

**“OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO OPERACIONAL DEL CABLE DE POTENCIA  
PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BOMBEO  
ELECTROSUMERGIBLE (BES) PARA LA SUPERINTENDENCIA DE  
OPERACIONES HUILA (SOH)”**

**ÁNDRES MAURICIO LOSADA DÍAZ  
JUAN MIGUEL GAITÁN VARÓN**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA – HUILA  
2014**

**“OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO OPERACIONAL DEL CABLE DE POTENCIA  
PARA EL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL BOMBEO  
ELECTROSUMERGIBLE (BES) PARA LA SUPERINTENDENCIA DE  
OPERACIONES HUILA (SOH)”**

**ANDRES MAURICIO LOSADA DIAZ  
JUAN MIGUEL GAITÁN VARÓN**

Trabajo de grado presentado como requisito académico  
Para optar al título de Ingeniero de Petróleos

Director:

**JESUS ALBERTO ARCHILA CASTRO**  
Ingeniero de Petróleos profesional de producción

Codirector del proyecto:

**ERVIN ARANDA ARANDA**  
Profesor Titular Programa de Ingeniería de Petróleos

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA – HUILA  
2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---



---

**JESUS ALBERTO ARCHILA CASTRO**  
Director del proyecto

---

**ERVIN ARANDA ARANDA**  
Codirector del proyecto

---

**HAYDDE MORALES MEDINA**  
Jurado

---

**CONSTANZA VARGAS CASTELLANOS**  
Jurado

**Neiva, Febrero de 2014**

**DEDICATORIA**

*Agradezco a Dios el poder culminar con éxito este proyecto, agradezco a mis padres que han sido el apoyo durante toda mi carrera, a mis amigos y compañeros que me apoyaron para lograr esta meta.*

**JUAN MIGUEL GAITÁN VARÓN**

*Agradezco a mis padres y familiares por su apoyo incondicional durante todo el proceso de mi carrera, a mis amigos y compañeros que se mantuvieron a través de los años brindándome sus mejores deseos y colaboración.*

**ANDRES MAURICIO LOSADA DIAZ**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

**ECOPETROL – GERENCIA REGIONAL SUR.** Superintendencia de Operaciones Huila - Tolima. Área Huila, por su apoyo logístico.

**JESUS ALBERTO ARCHILA CASTRO.** Ingeniero de Petróleos profesional de producción. Superintendencia de Operaciones Huila - Tolima. Director del Proyecto. Por su apoyo, dedicación y colaboración para el desarrollo del mismo.

**ERVIN ARANDA ARANDA.** Ingeniero de Petróleos, Profesor Titular Programa de Ingeniería de Petróleos. Universidad Surcolombiana. Codirector del Proyecto.

**CONSTANZA VARGAS CASTELLANOS.** Ingeniera de Petróleos. Profesora Titular Programa de Ingeniería de Petróleos. Jurado del Proyecto.

**HAYDEE MORALES MONDRAGÓN.** Ingeniera de Petróleos. Profesora Titular Programa de Ingeniería de Petróleos. Jurado del Proyecto.

Todas las personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo del presente proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	14
1.1 BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES).....	14
1.2 EQUIPO DE SUPERFICIE BES.....	14
1.2.1 Cabezal del Pozo.....	14
1.2.2 Caja de Venteo.....	14
1.2.3 Transformador.....	14
1.2.4 Variador de Frecuencias (VDF).....	15
1.2.6 Tablero de Control.....	15
1.2.6 Accesorios en superficie.....	15
1.2.6.1 Válvula de Contrapresión.....	15
1.2.6.2 Válvula de Drene.....	15
1.3 EQUIPOS DE FONDO.....	17
1.3.1 Bomba Centrifuga.....	17
1.3.2 Separador de Gas.....	17
1.3.3 Sección Sellante.....	17
1.3.4 Motor Eléctrico Sumergible.....	17
1.3.5 Sensor de Presión y Temperatura de Fondo.....	18
1.3.6 Cable de Potencia.....	18
1.3.7 Cable de Extensión del Motor.....	18
1.3.8 Pothead.....	19
1.3.9 Accesorios en fondo.....	19
1.3.9.1 Protectores metálicos o de hule.....	19
1.3.9.1 Flejes.....	20
1.3.10 Conjunto cable de potencia/conector superficial.....	20
<b>2. CABLE DE POTENCIA</b> .....	21
2.1 CONDUCTORES.....	22
2.2 SISTEMA DE AISLAMIENTO.....	23
2.2.1 Compuestos Termoplásticos.....	24
2.2.2 Compuestos Termoestables.....	24
2.2.3 Aislamientos Auxiliares.....	25
2.3 CHAQUETAS (JACKETS).....	25
2.4 ARMADURA.....	27
2.5 TUBO CAPILAR.....	28
<b>3. PROGRAMA DE SELECCIÓN DE CABLE</b> .....	30
3.1 ESTANDARIZACIÓN DE LA NOMENCLATURA DE LOS CABLES.....	30
3.1.1 PL - ELF – 450.....	31
3.1.2 PL - EEF – 400.....	32

3.1.3	PL - EEF – 300.....	32
3.1.4	PL - ENF – 285.....	33
3.1.5	PL - PPLF – 257.....	33
3.1.6	PL - PPNF – 205.....	34
3.1.7	PL - PF – 190.....	34
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE SELECCIÓN DEL CABLE.....	35
3.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA APLICANDO EL PROGRAMA DE SELECCIÓN DE CABLE.....	38
<b>4</b>	<b>PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE.....</b>	<b>42</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL...	42
4.2	DETERMINACIÓN DE LA VIDA UTIL DEL CABLE DE POTENCIA.....	45
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Esquema general del sistema de levantamiento artificial por Bombeo Electrosumergible (BES).....	16
Figura 2. Protectores del cable de potencia.....	19
Figura 3. Configuración plana y redonda, y componentes del cable de potencia.....	21
Figura 4. Componentes del cable de potencia.....	22
Figura 5. Conductor del cable de potencia.....	23
Figura 6. Compuestos termoplásticos y termoestables del cable de potencia.	25
Figura 7. Configuración cable PL – ELF – 450.....	31
Figura 8. Configuración cable PL – ELF – 400.....	32
Figura 9. Configuración cable PL – EEF – 300.....	32
Figura 10. Configuración cable PL – ENF – 285.....	33
Figura 11. Configuración cable PL – PPLF– 257.....	33
Figura 12. Configuración cable PL – PPNF– 205.....	34
Figura 13. Configuración cable PL – PF– 190.....	34
Figura 14. Programa SELECCIÓN DE CABLE.....	36
Figura 15. Selección del cable apropiado para el pozo PJ-04 con el programa de SELECCIÓN DE CABLE.....	41
Figura 16. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE.....	44
Figura 17a. Cable con dispositivos de conexión macho aislado con alto dieléctrico no adherente.....	54
Figura 17b. Posición del dieléctrico no adherente en un conector macho.....	54
Figura 17c. Cable con dispositivo de conexión hembra cable Aislado con pasadores de extensión.....	54
Figura 18. Posición del enchufe de prueba a través de los contactos de un Pothead.....	54
Figura 19. Utilización de la barra de equilibrio al movilizar un carrete con grúa...	67
Figura 20. Movilización del carrete con montacargas.....	68
Figura 21. Preparación del cable para transporte y manejo del carrete.....	78
Figura 22. Esquema de instalación y Pulling del cable de potencia en pozo.....	70
Figura 23. Medidas estándar para la realización del empalme en cables de Potencia.....	72
Figura 24. Proceso de preparación de puntas para el empalme de cables de Potencia.....	72
Figura 25. Unión de los conductores con nicopress.....	72



Figura 26. Colocación de la armadura al empalme de cable de potencia.....	73
Figura 27. Cable de Potencia Golpeado.....	74
Figura 28. Cable recuperado después de pasar por el tope del liner.....	77
Figura 29. Instalación de un Protector Metálico al Cable de Potencia.....	77

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla1. Características generales de los materiales Nitrilo y EPDM.....	26
Tabla 2. Recomendaciones para la selección del material del tubo capilar.....	29
Tabla 3. Ejemplo con pozo RC-86 de la Base de Datos del PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE.....	44
Tabla 4. Resistencia de tamaño de conductores típicos.....	52
Tabla 5. Voltajes de Prueba DC (kv) para cable BES.....	59

## LISTA DE DIAGRAMAS

	Pag.
Diagrama 1. Selección lógica del cable de potencia.....	37
Diagrama 2. Secuencia del programa de seguimiento y control del cable.....	46

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1. PRUEBAS DEL CABLE</b> .....	51
1.1 CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA ANTES DE REALIZAR LAS PRUEBAS.....	51
1.1.1 Seguridad.....	51
1.1.2 Preparación del Sistema de Cable.....	52
Cables con dispositivos de conexión.....	52
Cables sin dispositivos de conexión.....	55
1.2 TIPO DE PRUEBAS.....	55
1.2.1 Prueba de Resistencia de Aislamiento (Megóhmetro).....	55
1.2.2 Pruebas de Corriente Alterna (AC).....	57
1.2.3 Pruebas de Corriente Continua (DC).....	58
1.2.4 Prueba de Alto Potencial (HI POT).....	58
1.2.5 Pruebas de localización de fallas.....	59
1.2.5.1 Prueba de Buccle Murray (puente localizador).....	59
1.2.5.2 Prueba de Descarga Positiva (Thumper).....	60
1.2.5.3 Prueba de Reflectómetro de Dominio de tiempo (TDR).....	61
1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS.....	62
1.3.1 Pruebas de Fabrica.....	62
1.3.2 Pruebas de Aceptación.....	62
1.3.3 Pruebas de Mantenimiento.....	62
1.3.4 Pruebas IN SITU.....	63
1.3.5 Pruebas de Diagnóstico.....	64
<b>Anexo 2. INSTRUCTIVO CON CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN, REPARACIÓN Y RE-USO DEL CABLE...</b> .....	65
1. OBJETO.....	66
2. ALCANCE.....	66
3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	66
4. DESARROLLO.....	66
4.1 FICHA DESCRIPTIVA.....	66
4.2 GENERALIDADES.....	66
4.3 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD.....	60
4.3.1 INSTALACIÓN DEL CABLE DE POTENCIA.....	67
4.3.1.1 Movilización y Manejo del Cable de Potencia.....	67
4.3.1.2 Protección del Cable de Potencia.....	69
4.3.1.2.1 Instalación de Protectores de Cable.....	69
4.3.1.3 Flejado del Cable.....	69
4.3.1.4 Polea de Cables.....	70
4.3.1.5 Correr Equipo en el Pozo.....	70
4.3.1.6 Pulling del Cable.....	71
4.3.2 REPARACIÓN Y RE-USO DEL CABLE.....	71

4.3.2.1	Empalme de Cables.....	71
4.3.2.2	recomendaciones técnicas para evitar problemas con el cable .....	74
4.3.2.2.1	Manufactura.....	74
4.3.2.2.2	falta de procedimientos.....	74
4.3.2.2.3	Golpes Durante la Logística.....	75
4.3.2.2.4	Accesorios eléctricos en el almacén bajo protección.....	75
4.3.2.2.5	Instalación en condiciones climáticas adversas.....	76
4.3.2.2.6	Caída de accesorios al pozo durante la introducción del equipo.....	76
4.3.2.2.7	Excesiva velocidad de bajada del equipo BES.....	76
4.3.2.2.8	Ejecución de empalmes con demasiado espesor.....	76
4.3.2.2.9	Accesorios o equipo complementario mal instalado durante la bajada del cable de potencia.....	77
4.3.2.2.10	Cable de Potencia Golpeado durante la bajada del equipo BES con las Cuñas del taladro.....	78
4.3.2.2.11	Excesiva velocidad en la recuperación del equipo.....	78
4.3.2.2.12	Problemas de atascamiento de la tubería de producción con el cable de potencia.....	78
4.3.2.2.13	Recuperación de accesorios en forma parcial.....	78
5.	DISPOSICIONES HSE.....	79
5.1	Disposiciones de seguridad y control operacional.....	79

## INTRODUCCIÓN

La Superintendencia de Operaciones Huila – Tolima (SOH), área Huila se encuentra a 17 Km. de la ciudad de Neiva en la vía a Bogotá. Forma parte de la Vicepresidencia de Producción, una de las áreas estratégicas de Ecopetrol S.A, que integra el proceso de explotación de hidrocarburos. Mantiene operaciones directas y de contratos de producción incremental (CPI) de explotación con una producción promedio de 33.000 barriles diarios de crudo, 330 barriles de GLP por día, y un promedio de venta de gas de un millón de pies cúbicos, comportamiento favorable para la compañía.

Tras la reversión de los contratos de asociación Hobo, Caguán y Palermo que comprenden los campos de Yaguará, Rio Ceibas y San Francisco – Balcón respectivamente, se incrementa el número de pozos que producen por Bombeo Electrosumergible (BES) de 61 a 180. A Agosto de 2013 se cuenta con 171 pozos BES activos, aportando el 51% de la producción de crudo, haciendo de este sistema uno de los más importantes en términos de costos e impacto en la producción de la SOH.

El Bombeo Electrosumergible es un sistema de levantamiento artificial que emplea la energía eléctrica y la convierte en energía mecánica para levantar una columna de fluido desde un nivel determinado hasta la superficie. Esta energía eléctrica es suministrada al motor principal del sistema a través de un cable de potencia.

El cable de potencia es el enlace crítico entre el equipo de fondo y la fuente de alimentación. Este cable debe ser diseñado de tal forma que evite daños mecánicos, y capaz de mantener sus propiedades físicas y eléctricas al ser expuesto a fluidos agresivos, golpes y altas temperaturas al interior del pozo.

Debido a la extrema y variada naturaleza de los pozos de petróleo, se necesita que el cable sea duradero en una amplia gama de condiciones. La vida útil del cable es lograda efectivamente a través de un correcto manejo de selección, operación y mantenimiento que evite cualquier tipo de daño.

En la industria se suele encontrar deficiencia en el manejo general de esta herramienta, principalmente por no contar con un programa de organización que controle el uso y re-uso del cable, presentándose aplicaciones inadecuadas e innecesarias y desperdicio del material, causando altos costos de inversión.

Realizando un análisis al historial operacional del cable de potencia y por medio de la creación de un programa de control con recomendaciones técnicas, la SOH espera lograr la optimización y solución a este problema y dejar a un lado los contras que conlleva esta situación.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES)

El BES es un sistema de levantamiento artificial comúnmente usado para la producción de crudos pesados y extra pesados, es considerado como un medio económico y efectivo para levantar grandes cantidades de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo.

Este método de levantamiento artificial consiste en una bomba centrífuga multietapa con un motor eléctrico de fondo acoplado, que levanta fluido desde el fondo del pozo hacia la superficie mediante la rotación centrífuga de los impulsores de la bomba, lo que permite que el fluido ascienda a través de las etapas de la bomba centrífuga y llegue a la superficie con suficiente energía.

El sistema de BES consta de varios componentes principales, incluyendo **equipos de superficie** y **equipos de fondo**.

### 1.2 EQUIPOS DE SUPERFICIE BES

Los equipos de superficie son los que se encuentran localizados ya sea en tierra o en una plataforma marítima. Incluyen cabezal de pozo, caja de venteo, transformador de corriente, variador de frecuencia, tablero de control y otros accesorios.

#### 1.2.1 Cabezal del pozo.

Cierra mecánicamente el pozo en la superficie, soporta el peso del equipo Electrosumergible instalado, además mantiene un control sobre el espacio entre el casing y la tubería de producción del pozo.

#### 1.2.2 Caja de venteo.

Se localiza entre el cabezal del pozo y el transformador por razones de seguridad. El gas puede viajar a través del cable superficial hasta el transformador y producir un incendio o explosión, en la caja de unión, los conductores del cable quedan expuestos a la atmósfera evitando este viaje del gas.

#### 1.2.3 Transformador.

Son dispositivos electromagnéticos transmisores de potencia eléctrica en modalidad alterna. Son unidades sumergidas en aceite aislante eléctrico y con auto enfriamiento. Estos dispositivos pueden ser transformadores de una sola fase o trifásicos.

#### **1.2.4 Variador de frecuencia (VDF).**

El variador de frecuencia, es un dispositivo diseñado e instalado para cambiar la frecuencia de la corriente suministrada al motor, controlando así la velocidad en el eje para un óptimo funcionamiento, además proporciona flexibilidad para ajustar y mejorar las condiciones de producción deseadas.

#### **1.2.5 Tablero de control.**

Los tableros de control estándar son a prueba de agua y están disponibles en varios tamaños acompañados de accesorios para ajustarse a cualquier instalación de bombeo; los hay desde unidades muy simples con un botón magnético y protección de sobrecarga hasta los muy complejos, ensamblados con fusibles de desconexión, amperímetro, protección de baja carga y sobrecarga, luces, relojes para bombeo intermitente e instrumentos para operación automática o a control remoto.

#### **1.2.6 Accesorios.**

Con el propósito de asegurar una mejor operación del equipo es necesario contar con algunos accesorios.

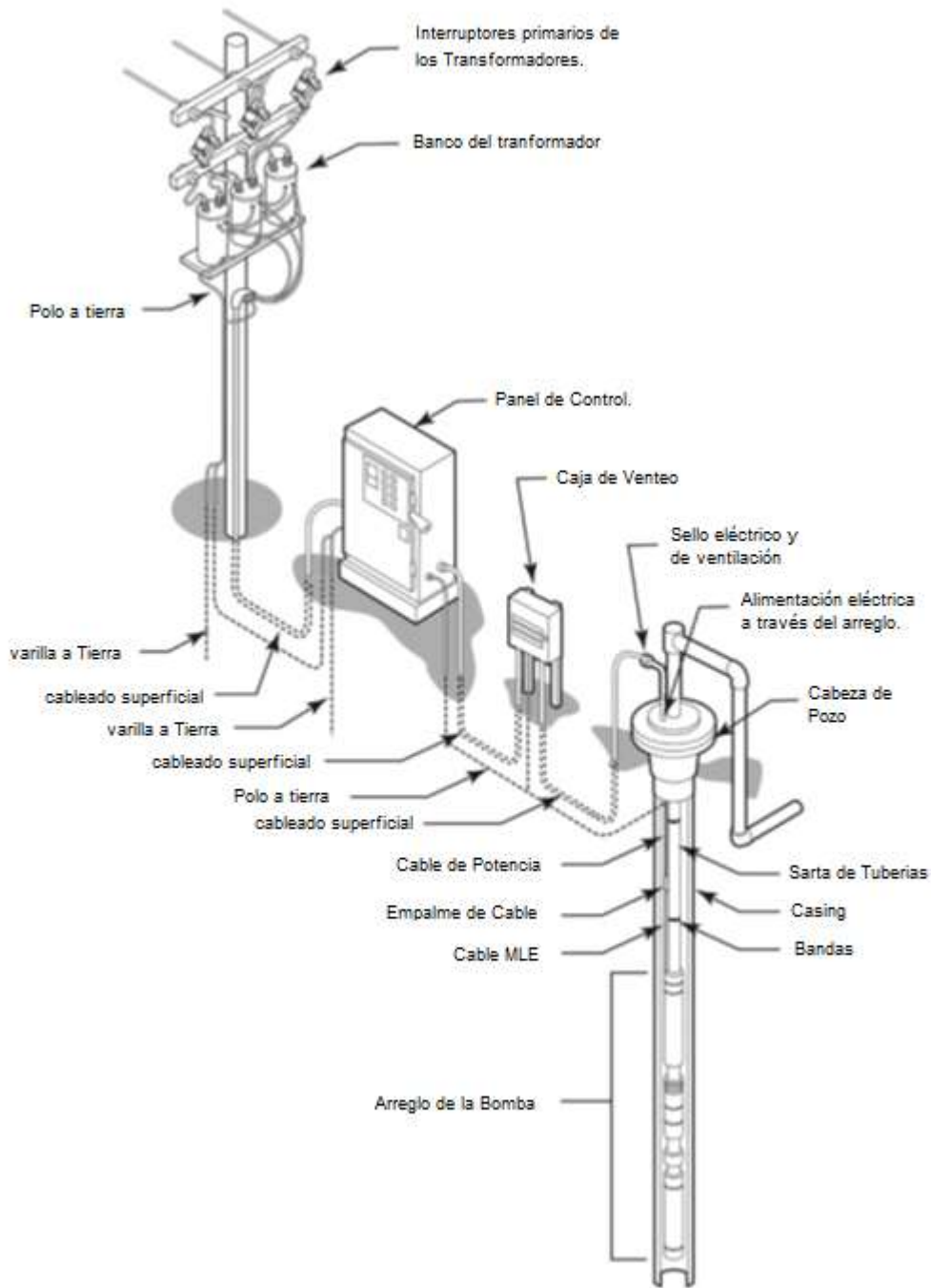
##### **1.2.6.1 Válvula de contra presión:**

La válvula de contra presión permite el flujo en sentido ascendente, de manera que cuando el motor deja de trabajar, impide el regreso de la columna de fluidos. Está ubicada por encima de la bomba de uno a tres tramos de tubería.

