49438	KHT-5KV	40	12.2	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	27	12.0
49439	KHT-5KV	55	16.8	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	36	16.4
49440	KHT-5KV	70	21.5	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	46	20.7
49441	KHT-5KV	90	27.4	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	59	26.5
49442	KHT-5KV	110	33.5	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	71	32.3
49443	KHT-5KV	200	61.0	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	129	58.5
42860	LEAD-4KV	20	6.1	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	27	12.0
49989	LEAD-4KV	40	12.2	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	52	23.6
42862	LEAD-4KV	55	16.8	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	71	32.3
42863	LEAD-4KV	70	21.3	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	91	41.0
42864	LEAD-4KV	90	27.4	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	116	52.6
42865	LEAD-4KV	110	33.5	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	142	64.3
57563	LEAD-4KV	140	43.1	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	181	82.1
42866	LEAD-4KV	200	61.0	Monel	4	.497X1.241	12.6X31.5	257	116.5
55236	KHT-5KV	20	6.1	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	14	6.4
55237	KHT-5KV	40	12.2	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	29	13.2
55238	KHT-5KV	55	16.8	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	40	18.1
55239	KHT-5KV	70	21.5	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	50	24.9
55240	KHT-5KV	90	27.4	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	65	29.5
55241	KHT-5KV	110	33.5	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	79	35.8
55242	KHT-5KV	200	61.0	Galv.	4	.428X1.149	10.8X29.2	144	65.3
55243	KHT-5KV	20	6.1	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	14	6.4
55244	KHT-5KV	40	12.2	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	29	13.2
55245	KHT-5KV	55	16.8	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	40	18.1
55246	KHT-5KV	70	21.5	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	50	24.9
55247	KHT-5KV	90	27.4	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	65	29.5
55248	KHT-5KV	110	33.5	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	79	35.8
55249	KHT-5KV	200	61.0	Monel	4	.428X1.149	10.8X29.2	144	65.3

### 544/562 SERIES TWO-PIECE POTHEADS (cont'd)

PART NUMBER	TYPE	LENGTH		ARMOR	AWG.	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
		FT.	M.			IN.	MM.	LBS.	KG.
49944	KT-3-4KV	20	6.1	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	15	6.8
46645	KT-3-4KV	40	12.2	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	29	13.3
49946	KT-3-4KV	55	16.8	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	40	18.1
49947	KT-3-4KV	70	21.3	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	51	22.9
49948	KT-3-4KV	90	27.4	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	65	29.4
49949	KT-3-4KV	110	33.5	Monel	5	0.45X1.20	11.4X30.4	79	35.8
49937	KHT-5KV	20	6.1	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	14	6.2
49938	KHT-5KV	40	12.2	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	27	12.0
49939	KHT-5KV	55	16.8	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	36	16.4
49940	KHT-5KV	70	21.3	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	46	20.7
49941	KHT-5KV	90	27.4	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	59	26.5
49942	KHT-5KV	110	33.5	Monel	5	0.41X1.07	10.4X27.2	71	32.3

\* For non-standard lengths, please contact your Centrilift sales representative.

