

TEMA IIB. MÉTODOS TÉRMICOS

CALENTAMIENTO ELÉCTRICO

El calentamiento eléctrico, también llamado electromagnético o La Electro-Recuperación Mejorada de Aceite (EOR, por sus siglas en inglés, Electro Enhanced Oil Recovery). Es un método de recuperación térmica utilizado como recuperación mejorada de hidrocarburos, el cual consiste en aportar calor a la formación sin utilizar fluidos de inyección.

El principio de funcionamiento de estos calentadores eléctricos es sencillo, directo e intuitivo. La potencia de calentamiento en el fondo del pozo se transmite a través de los conductores de resistencia eléctrica, lo que aumenta la temperatura de los fluidos del yacimiento, permitiendo la disminución de la viscosidad y por ende el aumento de su movilidad.

El principal mecanismo de recuperación de este método es la reducción de la viscosidad del petróleo.

El calentamiento eléctrico (o electromagnético) de una formación puede ocurrir de varias maneras, dependiendo de la frecuencia de la corriente eléctrica utilizada por la herramienta. Cuando la corriente alterna de baja frecuencia, el calentamiento óhmico es dominante; ya que la energía eléctrica se convierte en calor. Este tipo de calentamiento se clasifica a su vez en resistivo e inductivo.

- **Calentamiento Resistivo**

La formación misma sirve como un resistor o conductor de electricidad. La corriente eléctrica es conducida dentro del reservorio por el agua connata, la salinidad del agua en sitio suministra la conductividad. Esta técnica usa electrodos en fondo de pozo, usualmente colocado dentro de un productor o un inyector, que son compatibles ya sea con un pozo adyacente o con la superficie.

El uso principal de este tipo de herramientas es calentar el crudo dentro del pozo lo suficiente para mejorar la eficiencia del sistema de levantamiento artificial. Por otro lado, ayuda a tratar con la viscosidad del crudo dentro de la formación, transfiriendo calor en la cercanía de la cara de la arena por conducción térmica de la roca y los fluidos.

- **Calentamiento por Inducción**

El calentamiento por inducción es el más utilizado en los últimos años para la extracción de crudos pesados y extra pesados. La corriente es inducida en el casing el cual sirve como un elemento calentador, y el calor es generado dentro y fuera del pozo. Este proceso mejora la movilidad en la región cercana a la cara de la arena.

La corriente alterna fluye a través de un conjunto de conductores e induce un campo magnético en el medio que lo rodea. Esta transformación de parte de la energía eléctrica en un campo magnético, induce corrientes secundarias, cuya circulación en el medio genera calor. Las grandes corrientes inducidas resistivamente calientan el acero del revestidor, y el calor se transfiere a la formación por conducción térmica (ver figura 1).

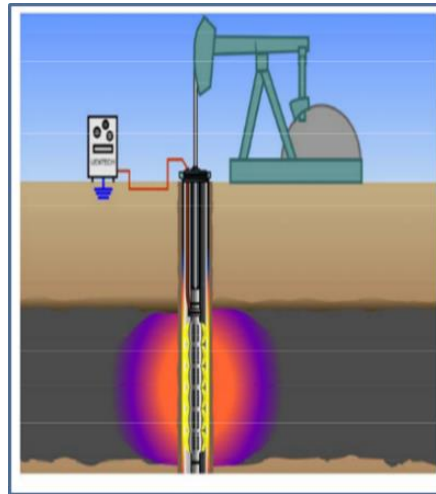


Figura 1. Calentamiento por inducción.

Generalmente, la producción y el calentamiento se realizan a la vez, pero a veces se hacen en forma alternada. El calentador usualmente es colocado frente a la zona productora cuando la finalidad del método es estimulación térmica, independientemente de la tasa de producción, y para crear mayor incidencia de calor en dicho intervalo deseado.