##### **1.2.6.2 Válvula de drene:**

Su función es establecer comunicación entre el espacio anular y la tubería de producción, con el propósito de que la tubería de producción se vacíe cuando se extrae el aparejo del pozo. Para operarla, se deja caer una barra de acero desde la superficie por la tubería de producción; la barra rompe un perno y deja abierto un orificio de comunicación con el espacio anular.

**Figura 1.** Esquema general del sistema de levantamiento artificial por bombeo ElectroSumergible (BES)



**Fuente:** API RP 115S. Recommended Practice for Application of electric submersible Cable Systems



## **1.3 LOS EQUIPOS DE FONDO**

Los equipos de fondo son aquéllos que se encuentran localizados en la cavidad del pozo, consisten básicamente de una bomba centrífuga multietapa, cuyo eje está conectado a un motor eléctrico sumergible a través de una sección sellante, el cable se sujeta a la tubería mediante bandas metálicas flexibles o sunchos. La entrada del fluido a la bomba se efectúa a través del separador de gas, dispuesto en la parte inferior de la misma. En su posición de funcionamiento, los equipos de fondo de pozo están suspendidos de la tubería de producción y sumergidos en los fluidos del pozo.

### **1.3.1 Bomba centrífuga.**

Las bombas sumergibles son bombas centrífugas multietapas, Cada etapa está compuesta por un impulsor rotatorio y un difusor estacionario. El impulsor rotatorio es aquel que provee energía en forma de velocidad al fluido a ser bombeado. Por otra parte el difusor transforma la energía cinética en energía potencial (presión) antes de re-direccionar el fluido dentro del siguiente impulsor hacia arriba, el número total de etapas determinará la presión generada por la bomba.

### **1.3.2 Separador de gas.**

El separador de gas es un componente opcional, se coloca normalmente entre la bomba y el protector, su uso permite una operación de bombeo más eficiente en pozos gasificados, ya que reduce los efectos de disminución de capacidad de carga, evita la cavitación, y evita las fluctuaciones cíclicas de carga producidas en el motor por la severa interferencia de gas.

### **1.3.3 Sección sellante.**

Se encuentra entre el motor y la bomba o el separador de gas y realiza las siguientes funciones vitales:

- ◆ Permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor.
- ◆ Igualar la presión en la cavidad del pozo con el fluido dieléctrico del motor.
- ◆ Aislar el fluido del pozo del dieléctrico limpio del motor.
- ◆ Absorber el empuje axial descendente de la bomba

### **1.3.4 Motor eléctrico sumergible.**

Proporciona la energía que necesita la bomba para rotar y acelerar los fluidos que están siendo bombeados hacia la superficie, consta básicamente de un estator bobinado de inducción bipolar trifásica y rotor jaula de ardilla, que gira a una velocidad sincrónica. El motor Electrosumergible se encuentra constituido por pequeños estatores que se encuentran internamente acoplados de forma mecánica.

### **1.3.5 Sensor de presión y temperatura de fondo.**

El sensor de fondo, se encuentra instalado en la base del motor electrosumergible, se encarga de monitorear la temperatura del motor y la presión de entrada a la bomba Electrosumergible y dicha información es transmitida a través del cable eléctrico de potencia hacia la superficie. El sensor de fondo, está constituido de: un paquete sensor, un inductor y uno indicador.

### **1.3.6 Cable de Potencia**

El cable de potencia transmite la energía eléctrica al sistema, pueden ser de diferente diámetro de acuerdo a la aplicación requerida, normalmente para la alimentación se requiere cable #1 y el de conexión al motor suele ser #4, #5, #6. Su configuración puede ser plana o redonda, se sabe que el cable redondo ayuda a eliminar el desbalance entre las fases. El cable normalmente va cubierto por un blindaje de acero galvanizado, aunque se fabrican con blindaje de Monel para contrarrestar el ataque de elementos corrosivos, como el ácido sulfhídrico. El aislamiento y la cubierta están diseñados especialmente para que resistan la penetración de gases y agua. El cable representa una parte considerable de la inversión total en la unidad de bombeo eléctrico y es diseñado y fabricado para condiciones de diferentes temperaturas.

### **1.3.7 Cable de Extensión del Motor MLE**

El MLE es el que conecta el cable de potencia con el motor, su diámetro es normalmente #4 o #5; está protegido por una armadura de Monel la cual es resistente a la acción de los ácidos y de la corrosión, pero débil para la protección mecánica. El Monel es bastante flexible y se presta al fácil manejo, esta es la razón por la que hay que tener mucho cuidado cuando se trabaja con este cable.

Las fases son sólidas y se conectan al cable de potencia principal por medio de un empalme con "niccopress" y cintas aislantes que evitan la penetración del agua a las conexiones. La estructura final de este empalme es bastante sólida y debe de ser hecha de manera tal que no incremente demasiado su diámetro exterior a fin de no perjudicar el libre desplazamiento hacia el interior del pozo. Las medidas de este cable, aunque pueden ser pedidas de acuerdo a los requerimientos del usuario, usualmente oscilan entre los 50, 90 y 100 pies y su instalación en el pozo depende de la longitud del equipo BES de fondo. Es muy importante que no se deje demasiada longitud del MLE en la sarta de producción debido a la limitación del Monel en la protección mecánica. Así mismo prever que el empalme del MLE con el cable de potencia no quede frente al equipo BES de fondo.

### 1.3.8 Pothead

En uno de sus extremos trae una pieza sólida con 3 fases eléctricas tipo macho, que se adapta a la conexión del motor. Esta conexión, llamada mufa, puede ser de 2 tipos: de enchufe y de empalme. La primera, simplemente se exponen las fases del cable y se enchufa a la conexión, tipo hembra, del motor. La segunda, la conexión del motor termina en 3 fases con niccpress que se adaptan a las fases de la mufa del cable guía, para luego con cintas aislantes eléctricas envolverlas y fijarla conexión.

Recomendable usar pasta aislante (downcorning 111) en las conexiones a fin de incrementar en 15% el aislamiento eléctrico de estas juntas.

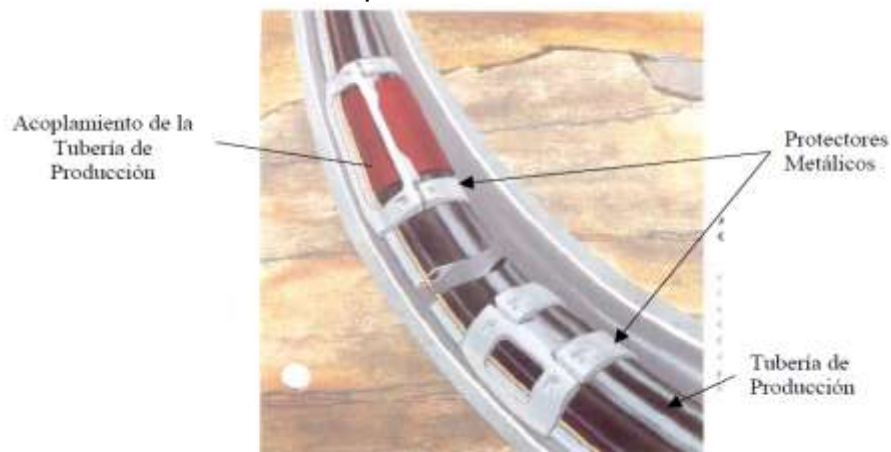
### 1.3.9 ACCESORIOS EN FONDO

El cable de potencia es la parte más delicada por su conexión externa, está sujeta a enganches, golpes, dobleces y otras acciones al momento de introducir el equipo de fondo. Existen accesorios que tratan de minimizar estos riesgos y son indispensables en ciertas operaciones.

#### 1.3.9.1 Protectores Metálicos o de Hule

Su función es la de proveer un adecuado aislamiento del daño mecánico que pueda causar la introducción del aparejo dentro del pozo alojando el cable dentro del cuerpo. Tiene un diámetro exterior más grande a fin de absorber impactos de bamboleo y evitar rozamiento. Los protectores metálicos son hechos de hierro o de acero y están sujetos a la acción del ambiente que los rodea, tanto dentro del pozo como cuando están fuera de él. Un programa adecuado de mantenimiento es necesario a fin de preservar el buen funcionamiento y la confiabilidad de los mismos.

**Figura 2.** Protectores del cable de potencia.



**Fuente:** Bombeo Electrosomergible: Análisis, Diseño, Optimización y TroubleShooting. Programa de adiestramiento.

Los protectores de hule tienen la misma función que los anteriores, con la diferencia que el mantenimiento que requieren es mínimo. Una selección adecuada es importante para determinar el protector más óptimo de acuerdo a las condiciones del pozo, resistencia de material a la acción mecánica, flexibilidad, resistencia a la corrosión, a los ácidos, etc.

La ubicación de los protectores y el número que se instalan depende de los requerimientos del operador y de la geometría del pozo, se recomienda tener especial protección cuando se instalan en pozos direccionales con altas desviaciones y en tuberías de revestimiento reparadas o dañadas.

### **1.3.9.2 Flejes**

El cable de extensión del motor y el cable de potencia se mantienen sujetos a la tubería de producción por unas bandas metálicas selladas que aseguran el cable para que este no se deslice y forme curvaturas que pueden ser dañadas. La función principal además de la de sostener al cable es la de mantener este lo más paralelo posible con respecto a la tubería de producción.

El número de flejes que se instala depende del tipo de cable de potencia que se usa y el peso (libra / pie) del mismo, actualmente en las instalaciones BES se usan mayormente flejes de 1 1/4" y se instalan dos flejes por cada tubería de producción. Si el cable de potencia es muy pesado y adicionalmente tiene tubo capilar se puede usar hasta tres flejes por cada tubería de producción. En todo trabajo de instalación se debe llevar el control del número de flejes que se instalen y anotarlos en el reporte de instalación, para verificar este número cuando se recupere el equipo BES, hay que tener en cuenta que si se quedan muchos flejes en el pozo, es recomendable limpiar el pozo antes de bajar el nuevo aparejo.

### **2.3.10 Conjunto cable de potencia/conector superficial**

El conjunto cable de potencia/conector superficial interconecta la caja de venteo con el cabezal. El cable superficial deber ser de configuración redonda, la selección de este componente se realiza considerando al menos los siguientes parámetros:

- Calibre del conductor
- Tipo de armadura
- Voltaje
- Corriente
- Frecuencia
- Temperatura
- Clasificación de área.
- Longitud del cable

El conjunto debe ser sometido a algunas pruebas paragarantizar la continuidad de la operación y la seguridad de la instalación: Resistencia de aislamiento, Resistencia óhmica, Pruebas mecánicas.

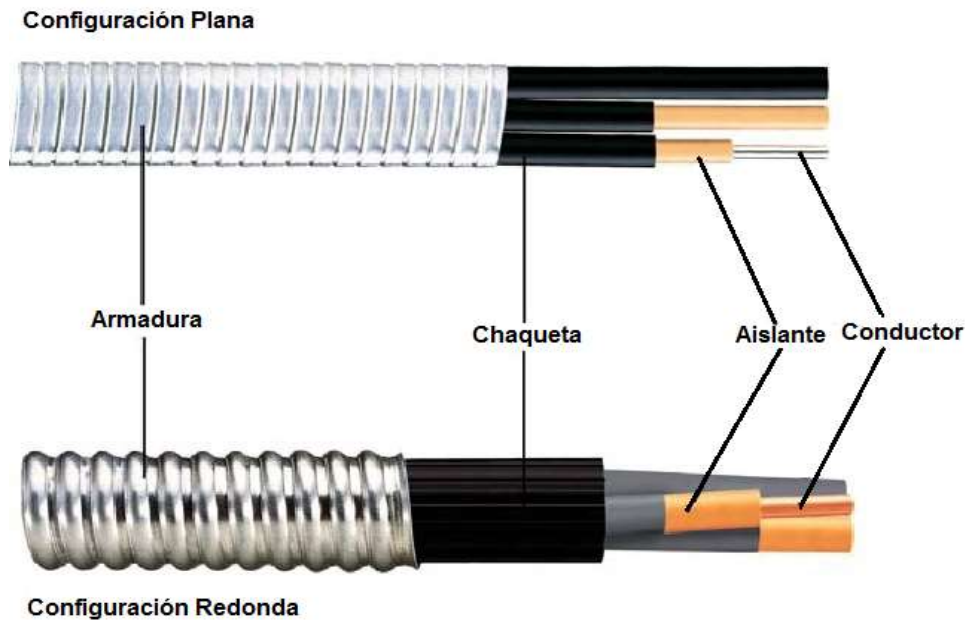
## 2. CABLE DE POTENCIA

Para el sistema BES la energía eléctrica es transmitida al motor por medio de un cable especial, el cual se extiende desde la cabeza del motor hacia el cabezal del pozo, y va sujeto a lo largo de la tubería de producción con abrazaderas.

Los cables son construidos en configuraciones redondas y planas; el uso de cable redondo ayuda a eliminar el desbalance entre las fases, mientras que los cables planos son ideales cuando el espacio es limitado entre el tubing y el diámetro interno del casing.

El cable normalmente va cubierto por un blindaje de acero galvanizado, aunque los hay también con blindaje de Monel para contrarrestar el ataque de elementos corrosivos como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). El aislamiento y la cubierta están diseñados especialmente para que resistan la penetración de gases y agua. El cable representa una parte considerable de la inversión total del equipo; es diseñado y fabricado para ser expuesto a ciertas condiciones en diferentes rangos de temperatura.

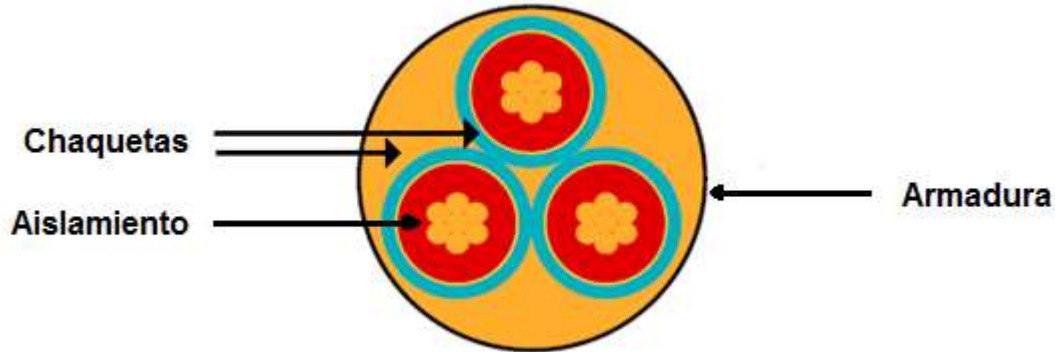
**Figura 3.** Configuración plana y redonda, y componentes del cable de potencia.



**Fuente:** Manual BES Baker

Los componentes básicos de un cable de potencia deben ser por lo menos cuatro: el Conductor, el Aislamiento, la Chaqueta y la Armadura. A continuación se indicarán recomendaciones de aplicación de cada uno de estos.

**Figura 4.** Componentes del cable de potencia.



**Fuente:** Manual BES Baker

## 2.1 Conductores

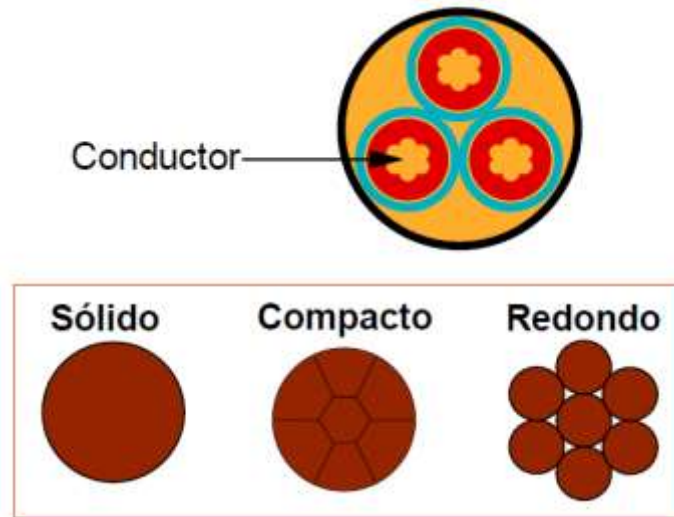
Los Conductores se utilizan para transportar la corriente alternadesde la superficie al motor. El material estándar utilizado para la fabricación de conductores del cable BES es el cobre y se refuerza con estaño. El cable está constituido por tres conductores de cobre, recubiertos con una delgada capa de material conductor eléctrico.

Otro material considerado como conductor es el aluminio, aunque no es muy usado ya que proporciona sólo el 61% de la conductividad que uno de cobre del mismo tamaño. Por lo tanto, si este material es seleccionado debe utilizarse un cable de mayor diámetro para conducir la misma corriente que uno de cobre, esto puede causar problemas con el espacio libre en el pozo. Otra desventaja de los conductores de aluminio es que son más difíciles de terminar o empalmar.

La principal desventaja del cobre es su susceptibilidad al daño por ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ); este problema se puede superar, en altas temperaturas, utilizando una funda continua de plomo cubriendo por completo el aislamiento.

La industria ha estandarizado los tamaños de conductor en # 1, 2, 4 y 6 AWG (American Wire Gauge) que son indicadores para el diámetro del cable. El tamaño AWG es seleccionado basándose en la clasificación del amperaje, consideraciones económicas y el espacio libre del pozo. El máximo diámetro de cable permitido está determinado por el espacio libre; el tamaño mínimo del conductor es determinado por la corriente requerida por el motor y la caída de voltaje permisible, luego se hacen comparaciones económicas entre tamaños del cable y se selecciona el más óptimo.

