

# Revisión de Instalación de Calentador Eléctrico Usando Tubería de Cola

*El principio del funcionamiento de estos calentadores eléctricos es simple, directo e intuitivo*

## Introducción

El uso de resistencias eléctricas (cable MI) de gran longitud dentro de la sección horizontal del pozo, ha demostrado tener un efecto importante en el incremento de producción de crudos pesados y extra pesados en la Faja Petrolífera del Orinoco, en Venezuela y otras regiones. En los últimos ocho años se han logrado incrementos significativos de producción venezolana por medio del uso de esta tecnología.

El principio del funcionamiento de estos calentadores eléctricos es simple, directo e intuitivo. La potencia de calentamiento en fondo del pozo es transmitida por medio de los conductores de resistencia eléctrica, lo cual, aumenta la temperatura del fluido del yacimiento y a su

vez, disminuye la viscosidad del crudo. Esto deriva en una caída de presión, que resulta en una disminución de viscosidad y permite un mayor flujo de fluidos de los yacimientos más cercanos, logrando una mayor producción de aceite. Por lo tanto, los calentadores eléctricos han eliminado, en algunos casos, la necesidad de inyectar diluyentes caros en estos pozos.

Una nueva generación de calentadores eléctricos de alta potencia, desarrollados por la empresa MCAAA (bajo licencia otorgada por Shell), capaces de alcanzar rangos de temperaturas en fondo del pozo de hasta 650 °C, han cambiado el enfoque de la Estimulación Cíclica de Vapor (CCS, por sus siglas en inglés) y Drenaje Gravitacional Asistido por Vapor (SAGD, por sus siglas en inglés), para reducir e incluso

---

*Los componentes requeridos para el Sistema de Calentamiento Eléctrico en Fondo del Pozo, son muy similares a los que se requieren para alimentar una Bomba Electro-Centrífuga*

---

eliminar por completo la necesidad de agua. Después de la aplicación exitosa de varios sistemas de calentamiento eléctrico en fondo del pozo, la compañía nacional de petróleo y gas, Petróleos de Venezuela (PDVSA), actualmente considera la “masificación” de los calentadores eléctricos para la reducción de la viscosidad. Es por ello, que en este artículo se revisará el método preferido actual de instalación de estos calentadores en Venezuela.

### Configuración del sistema de calentamiento eléctrico

Los calentadores eléctricos son simples, en términos de los equipos requeridos tanto en superficie como a nivel de subsuelo. El espacio de terreno que ocupa (footprint) es mínimo, lo cual, es una ventaja importante en comparación con otros métodos de recuperación mejorada de petróleo, tales como la inyección de vapor. A nivel de superficie, los principales componentes son el transformador de tensión, el panel de control y el penetrador eléctrico de fondo del pozo. Siendo éstos muy similares a los componentes necesarios para alimentar las Bombas Electro-Centrífugas (BEC).

A nivel subsuperficial, los principales componentes son el cable BEC, el empalme eléctrico de fondo del pozo para conectar el cable BEC al cable calentador (MI), las abrazaderas de cable y el cable calentador. La Figura 1 muestra una configuración típica de un Sistema de Calentamiento Eléctrico en la Faja Petrolífera del Orinoco en Venezuela, en donde las Bombas de Cavidad Progresiva (BCP) son las comúnmente usadas como Sistemas de Levantamiento Artificial con estos sistemas. Sin embargo, los cables del calentador se pueden instalar con otros Sistemas de Levantamiento Artificial, tales como bombas BEC y Bombeo Mecánico.

Desde un punto de vista mecánico, sólo hay dos componentes principales adicionales a una terminación tradicional para los pozos en la Faja. Uno es la adición de tubería de cola 2-3/8” (Stinger pipe), que está acoplada a la parte inferior de la entrada de la bomba y el otro, es un tubo pequeño que se añade al final de la tubería de cola para darle protección mecánica a la terminación estrella del cable calentador. El resto de la terminación mecánica permanece sin cambios significativos.