La tasa de calor generada por los calentadores de fondo está limitada por la temperatura máxima a la cual pueden funcionar con seguridad los calentadores. Las mejoras típicas en las tasas de producción de petróleo van de pequeños porcentajes hasta un factor de tres (3) veces, pero generalmente se aproxima al doble. Los calentadores de fondo de por sí están limitados a producir tasas de energía que son bajas en comparación con las corrientemente alcanzadas con la inyección de vapor.

Las temperaturas máximas de los calentadores están limitadas por algunas de las siguientes razones:

- Deben evitarse puntos calientes que pudieran producir fallas en el metal.
- Las altas temperaturas pueden incrementar las tasas de corrosión en ciertos ambientes hoyo abajo.
- El calor excesivo puede ocasionar la formación de coque o la precipitación de sólidos orgánicos que pueden desmejorar la productividad e inhibir la transferencia apropiada de calor desde el calentador hasta los fluidos, causando así fallas por sobrecalentamiento.

ALTERNATIVAS DE CALENTAMIENTO ELÉCTRICO EN FONDO CON TECNOLOGÍA DE CABLE CALENTADOR

A continuación, se presentan algunas alternativas usadas básicamente para reducir la viscosidad del crudo por incremento de la temperatura.

- Cable Calentador (Centrilift)** Este cable calefactor trifásico, como se observa en la figura 2, presenta dos diferencias principales respecto a un cable de potencia de alimentación de una bomba electrosumergible (BES): el diámetro o calibre del conductor y los materiales aislantes utilizados.

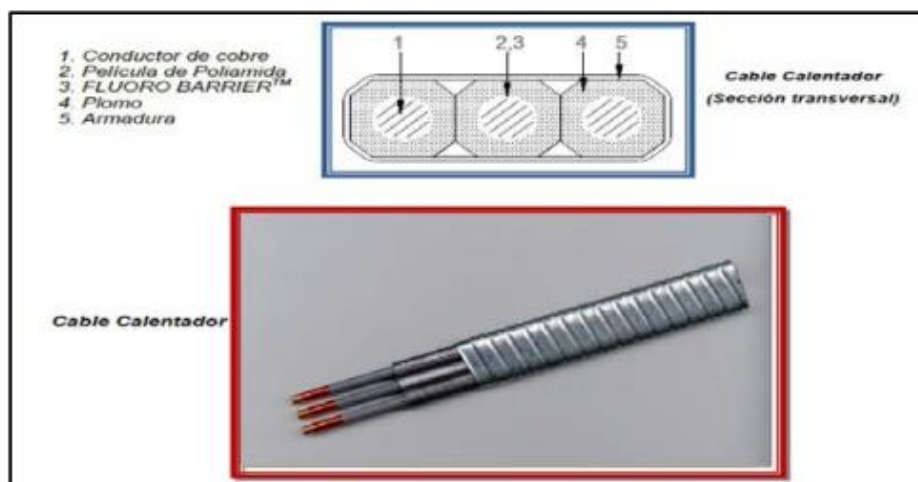


Figura 2. Cable Calentador Trifásico.

Además de incluirse la transferencia de calor, este cable calentador cuenta una potencia máxima de trabajo de 100 vatios/pie (328 vatios/m) y temperatura máxima de exposición de 250 °C (482 °F); soportando así las rigurosas instalaciones y operaciones de campo, ya que está elaborado con un conductor de cobre cubierto por una película de Poliamida, fluoropolímero, plomo y armadura de acero galvanizado.

Está disponible para cualquier longitud. Es fácil de operar, al utilizar un transformador fijo en superficie o por un controlador de voltaje variable y puede ser instalado por dentro o por fuera de la tubería de producción según la aplicación (ver figura 3).

Para esta tecnología se utiliza un protector de cable con tres (3) canales: dos canales para el cable calentador y un canal para los cables sensores, el cual va colocado en el cuello de la tubería de 2 3/8". Asimismo, es necesaria una herramienta de giro al final de la sección horizontal del pozo, la cual es usada como un medio seguro para doblar el cable al realizar una segunda corrida y así disponer el cable a ambos lados de la tubería de 2 3/8".