**Figura 5.** Conductor del cable de potencia



**Fuente:** Manual BES Baker

Los conductores del cable de potencia pueden presentar las siguientes configuraciones:

**a. Sólido:** Es un cable conductor de diámetro pequeño y de bajo costo, presenta un leve estrés interfacial eléctrico. Los conductores sólidos minimizan la inmigración de gas y el deterioro por ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ).

**b. Trenzado o Redondo:** Este cable conductor aumenta el diámetro, la flexibilidad y además posee una mayor resistencia a daños.

**c. Compacto:** Este cable tiene una reducción hasta del 10% en diámetro con respecto al conductor trenzado o redondo.

## 2.2 Sistema de Aislamiento

Este sistema es el encargado de aislar el potencial eléctrico entre el conductor y otros materiales conductores, además minimiza las fugas de corriente. Los materiales típicos utilizados como aislante son los compuestos termoplásticos (polipropileno) y termoestables (EPDM y nitrilo); Los cables con aislamiento termoplástico tienen una temperatura nominal inferior a los termoestables.

En algunos cables se utiliza aislamiento auxiliar además del básico para mejorar las propiedades eléctricas y mecánicas; los Films o materiales finamente moldeados son los más usados como auxiliares, estos materiales tienen una alta rigidez dieléctrica.

### **2.2.1 Compuestos Termoplásticos**

Los compuestos termoplásticos son materiales que poseen la característica de mantener su forma cuando se calientan y conservarla bien definida al enfriarse. Los termoplásticos se deforman solo cuando están expuestos a una temperatura mayor a la de deformación y además se aplica una fuerza exterior. La temperatura de deformación disminuye a medida que aumenta la fuerza aplicada.

Algunos de los materiales termoplásticos son el polietileno, el polipropileno y el nylon. El polipropileno es un material de aislamiento relativamente barato utilizado en pozos de petróleo, óptimo a un rango de temperatura entre 14°F (ambiental) y 205°F (conductor), donde no haya ningún ataque químico o donde no se apliquen fuerzas mecánicas.

Hay varias condiciones en el pozo que son perjudiciales y afectan el polipropileno, por ejemplo, la presencia de CO<sub>2</sub> inicia un agrietamiento prematuro en el material, las infiltraciones extremas de crudo conducen a la descalcificación, las fuerzas externas (abrazaderas, fuerzas de tracción) aplicadas al cable cerca del límite superior de temperatura de funcionamiento provoca una deformación temprana.

El Polipropileno envejece rápidamente cuando se pone en contacto con el cobre; para reducir este impacto se añaden materiales especiales de Anti-envejecimiento. La mayoría de los fabricantes aplican estaño o recubren con aleaciones para aislar el cobre del polipropileno.

### **2.2.2 Compuestos Termoestables**

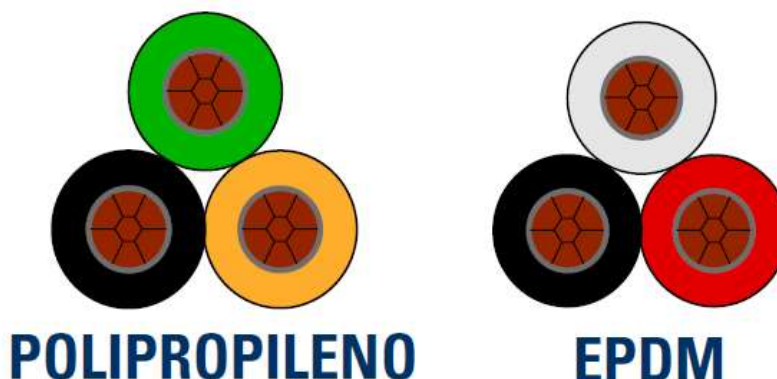
Los compuestos termoestables son hechos de un material modificado a través de una reacción química. Los materiales termoestables más usados son el caucho de nitrilo (NBR); MaterialesEPR (Etilen Propilen Rubber) como el EPDM y EPM; y el caucho estireno de butadieno (SBR).

Para los cables del BES, el EPDM (Etilen Propilen Dien Monómero) es el material termoestable comúnmente utilizado, tienen buena flexibilidad a muy baja temperatura (-40°F), es apto para entornos con CO<sub>2</sub> y es resistente a muchos tipos de tratamientos del pozo, además resiste altas temperaturas (400°F).

La única limitación de los materiales EPDM es que se hinchan al contacto con aceite, pero esta condición puede reducirse mediante la formulación adecuada o con el uso de materiales apropiados que lo recubran.



**Figura 6.** Compuestos termoplásticos y termoestables del cable de potencia.



**Fuente:** Manual BES Baker

### 2.2.3 Aislamientos Auxiliares

Algunos aislamientos auxiliares como los Filmson cintas delgadas aplicadas directamente sobre el conductor, envueltas helicoidalmente en superposición y selladas al calor. Los más típicos son los poliimidos tales como Kapton<sup>®</sup> o Apical<sup>®</sup>

Los films suelen utilizarse cuando se requiere un espesor mínimo de aislamiento con alta rigidez dieléctrica o en pozos con alta temperatura (+/- 450°F). Las aplicaciones más comunes son en el MLE (Motor Lead Extension) o como aislante de la bobina del motor.

Algunas limitaciones que presentan los films son: primero que degradan significativamente las características del aislamiento y resistencia mecánica cuando son atacados por la humedad. Segundo, y la principal limitación, su alto costo.

### 2.3 Chaquetas (Jackets)

Las Chaquetas son cubiertas para proteger y aislar mecánicamente el cable del entorno interior del pozo. Los materiales usados protegen el aislamiento de abuso asociado con el manejo mecánico y algunos pueden proporcionar aislamiento secundario. Actualmente los más usados son los elastómeros de nitrilo y EPDM.

Las propiedades de la chaqueta dependen de la temperatura y las condiciones del pozo. La temperatura nominal del cable puede estar limitada por la temperatura límite del material de la chaqueta, aunque se puede elevar ajustando el tipo de cura y los antioxidantes. Para límites bajos de temperatura se agrega un plastificante, pero estas adiciones ligeramente afectan otras propiedades físicas como la elongación, dureza o resistencia a la tracción.

En la actualidad se manejan normalmente dos tipos de chaquetas para el cable de potencia, unas están hechas de nitrilo y las otras de EPDM. Las chaquetas EPDM funcionarán a temperaturas más altas, pero las de nitrilo son más duras y más resistentes al crudo.

Las Chaquetas EPDM pueden ser sintetizadas para mejorar la resistencia al hinchamiento con aceite. Además, el EPDM es mejor que el nitrilo en cuanto al manejo e instalación a bajas temperaturas superficiales.

La temperatura máxima permisible por el nitrilo es de 284°F, mientras que la del EPDM es de 400°F aproximadamente. Estos límites influyen en la temperatura nominal del cable; recordando que operaciones a temperaturas elevadas, acortarán la vida útil de este. En general, la vida del cable disminuye exponencialmente a medida que aumenta la temperatura.

La fragilización (edad de endurecimiento) de la chaqueta es uno de los factores que afectan la vida del cable, como también otras formas de degradación de esta, las cuales son causadas por la presión cíclica y la exposición a sustancias químicas del interior del pozo. La elección del tipo de chaqueta también está influenciada por el entorno del pozo y la concentración de gas.

La armadura es fundamental para la protección de la chaqueta, ya que al bajar cable sin ella, provoca hinchamiento en el EPDM y ruptura debido a la absorción de aceites y gases.

**Tabla 1.** Características generales de los materiales Nitrilo y EPDM.

CRITERIOS	NITRILO (NBR)	EPDM
Propiedades Físicas	Bueno	Pobre a Regular
Resistencia al petróleo	Bueno	Pobre a Regular
Resistencia al agua	Pobre a Regular	Bueno
Resistencia al daño	Bueno	Pobre
Resistencia al H <sub>2</sub> S	Regular	Bueno
Resistencia a las aminas	Regular	Bueno
Resistencia al calor	Regular	Bueno
temperatura de servicio	hasta 275°F/135°C	más de 350°F/176°C

**Fuente:** los autores.

## 2.4 Armadura

La armadura es la cubierta exterior que proporciona protección mecánica durante la instalación y remoción del cable, impide el hinchamiento de materiales elastoméricos subyacentes al contacto con líquidos, también proporciona soporte longitudinal al peso del cable entre bandas. La configuración de la armadura puede ser plana o trenzada, algunas utilizan hasta dos capas. Un diseño especial utiliza alambres redondos aplicados helicoidalmente. El material de la armadura consta generalmente de acero galvanizado, aunque en algunos entornos, se usa acero inoxidable o Monel.

La configuración plana es usada donde el grosor total del cable es restringido; mientras, la trenzada se usa para minimizar la tendencia de la armadura a desenredar. Además, con esta última configuración es menos probable que se enganche a las paredes mientras se baja. Los alambres redondos helicoidales se utilizan donde se requiere que la armadura proporcione la mayor parte de la fuerza longitudinal del cable, es decir, cuando hay grandes distancias entre bandas.

En la industria normalmente se pone una banda en medio de la junta de tubería y una segunda banda justo encima del acoplamiento. Estas bandas soportan el peso del cable.

La integridad de la armadura está influenciada por el entorno en que opera. La corrosión es uno de los principales factores que influye en la elección de materiales. La armadura de Monel puede utilizarse para soportar condiciones muy corrosivas, donde puede justificarse el costo; la de acero inoxidable, aunque no es tan eficaz, es una alternativa menos costosa al Monel.

La armadura de acero galvanizado se construye a partir de un bajo contenido de acero que ha sido recubierto con zinc, la mayoría de los pozos permiten su uso. El acero galvanizado es susceptible a la corrosión en presencia de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, ácidos fuertes, ambientes alcalinos y salmueras. El problema de corrosión se vuelve más intenso a medida que la temperatura aumenta.

Para algunos sistemas puede ser necesario el uso de un acero de alta resistencia o acero inoxidable redondo para proporcionar la fuerza longitudinal necesaria. Debido a las características magnéticas de los metales ferrosos, habrá pérdidas de potencia eléctrica en el cable, este es el resultado de la histéresis y las corrientes giratorias inducidas en el acero por el conductor. El efecto es más significativo en cables planos con desbalance de fases.

El acero inoxidable es una clase de acero que contiene una cantidad significativa de cromo en conjunto con otras aleaciones. Los grados predominantes que se manejan son 316 y 409. Se utilizan armaduras de acero inoxidable en ambientes

corrosivos. Aunque existen limitaciones, todavía se puede seleccionar sobre alternativas más caras.

En el acero inoxidable se pueden presentar picaduras donde hay presencia de iones cloruro, también se pueden presentar grietas de corrosión por estrés en el grado 300 a temperaturas superiores de 160°F. Ni el grado 316 ni el 409 se recomiendan para aplicar en entornos con H<sub>2</sub>S. La presencia de CO<sub>2</sub> puede afectar también los aceros inoxidables de la serie 400, siendo esta serie generalmente útil para presiones de 3000 psi con 10% de CO<sub>2</sub>.

El Monel es una aleación metálica con un contenido de más de 60% en níquel, menos de 4% en hierro, 2% de manganeso y el resto en cobre. Las armaduras de este material se utilizan en entornos muy severos, algunos de estos incluyen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y soluciones de salmuera a altas temperaturas (> 160° F); su única restricción es que puede llegar a ser muy caro.

## **2.5 Tubo Capilar**

Dentro de las aplicaciones del cable de potencia en el sistema BES, actualmente en la industria se tiene la opción de instalarlo con un tubo o 2 tubos capilares; el tubo capilar se encuentra separado del conductor, aislamiento y chaqueta; va dentro de la armadura para evitar contacto directo con el fluido exterior. La función principal es servir de comunicador desde la superficie hasta el fondo del pozo facilitando la inyección de productos químicos tales como anticorrosivos, diluyentes, antiespumantes, anti scale (incrustaciones) etc. Esta opción de usar tubo capilar facilita la operación principalmente cuando hay formación de asfaltenos, parafinas, formación de incrustaciones, producción de petróleo con alto corte de agua, petróleos pesados, etc.

El tubo capilar puede ser fabricado de varios materiales, la consideración más importante en la selección del tubo adecuado para cualquier aplicación es la compatibilidad del material con el fluido que se prevé va a estar en contacto. La tabla 3 presenta los materiales disponibles, la aplicación y el rango de temperatura recomendado al que puede estar expuesto el tubo. Entre los comúnmente usados está el acero inoxidable, el cobre y el Monel.

TABLA 2. Recomendaciones para la selección del material del tubo capilar.

Material del tubo	Aplicación General	Rango de Temperatura recomendado
<b>Acero inoxidable</b>	Alta presión, alta temperatura, generalmente en medios corrosivos	-425°F a 1200°F (-255°C a 605°C)
Acero carbonatado	Alta presión, Alta Temperatura de aceite, aire, con algunos productos químicos especialmente	-20°F a 800°F (-29°C a 425°C)
<b>Cobre</b>	Baja Temperatura, baja presión de agua, aceite y aire	-40°F a 400°F (-40°C a 205°C)
Aluminio	Baja Temperatura, baja presión de agua, aceite, aire, en algunos químicos especialmente.	-40°F a 400°F (-40°C a 205°C)
<b>Monel 400</b>	Recomendado para aplicaciones en gas amargo, ambiente marino y en general para procesamiento de productos químicos.	-325°F a 800°F (-198°C a 425°C)
Aleación C276	Excelente resistencia a la corrosión, oxidación y resistencia a la localización de ataques corrosivos.	-325°F a 1000°F (-198°C a 535°C)
Aleación 600	Recomendado para aplicaciones en alta temperatura generalmente con corrosión media.	-205°F a 1200°F (-130°C a 650°C)
Titanio	Resistente a muchos ambientes, como al agua de mar y a condiciones saladas.	-75°F a 600°F (-59C a 315°C)

**Fuente:** los autores.

### 3. PROGRAMA DE SELECCIÓN DEL CABLE

En el presente capítulo se dará a conocer la Estandarización de la Nomenclatura del Cable de Potencia propuesta para la SOH, donde se explicará el porqué de cada uno de los parámetros a seleccionar, los cables equivalentes a dicha nomenclatura, los proveedores de estos cables y las características principales. También se presentará el PROGRAMA DE SELECCIÓN DEL CABLE, que permite escoger de manera rápida el cable indicado a ciertas condiciones del pozo, con factores relevantes tales como la temperatura y la composición de los fluidos con los cuales va a estar en contacto.

#### 3.1 ESTANDARIZACIÓN DE LA NOMENCLATURA DE LOS CABLES

Considerando la cantidad de proveedores y la gran variedad de cables con múltiples características, se propone estandarizar los cables similares en una nomenclatura propuesta para la SOH. Las características que se tienen en cuenta para agruparlos son la temperatura máxima permisible, los materiales usados en los componentes básicos y las características especiales de cada uno. Para la estandarización y equivalencia de cables se tuvo en cuenta los catálogos de Borets – Weatherford, 2010 y REDA ESP, 2007.

En el diseño de la nomenclatura descriptiva del cable se toma en cuenta cada uno de los componentes, en las denominaciones se indican los materiales seleccionados para cada uno: aislamiento, chaqueta y componentes especiales; también se denota la temperatura máxima a la que puede ser sometido.

La nomenclatura descriptiva se define así:

PL: POWER LINE

AISLAMIENTO

E: EPDM (Etileno Propileno Dieno Monómero)  
P: POLIETILENO  
PP: POLIPROPILENO

CHAQUETA

E: EPDM (Etileno Propileno Dieno Monómero)  
N: NITRILO  
L: LEAD SHEATH (funda de plomo)

FORMA

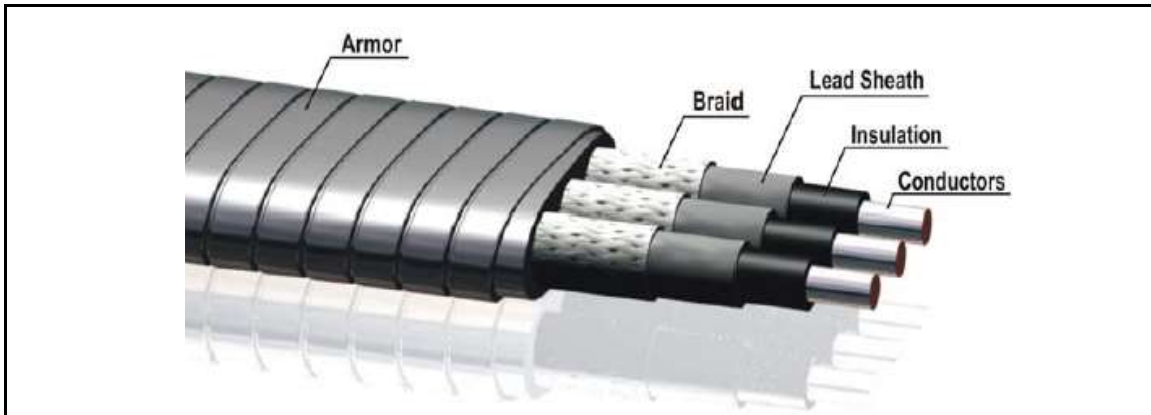
F: FLAT CABLE (Cable Plano)  
R: ROUND CABLE (Cable Redondo) (no aplica)

## TEMPERATURA

- 450: Temperatura máxima de operación 450°F
- 400: Temperatura máxima de operación 400°F
- 300: Temperatura máxima de operación 300°F
- 285: Temperatura máxima de operación 285°F
- 257: Temperatura máxima de operación 257°F
- 205: Temperatura máxima de operación 205°F
- 190: Temperatura máxima de operación 190°F

Luego de definir la nomenclatura descriptiva, se tomaron los diferentes cables de los proveedores y se agruparon los que tenían características similares de acuerdo a sus componentes; de la estandarización resultaron siete (7) tipos de cables diferentes:

### 3.1.1 PL – ELF – 450



**Fuente:** Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES	
Temperatura máxima 450 °F	CELF	BAKER
Conductor solido	SL – 450 (E-Lead)	BORETS
Aislamiento de EPDM	ELB	SCHLUMBERGER
Lead Sheath (funda de plomo)	ELTB	SCHLUMBERGER
Braid, refuerzo mecánico adicional.	WT – 6F 450	WSP
	WT – 5F 450	WSP
	PL - 450	WOOD GROUP

### 3.1.2 PL – EEF – 400



**Fuente:** Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES	
Temperatura máxima 400 °F Conductor solido Aislamiento de EPDM Tape de fluoropolimero Braid, refuerzo mecánico adicional.	CEEF	BAKER
	SL – 450	BORETS
	WT – 4F 400	WSP

### 3.1.3 PL – EEF – 300



**Fuente:** Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES	
Temperatura máxima 300 °F Conductor solido Aislamiento de EPDM Chaqueta de EPDM Tape y Braid, de polivinilo o Tedlar.	EEF – GG5F ETBEF – 300 G5F	SCHLUMBERGER SCHLUMBERGER



### 3.1.4 PL – ENF – 285



Fuente: Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES
Temperatura máxima 285 °F Conductor solido Aislamiento de EPDM Chaqueta de NITRILO Tape y Braid, de fluoropolimero.	SL -285 WT – 3F300 BORETS WSP

### 3.1.5 PL – PPLF – 257



Fuente: Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES
Temperatura máxima 257 °F Conductor solido Aislamiento de POLIPROPILENO Lead Sheath (funda de plomo)	CPL BAKER

### 3.1.6 PL – PPNF – 205



Fuente: Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES
Temperatura máxima 205 °F Conductor solido Aislamiento de POLIPROPILENO Chaqueta de NITRILO Tape (fluoropolimero) y Braid.	CPNF                      BAKER SL – 212 (PN)        BORETS POTB                      SCHLUMBERGER POF                        SCHLUMBERGER WT – 2F 205         WSP PL – 205                WOOD GROUP

### 3.1.7 PL – PF – 190



Fuente: Sub-line ElectricalSubmersiblePump cable. BORETS

CARACTERISTICAS	PROVEEDORES
Temperatura máxima 285 °F Conductor solido Aislamiento de POLIETILENO Tape.	CTT                                      BAKER WT – 1F 190                      WSP

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE SELECCIÓN DEL CABLE

En vista de las características de cada pozo en su operación, como el tipo de fluido o la temperatura máxima de trabajo, se consideran las diferentes aplicaciones que tienen los diversos tipos de cable para seleccionar el indicado a un pozo específico. La mala selección de un cable puede llevar a la disminución de la vida útil de este cuando es aplicado a condiciones mayores de las que se ha diseñado; o una mayor inversión económica cuando no es necesaria, es decir cuando se aplica un cable de alta resistencia a un pozo de bajas condiciones de operación. Con el objetivo de evitar los problemas de mala selección de cable se diseña un programa para la SOH que muestra el cable indicado para las condiciones específicas de un pozo. Tomando la estandarización del cable antes planteada y estudiando los parámetros del fluido a levantar, se crea el programa macro en Excel: SELECCIÓN DE CABLE (Figura 14).