El propósito de la tubería de cola es guiar los cables del calentador dentro del revestidor ranurado de 7” hacia la punta (Toe). En el caso de la Faja Petrolífera de Crudo Pesado, en Venezuela, la tubería de cola no es del todo un componente nuevo en la terminación estándar, ya que comúnmente se utilizan para inyectar el diluyente en la sección horizontal. En este caso se usa la misma tubería de cola, pero en vez de utilizar una línea de inyección para diluyente, se cambia para los cables del sistema de calentamiento.

Una de las características más importantes de los sistemas de Calentamiento Eléctrico, es que los cables del calentador (MI) se pueden emplear fácilmente en los pozos no térmicos existentes, diseñados para la producción de frío en la Faja del Orinoco, en Venezuela. Como se muestra en la Figura 1, los cables calentadores se colocan por debajo de la bomba a cierta distancia y dentro del revestidor de 7”, que es donde principalmente se lleva a cabo el calentamiento en esta sección, mientras que el resto de la terminación sigue siendo una terminación sin calentamiento (tramos fríos). Por lo tanto, la bomba de cavidad progresiva, así como la tubería de producción no están expuestas a un aumento significativo de temperatura.

La simple configuración que se muestra en la Figura 1 se ha utilizado en los últimos ocho años en Venezuela con resultados extraordinarios. En una instalación en particular, se logró un aumento de la producción de petróleo del 65 por ciento (340 a 560 barriles por día) con sólo un incremento de temperatura de

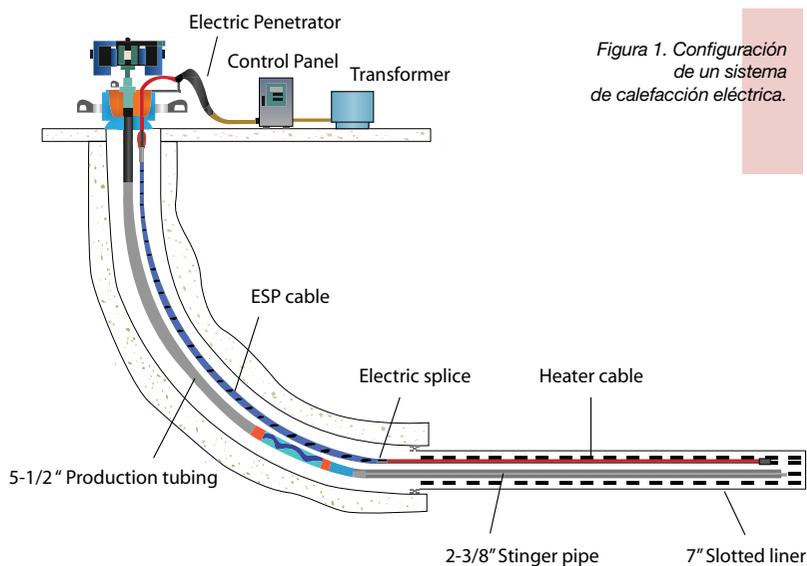


Figura 1. Configuración de un sistema de calefacción eléctrica.

50 °F en la sección horizontal, este aumento de temperatura se alcanzó con 90 kilovatios de potencia en la superficie y una densidad de potencia media de 25 watts/ft a lo largo de 3,000 ft de cables del calentador situados a lo largo del revestimiento de 7". Como beneficio adicional del sistema de calentamiento, se obtuvo una mejora en el rendimiento de Bomba BCP, debido a que disminuyó su torque, su consumo eléctrico y se extendió su vida útil en un factor de dos, de un promedio de 1.5 años a casi los tres años.

### Componentes del sistema de calentamiento eléctrico

Desde el punto de vista eléctrico, los componentes requeridos para el Sistema de Calentamiento Eléctrico en Fondo del Pozo son muy similares a las que se requieren para alimentar una Bomba Electro-Centrífuga (BEC).

#### Estos componentes son:

##### \*Equipo superficie

Transformador de potencia. Se trata de un transformador de voltaje para aumentarlo de 480 voltios (V) a un rango de entre 900 V a 2500 V, dependiendo de la aplicación requerida.