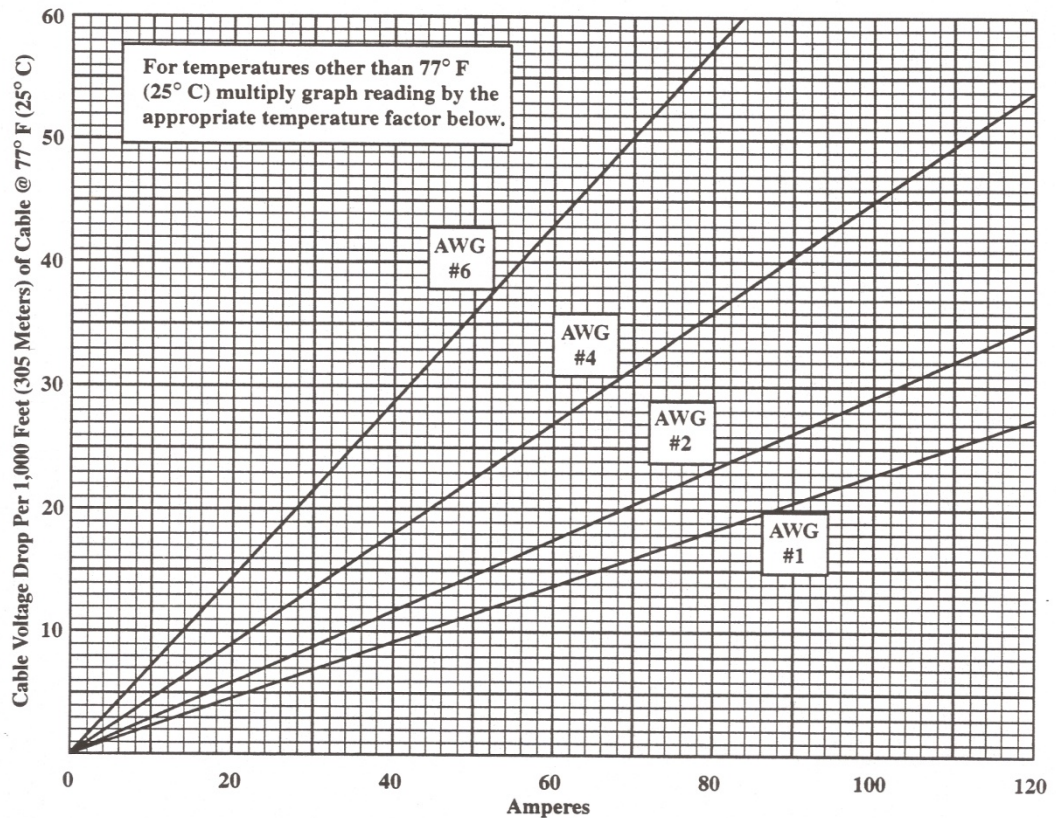
**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift

## ANEXO No 7

FIGURA 5.3 CAÍDA DE TENSION EN EL CABLE

### CABLE VOLTAGE DROP



Temperature Correction Factors (TFC) table based on Conductor Temperature (°F) and the following:  
 $TCF = 1 + 0.00214 * (°F - 77)$

Temp. °F (°C)	Multiplying Factor	Temp. °F (°C)	Multiplying Factor	Temp. °F (°C)	Multiplying Factor
100 (38)	1.049	170 (77)	1.199	240 (116)	1.349
110 (43)	1.071	180 (82)	1.220	250 (121)	1.370
120 (49)	1.092	190 (88)	1.242	260 (127)	1.392
130 (54)	1.113	200 (93)	1.263	270 (132)	1.413
140 (60)	1.135	210 (99)	1.285	280 (138)	1.434
150 (66)	1.156	220 (104)	1.306	290 (143)	1.456
160 (71)	1.178	230 (110)	1.327	300 (159)	1.477

1. Determine voltage drop from chart above.
2. Determine conductor temperature from applicable ampacity chart (pp 13-16)
3. Use table above (or formula) to determine Temperature Correction Factor.
4. True Voltage Drop = Chart Voltage Drop multiplied by Temperature Correction Factor

**Fuente:** Electrical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 8

### TABLA # 5 SELECCIÓN DEL CABLE DE PODER CENTRILINE

## CENTRILINE™ POWER CABLE



#### CPE, ROUND POLYETHYLENE, NO ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76471	1	3	1.20	30.5	1.18	1.76
76470	2	3	1.12	28.40	0.97	1.44
76022	4	3	0.95	24.10	0.65	0.97
76023	6	3	0.86	21.80	0.47	0.70

#### CPNR, ROUND WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76413	1	5	1.36	34.5	1.69	2.51
76414	2	5	1.29	32.8	1.47	2.19
76120	4	5	1.18	29.9	1.14	1.70

#### CPNF, FLAT WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76417	1	5	0.73X1.90	18.6X48.3	1.57	2.33
76418	2	5	0.70X1.80	17.8X45.7	1.37	2.04
76128	4	5	0.65X1.64	16.5X41.7	1.07	1.59