El exponer el cable a temperaturas mayores para la cual fue diseñado disminuye su vida útil de manera exponencial, es por esto que el programa toma como variable principal la Temperatura Máxima de operación del pozo, seleccionando el valor inmediatamente superior que en la nomenclatura estandarizada son los tres números que aparecen al final del nombre del cable. Otros parámetros para la selección que se tienen en cuenta son las propiedades del fluido del yacimiento, cada cable tiene capacidad para aguantar un cierto porcentaje de contenido de  $H_2S$  y  $CO_2$  según sean sus componentes. Cables con chaqueta de EPDM o Nitrilo no pueden ser sometidos a contenidos mayores de 3% de  $H_2S$  o más del 5% de  $CO_2$ , mientras que si adicional a la chaqueta el cable cuenta con funda de plomo (LEAD SHEATH) puede trabajar a condiciones mayores que las antes mencionadas.

En las labores de recobro en el pozo se inyectan diferentes fluidos, muchas veces por el espacio anular, algunos de ellos no son compatibles con el componente externo del cable (coraza o Armadura); es por eso que se toma como otro parámetro en la selección del cable. El Monel, el Acero Inoxidable o Galvanizado son los materiales más comunes en la fabricación de la armadura; hay que saber con cuál de estos son compatibles los fluidos que se van a producir o se prevén van a ser inyectados por el anular para así seleccionar el indicado. Si se diseña que la inyección del fluido para recobro va a ser por medio del tubo capilar, entonces además el cable a seleccionar será "CON CAPILAR"; las condiciones del tubo capilar dependen de los fluidos químicos de inyección. De acuerdo a lo anterior planteado se escoge el cable que cumpla con las condiciones mínimas requeridas, es decir, el más apropiado para los parámetros que se han determinado del pozo; además el programa nos muestra características adicionales del cable y los posibles proveedores. El programa macro SELECCIÓN DE CABLE realiza esta acción a través de códigos del lenguaje Visual Basic, el diagrama 1 muestra la selección lógica del cable.

Figura 14. Programa SELECCIÓN DE CABLE

Maxima temperatura de operación (°F)      profundidad en pies  
To=       h (ft) =

contenido de H2S (%)  
H2S=

contenido de CO2 (%)  
CO2=

TUBO CAPILAR  
¿requiere que el cable tenga TUBO CAPILAR para inyección de Fluidos?  
 SI     NO

ARMADURA     

seleccionar cable

ecopETROL  
ENERGÍA PARA EL FUTURO

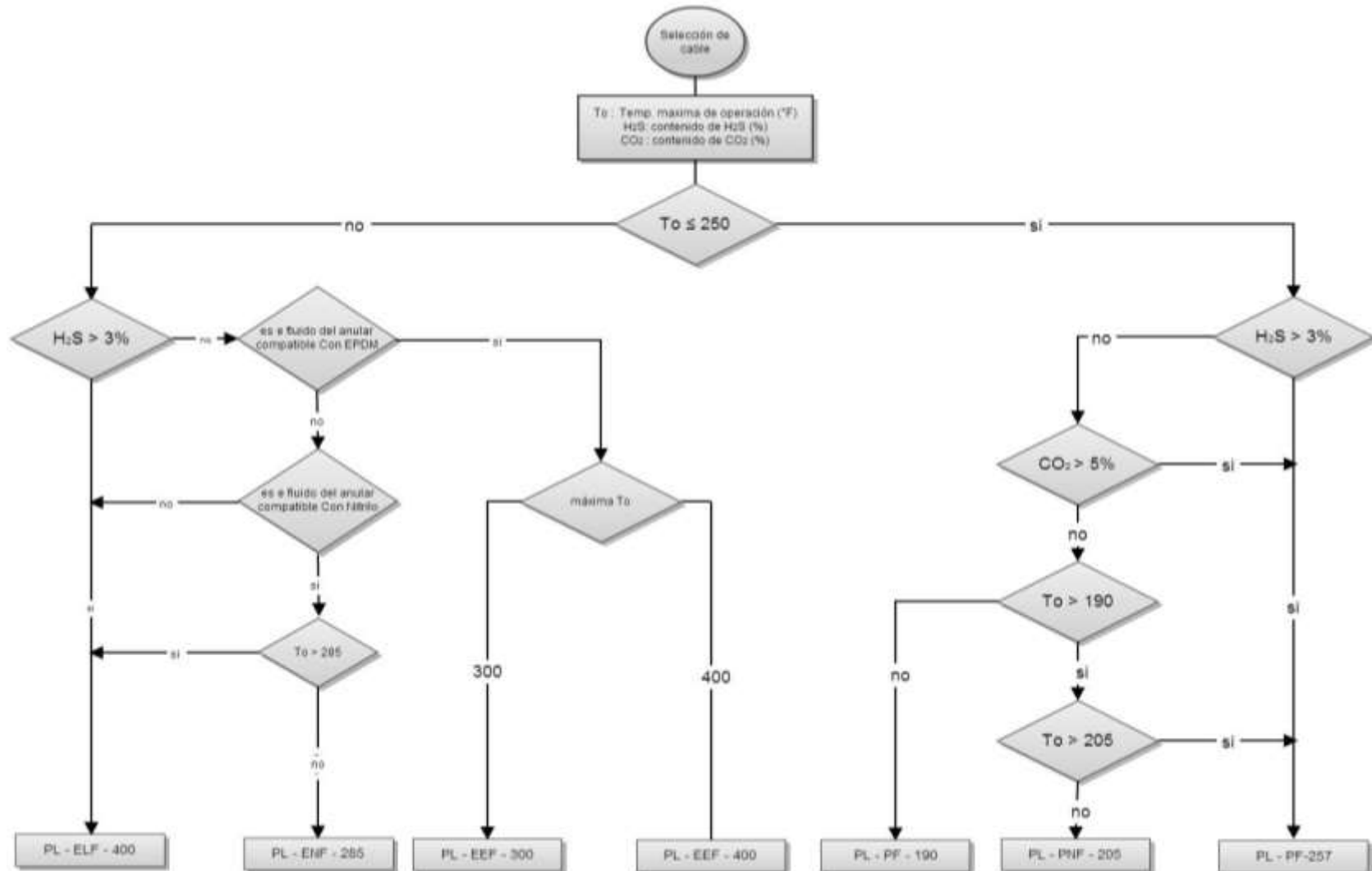
Universidad Surcolombiana

SEGÚN LAS CONDICIONES DE POZO DADAS, EL CABLE MÁS APROPIADO ES: **PL-ENF-285** CON CAPILAR

ver mas información del cable

Fuente: Los autores.

Diagrama 1. Selección lógica del cable de potencia.



Fuente: Los autores.

### 3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA APLICANDO EL PROGRAMA DE SELECCIÓN DEL CABLE

La importancia de seleccionar el cable de potencia BES más adecuado para un determinado pozo, o la mejor forma de realizar los procesos de instalación, reparación, pruebas o re-uso del cable, se hace buscando el mayor tiempo de uso de este, lo que ayudaría en la disminución de costos o gastos generados por malas prácticas.

En este capítulo se evidencia la importancia de escoger el cable más indicado para las condiciones de pozo. Un cable hecho para soportar condiciones altas de temperatura, H<sub>2</sub>S o CO<sub>2</sub>, instalado en un pozo poco severo, es un gasto de dinero innecesario. Caso contrario, un cable de baja resistividad instalado en un pozo con características altas, no durara mucho, lo que provoca también un gasto adicional.

Los cables que soportan altas temperaturas, alto contenido de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>, son fabricados con materiales resistentes, además cuentan con componentes auxiliares; lo que indica que son más costosos que los cables fabricados para soportar condiciones bajas. A continuación se hará una estimación económica de un pozo en el cual se ha instalado un cable diferente al cable óptimo.

**Proyecto:** PIJAO  
**Campo:** DINA  
**Pozo:** PJ-04

#### - Características del fluido producido:

Gravedad del crudo = 20.0 °API  
Gravedad especifica del agua = 1.03  
Gravedad especifica del gas = 0.65  
Corte de agua = 89.9 %  
GOR = 126 scf/STB  
N<sub>2</sub> = 0 %  
**H<sub>2</sub>S = 0 %**  
**CO<sub>2</sub> = 0 %**  
Temperatura en fondo = 155°F  
**Temperatura máxima de operación: 216°F**

#### - Descripción de los equipos:

**Bomba:** 159-538 P23SND  
**Motor:** KMH 304 HP 1900V 98 A [562Series]  
**Cable:** #1 CELF 5kV, 6390ft

Se ingresan los datos más relevantes para la selección del cable, Temperatura máxima de operación de 216°F, H<sub>2</sub>S=0% y CO<sub>2</sub>=0% en el programa de SELECCIÓN DE CABLE, así como lo muestra la Figura 15. De acuerdo al programa el cable más apropiado para este pozo es el **PL-PPLF-257 (3.1.5)** en la nomenclatura estandarizada para la SOH, cuyo proveedor es BAKER con el cable **CPL** que cumple con las siguientes características:

Temperatura máxima de operación de 257 °F  
Conductor solido  
Aislamiento de POLIPROPILENO  
Lead Sheath (funda de plomo) protege el cable de la corrosión y la fatiga

El cable instalado en el pozo PJ-04 es el **CELF** de BAKER, que para la nomenclatura que se ha estandarizado corresponde al **PL-ELF-450 (3.1.1)**. Cuyas características son:

Temperatura máxima de operación de 450 °F  
Conductor solido  
Aislamiento de EPDM  
Lead Sheath (funda de plomo) protege el cable de la corrosión y la fatiga  
Braid, trenzado que proporciona un refuerzo mecánico adicional.

Las características del **CELF (PL-ELF-450)** cumplen muy por encima las condiciones de operación del pozo PJ-04, ahora queda evaluar los precios.

El precio entre el **CPL (PL-PPLF-257)** y el **CELF (PL-ELF-450)** varía mucho, mientras el primero tiene un costo aproximado de 7,5 dólares por pie (U\$/ft), el segundo cuesta 13,20 dólares por pie (U\$/ft) según el mercado actual.

Con la longitud total del cable de 6390 ft, se tendría una inversión total de:

Cable **CPL (PL-PPLF-257)**

$$\begin{aligned} \text{Precio} &= 7,5 \frac{\text{U\$}}{\text{ft}} * 6390 \text{ ft} \\ \text{Precio} &= \mathbf{47925 \text{ U\$}} \end{aligned}$$

Cable **CELF (PL-ELF-450)**

$$\begin{aligned} \text{Precio} &= 13,20 \frac{\text{U\$}}{\text{ft}} * 6390 \text{ ft} \\ \text{Precio} &= \mathbf{84348 \text{ U\$}} \end{aligned}$$

La diferencia entre aplicar el **CPL (PL-PPLF-257)** y **CELF (PL-ELF-450)** es de **36423 U\$**, es decir que el precio del primero es 1.76 veces el segundo, Por lo tanto hay un gasto adicional de instalación muy grande, casi del doble. Esto ratifica la importancia de la buena selección del tipo de cable, no se trata de escoger el más caro, sino el óptimo para las condiciones de un pozo.



Figura 15. Selección del cable apropiado para el pozo PJ-04 con el programa de SELECCIÓN DE CABLE.

Maxima temperatura de operación (°F) profundidad en pies  
To=  h (ft) =

contenido de H2S (%)  
H2S=

contenido de CO2 (%)  
CO2=

**ecopetrol**  
ENERGÍA PARA EL FUTURO

**U**  
Universidad Surcolombiana

**TUBO CAPILAR**  
¿requiere que el cable tenga TUBO CAPILAR para inyección de Fluidos?  
 SI  NO

**ARMADURA**

SEGÚN LAS CONDICIONES DE POZO DADAS, EL CABLE MÁS APROPIADO ES: **PL-PPLF-257**

Fuente: Los Autores.

## 4 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL.

En la SOH no se cuenta con una base de datos actualizada y exacta del cable de potencia en los pozos que producen por Bombeo Electrosumergible (BES), la información del tiempo que lleva corriendo un cable, del historial del mismo, es decir, en que pozos se ha instalado o que cambios a sufrido; a su vez la falta de información a la mano de qué tipo de cables han pasado por determinado pozo, la razón que llevo a hacer el cambio de cable en un Pulling y además saber que cable está instalado actualmente y cuál es su tiempo de operación. De acuerdo al problema anteriormente planteado la SOH se ve en la necesidad de contar con una base de datos actualizada, de acceso rápido y que permita además ingresar la nueva información que se está tomando de las últimas corridas. De ahí parte la idea de implementar una macro de seguimiento y control del cable de potencia.

Una corrida es la intervención de un pozo, donde se le hacen procedimientos requeridos por algún problema presentado, inicia con la instalación de equipos donde se hace un Reporte de instalación (RI) y termina con la extracción de estos que se evidencia con un Reporte de Pulling (RP); en el RI de un pozo se indica la fecha, el procedimiento que se hizo, el tipo de equipos y accesorios instalados, la marca, el proveedor, el número de serial y observaciones que se quiera tener en cuenta. El RP indica la fecha, el motivo por el cual se hace el Pulling al pozo, las condiciones a las que sale cada equipo y accesorio, es decir, si salen buenos o si sufrieron algún daño en el tiempo que estuvo corriendo.

Para el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE se compila la información más relevante referente al cable de cada pozo; El programa cuenta con una base de datos de 183 pozos de la SOH, de los cuales hay 142 pozos activos y 41 con Fin De Servicio (FDS); se analizan las corridas una a una y se toman datos tales como fecha, tipo de cable instalado, longitud del cable, si es nuevo o es viejo, el carrito de donde proviene, el número de serie (ID del cable) y la marca según el Reporte de Instalación. Del Reporte de Pulling los datos relevantes son la fecha, el carrito en el cual se va a enrollar el cable y las condiciones que presenta al momento de extraerse, por ejemplo, si está completamente bien o si hay algún tramo dañado ya sea por daños físicos, por rotura, corrosión, quemado o caso extremo que el cable salga todo para chatarra. Teniendo la información necesaria y requerida se acomoda en una base de datos en Excel. Un ejemplo de cómo se acomoda la información puede ser visto en la Tabla 3.

En las columnas 10 y 11 de la Tabla 3 se puede observar el tiempo de vida que lleva el cable durante el Pulling y el tiempo de vida acumulado durante todo su

historial, respectivamente. La columna 12 indica el estado en que sale el cable en el último Pulling.

El PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE permite primero observar de forma inmediata la información histórica de los cables que han pasado por un pozo seleccionándolo de una lista desplegable, o a su vez de los pozos por los cuales ha pasado un cable solo seleccionando el ID del cable en cuestión (Figura 16). También permite manipular la información guardada, es decir, modificar los datos ya existentes; además se puede ingresar las nuevas corridas que se van presentando en cada pozo. Para ingresar una nueva corrida se selecciona el pozo, se ingresa la información del reporte, se da clic en el botón "GUARDAR" y se responde las preguntas que solicita el programa.

Observando la información histórica de un pozo con el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE, podemos hacer el seguimiento de los tipos de cable que ha tenido y así determinar el control para la próxima selección del tipo de cable que se puede llegar a instalar, además conocer el tiempo de vida que lleva y pronosticar el que podría llegar a tener.