Panel de control. Sirve para controlar y monitorear el funcionamiento de los cables del calentador de fondo. La Figura 2 muestra un típico transformador y la puerta en marcha del panel de control en la Faja.

Figura 2. 240 KVA del transformador y el panel de control.



Sistema de Penetrador Eléctrico para Cabezal del Pozo. Se usa para conectar los cables del calentador que viene del pozo con la fuente de poder en superficie a través del cabezal. Este componente es estándar y es el mismo que se utiliza en una instalación BEC. El cabezal del pozo (Bola Colgadora y Bonete) debe tener tres orificios de 3/4" NPT o un puerto de 1-1/4" NPT para alojar los cables. La selección del tipo de penetrador dependerá de la configuración del cabezal del pozo y sus puertos. La Figura 3 muestra ambos tipos de penetradores eléctricos.



Figura 3. Penetradores eléctricos del pozo.

##### Equipo de Subsuelo

Cable BEC. Proporciona la potencia eléctrica para energizar los cables del calentador. Actúa como una extensión eléctrica de cable que va desde el cabezal del pozo hasta el cable calentador.

Empalme de cable de fondo del pozo. Este sistema de conexión eléctrica QCI, conecta el cable BEC que viene del cabezal del pozo al cable calentador. La Figura 4 muestra un esquema y una imagen real de este tipo de empalme.

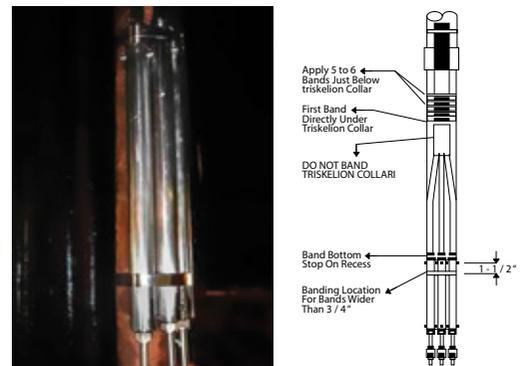


Figura 4. Conexión Eléctrica QCI de fondo del pozo.



Cable Calentador. El elemento calentador del cable, es un conductor eléctrico de cobre o aleación de cobre-níquel. El conductor se calienta debido al paso de la corriente eléctrica a través de éste, muy similar a lo que ocurre con el pequeño filamento dentro de un foco. El material de aislamiento entre el elemento calentador y la cubierta exterior de acero inoxidable está hecho de óxido de magnesio (MgO), el cual, es un excelente aislante eléctrico y, al mismo tiempo, es un magnífico material para la transferencia de calor.

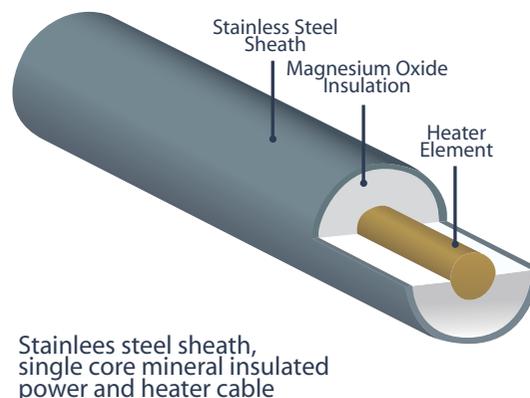


Figura 5. Composición de un cable calentador de MI.

El MgO puede alcanzar altas temperaturas sin comprometer las características eléctricas del cable calentador. La chaqueta exterior de los cables del calentador está hecha de acero inoxidable y proporciona una excelente protección contra la corrosión causada por los ambientes agresivos de fondo del pozo. A este tipo de cables se les llama cables calentadores con aislamiento mineral o cables MI.

La potencia (watts/ft) entregada por los calentadores puede ser diferente a lo largo de la longitud del cable, de manera que se puede enviar más potencia hacia la punta donde se necesita más calor. Adicionalmente, pueden existir diferentes secciones de tramos fríos y calientes como se desee a lo largo de la sarta de producción. El cambio en la densidad de potencia se consigue cambiando el diámetro del conductor (a menor diámetro, más watts/ft) y/o cambiando el material del conductor (cobre o aleación de cobre-níquel).