#### CPL, FLAT WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76701	1	5	0.66X1.74	16.8X44.1	2.29	3.40
76700	2	5	0.63X1.64	16.0X41.7	2.05	3.05
76643	4	5	0.58X1.48	14.6X37.6	1.65	2.46

#### CENR, ROUND WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76409	1	5	1.38	35.1	1.73	2.57
76407	2	5	1.31	33.3	1.51	2.25
76243	4	5	1.19	30.2	1.18	1.76

#### CENF, FLAT WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76405	1	5	0.78X2.04	19.8X51.8	1.70	2.53
76403	2	5	0.75X1.95	19.1X49.5	1.49	2.22
76250	4	5	0.69X1.79	17.5X45.5	1.16	1.73

Continua en la siguiente pagina

Continuación de la tabla



Centrilift

## CENTRILINE™ POWER CABLE

### CEBR, ROUND WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76636	1	5	1.44	35.8	1.75	2.60
76651	2	5	1.34	34.0	1.53	2.28
76650	4	5	1.22	31.0	1.19	1.77
76652	1/0	5	1.57	39.0	2.20	3.27

### CEER, ROUND WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76401	1	5	1.38	35.1	1.70	2.53
76400	2	5	1.31	33.3	1.49	2.22
76236	4	5	1.19	30.2	1.16	1.73

### CEEF, FLAT WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76386	1	5	0.74X1.93	18.8X49.0	1.61	2.40
76387	2	5	0.71X1.84	18.0X46.7	1.41	2.10
76388	4	5	0.66X1.68	16.8X42.7	1.11	1.65

### CEL, FLAT WITH GALVANIZED ARMOR

PART NUMBER	SIZE AWG	KV RATING	NOMINAL DIMENSIONS		WEIGHT	
			IN.	MM.	LB/FT.	KG/M
76675	1	5	0.64X1.76	16.3X44.7	2.36	3.51
76676	2	5	0.61X1.66	15.5X42.2	2.11	3.14
76679	4	5	0.56X1.55	14.2X39.4	1.92	2.86

Dimensions/Weights are based on solid copper conductor

Nominal Dimensions are +/- 0.040"