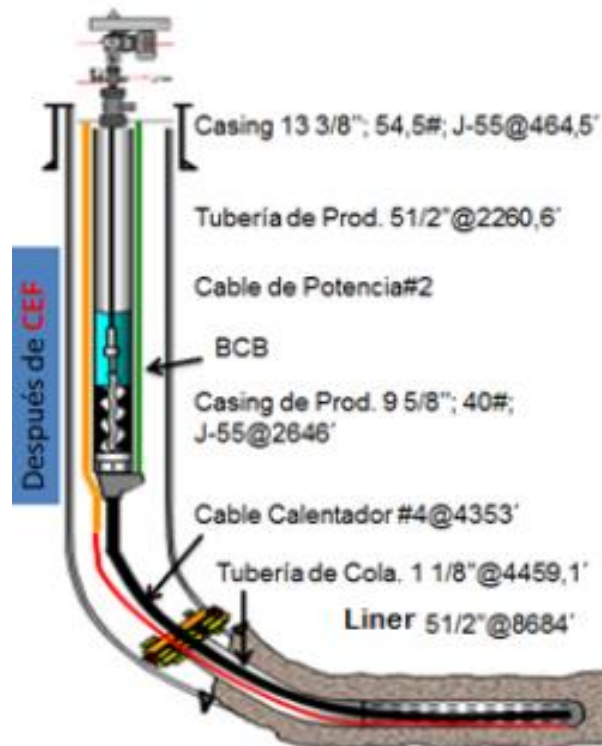


Figura 3. Ejemplo de una terminación con Cable Calentador.

- **Cable MI (por sus siglas en inglés Mineral Insulated)**

Herramienta de calentamiento eléctrico de fondo y permite un calentamiento selectivo para pozos productores de crudo pesado y extrapesado que puede alcanzar temperaturas máximas de aplicación de hasta 1022 °F (650 °C) es un cable de mineral aislado de óxido de magnesio, un resistor en serie, que genera calor pasando corriente por un conductor eléctrico. El número de conductores dependerá de la configuración del cable.

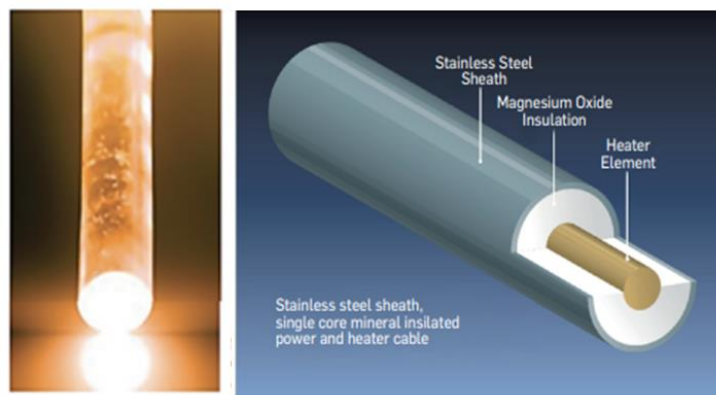


Figura 4. Cable Calentador tipo MI.

Se instala por debajo de la bomba del pozo y al frente de la formación productora para calentar el crudo producido, reducir su viscosidad y facilitar su flujo, con lo cual se aumenta la producción diaria del pozo. Este cable MI de fabricación robusta presenta una cobertura externa en aleación 825, alto en níquel cromo, ideal para alta temperatura y resistente a los medios más corrosivos y cloritos, ácidos, sal y ambientes de alta alcalinidad.

Tres hilos de este cable calentador permiten una mayor entrega de potencia 1000 vatios/m y facilitan el diseño y fabricación de un calentador que permite una distribución sectorial de la potencia a lo largo del mismo, es decir, en el caso de pozos horizontales permite dividir la longitud del calentador hasta en cuatro sectores a los cuales se les puede entregar potencias diferentes.