Los diámetros estándar existentes de cada cable calentador van desde 0.286" a 1.400" OD (Diámetro externo). En algunos casos, los operadores en Venezuela han llegado a utilizar los cables BEC como cable calentador, en lugar de cables de MI. Los sistemas de calentamiento con cable BEC (por lo general #4 AWG -American Wire Gauge-) han sido un éxito para pozos de baja producción que requieren baja potencia. La Figura 5 muestra la composición de un cable calentador de MI.

Como se muestra en la Figura 1, el cable calentador se instala dentro del revestimiento horizontal 7", por lo general a 2,500 ft y 3,500 ft de largo, y consiste en un conjunto de tres cables calentadores conformando un sistema trifásico. Los tres cables están conectados en el extremo para conformar la conexión de empalme Wye (o neutral).

Recientemente se han logrado grandes avances en la fabricación de cables calentadores para la recuperación de petróleo. Una nueva generación de calentadores de alta potencia puede operar con alto voltaje (hasta cinco kilovoltios) y alcanzar temperaturas de fondo del pozo de 650 °C, entregando hasta una potencia de mil watts/metro. Con estos altos niveles de temperatura, además de la reducción de la viscosidad, se están desarrollando optimizando otras aplicaciones, tales como: Generación de Vapor In Situ, Estimulación Cíclica de Vapor reemplazado con Calentamiento Eléctrico, SAGD con precalentamiento eléctrico, DrySAGD™ e In-situ Upgrading. Esta nueva generación de cables son fabricados sin empalmes externos. Las uniones entre las diferentes secciones de cables se realizan internamente. Como resultado, el diámetro exterior del cable calentador no cambia a lo largo de su longitud, a pesar de tener secciones con diferente densidad de potencia.

Con este nuevo proceso de manufactura se ha logrado fabricar calentadores de hasta

---

*Se logró un aumento de la producción de petróleo del 65 por ciento (340 a 560 barriles por día) con sólo un incremento de temperatura de 50 °F en la sección horizontal*

---

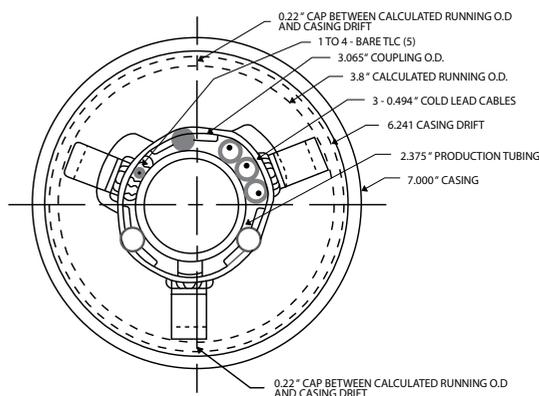
*Los cables del calentador (MI) se pueden emplear fácilmente en los pozos no térmicos existentes, diseñados para la producción de frío en la Faja del Orinoco, en Venezuela*

2,000 mts continuos de longitud, sin ningún empalme externo. No tener ningún empalme externo hace que el cable calentador sea más robusto y fiable al momento de su instalación, ya que no hay áreas de soldadura expuestas a las condiciones del yacimiento. Además, todas las abrazaderas que se requieren para proteger los cables del calentador serán del mismo tamaño, lo cual facilita la instalación.

Los protectores de Forum Cannon Services, dan el soporte ideal sujetando las líneas y cables a la tubería de producción, proporcionan una máxima protección mecánica a las líneas a lo largo de la tubería y en los cambios de sección. Dentro de la sección horizontal, se usan dos modelos de protectores, uno especial centralizador sobre el cople y los Mid Joint a media tubería.

La idea es proteger y centralizar los cables dentro de los revestidores, para evitar cualquier arrastre y fricción que pueda comprometerlos debido a los cambios de sección o ángulos donde éstos se pandean. Adicionalmente, permiten una extracción más segura de los cables del calentador, mediante la reducción de cualquier problema potencial de arena, después de años de funcionamiento de los cables del calentador en la sección horizontal. En la Figura 6, se puede apreciar la imagen de un Protector Centralizado sobre el cople de la Tubería de producción.