Weights are +/- 8%

### OPTIONS

Stranded Conductor

Heavy Galvanized Steel, Stainless Steel or Monel Armor

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift

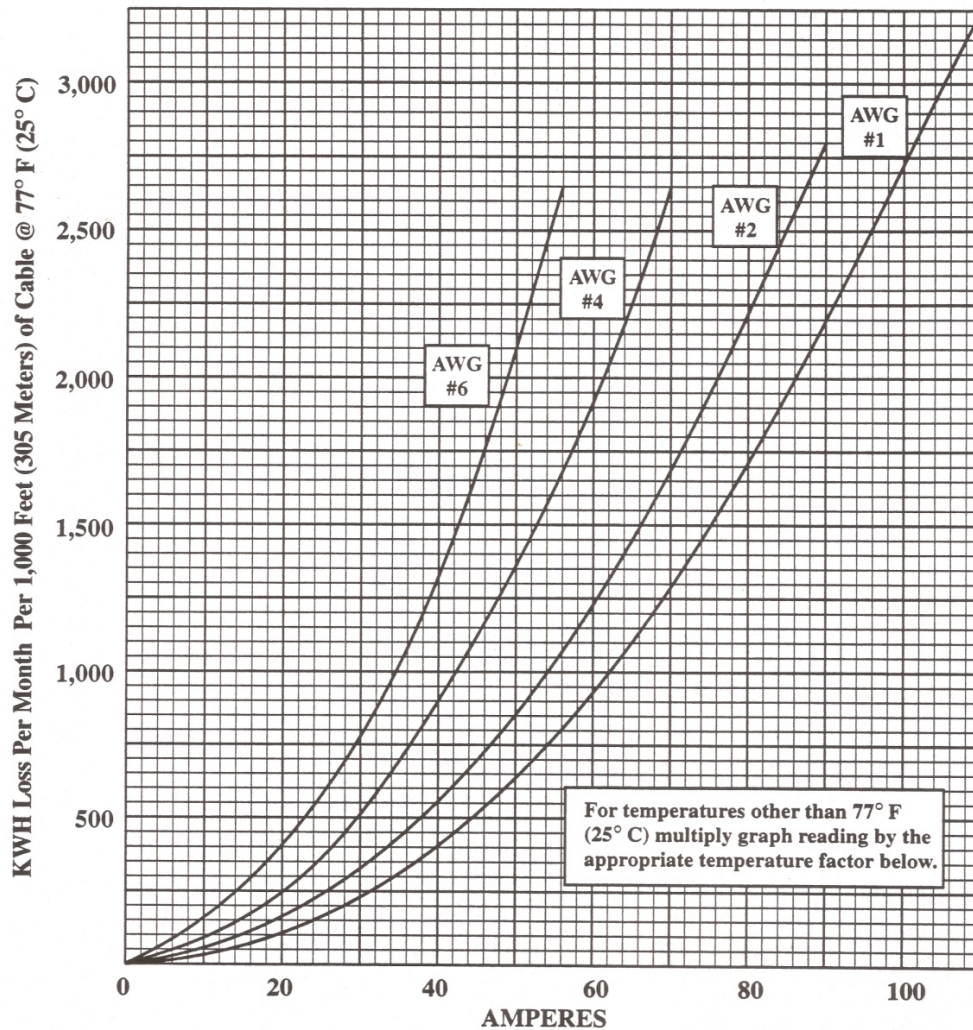


## ANEXO No 9

**FIGURA 5.4 PERDIDAS EN CABLE KILOWATIOS-HORA**

**KILOWATT-HOUR LOSS IN CABLE**

**BAKER HUGHES** **Centrilift**



Temp. °F (°C)	Multiplying Factor	Temp. °F (°C)	Multiplying Factor	Temp. °F (°C)	Multiplying Factor
100 (38)	1.049	170 (77)	1.199	240 (116)	1.349
110 (43)	1.071	180 (82)	1.220	250 (121)	1.370
120 (49)	1.092	190 (88)	1.242	260 (127)	1.392
130 (54)	1.113	200 (93)	1.263	270 (132)	1.413
140 (60)	1.135	210 (99)	1.285	280 (138)	1.434
150 (66)	1.156	220 (104)	1.306	290 (143)	1.456
160 (71)	1.178	230 (110)	1.327	300 (159)	1.477

12

Note: Refer to Ampacity Charts for Power Cables to determine conductor temperature.

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift

## ANEXO No 10

### TABLA # 6 SELECCIÓN DE SWITCHBOARDS

## SWITCHBOARDS



#### NEMA 3R WITH SOLID STATE CONTROLS

MODEL	KVA *	VOLTS *	AMPS	HEIGHT		WIDTH		DEPTH		WEIGHT	
				IN.	CM.	IN.	CM.	IN.	CM.	LBS.	KG.
2C-SSC	37	480	45	55	140	30	76	15	38	375	170
3C-SSC	75	480	90	55	140	30	76	15	38	380	172
4C-SSC	112	480	135	55	140	30	76	15	38	385	175
5C-SSC	224	480	270	79	140	30	76	15	38	390	177

MODEL	KVA *	VOLTS *	AMPS	HEIGHT		WIDTH		DEPTH		WEIGHT	
				IN.	CM.	IN.	CM.	IN.	CM.	LBS.	KG.
1500-SSC	415	1500	160	79	201	36	91	30	76	775	351
2400-SSC	664	2400	160	79	201	36	91	30	76	800	362
3300-SSC	913	3300	160	79	201	36	91	30	76	800	362
4800-SSC	1660	4800	200	79	201	36	91	30	76	850	385
33MR-SSC	913	3300	160	79	201	36	91	30	76	850	385

\* Input voltage must equal above rated voltage to achieve rated KVA of controller. Ratings are at 60 Hz.

#### OPTIONS - FACTORY INSTALLED

##### VORTEX MOTOR CONTROLLER

VMC 100 Controller

VMC 101 Display with VCB-08-DD Cable

##### RECORDING AMMETER

##### THREE PHASE VOLTAGE MONITORING OPTION

##### INDICATING LIGHTS, TOP MOUNTED

Green (Run)

Amber (Shutdown, Automatic Restart)

Red (Shutdown, Lockout)

Rotating Beacon, Red (Shutdown, Lockout)

##### MOV POLE MOUNT SURGE ARRESTOR for 1500V and above (3 required)

##### PHD SURFACE OPTION

Surface Inductor Package and Signal Conditioner for use with Vortex Controller.