**Tabla 3.** Ejemplo con pozo RC-86 de la Base de Datos del PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE

POZO	CAMPO	# Carreto Inst.	# Carreto Pull.	N/U	longitud Ft.	Run#	Date Inst.	Date Pull.	Runlife	Run acum.	Cond. de salida	TIPO DE CABLE
RC - 86	RIO CEIBAS	3	LT72-5257	U	4450	1	08/05/2005	09/11/2008	1281	1281	BUEN ESTADO	REDA AWG #2,
RC - 86	RIO CEIBAS	LT72-7604	LT78-122775	N	4500	2	12/11/2008	10/12/2008	28	28	BUEN ESTADO	Type: REDALEAD - SOL- 5 Volt. - AWG: 6
RC - 86	RIO CEIBAS	LT78-122775		U	4406	3	11/12/2008		1630	1658		Type: REDALEAD - SOL- 5 Volt. - AWG: 6

Fuente: Los Autores

**Figura16** PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE.

# RUN	Fecha de Instalación	Carreto de Instalación	Longitud (FT)	N/U	Fecha de Pulling	Carreto de Pulling	cond. De salida	Run life (días)	Run acum. (días)	ID Cable	Tipo de Cable	marca
1	26/07/2007	78-1352	6400	N	06/11/2007	78-6929	BUEN ESTADO	103	103	19	Type: FLAT - 5 Volt. - AWG: 4 SOL- Configu	CENTRILIFT
2	08/11/2007	78-6929	6650	U	29/12/2008	78-6940	BUEN ESTADO	417	520	19	Type: FLAT - 5 Volt. - AWG: 4 SOL- Configu	CENTRILIFT
3	31/12/2008	78-6940	6890	U	26/04/2010	78-3720	BUEN ESTADO	481	1001	19	Type: FLAT - 5 Volt. - AWG: 4 SOL- Configu	CENTRILIFT
4	29/04/2010	78-3720	6610	U	02/10/2012	78-310821	BUEN ESTADO	887	1888	19	Type: FLAT - 5 Volt. - AWG: 4 SOL- Configu	CENTRILIFT
5	10/10/2012	78-310821	6610	U				295	2183	19	Type: FLAT - 5 Volt. - AWG: 4 SOL- Configu	CENTRILIFT

Fuente: Los Autores

## **4.2 DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL CABLE DE POTENCIA.**

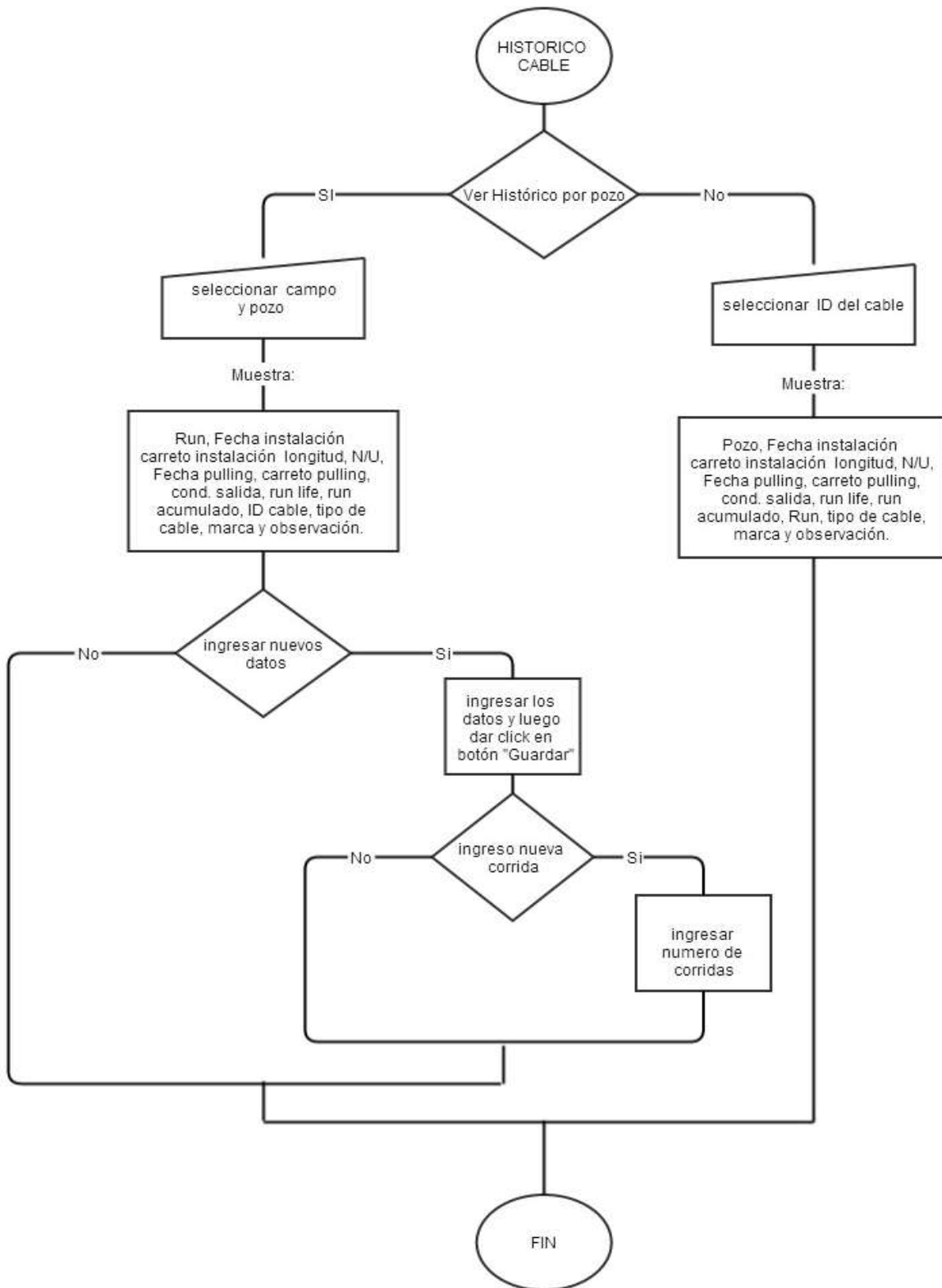
El tiempo de vida útil o run lifedel cable de potencia es un parámetro que en la industria petrolera no está especificado directamente. Todo depende de las condiciones a las cuales se someta el cable y por los procesos que se le realicen; el fabricante establece una durabilidad de aproximadamente 12 a 15 años con los materiales y parámetros que se prueban en laboratorio antes de su entrega a la operadora, sin embargo ese tiempo solo se pone a prueba una vez sea llevado a pozo, donde siempre las condiciones van a ser mucho más exigentes y desfavorables.

A través de la organización y análisis de la información suministrada por la SOH, se ha encontrado una pequeña cantidad de cable con un poco más de 5000 días ( $\pm 14$  años) lo que afirma el rango del fabricante, pero hay una gran cantidad de pozos donde el cable no supera los 50 días antes de sufrir un daño, lo que trae perdidas de costos y materiales al colocar un cable donde las condiciones eran muy superiores a las de su diseño, aunque esto también puede ocurrir por fallas en los procedimientos, tales como golpes o aplastamiento.

Para establecer o conocer el runlife que lleva cierto cable es necesario siempre llevar un estricto control de su utilidad desde la primera instalación, donde se registren cualquier anomalía que sufra, las veces que se ha reparado, que se ha reinstalado y sobre qué características de pozo ha sido favorable. Esta labor se realiza con el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE. Esto ayuda además a tomar decisiones a la hora de reemplazar un cable o reutilizarlo. En circunstancias donde se encuentren cables que han sido utilizados, pero del cual no se tienen registros, lo más adecuado es realizar una completa valoración en el taller y una vez listos, optar por iniciar su registro histórico a partir de ese momento, asignándosele un nuevo serial que lo identifique y desde allí seguir estableciendo su funcionalidad.

Las operadoras también tienen un índice de funcionalidad de los cables de potencia; algunas establecen 3000 días como un lifetope, ya que para su análisis es el tiempo ideal para reemplazarlo, es decir, una vez el cable haya cumplido con estos días de trabajo en pozo, en el próximo Pulling se da de baja y no se vuelve a utilizar. Esta cantidad varía dependiendo de la experiencia con los diferentes tipos de cable.

**Diagrama 2.** Secuencia del programa de seguimiento y control del cable



**Fuente:** Los Autores.

## CONCLUSIONES

- ✓ Al analizar con los programas de SELECCIÓN y de SEGUIMIENTO Y CONTROL del cable (Capítulos 3 y 4) la información suministrada por la SOH del historial de los 183 pozos que producen por Bombeo Electrosumergible (BES) se puede apreciar que se han realizado innecesarias instalaciones de cables afectando principalmente la economía del proyecto; un ejemplo de ellos se puede apreciar en el análisis económico realizado para el cable CELF instalado en el pozo PJ-04 (Pág. 38); cable con materiales de altas condiciones instalado en un pozo poco exigente, arrojando un gasto adicional de 36423U\$.
- ✓ La exposición a altos contenidos de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y temperaturas elevadas acorta el tiempo de vida del cable; de los anteriores el factor más influyente en la determinación del tiempo de vida útil es la Temperatura nominal; ya que está limitada a la máxima permisible del material de la chaqueta, siendo el EPDM (Etilen Propilen Dien Monómero) el material que mayor temperatura resiste.
- ✓ La vida útil del cable de potencia depende de las condiciones que resisten los materiales de sus componentes, en especial de la chaqueta que protege la integridad de los conductores y representa un factor crítico al estar en continuo contacto con el ambiente del pozo.
- ✓ El tiempo de vida útil de un cable no se puede establecer concisamente, solo hay pautas que ayudan a estimarlo, estas se valen de la experiencia con el cable, es decir, si es o no compatible con las condiciones a las que se va a someter en el pozo.
- ✓ Para aplicaciones de cable en condiciones bajas de temperatura es más apropiado el uso de NITRILO como material de chaqueta debido a su mayor resistencia al hinchamiento con el crudo en relación al EPDM.
- ✓ Durante la instalación, transporte y operación del cable de potencia un gran número de fallas puede atribuirse a errores humanos generados principalmente por la inadecuada realización de los procedimientos recomendados en el **Anexo 2**.
- ✓ Bajar el equipo en pozos de diámetro pequeño expone el cable a rozamiento excesivo llevando a desgastarlo prematuramente y en su defecto disminuir su tiempo de vida útil.
- ✓ Los tramos donde se encuentra empalme son los puntos más críticos del cable, un pequeño desbalance en su realización puede llevar a posibles fallas prematuras una vez instalado en pozo.

- ✓ Con la realización de este proyecto la SOH puede llevar un control del historial organizado del cable de potencia que se instala en cada pozo donde se ha implementado el Bombeo Electrosumergible, además realizar la selección óptima del cable según las condiciones que se presenten.



## RECOMENDACIONES

- ✓ Para una eficiente selección del cable de potencia, a cualquier condición que presente el pozo donde va a ser instalado, se recomienda hacer siempre uso del PROGRAMA DE SELECCIÓN DE CABLE (Diagrama 1) junto con el historial del pozo; ya que es importante para una óptima instalación.
- ✓ Seguir puntualmente los procedimientos recomendados de instalación, reparación y re-uso descritos en el **ANEXO 2**, para evitar fallas y disminuir eventualidades asociadas al manejo del cable de potencia.
- ✓ Realizar las pruebas recomendadas y requeridas del cable en cada uno de los procesos como se describe en el **ANEXO 1**. Antes, durante y después de la instalación del cable.
- ✓ para profundidades mayores a 6000 ft se recomienda hacer empalme cruzado de no más de 500 ft. esto ayuda a que no haya desbalance de fases.
- ✓ No hacer re-uso de cable de potencia que no haya sido inspeccionado debidamente en el taller, mucho menos cable que no presente óptimas condiciones de instalación.
- ✓ Llevar el registro adecuado de los procesos de Instalación y Pulling en el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE (Capítulo 4), actualizando los datos para cada corrida del pozo.

## BIBLIOGRAFIA

1. API RP 11S3 – Recommended Installation Practice: X-Tract® ESP Cables, September, 2010.
2. API RP 11S5 – Recommended practice for Application of Electrical Submersible Cable Systems. First edition, February 1993.
3. API RP 11S6 – Recommended practice for Testing of Electrical Submersible Pump Cable Systems. First edition, December 1995.
4. Cable Installation Manual for Power and Control Cables. Ninth Edition, September 2011. GENERAL CABLE, DURASHEATH, UNIBLEND, UNISHIELD, UNICON FREP, and UNICON are trademarks of General Cable Technologies Corporation
5. Catalogo Borets – Weatherford 2010.
6. DRAFT IEEE Recommended Practice for Specifying Electric Submersible Pump Cable— Ethylene-Propylene Rubber Insulation, January 2004.
7. HIRSCHFELDT, Marcelo. Diseño, Selección y Optimización Del Sistema De Bombeo Electrosumergible (ESP). OilProductionConsulting and Training. 2011.
8. RAMÍREZ, Marto. Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y TroubleShooting. Taller Internacional. Venezuela. ESP OilConsultants. 2004.
9. REDA Electric Submersible Pump Technology - ESP Catalog 2007.
10. SPE 165004 Tracking System, Failure Analysis and Reuse Program To Optimize Usage of Power Cable in Electrical Submersible Pumping Systems. E. Rubiano, H. Vargas, J. L. Martin, OXY. 2013.

## ANEXOS

### ANEXO 1. PRUEBAS RECOMENDADAS PARA EL CABLE DE POTENCIA.

Las pruebas son el medio por el cual se verifican las condiciones en que se encuentra el cable de potencia; una consideración básica de cualquier tipo de pruebas es que una falla eléctrica no puede producirse por un cable dañado que haya sido debidamente inspeccionado, ya que se realizan bajo estrictos controles y en relación con las condiciones de los pozos de petróleo; sin embargo la prueba es un indicador en un momento dado, no es una garantía de resultados futuros en los cuales otras condiciones y tratamientos son tenidos en cuenta; en general, se pueden dividir en dos categorías básicas: las pruebas en fábrica y pruebas de campo. Todas las pruebas relacionadas se utilizan para detectar defectos graves del cable en materiales y mano de obra. Pruebas típicas sobre un cable nuevo incluyen **corriente directa o continua (DC), corriente alterna (AC), resistencia del aislante (IR) y resistencia del conductor** y están cubiertos por las normas estándar **IEEE 400, 1017, 1018, 1019 y (API RP 11S6, 1995.)**

#### 1.1 CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA ANTES DE REALIZAR LAS PRUEBAS.

##### 1.1.1 SEGURIDAD

###### Descripción

El alto voltaje en pruebas de sistemas de cable abarca una serie de riesgos normalmente asociados con el trabajo en circuitos energizados, así como varios peligros únicos que deben ser abordados y siempre tenidos en cuenta.

###### Aplicación

Los cables pueden mantener una carga eléctrica de corriente continua durante largos períodos de tiempo después de que el voltaje ha sido retirado. La carga eléctrica se mantiene debido a la alta capacitancia y características de absorción dieléctrica del aislamiento. Por esta razón, los procedimientos adecuados de puesta a tierra deben seguirse para eliminar los riesgos de primera instancia con el personal.

###### Procedimiento

Toda terminación, así como todos los cables de conexión de los componentes que se están probando requieren protección por contacto accidental con medidas tales como barreras, cerramientos, o una constante vigilancia en todos los puntos. Los extremos requieren la separación de sus elementos que no están siendo sometidos a prueba por una distancia de no menos de 6 pulgadas.

Todos los equipos requieren ser desactivados antes de comenzar cualquier prueba y cada fase del cable de potencia debe tener una conexión a tierra. No debe haber energizada ninguna parte metálica en la zona. El único momento en que una conexión a tierra se suspende es cuando el voltaje de prueba se aplica al conductor.

Después de la prueba, cada conductor debe ser normalizado, es decir descargado completamente; El tiempo requerido para esta operación es hasta cuatro veces la duración de la tensión aplicada, de lo contrario existe peligro de descarga eléctrica, incluso sin un voltaje aplicado.

## 1.1.2 PREPARACIÓN DEL SISTEMA DE CABLE

### Descripción

Este procedimiento implica la limpieza y la preparación de un sistema de cable para las pruebas eléctricas. El procedimiento es apropiado para todas las pruebas incluidas en este capítulo.

### Aplicación

La rigurosa aplicación de este procedimiento se vuelve más importante a medida que aumenta el nivel de tensión.

### Limitaciones

Los extremos de los cables, conectores, obturadores, y Potheads deben prepararse de manera que no hallan fugas o formaciones de arco durante la prueba. Si este procedimiento no se sigue, los resultados de las pruebas serán inconsistentes y pueden ocurrir daños en la integridad del aislamiento.

### Procedimiento

Antes de la prueba, el sistema de cable debe alcanzar la temperatura ambiente y ser desgasado. Se debe probar la continuidad para asegurar que haya una trayectoria normal y continua para la alimentación de la corriente.

Una prueba de continuidad debe hacerse en cada conductor para asegurar que no haya rotura en el cable o dispositivo de conexión. Una prueba de resistencia del conductor se puede hacer en cada fase. Un ohmímetro sensible es necesario para esta prueba. Mediante la correcta interpretación de las lecturas, los empalmes débiles u otras imperfecciones del conductor pueden ser identificados. La resistencia de tamaños de conductores típicos se muestra en la Tabla 4. Las lecturas para cada uno de los tres conductores no deben diferir en más de 2% y debe estar dentro del 5% de los valores de la tabla.

Tabla 4. Resistencia según tamaño de conductores				
			Máximo ohm/1000 ft a 77° F(25°C)	
Tamaño AWG	Numero de hilos	Diámetro nominal	Cobre desnudo	Cobre recubierto
6	1	162	0,419	0,431
4	1	204	0,263	0,271
2	7	292	0,169	0,175
1	7 o 19	328	0,134	0,139

Fuente: API RP 11S6

## Cable con dispositivos de conexión

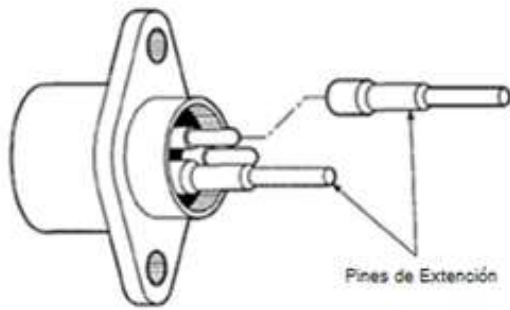
Se debe realizar una prueba de presión antes de la prueba eléctrica. Los Pothead se prueban generalmente con cerca de 30 psi. El dispositivo de conexión deberá limpiarse con disolventes no conductores y secado por completo. Todos los aisladores de prueba deben mantenerse completamente limpios antes de usarlos.

Algo muy importante que se debe tener en cuenta es que si todos los contaminantes no son eliminados, el arco se producirá ocasionando daños a la integridad del aislamiento. Después de la limpieza, los contactos eléctricos deben estar aislados adecuadamente, para esto puede ser utilizado un conector de acoplamiento, pasadores de extensión o aceite aislante de alta calidad.

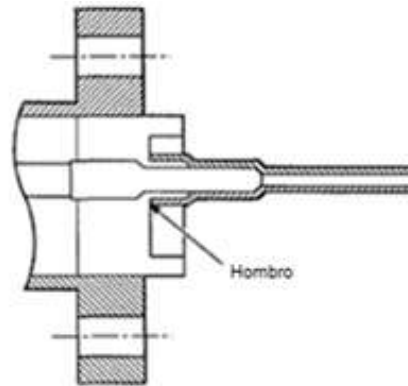
La opción comúnmente utilizada para aislar los conectores y los obturadores es un acoplamiento de alto dieléctrico no adherente. Los contactos eléctricos de un dispositivo de conexión macho pueden ser aislados utilizando este material dieléctrico (véase figura 11a). El ajuste requerido depende del tipo de dispositivo de conexión que se está probando. Los dispositivos macho que tienen contactos cortos requieren un pequeño ajuste. El ajuste de dispositivos con conexión hembra y largos tienden a ser menos crítico. En todos los casos, se recomienda que los aislantes queden a ras con la parte inferior del dispositivo de conexión y se extiendan al menos 1 cm más allá del extremo del contacto (véase figura 11b).

Los contactos eléctricos de los dispositivos de conexión hembra se pueden aislar con pasadores de extensión (véase figura 11c). Los pasadores proporcionan espacio para conectar de forma segura los cables de prueba. El diámetro exterior del conductor necesita ser comparado con el tipo de conector que se está probando. Se recomienda que una sección de alto potencial dieléctrico se utilice para mejorar el aislamiento de la sección de los pasadores de extensión.

Alternativamente, un enchufe de prueba modelado puede ser usado para encajar en los contactos de un pothead (véase la Figura 12). El enchufe debe mantenerse limpio de contaminantes.

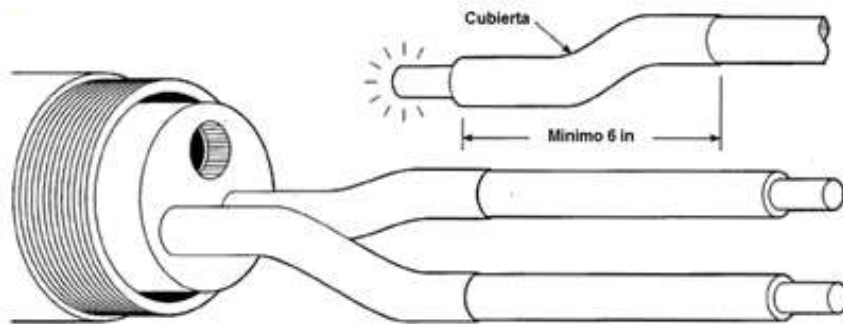


**Figura 17a.** Cable con dispositivos de conexión macho aislado con alto dieléctrico no adherente.



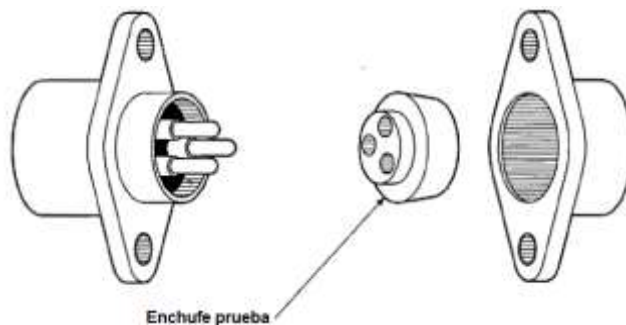
**Figura 17b.** Posición del dieléctrico no adherente en un conector macho.