Figura 6. Abrazadera Centralizadora sobre el Cople.



WYE Splice Protector. Esta es una pequeña sección de la tubería diseñada para alojar la terminación de los cables del calentador en estrella (neutro). Su propósito principal es darle protección mecánica a la unión tipo estrella del cable calentador y evitar que éstos queden expuestos a la tubería de cola de 2-3/8", ya que dejar el empalme en estrella sin protección es arriesgado y en realidad podría afectar su correcto desempeño al conectar el pozo.

### Instalación de los cables calentadores

El actual método preferido de instalación de los cables calentadores en la Faja Petrolífera del Orinoco en Venezuela, consiste en sujetarlos externamente a una tubería de 2-3/8" por medio de las abrazaderas. El cable calentador se introduce en el pozo, al mismo tiempo que la sarta de producción. Se requieren dos cuadrillas de campo de cuatro personas por turno para la adecuada instalación del sistema calentador de fondo, en donde dos de ellos operarán las unidades neumáticas porta carrito a nivel del suelo y los restantes colocarán las abrazaderas en el piso de la rotaria para asegurar los cables sobre la tubería.

Por lo general, esta actividad toma alrededor de cinco a siete días para completar la instalación de los cables del calentador. Este tiempo comprende desde el momento en que se inicia la introducción de los cables en la boca del pozo, hasta la conexión final del penetrador eléctrico QCI en el cabezal del pozo. La velocidad promedio de bajada de tubería, junto con los cables ya asegurados, es de cinco tubos por hora.

Se requiere tener un cuidado especial cuando la tubería de 2-3/8" está entrando en el revestidor de 7" y ésta se desliza a lo largo de la sección horizontal. Las abrazaderas centralizadoras están diseñadas para facilitar la instalación (y la eventual recuperación) del sistema de calentador. Mientras se realiza la instalación, es necesario comprobar regularmente la integridad, el aislamiento y la resistencia de los cables, cada 10 tubos instalados.

El método de ejecución descrito en este documento es el utilizado en Venezuela. Sin embargo, existen otros procedimientos técnicos que actualmente están siendo evaluados.



Del 3 al 6 de octubre, 2017  
Centro de Convenciones Coatzacoalcos  
Coatzacoalcos, Veracruz



# INTERNATIONAL PETROLEUM & CHEMICAL CONFERENCE AND EXHIBITION

"The Oil and Gas Industry: A multidisciplinary challenge"

El **Congreso y Exposición Internacional de Ingeniería Petrolera y Química** tiene como objetivo reunir a los expertos en Ingeniería Petrolera y Química, tanto del sector educativo como empresarial y de gobierno, con la finalidad de compartir experiencias, conocimientos, avances tecnológicos y científicos, que permita una vinculación entre los sectores de tal manera que se puedan entablar relaciones, alianzas e intercambios comerciales.

[www.ipcce.com.mx](http://www.ipcce.com.mx)

Para más información:



[m.tere@consiisa.com](mailto:m.tere@consiisa.com)  
0445520590755



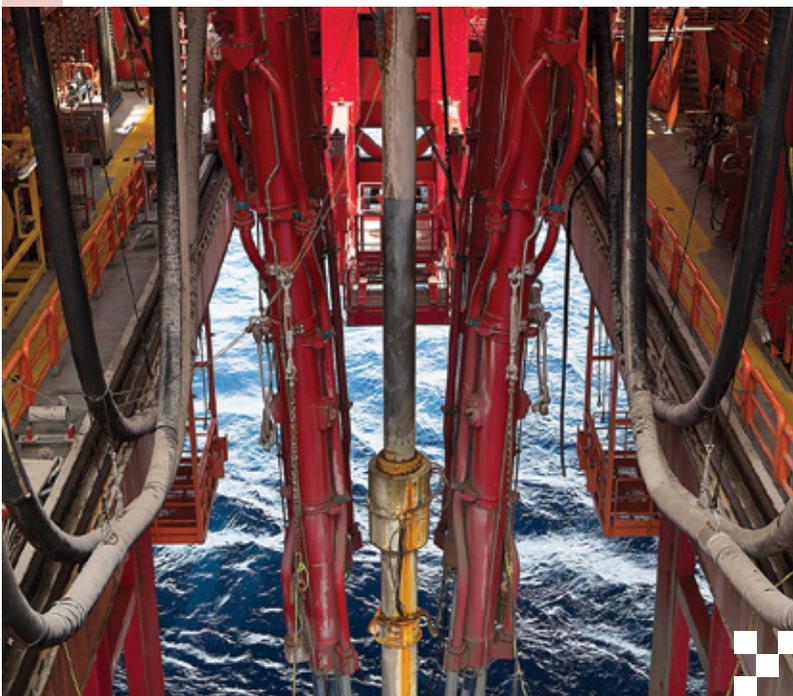
## Resumen

Los cables de calentamiento en fondo del pozo ofrecen una forma simple y práctica para aumentar la producción de petróleo pesado, mediante la reducción de la viscosidad del aceite a través de un aumento de la temperatura de aceite. A excepción del cable calentador, el resto de los componentes que conforman un sistema de calentamiento eléctrico en fondo del pozo son estándar, ya empleados por la industria petrolera. Estos cables calentadores se pueden usar fácilmente en aquellos pozos no térmicos diseñados para la producción de frío en la Faja en Venezuela, ya que el calentamiento toma lugar esencialmente en el revestidor horizontal 7", lejos de la bomba de fondo del pozo y de la tubería de producción.

Los cables calentadores se pueden recuperar de un pozo y reusar en otros con características similares donde aplique.

Recientemente, se han logrado importantes avances en la fabricación de cables de calentamiento MI (Mineral Insulator). Con la nueva generación de alta potencia de calentadores eléctricos de MCAAA (bajo licencia otorgada por Shell), ahora las diferentes aplicaciones de recuperación de petróleo van más allá de una simple reducción de viscosidad, como los son de Generación de Vapor In-situ DrySAGD™ y el In-situ Upgrading.

*El actual método preferido de instalación de los cables calentadores en la Faja Petrolífera del Orinoco en Venezuela, consiste en sujetarlos externamente a una tubería de 2-3/8" por medio de las abrazaderas.*



## Referencias

1. Chet Sandberg, CL Sandberg & Associates, LLC, Keith Thomas, MCAAA, Ltd, los avances en la tecnología eléctrica de calefacción de Petróleo Pesado Producción, ESPE-170146-MS Conferencia de Petróleo Pesado Calgary, Alberta Canadá 2014.
2. Edward de St. Remey, David Burns, Chet Sandberg, CL. Sandberg & Associates, MI Calentador Diseño e implementación cable avances en la aplicación de fondo del pozo, Los derechos de autor del material PCIC Europe Paper N° PCIC Europa LO-80.
3. Samuel S. Ojeda, David G. Parman, uso de calentadores eléctricos de fondo del pozo para mejorar la producción y recuperación de pesado, aceite viscoso en California y Venezuela, SPE SPE 167347 Petróleo y Gas Conferencia y Feria Mishref, Kuwait de octubre de 2013.
4. Evelyn Quintero, masificación de cable eléctrico en fondo en el Campo Zuata director, Faja Petrolífera del Orinoco "Hugo Chávez Frías" - 3er SPE WWS Sur American Oil & Gas Congreso a cabo en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, 27 de 30 de octubre de 2015.
5. ER Rangel-German y otros, "La simulación térmica y Evaluación Económica de Proyectos de petróleo pesado", SPE 104046, Primera Conferencia Internacional de Petróleo y Exposición en México, 31 de agosto de 2006.
6. Rangel-German, E. J. Schembre, Sandberg, C. y Kovseck, A., "Eléctrico-Calefacción-Assisted Recuperación de Aceite pesado", Revista de Ciencia y Petróleo Ingeniería, Vol. 45 (3-4): 213-231 (2004).