(Surface components only, see Motor Options for Downhole Unit.)

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla



Centrilift

## SWITCHBOARDS

P/N	OPTIONS - INDIVIDUAL, SHIPPED SEPARATE
	VORTEX MOTOR CONTROLLER
50408	VMC-100 Controller
50409	VMC-101 Display, mounts in Recording Ammeter
51859	PMD-129 Display, weatherproof, mounts through the controller door
50506	VCB-08-DD Cable
50412	VPT-121 Transformer, 800-3000 Volts
	VORTEX BACKSPIN & GROUND FAULT
55107	VBG-135 Backspin/Ground Fault Relay
50509	VBP-113 Probes, set of three
	VORTEX MODEM/RADIO POWER SUPPLY
55704	VMP-111H, High Power, 10.0 Amp Max. with RS-232/485
50512	VMP-108H, 7.0 Amp maximum continuous
58945	VCI-141, Communications Adapter, RS-232/422/485 and PTT
50507	VCB-09-DW Modem Cable
	AUXILIARY POTENTIAL TRANSFORMERS FOR THREE PHASE VOLTAGE MONITORING
54474	600-3300 Volts Input
54475	3300-5000 Volts Input

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 11

### TABLA # 7 SELECCIÓN ELECTROSPEED ICS

## ELECTROSPEED® ICS



#### OPTIONS FACTORY INSTALLED

##### CUSTOMER INTERFACE BOARD

This option provides all digital and analog input/output for most applications.

Outputs: 3-Digital (Form C Relay Contacts)

5-Analog (0-1mA, 0-10V)

Inputs: 8-Digital (Dry Contacts)

2-Analog (0-5V, 0-10V, 4-20mA, 10-50mA)

##### AUXILIARY RELAY BOARD

Provides three additional Form C Relay outputs for the Customer Interface Board.

##### ANALOG INPUT BOARD (P.I.D. LOOP CONTROLLER)

Provides two analog inputs. Use instead of Customer Interface Board where only analog inputs are required.

##### CONTROL POWER TRANSFORMER (NEMA 3 only)

Provides 350 VA at 115 Volts from 460 Volt input.

##### TRANSIENT PROTECTION (NEMA 3 only, two required for 625-1000 KVA)

MOV - 3 Phase Metal Oxide Varistor Package. Recommended for all NEMA3 applications. Provides superior phase-to-phase and phase-to-ground protection from transients caused by lightning and switching.

##### 50 HZ POWER SUPPLY

Provides for 380 or 460 Volt input power at 50 Hertz.

##### SPACE HEATER (NEMA 3 only)

Required for operation below zero degrees C.

##### PHD SURFACE PACKAGE

Consists of a Surface Filter Package and Signal Interface. The filter package is shipped installed on NEMA 3 controllers, and shipped separate for remote mounting on NEMA 1 controllers. (See Motor Options for Downhole Unit.)

##### DOOR MOUNTED LIGHTS:

Run	Green
Overload	Red
Underload	Amber

##### DOOR MOUNTED SWITCHES:

Start Push-button  
Mode 1 - Off - Mode 2 Selector Switch

##### NO AMMETER OPTION

Replaces the standard Recording Ammeter Option with a blank Metal Plate.  
Reduce the standard drive price by \$435 and then add this options' price.