Los componentes utilizados por esta tecnología se muestran en la siguiente figura:

Componentes básicos del sistema

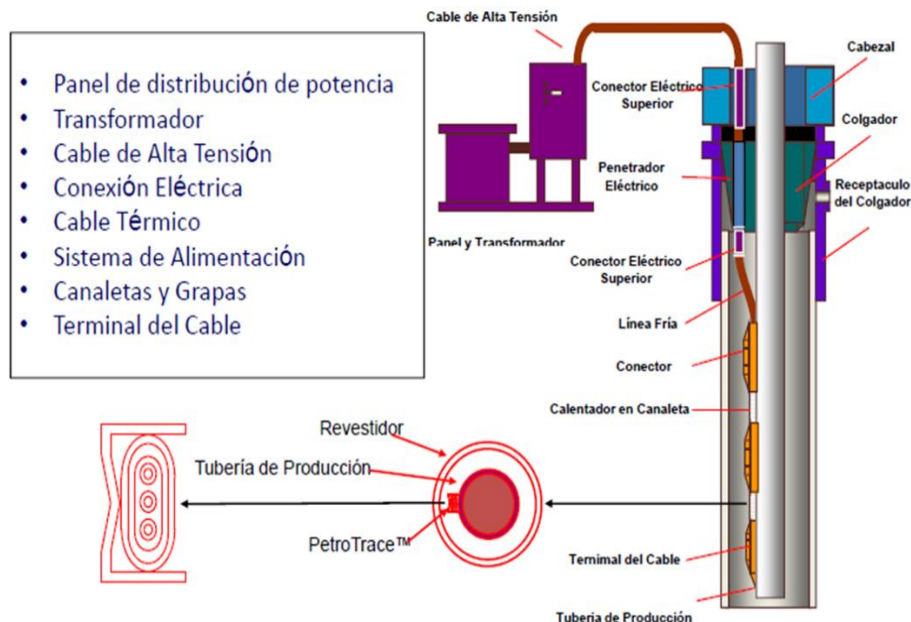


Figura 4. Componentes del sistema con calentamiento eléctrico marca Petro Trace.

Los principales componentes de un sistema de calentamiento con cable calentador son los siguientes:

Elemento de calentamiento: está conformado por un cable calentador según especificaciones y diseño de cada fabricante. Cabe destacar, que, a mayor diámetro de cable, menor es la caída de voltaje (menores pérdidas de energía), es decir, a mayor área de conducción de energía, menor será la resistencia del cable.

Unidad acondicionadora de potencia: como también es conocido el VSD, convierte la corriente trifásica a una fase simple de baja frecuencia (entre 2 y 27 Hz), modificando la forma de la onda. La unidad controla la potencia que se suministra al yacimiento por medio de un panel

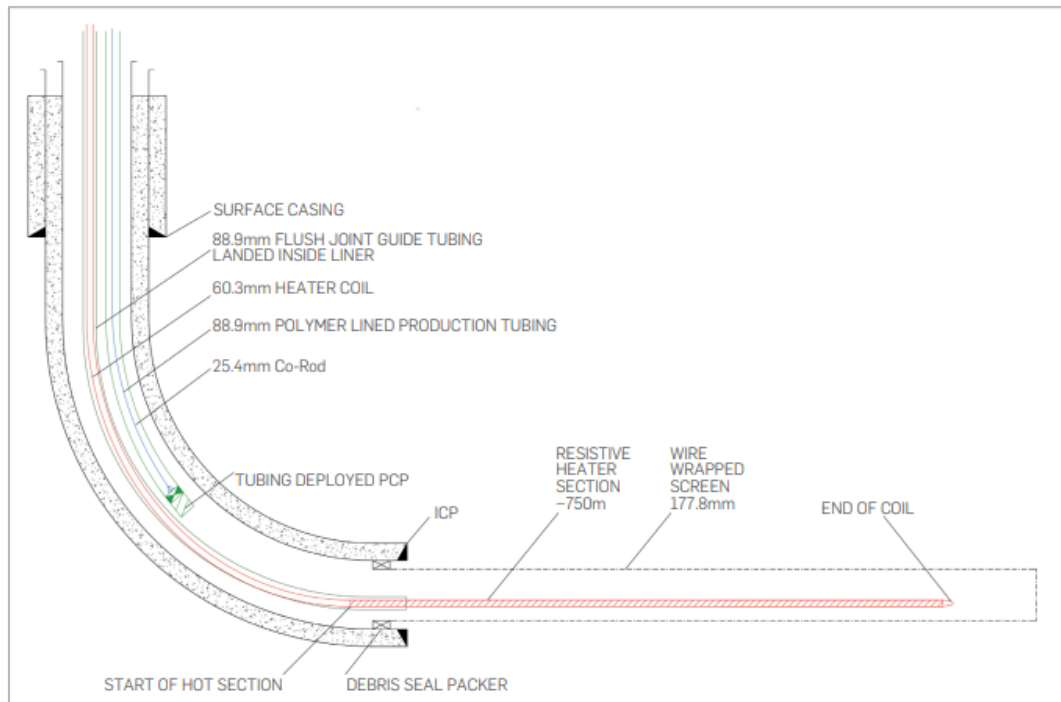
de control y provee enlaces para ajustar la unidad bajo ciertas condiciones (autorregulación). El VSD del cable calentador está automatizado para controlar la temperatura en la succión de la bomba. El VSD registra todos los valores de corriente, voltaje aplicado al cable calentador.