**Figura 17c.** Cable con dispositivo de conexión hembra. Cable aislado con pasadores de extensión.



**Fuente:** Recommended Practice for Testing of Electric Submersible Pump Cable Systems

**Figura 18.** Posición del enchufe de prueba a través de los contactos de un pothead.



**Fuente:** Recommended Practice for Testing of Electric Submersible Pump Cable Systems

## **Cable Sin dispositivos de Conexión**

El cable que termina sin dispositivos de conexión debe ser preparado como sigue: quitar la armadura y todos los demás materiales que cubren el aislamiento. Los materiales que se separan son: plomo, armadura y chaqueta. Sólo los materiales de aislamiento deben permanecer. Por lo menos 8 pulgadas del cable de potencia deben quedar expuestos en ambos extremos del cable. Las superficies de aislamiento deberán limpiarse con disolventes no conductores y secados por completo.

Advertencia: si todos los contaminantes no se eliminan, el arco se producirá dando como resultado daño en la integridad del aislamiento. En el extremo del cable donde este se va a conectar, eliminar al menos 2 cm de aislamiento de cada conductor, separar cada conductor de la prueba en la medida como sea posible. Asegúrese de que el extremo del conductor desnudo este a más de 6 pulgadas de otro extremo de cable o terrestre. En el opuesto, aplicar un protector de corona tal como cemento de silicona, masilla, o cubiertas de plástico. Separar el conductor que está siendo probado lo más lejos posible.

### **1.2 TIPO DE PRUEBAS**

#### **1.2.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (Megóhmetro)**

##### **Descripción**

La resistencia de aislamiento del sistema de cable (IR) se mide con un **megóhmetro DC** que es un dispositivo que mide valores de resistencia extremadamente alta. El equipo de prueba es generalmente compacto, barato y ampliamente utilizado por los fabricantes y operadores de cable. Las pruebas de IR se pueden utilizar como un control de calidad en el aislamiento de un sistema de cable para determinar graves fallas y defectos cuando han sido utilizados.

##### **Aplicación**

Las pruebas de IR se llevan a cabo como parte de las pruebas de aceptación, mantenimiento y de diagnóstico. Mide la resistencia que presenta un material de aislamiento al flujo de corriente que se genera al aplicar un voltaje de corriente continua. Se aplica normalmente entre los conductores que transportan la corriente y el suelo. Esta prueba generalmente se realiza en el cable luego de que se fabrica, instala o repara. También se realiza comúnmente como una prueba de rutina de mantenimiento. Las pruebas de resistencia de aislamiento requieren precauciones para la seguridad de los trabajadores. El equipo debe ser operado de una manera consistente con las instrucciones del fabricante. La resistencia de aislamiento se mide en condiciones ambientales. El IR medido depende de un número de factores que incluyen la temperatura, materiales del cable, longitud del cable, tamaño del conductor, exposición previa, humedad, tensión de prueba y prueba. Para los cables bajo prueba mientras está instalado en el pozo, los valores de IR son inferiores a causa de variables adicionales, como la temperatura y fluidos del pozo y tiempo de exposición.

Otros componentes del sistema BES, tales como motores, conectores, obturadores y empalmes también reducen las lecturas IR. Las pruebas de aceptación requieren factores de corrección de la temperatura para convertir las lecturas de infrarrojos a una temperatura común de 60 °F (15,6 °C). Las Tablas de corrección de temperatura se obtienen directamente del fabricante del cable para el diseño específico que está siendo probado. Debido a que el aislamiento del cable puede ser modelado como un número infinito de resistencias en paralelo, la lectura en megaohmio disminuirá a medida que aumenta la longitud del cable.

La prueba de resistencia del aislamiento es una prueba cualitativa, que entrega una indicación de la calidad relativa del sistema de aislamiento. Esta es una prueba ideal para estudiar, medir y registrar la estabilidad a largo plazo de los materiales de aislamiento a través del tiempo.

### **Limitaciones**

El material de aislamiento del cable afectará la lectura IR. El polipropileno a temperatura ambiente tiene una resistencia de aislamiento muy superior a la del EPDM. Los factores ambientales también influyen en las lecturas de infrarrojo. El aumento de la temperatura reduce las lecturas. La humedad del aire o la humedad en el cable pueden reducir las lecturas de IR en un factor de 1000 o más. Cuando el cable se introduce en el pozo, las lecturas también disminuirán. Una fuerte caída en la lectura IR, se producirá a menudo cuando el cable alcanza el nivel de fluido. Líquidos y gases repercuten en el aislamiento de los cables y los materiales de la chaqueta, esto se traduce en menores valores de IR en el pozo. Después de que el cable se extrae del pozo, estos líquidos y gases comienzan a salir del cable y las lecturas de IR deben mejorar. Este proceso de purga puede llevar varios días, e incluso más tiempo para cables forrados de plomo deteriorados. Los voltajes de prueba varían de 1000 a 5000 Voltios DC.

### **Procedimiento de prueba**

La prueba se realiza con corriente directa de una fuente de gran capacidad para que el nivel de tensión de prueba especificada se pueda mantener. El procedimiento implica la prueba de un solo conductor a la vez, mientras que los otros dos, junto con la armadura y los otros componentes metálicos, están conectados a tierra. El cable de alta tensión se conecta al conductor. La mayoría de equipos o probadores utilizan el cable de carga negativa debido a que esta genera electrones en el aislamiento que forman efectivamente un escudo alrededor del conductor. Una carga positiva aumentará la tensión del campo eléctrico en el aislamiento que puede resultar en una falla prematura después de la alimentación de corriente alterna.

La tensión de prueba debe aplicarse gradualmente, dentro de los límites del equipo hasta llegar al deseado. El tiempo total requerido para alcanzar el nivel de prueba especificado no debe ser menor a 10 segundos. Esto evita tensiones de impulso sobre el aislamiento.



El límite de la corriente de carga del equipo de prueba no debe superarse mientras que el voltaje se aumenta. Después de que la prueba se ha completado, el voltaje aplicado se debe reducir a cero. Cuando el voltaje de corriente continua se aplica al cable, una carga residual permanecerá en el aislamiento. Cada conductor debe estar conectado a tierra después de haber sido probado. Se debe establecer el tiempo suficiente para descargar completamente el cable. Esto, como se ha mencionado anteriormente, puede ser de hasta cuatro veces la duración de la tensión aplicada. De lo contrario existe peligro de descarga eléctrica.

Repetir el procedimiento de prueba anterior para los otros dos conductores conectados previamente a tierra. Recuerde que debe conectar a tierra el conductor después de cada prueba para asegurarse de que el cable se estabilice.

## **1.2.2 PRUEBAS DE CORRIENTE ALTERNA (AC)**

### **Descripción**

Las pruebas AC son las pruebas realizadas para determinar la integridad del aislante del cable. La tensión aplicada AC se utiliza como una prueba de paso / no pasa.

### **Aplicación**

Los cables de bombeo electrosumergible están diseñados para funcionar con corriente alterna. Por lo tanto, las pruebas de AC se utilizan para establecer la integridad de la línea de cable. Las pruebas de AC pueden encontrar defectos que no se identifican con las pruebas de DC, debido a que estos utilizan un tipo diferente de señal.

Las pruebas AC, generalmente se hacen varias veces durante el proceso de fabricación del cable, una prueba intermedia y otra final. Los requerimientos de AC de prueba son mucho más bajos que los voltajes de prueba de corriente continua.

Las pruebas de AC no polarizan el material de aislamiento; cuando se lleva un determinado tiempo de prueba, la corriente alterna se quemará a través del aislamiento débil o defectuoso, por lo tanto es necesario la intervención y corrección de la falla; mayores voltajes de prueba de corriente continua son necesarios para detectar el mismo problema.

Además de medir la corriente de fuga, un conjunto de pruebas de AC puede ser utilizado para medir la capacitancia y el factor de potencia del aislamiento, los cuales son utilizados para determinar la resistencia.

### **Limitación**

Los requerimientos de potencia para una prueba de corriente alterna son mucho mayores que para una prueba de DC (típicamente 25.000 veces más energía). Un transformador de corriente alterna ajustable es físicamente más grande y más caro que una unidad de prueba de corriente continua. Debido al tamaño y peso del equipo, es más difícil de transportar.

### 1.2.3 PRUEBAS DE CORRIENTE CONTINUA (DC)

#### Descripción

Las pruebas de DC, al igual que las anteriores, son realizadas por el fabricante o el usuario para determinar la integridad del aislamiento. Determina la corriente de fuga que es utilizada como una medida de la calidad del sistema de cable. La forma de actuar es equivalente a la prueba AC, se busca identificar las zonas de fuga, por medio de quema o destrucción del material en la zona de falla.

#### Ventajas

Los esfuerzos eléctricos en corriente continua son considerados menos dañinos que los correspondientes a corriente alterna. El tiempo de aplicación DC no es tan crítico como en el caso de la aplicación de AC.

La prueba puede ejecutarse progresivamente de forma tal que cualquier variación súbita de la corriente de fuga, que pudiera indicar una falla en el aislamiento, permitiría parar la prueba.

#### Limitación

La distribución de los esfuerzos eléctricos en máquinas eléctricas sometidas a señales de prueba en corriente continua, son diferentes a los existentes cuando se aplica corriente alterna.

La carga residual remanente luego de una prueba en DC puede causar daño al operador y debe ser descargada al finalizar la prueba. El efecto de polarización debe ser considerado.

### 1.2.4 PRUEBA DE ALTO POTENCIAL (HI POT)

#### Descripción

Se proporciona corriente alterna o corriente continua no destructiva para pruebas de resistencia de aislamiento. Una prueba de DC se considera alto potencial cuando se lleva a cabo a un nivel de voltaje de dos veces la capacidad de aislamiento más 1000 voltios o más. Una prueba de AC se considera alto potencial cuando se lleva a cabo a un nivel de voltaje mayor que 1.2 veces la capacidad de aislamiento.

Pueden ser pruebas de corriente de fuga o pruebas de resistencia a la tensión. Las pruebas de alto potencial son ampliamente utilizadas para aceptación y mantenimiento de pruebas. La prueba Hi-pot aplica un voltaje excesivo entre las partes que transportan corriente y las que no, para someter a esfuerzo al sistema de aislamiento y verificar su integridad. La prueba Hi-pot es una prueba más rigurosa y es más a menudo un probador de máximo y mínimo, en donde una prueba IR (resistencia del aislamiento) se hace a un potencial más bajo. El valor particular de la corriente de fuga medida dependerá del material de aislamiento,

voltaje aplicado, longitud del cable, temperatura, humedad. Los máximos valores aceptables de la corriente de fuga son por lo general basados en la experiencia.

### Aplicación

El nivel de voltaje de alto potencial de corriente continua es diferente para cada categoría de pruebas. Voltaje de fábrica, de prueba, aceptación y mantenimiento se muestran en la Tabla 5. Para reducir el esfuerzo aplicado en el aislamiento y la posibilidad de daños en el cable para permitir cambios en las condiciones, los niveles de tensión en la aceptación y el mantenimiento son típicamente menos que los de fábrica. Estos valores se basan en lecturas alrededor de la fase y en la norma estándar IEEE 1017.

<b>Tabla 5 - Voltajes de Prueba DC (kv) para cable BES</b>			
<b>Clasificación AC <math>\phi - \phi</math></b>	<b>Prueba de Fabrica Voltaje Prueba</b>	<b>Aceptación Voltaje Prueba</b>	<b>Mantenimiento Voltaje Prueba</b>
3	27	22	11
5	35	28	14

**Fuente:** DRAFT IEEE

### Limitaciones

Lecturas inexactas pueden ocurrir cuando el cable bajo prueba tiene menos de 8 pulgadas o las terminaciones se encuentran en mal estado. La mayor parte de la corriente de fuga medida se produciría en los extremos debido a la superficie de baja resistividad.

La alta temperatura y la humedad, también pueden conducir a la estimación imprecisa de la calidad del aislamiento. En alta tensión se sugiere un empaque de prueba, los cuales se colocan sobre las terminaciones de los extremos expuestos. El aire dentro del empaque es ionizado durante la prueba, creando un sistema de extremos blindado que minimiza las fugas particularmente bajo condiciones de alta humedad.

Las pruebas de DC en niveles superiores pueden deteriorar el aislamiento dependiendo de su condición. La experiencia ha demostrado que este efecto es acumulativo por lo cual se presenta un desgaste continuo a través de la prueba.

## 1.2.5 PRUEBAS DE LOCALIZACIÓN DE FALLAS

### 1.2.5.1 PRUEBA BUCLE MURRAY (PUENTE LOCALIZADOR)

#### Descripción

El bucle Murray es un puente de corriente eléctrica utilizado para la rápida localización de averías en cables de uno o varios conductores. Las pruebas descritas, utiliza como instrumento un bucle Murray de alta tensión.

### **Aplicación**

El bucle de Murray es un método no destructivo de localización de fallas que han sido identificadas por otras pruebas. En comparación con otros equipos de localización, el dispositivo es portátil y de bajo costo.

Un alto voltaje de corriente continua se aplica al cable. El dispositivo utiliza un puente de equilibrio para determinar la ubicación relativa de la falla. La ubicación se determina leyendo el dial del potenciómetro. El valor del potenciómetro corresponde a un porcentaje de la longitud total del cable correspondiente a la avería. La prueba debe realizarse desde ambos extremos del cable para validar la ubicación.

### **Limitaciones**

La técnica de bucle Murray exige la realización de una ruta de carbono. La ruta de carbono se convierte en parte del circuito de detección. El bucle Murray sólo se puede utilizar después de que el equipo se retire del pozo.

El bucle Murray utiliza una fuente de voltaje de alta corriente continua durante las mediciones y todas las precauciones y seguridad de los trabajadores deben ser consideradas. El equipo de prueba debe utilizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Se pueden presentar mediciones erróneas ante la continua calibración del equipo y no realizar la conexión apropiada del circuito al conductor que se está probando.

## **1.2.5.2 PRUEBA DE DESCARGA CAPACITIVA (THUMPER)**

### **Descripción**

Un instrumento de descarga capacitiva aplica un alto voltaje de impulso a un cable defectuoso.

### **Aplicación**

Métodos de prueba se utilizan para determinar inicialmente si hay una falla en el cable. Si la falla no puede ser localizada por métodos diferentes, un instrumento de descarga capacitiva puede ser utilizado para aplicar grandes voltajes a la ubicación de la falla. La descarga repetida proporciona una pulsación periódica al sitio de falla del cable. Esta energía agranda el daño en la medida en que puede ser localizado por sonido o visión. Se deben seguir las instrucciones del fabricante y los procedimientos de seguridad de alta tensión.

### **Limitaciones**

Es un procedimiento destructivo. El aislamiento será destruido en el área de la falla. Esto muy probablemente impedirá cualquier análisis posterior de fallo.

### **Procedimiento**

El procedimiento se realiza con un potencial alterno de una fuente de gran capacidad. Implica operar en un conductor mientras los otros dos conductores, junto con la armadura y componentes metálicos, están conectados a tierra. La energía debe

aplicarse gradualmente hasta que el sitio de falla sea localizado visualmente o por sonido. Después de la prueba, la energía eléctrica se debe quitar inmediatamente.

### **1.2.5.3 PRUEBA DE REFLECTÓMETRO DE DOMINIO DE TIEMPO (TDR)**

#### **Descripción**

El reflectómetro de dominio del tiempo (TDR) es un instrumento electrónico usado para caracterizar y localizar los defectos en el cable, aplica un pulso de tensión de entrada en una longitud de cable y equipo. La forma, polaridad, y el desplazamiento del impulso reflejado puede ser interpretado para localizar sustanciales cambios de impedancia en el sistema.

#### **Aplicación**

Un TDR es un método no destructivo de la localización de las zonas dañadas en el sistema de cable. El cable tiene una impedancia característica que está asociada con el tamaño y el espaciado de los conductores. El TDR identifica los cambios de esta característica. Los cambios pueden ser causados por terminaciones, empalmes, desgaste, anillado, y fallas eléctricas u otros daños en el cable. El TDR ha sido tradicionalmente utilizado con los cables de comunicación. Muchos de los datos, la experiencia y la información se relacionan con estos tipos de cable. El dispositivo permite la identificación de localizaciones de donde hay grandes cambios en la impedancia de aislamiento. Mediante la identificación de fallos en la parte superior del cable, el operador puede eliminar la necesidad de retirar la sarta de tubería completa.

#### **Limitaciones**

La aplicación de los TDR a los cables BES requieren un operador capacitado para interpretar los resultados. Muchos tipos de TDR están diseñados para su uso con cables de comunicación. Estos TDR no poseen suficiente energía en el pulso para ser utilizado con cables BES debido al número de reflexiones que se pueden producir. La calidad de la señal reflejada depende del material de aislamiento, historial de servicio del cable y la absorción de fluidos del pozo. Estos factores causan una reducción que hace que sea difícil de interpretar lecturas del TDR.

El TDR rara vez encuentra agujeros o pequeñas grietas en el aislamiento, sólo identifica los cambios en impedancia. Un cambio de impedancia muy grande puede enmascarar defectos adicionales más adelante en el cable.

#### **Procedimiento**

Siga los procedimientos de seguridad, preparación de cable y las instrucciones del fabricante del equipo. Un TDR emite un pulso muy corto en el tiempo. Si el conductor es de una impedancia uniforme y está apropiadamente terminado, el pulso transmitido se absorberá en la terminación final y no se reflejará ninguna señal de vuelta hacia el TDR. En cambio, si existen discontinuidades de impedancia, cada discontinuidad creará un eco que se reflejará hacia el TDR (de ahí su nombre). Los aumentos en la impedancia crean un eco que refuerza el pulso original, mientras que las disminuciones en la impedancia crean un eco que se opone al pulso original. El resultado del pulso medido en la salida/entrada al

TDR se representa o muestra como una función del tiempo, dado que la velocidad de la propagación de la señal es relativamente constante para una impedancia dada, puede ser leído como una función de la longitud del cable. A causa de esta sensibilidad a las variaciones en la impedancia, un TDR puede utilizarse para verificar las características de impedancia, las ubicaciones de empalmes y conectores, y las pérdidas asociadas en un cable, estimando tanto la longitud del mismo, como cada discontinuidad del cable que será detectada como una señal en forma de eco.

## **1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS**

### **1.3.1 PRUEBAS DE FÁBRICA**

#### **Descripción**

Tienen como objeto verificar las características, condiciones de operación y la calidad de fabricación del cable antes de ser entregados al cliente, las pruebas de fábrica dan garantías de que el producto final cumple con los criterios de desempeño previstos para la aplicación prevista. Pueden ser supervisadas por el cliente. Son pruebas de corriente alterna y corriente continua, las cuales fueron descritas en las secciones **4.2.2 y 4.2.3** respectivamente.