Continua en la siguiente pagina

Continuación de la tabla



## ELECTROSPEED® ICS

### Low Harmonic Option

WEATHERPROOF ENCLOSURE, NEMA 3 (IP 54)\*\*\*

MODEL	OUTPUT		INPUT		PHASE SHIFT TRANSFORMER**							
					HEIGHT		WIDTH		DEPTH		WEIGHT	
	KVA	AMPS	VOLTS	AMPS	IN.	CM.	IN.	CM.	IN.	CM.	LBS.	KG.
2060-3VTLH	SEE STANDARD 3VT MODELS FOR RATINGS, DIMENSIONS AND WEIGHTS				56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2075-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2100-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2125-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2150-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2200-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
2250-3VTLH					56	142.0	39	99.0	39.0	99.0	1875	852
4300-3VTLH					56	142.0	46	117.0	45.0	114.0	2450	1114
4350-3VTLH					56	142.0	46	117.0	45.0	114.0	2450	1114
4400-3VTLH					56	142.0	46	117.0	45.0	114.0	2450	1114
4500-3VTLH					56	142.0	46	117.0	45.0	114.0	2450	1114
8600-3VT	Standard 3VT models in this series have low harmonic capabilities. Contact factory for phase shift transformer information and price.											
8700-3VT												
8800-3VT												
8900-3VT												

\*\* Low Harmonic option consists of 12 pulse VSC and Phase Shift Transformer.

\*\*\* NEMA1 Enclosure also available; contact your Centrilit sales representative.

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilit

## ANEXO No 12

### TABLA # 8 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES - VSD



Centrilift

## TRANSFORMERS - VSC

#### S.W. FACT III

PART NUMBER	KVA		PRIMARY	MULTI-TAP SECONDARY		HEIGHT		WIDTH		DEPTH		WEIGHT	
	480v	380v		DELTA	WYE	IN.	M.	IN.	M.	IN.	M.	LBS.	KG.
49021	100	79	480	600/1496	1039/2591	51	1.29	47	1.19	37	0.94	2650	1202
58708	130	103	480	775/1550	1342/2685	50	1.27	53	1.35	38	0.97	2790	1265
53114	150	119	480	750/1550	1299/2685	51	1.29	42	1.06	37	0.94	2950	1337
86553	200	158	480	1100/2200	1905/3811	58	1.47	54	1.37	45	1.14	4210	1909
48114	260	206	480			58	1.47	54	1.37	45	1.14	5125	2324
89729	355	281	480			58	1.47	54	1.37	45	1.14	5350	2426
48395	400	317	480			53	1.35	60	1.52	48	1.22	5210	2362
86554	520	412	480	1250/2500	2165/4330	61	1.54	61	1.54	71	1.80	6500	2948
59080	650	515	480			66	1.68	62	1.57	56	1.42	7150	3243
59082	750	594	480			66	1.68	64	1.63	57	1.45	7650	3470
57522	875	693	480			66	1.68	75	1.91	56	1.42	8525	3867
57238	1000	792	480	1400/2800	2425/4850	66	1.68	76	1.93	57	1.45	9325	4230

#### P - E TYPE

PART NUMBER	KVA		PRIMARY	MULTI-TAP SECONDARY		HEIGHT		WIDTH		DEPTH		WEIGHT	
	480v	380v		DELTA	WYE	IN.	M.	IN.	M.	IN.	M.	LBS.	KG.
89339	67	53	480	480/960	831/1661	51	1.29	42	1.06	37	0.94	2850	1292
89751	90	71	480	750/1247	1300/2160	51	1.29	42	1.06	37	0.94	2850	1292
87126	125	99	480	750/1497	1299/2593	51	1.29	42	1.06	37	0.94	2950	1337
87127	200	158	480	744/2055	1289/3617	58	1.47	54	1.37	45	1.14	4210	1909
89752	260	206	480	1105/1950	1914/3377	58	1.47	54	1.37	45	1.14	5125	2324
86912	355	281	480	1100/2220	1905/3845	58	1.47	54	1.37	45	1.14	5350	2426
89753	400	317	480	1109/2155	1921/3732	61	1.54	61	1.54	46	1.16	6050	2743
86615	500	396	480	1100/2220	1905/3845	61	1.54	61	1.54	71	1.80	6500	2948
58727	650	515	480	1250/2500	2165/4330	75	1.91	54	1.37	63	1.60	8120	3683
58729	750	594	480	1250/2500	2165/4330	76	1.93	60	1.52	67	1.70	9326	4229
58731	875	693	480	1400/2800	2425/4850	83	2.11	64	1.63	67	1.70	10819	4907
58733	1000	792	480	1400/2800	2425/4850	86	2.18	64	1.63	67	1.70	11075	5023