La unidad de potencia puede conectarse en paralelo o en serie para que coincida con las diferentes necesidades de carga adecuada para una aplicación particular. El variador de frecuencia es el componente principal de la tecnología, este es alimentado por un transformador eléctrico de 350 kW, el cual le suministra corriente mediante un arreglo trifásico de aproximadamente 480 voltios y 60 Hz de frecuencia.

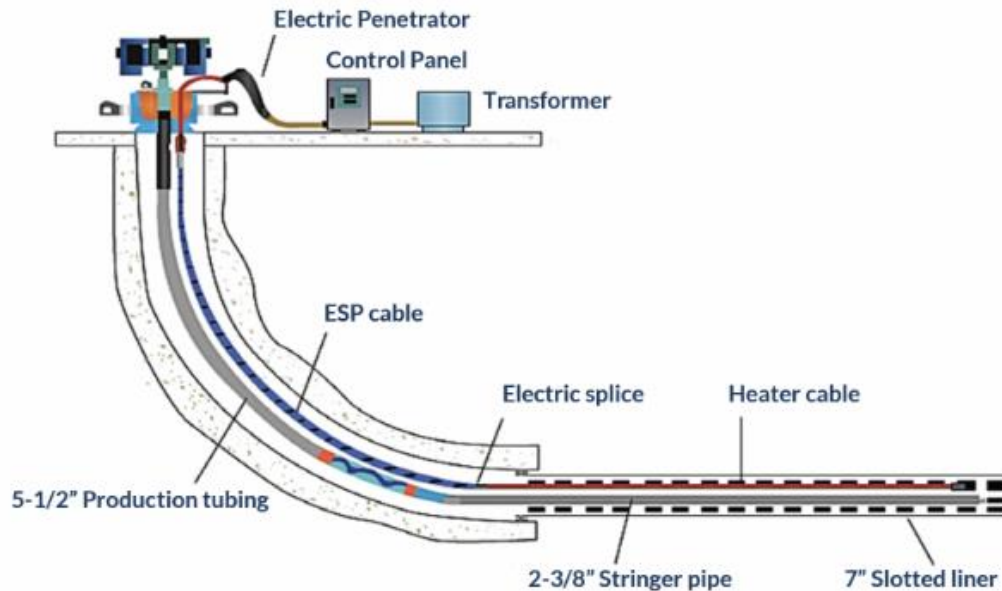
- **Sistema de transmisión de energía:** consiste en cables, tubos o una combinación de ambos, para entregar la energía acondicionada en la superficie a la formación productora de forma eficiente y segura.
- **Sistema de registros y monitoreo:** incluye panel de control y programas requeridos para control y monitoreo, manual o automático, de la energía y las temperaturas, a través de termocuplas instaladas en varios puntos del sistema mediante elementos sensores de temperatura y presión que se instalan por debajo de la bomba, a nivel de la succión de la misma, entre otras ubicaciones.