### **1.3.2 PRUEBAS DE ACEPTACIÓN**

#### **Descripción**

Las pruebas de aceptación son realizadas por el usuario a la recepción de nuevos sistemas de cable del fabricante. El objetivo es confirmar que el sistema de cable no ha sido dañado durante su manipulación o transporte e identificar y revelar posibles defectos de fabricación. La prueba también puede ser realizada antes de la instalación en el pozo.

#### **Aplicación**

Las pruebas de aceptación constan de una prueba de resistencia de aislamiento (IR) seguido por una prueba de alto potencial de DC.

#### **Limitaciones**

Una prueba de aceptación puede llevarse a cabo sobre cable utilizado. Las pruebas en los sistemas de cables usados se realizan a voltajes más bajos y caen en las categorías de mantenimiento, in situ, o pruebas de diagnóstico.

### **1.3.3 PRUEBAS DE MANTENIMIENTO**

#### **Descripción**

Las pruebas de mantenimiento consisten en pruebas de alta tensión realizadas en los sistemas de cable utilizados antes de la instalación en un pozo. El propósito de las pruebas de mantenimiento es confirmar que el cable es aceptable para su reutilización.

#### **Aplicación**

Las pruebas de mantenimiento se realizan cada vez que se le va a dar funcionamiento a un cable utilizado, reparado, o que ha estado almacenado antes de su rehuso. Consiste en una prueba de resistencia de aislamiento (IR), seguido de una prueba de alto potencial de corriente continua. La tensión máxima para las pruebas de mantenimiento de corriente continua es menor que el nivel de aceptación de la prueba original.

### **Limitaciones**

El cable se deteriora cuando es instalado en pozos debido a los efectos del ambiente y su manipulación. Debido a este cambio en las características del cable, los altos niveles de prueba de tensión deben ser ajustados y se deben aplicar valores mínimos que no garantizan correctos resultados. La experiencia de campo es utilizada para determinar el nivel de prueba para una aplicación en particular. Se debe evitar la aplicación repetida o prolongada de altas tensiones.

### **1.3.4 PRUEBAS IN SITU**

#### **Descripción**

Se realizan pruebas de baja energía durante y después de la instalación del sistema de cable en el pozo. Estas pruebas están destinadas a evaluar la condición in-situ del sistema eléctrico de una manera no destructiva. Debido a los bajos niveles de energía que se utilizan, estas pruebas generalmente sólo revelan grandes defectos en la integridad general de los elementos del sistema, incluyendo los conectores eléctricos, obturadores, terminal de cable (pothead) y motor. Se utilizan como equipos de medición el megóhmetro, voltímetro y reflectómetro de dominio de tiempo.

#### **Aplicación**

Las pruebas in-situ generalmente consisten de lecturas del sistema de rayos infrarrojos. Las pruebas IR suelen hacerse con un megóhmetro. Debido a que las lecturas de IR dependen de la temperatura, la resistencia disminuye rápidamente por lo general en una forma no lineal a la medida que el cable es introducido en el pozo.

Una caída repentina e imprevista en las lecturas puede indicar problemas en el sistema. En este caso es necesaria la intervención inmediata para rectificar el defecto. Un voltímetro-ohmímetro se puede usar para confirmar la continuidad del conductor y del circuito del motor. Otro método de prueba in-situ utiliza un reflectómetro de dominio de tiempo (TDR). La principal ventaja de este método es su capacidad para identificar la distancia a la cual se encuentra localizada la falla en el cable.

### **Limitaciones**

La interpretación de las lecturas de la prueba in-situ es dependiente de las condiciones y datos históricos en un campo específico o un pozo. Algunas de las variables que afectan a las lecturas de IR incluyen: temperatura de la superficie y fondo de pozo, tipo de cable, profundidad, presión, nivel de líquido, fluidos del

pozo, gases, exposición previa del cable, humedad, tensión de prueba y procedimiento de prueba. Debido a todas las variables que intervienen, las lecturas de infrarrojos rara vez son repetibles. Sin embargo, usado en el contexto de la experiencia, pueden ser indicadores importantes de cambios en el sistema. La pérdida de la señal TDR depende del material de aislamiento y es mayor en los cables que han absorbido los fluidos del pozo.

### **1.3.5 PRUEBAS DE DIAGNOSTICO**

#### **Descripción**

Las pruebas de diagnóstico se realizan para localizar averías, determinar la causa del fallo y evaluar el estado del cable que se utiliza después de que el problema ha sido localizado y reparado. Estas pruebas también se pueden usar para ayudar a determinar la idoneidad de su reutilización.

#### **Aplicación**


Las pruebas de diagnóstico se llevan a cabo después de que un sistema de cable ha fallado en alguna prueba de aceptación, mantenimiento o in-situ. Los métodos de prueba para localizar averías se enumeran en orden creciente de acuerdo a su capacidad destructiva: inspección física, pruebas IR, pruebas de dominio de tiempo, pruebas bucle Murray, pruebas de alto potencial y evaluación con instrumento de descarga capacitiva.

Las pruebas de bucle Murray, alto potencial y evaluación utilizando instrumentos de descarga capacitiva sólo se realizan después de que todo el equipo se halla desconectado del cable. Pruebas de diagnóstico más extensas para determinar la causa de una falla se realizan normalmente por el fabricante o por un laboratorio independiente. Estas pruebas son por lo general de mucho mayor alcance de lo que puede realizarse en campo.

#### **Limitaciones**


Las pruebas de diagnóstico deben ejecutarse en el orden de menos destructivas. Es importante que estas pruebas sean realizadas por personal calificado y entrenado. Las pruebas de descarga capacitiva y alto potencial son destructivas. El daño puede ser tan grande que el error original no podría ser analizado. Las lecturas mejorarán a medida que el cable se enfría, se seca, y desgasifica.



	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	<b>1 / 15</b>
		<b>Ene – 28 – 14</b>	

## ANEXO 2. Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible

<b>Elaboró:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Revisó:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Aprobó:</b>	<b>Fecha:</b>
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Use Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	2 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

## 1 OBJETO

Definir y estandarizar las actividades necesarias para la Instalación, Reparación y Re-Use del Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible, aplicando los estándares de HSE de ECOPETROL S.A, con el fin de minimizar los riesgos al personal y los posibles daños al medio ambiente, al equipo y al pozo.

## 2 ALCANCE

Aplica para las operaciones de instalación, movilización, manejo, Pulling, reparación y re-uso del cable de potencia del Bombeo Electrosumergible.

## 3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

### 3.1 EQUIPOS

- Equipo BES
- Cable de Potencia
- Montacargas
- Poleas

### 3.2 HERRAMIENTAS

- Carreto
- Barra de equilibrio
- Protectores de cable
- Flejes

### 3.3 MATERIALES Y ACCESORIOS

- Nicopress
- Cintas de envolturas de especificaciones pertinentes.

## 4 DESARROLLO

### 4.1 FICHA DESCRIPTIVA

#### 4.1.1 Normas que intervienen.

- Normas IEEE
- Reglamento interno Normas de HSEQ
- Normatividad en materia ambiental
- Análisis de Trabajo Seguro –ATS


#### 4.1.2 Cargos que intervienen (Responsables)

- 1 Operador
- 2 Asistentes

### 4.2 GENERALIDADES

El cable de potencia, requiere de un cuidado muy riguroso, este elemento es uno de los más propensos al daño por estar en constante intervención en la maniobra de bajada del equipo y además por el ambiente

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	3 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

corrosivo del pozo. Es un elemento esencial en la funcionalidad del equipo BES y en muchos casos para el mantenimiento a través del tubo capilar. Por tal motivo es importante tener cerca una serie de recomendaciones que muestren el correcto modo de actuar en los diferentes procesos por los que pasa el cable de potencia o ante cualquier eventualidad o problema ocurrido.

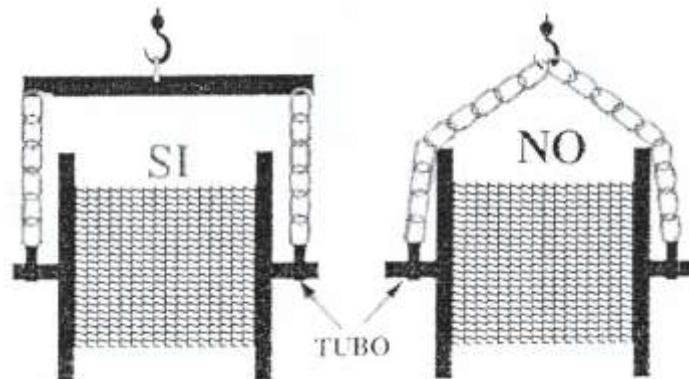
### 4.3 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

#### 4.3.1 Instalación del Cable de Potencia

##### 4.3.1.1 Movilización y manejo del cable de potencia

- Se deben tomar las precauciones necesarias para proteger el cable y el carrito de daños durante el almacenamiento, el transporte o la instalación de los equipos.
- el carrito debe ser levantado mediante una polea de potencia con una barra espaciadora y un cable de izado o cadena amarrada a este.
- Las cadenas nunca deben pasar sobre el tope del carrito o tocar el cable.
- Cuando movilice un carrito con montacargas, debe ser asentado suavemente sobre la plataforma y se deben usar trozos de madera para evitar que ruede. El carrito se debe asegurar pasando las cadenas por su interior, entre los rigidizadores.
- Nunca se debe transportar un carrito acostado. Únicamente debe ser levantado un carrito de cable a la vez.


**FIGURA 19.** Utilización de la barra de equilibrio al movilizar un carrito con grúa



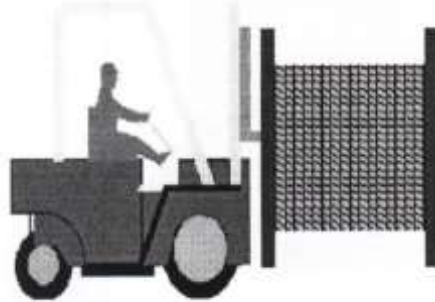
**Fuente:** Schlumberger. REDA, Procedimiento para Movimientos de B.E.S.

- Al carrito del cable nunca debe permitírsele que ruede entre objetos que puedan romper o causar daños al cable. Debe haber un espaciamento mínimo de 4 pulgadas entre la última capa del cable y la brida del carrito a fin de proteger al cable de daños.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

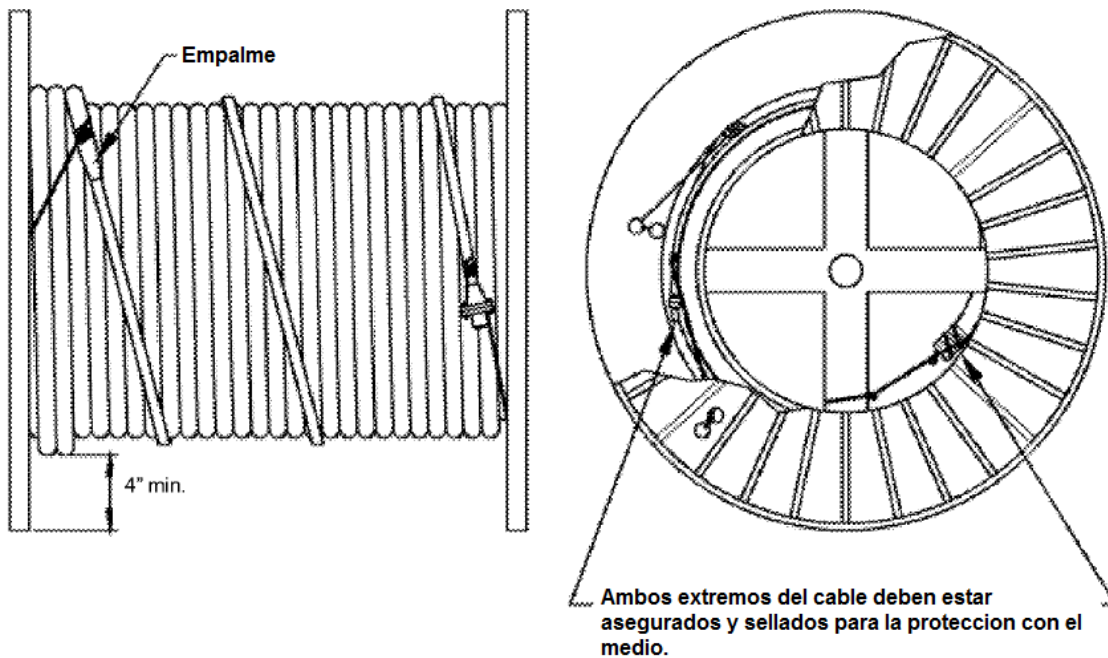
	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	4 / 15
	<b>Ene – 28 – 14</b>		

**FIGURA 20.** Movilización del carrito con montacargas



**Fuente:** Schlumberger. REDA, Procedimiento para Movimientos de B.E.S.


**Figura 21:** Preparación del cable para transporte y manejo del carrito.



**Fuente:** API 11S3.Recommended Practice for Electrical Submersible Pump Installations.

- Los cables de extensión de los terminales del motor deben ser embarcados en forma separada en una caja junto al carrito para asegurar su protección física.
- Cada terminal del cable de extensión debe ser sellado.
- Se deben utilizar carretos de adecuado tamaño y en buenas condiciones de mantenimiento. Se colocan 25 a 30 m (75 a 100 ft) del cabezal de pozo y en línea de visión directa del operador de perforación.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Useo Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	5 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

- Los operadores del carrito deberán mantenerse alejados durante las operaciones de corrida o sacada del cable.

#### 4.3.1.2 Protección del cable de potencia

- quitar el sujetador de la abrazadera en la tapa del protector para permitir el acceso del cable.
- Deshacer el sujetador del tornillo roscado del protector usando la llave de impacto (provista) que abre así el collar para su utilización, luego acercar el protector al cuello de la bomba y colocar el cable en la ranura diseñada para él.
- cerrar el protector alrededor del cuello de la bomba y atornillar (por lo menos 3 vueltas). Apretar usando la llave de impacto hasta que esta se atasque.


#### 4.3.1.3 Flejado del cable.

- En primer lugar, se debe examinar las condiciones de funcionamiento del taladro.
- Las roscas de las tuberías deben de estar limpias y en buenas condiciones. Cualquier equipo que se encuentre en condiciones cuestionables debe ser reportado al supervisor antes de proceder con la instalación.
- El taladro se debe centrar en el pozo para garantizar un espacio adecuado para el cable y los flejes. Esta alineación debe ser comprobada periódicamente mientras el equipo esté siendo bajado. Además, se debe indicar a la persona que esté operando el spooler del cable, que se asegure que esté saliendo del carrito a una velocidad y tensión constante. El cable debe siempre salir de la parte de arriba del carrito.
- Los flejes deben ser colocados de manera tal que la hebilla quede en el lado vacío entre el cable y la tubería. Esto evitará que la hebilla sea empujada hacia el cable y lo dañe cuando se esté apretando. Las hebillas deben ser apretadas lo suficiente para torcer la armadura pero no aplastarla. Si una hebilla queda suelta debe ser reemplazada.
- Se debe colocar un fleje a 4 ft de distancia del coupling de la tubería y otro en el centro de la misma. Se debe considerar el instalar al menos 10 flejes en las dos primeras secciones de tubería.

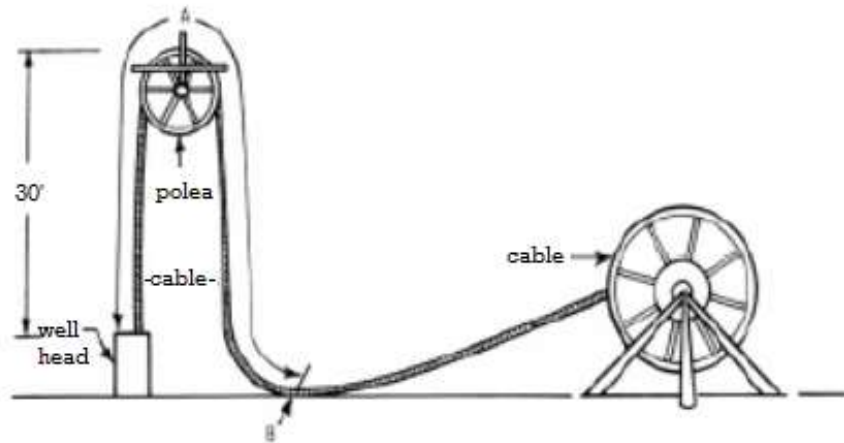
#### 4.3.1.4 Polea de cable.

- Una polea de cable se utiliza cuando se instala o saca el cable de fondo de la bomba Electrosumergible. Se recomiendan que las poleas tengan un mínimo de 1,4 m (54 pulgadas) de diámetro, ya que mientras más grande sea, reduce el stress sobre el cable y se evita que los cables se salten.
- Una vez que el cable haya pasado a través de la polea y ya flejada la tubería, la polea debe ser elevada a una "posición de corrida", aproximadamente de 8 a 14 m (25 a 45 ft) del suelo. Debe ser asegurada por medio de una cadena de seguridad la cual debe estar conectada a un soporte separado que no represente ninguna carga durante las operaciones de corrida o sacada del cable.
- El eje de la polea, su estructura y la estructura de soporte, deben inspeccionarse antes de cada uso.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	6 / 15
	<b>Ene – 28 – 14</b>		

**Figura 22:** Esquema de instalación o Pulling del cable de potencia en pozo.



**Fuente:** API 11S3.Recommended Practice for Electrical Submersible Pump Installations.


#### 4.3.1.5 Correr Equipo en el Pozo.

- Cuando se está bajando la unidad dentro del pozo, el operador debe estar pendiente del cable en todo momento.
- Se debe mantener una baja velocidad (1000 ft/hr) para que el spooler provea una tensión mínima al cable. Todas las paradas y los arranques deben ser suaves y lentos para prevenir tirar y romperlo.
- Se deben tomar lecturas del cable aproximadamente cada 1000 ft. La Continuidad fase a fase deben dar lecturas balanceadas que aumentarán a medida que el cable es bajado a temperaturas más altas. Una vez que la B.O.P ha sido sacada se debe realizar un último test para asegurar la integridad del cable y del motor.
- El equipo de Bombeo Electrosumergible no debe ser ensamblado en el pozo bajo condiciones adversas o inclemencias de tiempo, debido a la posibilidad de descargas eléctricas, cortos circuitos o contaminación de los equipos, a menos que se proporcione una total, adecuada y controlada protección.

#### 4.3.1.6 Pulling del cable.

- El proceso de sacada o Pulling incluye, básicamente, los mismos procedimientos requeridos que cuando se instala el equipo y las mismas recomendaciones que cuando se baja. Aunque el cable que está siendo retirado fue usado, requiere el mismo manejo cuidadoso a cuando estaba nuevo, ya que de las condiciones con que sale depende que sea totalmente reutilizable.
- Cuando el equipo está siendo sacado, se debe llevar un registro del número de las bandas que pueden llegar a faltar y tomar una decisión si recuperarlas o no, según lo perjudicial que puede llegar a ser.
- Las bandas deben ser retiradas contando con el equipo de seguridad necesario con una herramienta adecuada y evitar romper haciendo palanca. La excesiva fuerza puede ocasionar daños al cable.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	7 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

- Se deben señalar las condiciones de las bandas y en caso de corrosión notable cambiar el material utilizado.
- El cable no debe ser enrollado en el suelo, esto podría ocasionarle daños durante la manipulación. Cuando se lleve el cable al carrito, nunca utilizar instrumentos de metal para dirigir o mantener en línea el cable.
- Es una buena práctica, ir marcando los defectos visibles que ha sufrido el cable de potencia a medida que se va sacando. Esto ayudará en la reparación del cable a la hora de estudiar su re-uso.