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift



## ANEXO No 13

### TABLA # 9 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE SUPERFICIE



## SURFACE EQUIPMENT

### WELLHEAD/TUBING HANGER

TYPE	CASING SIZE O.D.	TUBING SIZE O.D.	MAXIMUM LOAD		MAXIMUM SETTING DEPTH		WEIGHT	
			LBS.	KG.	FT.	M.	LBS.	KG.
HHS	4-1/2"/5-1/2"/7"	2-3/8"	80000	36288	10000	3048	144	65
HHS	4-1/2"/5-1/2"/7"	2-7/8"	80000	36288	7100	2164	144	65
HHS	7"	3-1/2"	100000	36288	4900	1494	148	67
HHS	8-5/8"	2-3/8"	100000	45359	4900	1494	186	84
HHS	8-5/8"	2-7/8"	100000	45359	4900	1494	186	84
HHS	8-5/8"	3-1/2"	100000	45359	4900	1494	186	84
HHS	9-5/8"/10-3/4"	3-1/2"	100000	45359	4900	1494	226	103
HHS	9-5/8"/10-3/4"	4-1/2"	100000	45359	3200	975	226	103
HHS	9-5/8"/10-3/4"	5-1/2"	100000	45359	2600	792	226	103
HSM	4-1/2"/5-1/2"/7"	2-3/8"	80000	36288	10000	3048	174	79
HSM	4-1/2"/5-1/2"/7"	2-7/8"	80000	36288	7100	2164	174	79

1. Above listed wellheads have female, 8rd. casing threads. Male thread available, contact your Centrilift sales representative.
2. BOP adaptable (type RC) wellhead available, contact your Centrilift sales representative
3. Electric feed-through mandrel type wellheads/tubing hanger available, contact your Centrilift sales representative.
4. May require adapters, contact your Centrilift sales representative.

### CABLE REEL, STEEL

PART NO.	SIZE NO.	FLANGE DIAMETER		OVERALL			
		IN.	CM.	WIDTH		WEIGHT	
				IN.	CM.	LBS.	KG.
70250	50	50	127	46	117	335	152
70266	66	66	168	46	117	455	206
70278	78	78	198	64	163	810	367
70278H	78	78	198	64	163	920	416
70285	85	85	216	64	163	1000	454
70290	90	90	229	64	163	1100	499

### CABLE GUIDE WHEEL

SIZE NO.	WEIGHT	
	LBS.	KG.
1-6	108	49

### CABLE REEL SUPPORTS

SIZE NO.	WEIGHT	
	LBS.	KG.
80	390	177

### JUNCTION BOXES

P/N	DESCRIPTION
53674	Cable Vent Box, 5.0 KV, with 3 Phase Terminal Connectors

**Fuente:** Electical Submersible Pumps & Equipment

**Elaborado por:** Baker Hughes-Centrilift

## ANEXO No 14

### TABLA # 10 SELECCIÓN DE ACCESORIOS

#### PRICE INFORMATION ACCESSORIES



##### SWAGED NIPPLES - EXTRA HEAVY GRADE

P/N	SIZE
31372	2-7/8" EUE X 2-3/8" EUE
31373	2-7/8" EUE X 3-1/2" EUE
31374	2-7/8" EUE X 3-1/2" REG
31375	3-1/2" EUE X 3-1/2" REG
31376	2-3/8" EUE X 2-7/8" REG

P/N	SIZE
31377	4-1/2" EUE X 5-1/2" REG
31378	3-1/2" EUE X 5-1/2" REG
32139	2-7/8" EUE X 4-1/2" REG
48024	2-7/8" EUE X 5-1/2" REG
46504	5-1/2" REG X 7" REG

##### CHECK AND DRAIN VALVES

P/N	CHECK VALVE SIZE
33385	2-3/8" EUE 8 RD.
33398	2-7/8" EUE 8 RD.
33407	3-1/2" EUE 8 RD.

P/N	DRAIN VALVE SIZE
30563	2-3/8" EUE 8 RD.
30031	2-7/8" EUE 8 RD.
30566	3-1/2" EUE 8 RD.