#### 4.3.2 Reparación y Re-Uso del cable de potencia.

- Los resultados de las observaciones e inspecciones deben ser documentados y reportados para enviar a reparación si es necesario y evitar cualquier tipo de falla en la siguiente intervención o descartar la nueva utilización de este. Los factores que pueden determinar la idoneidad de la reutilización del cable de potencia se enumeran a continuación: deterioro de la armadura, hinchamiento del Aislamiento, conductores expuestos, deterioro o excesivo número de empalmes, corrosión.
- Todos los cables deben ser probados eléctricamente antes y después de realizar las reparaciones. Para mantener la integridad de la armadura, cualquier índice de corrosión, rasguños y otros daños físicos deben ser reparados antes de su reutilización.
- Se deben realizar todas las pruebas o requerimientos necesarios expuestos en el **Anexo 1** para aceptar de nuevo la introducción del cable en el pozo.
- Se recomienda desgasificar el cable durante varios días antes de la prueba y en caso de que el pothead este dañado, debe ser reemplazado. Después de que se ha evaluado, reparado o encontrado apto para la reutilización se recomiendan algunas prácticas principalmente de control e instalación del cable de potencia.
- Se recomienda actualizar la base de datos del desempeño histórico y resultados de la inspección para cada instalación y Pulling en el PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL CABLE para que se pueda revisar comportamientos anteriores y mejorar o cambiar posiblemente el diseño para un determinado pozo.
- En algunos casos, el cable de potencia puede ser inconsistente para ser utilizado nuevamente para las condiciones originales, por lo tanto puede ser reutilizado en condiciones de pozo menos exigentes que le permitan cumplir a cabalidad su función.

##### 4.3.2.1 Empalme de Cables


La técnica de empalme de cable se realiza dependiendo de las condiciones del pozo y el material de cable. Se debe consultar al fabricante de cable para utilizar la mejor técnica de empalme.

Por medio de un procedimiento establecido y actualizado se realiza la unión de cable Electrosumergible para mantener sus características de continuidad y rigidez dieléctrica y aumentar su longitud. Es importante resaltar el uso adecuado y continuo de los elementos de protección personal tales como guantes, botas, gafas y demás equipos necesarios para salvaguardar la integridad física del personal.

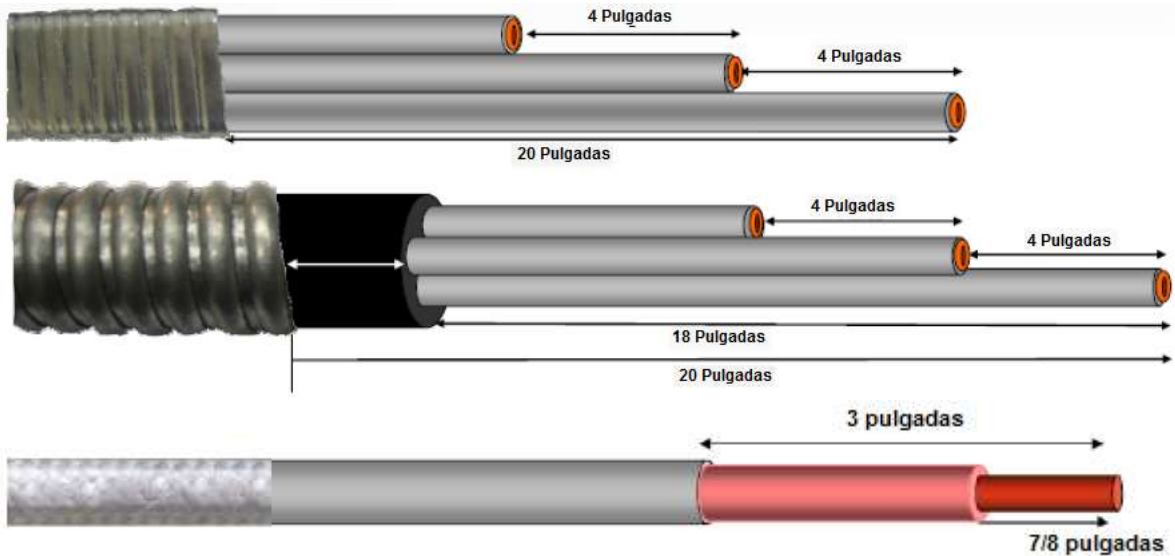
- El primer paso consiste en cortar los diferentes cables que van a ser unidos mediante el empalme. Para aumentar la seguridad y reducir los posibles cortocircuitos, se realiza esta operación teniendo en cuenta que cada cable tiene que ser cortado a diferente altura.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				



	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	<b>8 / 15</b>
	<b>Ene – 28 – 14</b>		

**Figura 23.** Medidas estándar para la realización del empalme en cables de potencia.



**Fuente:** Manual BES Baker.

- Es importante que dicha altura permita que los cables estén lo suficientemente separados para que, cuando procedamos a realizar el empalme, éstos no entren en contacto. Una vez se han hecho las mediciones y cortes correspondientes, se realiza la preparación de las puntas que quedan desnudas para el empalme.

**Figura 24.** Proceso de preparación de puntas para el empalme de cables de potencia




Extraer el plomo



Tomar medidas de las puntas

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				



	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	9 / 15
		<b>Ene – 28 – 14</b>	



Cortar el EPDM



Retirar el EPDM



Verificar medidas



Repetir el proceso

**Fuente:** Los Autores


- La unión directa de los conductores se lleva a cabo mediante nicopress, los cuales proporcionan estabilidad, seguridad y protección al procedimiento. Deben ser limpiados una vez colocados para luego realizarse el respectivo ponchado; se trata de ajustar firme y correctamente cada punta de conductor con la parte del nicopress que la cubre.
- Debe ser chequeado la profundidad del ponchado y corregir los filos formados durante el mismo.

**Figura 25.** Unión de los conductores con nicopress.



**Fuente:** Los autores.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Useo Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	10 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

- El recubrimiento de los conductores se lleva a cabo mediante la envoltura de capas de cintas de diferentes especificaciones y funciones.
- Se debe colocar el extremo de la nueva armadura 2 pulgadas más allá del final de la armadura existente sobre el cable y sujetar en el lugar. Insertar un palo o tubo dentro del extremo libre de la armadura para utilizarlo como palanca de fijación. Cubrir 2 pulgadas, pasando la armadura existente en el lado opuesto al punto de inicio y fijar la armadura con soldadura o cierre con armadura.
- La tira de soldadura (50% estaño y 50% plomo) debería ser de ½ pulgada (12,7 mm) de ancho y extenderse sobre la armadura, como mínimo 2 pulgadas (5 cm). La longitud final del empalme tendrá entre 32" a 36".

**Figura 26.** Colocación de la armadura al empalme de cable de potencia.



**Fuente:** Manual BES Baker.

#### 4.3.3 Recomendaciones técnicas para evitar problemas con el cable.

Para que la instalación de un equipo BES sea exitosa toda acción debe ser realizada con la mayor responsabilidad, dando igual importancia y continuo control a cada uno de los pasos requeridos para este proceso, desde el despacho, transporte y postura en el taladro.


##### 4.3.3.1 Manufactura

Dentro de una operación BES cuando se instala cable de potencia, en los cables de extensión de motor u otros accesorios eléctricos no se descarta que haya un problema de manufactura, a pesar del estricto control de calidad que tienen en sus talleres de fabricación. Para evitar sorpresas y fallas prematuras debido a este problema, es necesario que se realicen todas las pruebas y mediciones eléctricas en el almacén del operador antes de ser enviados al pozo; si hay duda es recomendable llamar al fabricante o cambiar por otro equipo que cumpla las pruebas técnicas a las que ha sido sometido.

##### 4.3.3.2 Falta de procedimientos

1. Preparar y aplicar los procedimientos de las diferentes etapas de la logística, entre los que podemos enunciar:
  - Procedimiento de manejo (manipuleo)
  - Procedimiento de transporte
  - Procedimiento de descarga
  - Procedimiento de almacenaje.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	11 / 15
		<b>Ene – 28 – 14</b>	

2. Involucrar al personal de oficina y de campo en la preparación y revisión de los procedimientos.
3. Realizar constantemente la optimización de los procedimientos.

#### 4.3.3.3 Golpes durante la logística.

**Figura 27.** Cable de Potencia Golpeado




**Fuente:** Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y TroubleShooting

1. No bajar ningún cable que haya sido golpeado.
2. Todo cable golpeado debe de ser llevado al taller del fabricante para realizarle todas las pruebas que sean necesarias, y de esta manera confirmar o descartar su inclusión en la instalación en otro pozo.
3. No es recomendable solo quedarse con el daño visto en la parte externa, se debe observar cuán grande fue el daño interno al aislamiento, protecciones y el cobre, para poder tomar una decisión de repararlo localmente o hacer empalme. Si existe el caso de tener dos fases dañadas, la recomendación es que hacer el empalme en ese punto es más confiable que reparar dos fases del cable.
4. En el caso específico del cable de extensión del motor golpeado, es recomendable cambiarlo. No realizar ninguna reparación.

#### 4.3.3.4 Accesorios eléctricos en el almacén bajo protección

1. Realizar apropiados embalajes de los accesorios eléctricos antes de ser enviados al pozo.
2. Si existe algún accesorio o equipo eléctrico que esté en duda de su condición física o eléctrica, la recomendación es no usarlo y enviarlo al taller del fabricante para su inspección.
3. La protección de los accesorios y el cable de potencia en el almacén o en pozo es extremadamente importante para lograr que estos cumplan con las funciones para los cuales fueron diseñados e instalados y contribuir en obtener un buen tiempo de vida útil.
4. Solicitar o tener en el taladro de perforación o campamento un lugar especial para almacenar los accesorios eléctricos.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Usó Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	12 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

#### 4.3.3.5 Instalación en condiciones climáticas adversas

1. No realizar la instalación en condiciones climáticas adversas.
2. Cuando la instalación se interrumpa por la lluvia, dejar bien protegido las partes o conexiones.
  - Antes de reiniciar la operación de instalación, realizar las mediciones eléctricas para corroborar y confirmar las lecturas con las iniciales.
3. Antes de reiniciar la operación de instalación, verificar que el equipo no esté conectado ni tampoco energizado. **Evitar accidentes personales.**

#### 4.3.3.6 Caída de accesorios al pozo durante la introducción del equipo.

1. Usar todos los elementos de protección externa sobre y debajo de la mesa rotaria, para evitar la caída de accesorios o elementos extraños al pozo durante la bajada del equipo BES.
2. No realizar las operaciones en la mesa rotaria apuradamente.
3. Realizar charlas cortas de 5 a 10 minutos con el personal de la mesa rotaria y mencionar los cuidados extremos que se debe tener durante la bajada del equipo BES, entre ellos que no se permita la caída de ningún accesorio o elemento extraño al pozo.


#### 4.3.3.7 Excesiva velocidad de bajada del equipo BES

1. Tener siempre alineado el pozo con el equipo BES que se está bajando. Es conveniente tomar el tiempo que sea necesario para hacer las correcciones en el alineamiento del taladro.
2. Verificar constantemente la posición del cable que esté bajando alineado con la tubería.
3. En zonas de alto riesgo tales como al pasar el tope del liner, partes donde el casing fue reparad, tramos de alta desviación (dogleg), etc.; se recomienda reducir la velocidad de bajada a menos de la promedio

#### 4.3.3.8 Ejecución de empalmes con demasiado espesor

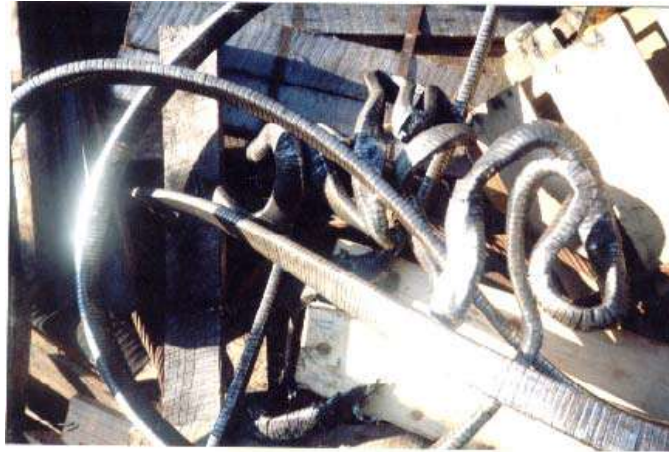
1. Antes de empezar un empalme, realizar los cálculos para determinar en qué posición del ensamble de fondo o de la tubería de producción va a quedar el empalme.
  2. Realizar el empalme correctamente de acuerdo a los procedimientos establecidos por el fabricante y dentro de los rangos permisibles de espesor, teniendo en cuenta el diámetro de la tubería de producción y los diferentes casings que va a pasar.
1. Verificar que los extremos de los empalmes queden bien soldados y protegidos adicionalmente con las mismas cintas que se utilizan para el empalme.
  2. Existen en la actualidad compañías que fabrican protecciones externas a lo largo de todo el empalme, que se instala en forma similar a los protectores metálicos. Esta es una buena alternativa para evitar problemas, pero es importante puntualizar que esta opción de mejora es aplicable cuando tenemos disponibilidad en la geometría del pozo.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>	<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Usó Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>	<b>ACT: 0</b>	13 / 15
		<b>Ene – 28 – 14</b>	

#### 4.3.3.9 Accesorios o equipo complementario mal instalado durante la bajada del cable de potencia.

**Figura 28.** Cable Recuperado Después de un Problema que Pasó Después De Pasar el Tope de Liner (El cable se fue descolgando mientras estaba bajando en el casing de 9 5/8)



**Fuente:** Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y TroubleShooting.

1. Verificar el torque que se aplique a los pernos cuando se instalen los protectores metálicos.
2. En caso de lo flejes ajustar manualmente o con el equipo neumático, sin exceder la presión con el fin de evitar daños al cable de potencia.
3. La instalación de los flejes o protectores debe de estar bien coordinado con la posición de la polea y la longitud de espaciamiento que debe de haber entre el carrito y el taladro de perforación.
4. Evitar los estiramientos del cable o tensiones bruscas cuando no hay coordinación entre el perforador y el operador del carrito del cable.


**Figura 29.** Instalación de un Protector Metálico al Cable de Potencia



**Fuente:** Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y TroubleShooting.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				



	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Usos Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	14 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

#### 4.3.3.10 Cable de Potencia Golpeado durante la bajada del equipo BES con las Cuñas del taladro

Durante la operación de la bajada del equipo BES con el cable de potencia, se usan equipos en la mesa rotaria del taladro de perforación o de reparación tales como las tenazas manuales, tenazas hidráulicas, cuñas de diferentes medidas, elevador de diferentes medidas, entre otros equipos auxiliares de soporte que se usan en la mesa rotaria.

Las operaciones de sentar la tubería de producción en la cuña correspondiente y realizar las conexiones entre tubo y tubo deben ser bien coordinadas entre el perforador del taladro y el personal que está en la mesa rotaria, ya que siempre debe de haber una persona vigilando la posición del cable para que en ningún momento haya problemas de aplastamiento ya sea por las cuñas o por tubería conductora del taladro de perforación o reparación.

Si el problema se resuelve con reparación o con empalme, se está introduciendo innecesariamente otro punto de riesgo para el sistema, los costos de taladro se incrementan, ya que la verificación, análisis, pruebas, reparación o empalmes pueden llevar horas o días.

#### 4.3.3.11 Excesiva velocidad en la recuperación del equipo.

1. Verificar que el taladro de perforación o de reparación esté bien centrado en la mesa rotaria, antes de empezar a recuperar el equipo BES con el cable de potencia. Esta verificación se debe de hacer periódicamente, si hay alguna corrección que se tenga que hacer, parar la sacada del equipo BES y realizar la corrección de centrar el taladro.
2. Realizar reuniones de coordinación con todos los trabajadores de la mesa rotaria y enfatizar en el cuidado del equipo y evitar los golpes.
3. En caso de que no salgan los flejes del cable de potencia, la recomendación es instalar flejes y posteriormente proceder a desenroscar el tubing, esta operación se debe de hacer tubo a tubo con la finalidad de evitar que el cable se caiga al pozo por el peso del mismo.


#### 4.3.3.12 Problemas de atascamiento de la tubería de producción con el cable de potencia.

1. Revisar historial del pozo, principalmente en los trabajos de reparación de casing anteriores, pescados dejados en el pozo, etc.
2. Realizar los cálculos de espacio que hay entre el pozo y el equipo BES.
3. Calcular el peso de la sarta de producción con el cable de potencia y accesorios.
4. No realizar ningún giro de la sarta de producción, ya que los mismos accesorios externos pueden ocasionar enrollamientos alrededor de la tubería y complicar más la operación de sacar la tubería.
5. Revisar la máxima tensión que soportan los equipos BES, principalmente en sus conexiones.

#### 4.3.3.13 Recuperación de accesorios en forma parcial.

1. Hacer limpieza al pozo cuando se haya perdido los flejes, guardacables etc. Para esta operación es recomendable bajar un rascador (scraper) calibrado para limpiar todas las secciones del casing hasta el fondo del pozo.
2. Bombear pastillas viscosas para mejorar la limpieza del pozo.

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				

	<b>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES HUILA</b>		<b>SOH</b>	
	<b>Instructivo con Recomendaciones Técnicas de Instalación, Reparación y Re-Uso Cable de Potencia del Bombeo Electrosumergible</b>		<b>ACT: 0</b>	15 / 15
			<b>Ene – 28 – 14</b>	

3. usar el material de acero inoxidable en los flejes, guardacables, tubing de inyección de química.
4. Durante la recuperación del equipo BES de fondo, llevar un control estricto de todos los accesorios que se recuperan y correlacionar esto con lo que se bajó e instaló.

## 5. DISPOSICIONES HSE

### 5.1 DISPOSICIONES DE SEGURIDAD Y CONTROL OPERACIONAL

5.1.1 Asegúrese de utilizar los elementos de seguridad personal propios para esta actividad:

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| - CABEZA: Casco de seguridad | - OJOS: Gafas de seguridad      |
| - MANOS: Guantes de operador | - OIDOS: Protectores auditivos. |
| - PIES: Botas de seguridad   | - OTROS: Ropa de trabajo        |

5.1.2 Realice las pruebas recomendadas en el **Anexo 1** antes de comenzar.

5.1.3 Antes de comenzar la operación es importante realizar una inspección preoperacional a los equipos

5.1.4 Puesto que esta es una operación en equipo, debe existir total coordinación entre los trabajadores, ya que el descuido de uno de ellos puede comprometer la integridad física de los demás.

5.1.5 Antes de comenzar la operación es necesario realizar el mantenimiento correspondiente a las herramientas

Elaboró:	Fecha:	Revisó:	Fecha:	Aprobó:	Fecha:
Juan Miguel Gaitán Varón Andrés Mauricio Losada Díaz	Ene – 28 – 14				