##### CHECK AND DRAIN VALVES

PART NUMBER	COMBINATION CHECK & DRAIN VALVE
32059	4-1/2" 8 RD. REG.Casing
32406	5-1/2" 8 RD. REG.Casing
39635	7" 8 RD. REG.Casing

PART NUMBER	MONEL BREAK-OFF/DRAIN PLUG
41628	For 2-3/8"-3-1/2" Valve
40582	For 4-1/2"-5-1/2" Valve
40727	For 7" Valve

##### MOTOR JACKETS

MOTOR JACKET - MACHINED PER FOOT
4.5" Steel
5.5" Fiberglass
5.5" Steel
7" Steel
8.63" Steel
10.75" Steel

MOTOR JACKET - MOUNTING EQUIPMENT PER FOOT
4.5" Jacket
5.5" Jacket
7.0" Jacket
8.63" Jacket
10.75" Jacket

##### FIELD CABLE REPAIR

DESCRIPTION
Cable Splice, Each - Material Only
Armor Patch, Each - Material Only

##### ANODES

P/N	DESCRIPTION
32559	Solid Aluminum Type
40105	Tube Wrapped Type

##### MOTOR / SEAL SECTION SERVICING KIT

SEAL SERIES	STANDARD DESIGN PART NUMBER
338	38195
400	38196
513	38197
675	38198

TANDEM DESIGN PART NUMBER
-
44582
44583
47954

Continua en la siguiente pagina



Continuación de la tabla



Centrilift

## ACCESSORIES

### CABLE BANDS

PART NUMBER	TYPE	LENGTH	
		IN.	CM.
34780	Carbon Steel	22	56
34781		30	76
34243	Stainless Steel	22	56
34244		30	76
40844		42	107
34241	Monel	22	56
34242		30	76
40377		42	107

### CABLE GUARDS AND SADDLES

P/N	SIZE
30236	Cable Guard 6' Regular
33904	Cable Guard 6' Large

### CABLE BANDING TOOLS

P/N	SIZE
31476	Band Cutter
31479	Band Crimper, 3/4"
31480	Band Stretcher, 3/4"

### SHIPPING CASES, STEEL

#### 338/375 Series

PART NO.	LENGTH		WEIGHT	
	FT.	M.	LBS.	KG.
42065	8.3	2.53	154	70
42066	14.3	4.36	239	108
42067	20.3	6.18	337	153
42068	26.3	8.01	462	209

#### 725 Series

PART NO.	LENGTH		WEIGHT	
	FT.	M.	LBS.	KG.
39975	15.0	4.57	765	347
39520	20.4	6.22	1040	471
39521	28.4	8.66	1448	656
39522	36.0	10.97	1837	833
57328	39.0	11.89	1990	902

#### 400/450 Series

PART NO.	LENGTH		WEIGHT	
	FT.	M.	LBS.	KG.
34623	5.3	1.62	132	60
39569	6.2	1.89	154	70
34631	9.0	2.74	225	102
34624	13.0	3.96	325	147
34625	19.0	5.79	475	215
34626	25.0	7.62	625	283
34632	28.0	8.53	723	328
42232	32.0	9.75	813	369
36091	35.0	10.37	890	403

#### 875/1025 Series

PART NO.	LENGTH		WEIGHT	
	FT.	M.	LBS.	KG.
39150	7.8	2.38	461	209
39151	11.8	3.60	698	316
39152	15.8	4.82	935	424
39153	19.8	6.03	1171	531
39154	23.8	7.25	1408	638
39155	27.8	8.47	1644	745

#### 513/544/562/675 Series

PART NO.	LENGTH		WEIGHT	
	FT.	M.	LBS.	KG.
34617	5.6	1.71	167	76
39568	7.0	2.13	203	92
35377	9.0	2.74	260	118
34618	15.6	4.75	432	196
34619	21.0	6.40	578	262
34620	26.3	8.02	723	328
34622	32.0	9.75	890	403
36090	35.0	10.67	948	430
43095	40.0	12.19	1088	493

Fuente: Electical Submersible Pumps & Equipment

Elaborado por: Baker Hughes-Centrilift