TERMINACIÓN CON CABLE MI

- Puede estar sujeto por fuera al tubo desde la profundidad total hasta la superficie



- Cable MI con la sección calefactora sólo en la zona de interés.



ALGUNOS CRITERIOS DE APLICACIÓN

- ✓ Espesores de arena superiores a 5 mt. (Aunque otros autores indican que no es una limitante).
- ✓ Yacimientos con crudos de gravedad API de 8 a 15 °API.
 - $100 \text{ cp} < \mu_{oil} < 25.000 \text{ cp}$ (petróleo vivo).
 - Entre 30.000 a 35.000 cp (Petróleo muerto)
- ✓ Yacimientos mojados por agua o petróleo.
- ✓ Permeabilidad Horizontal $> 1000 \text{ mD}$
- ✓ Movilidad ≥ 0.05
- ✓ $Sw \leq 40\%$
- ✓ %Corte de agua $< 30\%$
- ✓ Tasa de producción $\geq 20 \text{ Bls/día}$.
- ✓ Yacimientos de areniscas o calizas.
- ✓ Pozos horizontales o verticales. En el caso de los pozos horizontales tener en cuenta el DLS máximo permisible para que no se presenten problemas mecánicos de atascamiento para bajar el cable al fondo del pozo.
- ✓ Pueden utilizarse como sistema de levantamiento BES, BCP o BM.
- ✓ Completación Térmica si las temperaturas superan los 150°C .

VENTAJAS DEL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO

Entre las ventajas de aplicar calentamiento eléctrico en fondo se tienen:

- ✓ Sistema sencillo de fácil Instalación.
- ✓ Comparativamente menos costoso que otros métodos de calentamiento (Inyección de Vapor, S.A.G.D.).
- ✓ Método relativamente insensible a los efectos de la heterogeneidad, los cuales causan problemas en otros métodos.
- ✓ No requiere cambios en completación (caso tecnología cable calentador).
- ✓ Es una tecnología no contaminante.
- ✓ No generan compuestos corrosivos/peligrosos/contaminantes (H₂S, CO).
- ✓ No limitados por presiones de fondo.
- ✓ No limitados por arcillas hinchables.
- ✓ La generación de calor es continua y controlable en superficie.
- ✓ Los procesos electro-térmicos están, en su mayoría, libres de los problemas relacionados con muy baja inyectividad inicial de la formación, la mala transferencia de calor, y la dificultad de controlar el movimiento de los fluidos y gases inyectados, que han plagado a otros procesos de recuperación estimulados térmicamente.

DESVENTAJA DEL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO

La principal desventaja que tienen los métodos de calentamiento eléctrico es el costo de la energía eléctrica, comparado con las fuentes de calentamiento convencionales utilizadas en los proyectos térmicos; por lo tanto, estos métodos son económicamente atractivos solamente cuando el incremento en eficiencia térmica (energía) es lo suficientemente grande como para compensar el alto costo de la energía eléctrica.

RESERVORIOS CANDIDATOS PARA EL CALENTAMIENTO EN FONDO

- Yacimientos de petróleo pesado donde la inyección de vapor no puede ser aplicable.
- Yacimientos donde un modesto cambio de temperatura puede producir cambios significativos en la producción.
- Yacimientos cuyos pozos se dañen debido a la deposición de parafinas y/o asfáltenos.
- Yacimientos de petróleo pesado inmóvil que necesite precalentado anterior a la aplicación de otro proceso de recobro.
- Los calentadores eléctricos en el fondo del pozo también se pueden utilizar para mejorar la calidad del vapor reduciendo así la Relación Vapor-Petróleo (SOR).

Referencias Bibliográficas

- R. Sierra, Uentech International Corp; B. Tripathy, Computer Modeling Group; J. E. Bridges, JEB. Research; S. M. Farouq Ali, Pearl Laboratories Canadá.
- Baker Hughes Centrilift. (2007). Cable Calentador: Sistema Calorífico Distribuido para Producción de Crudo Viscoso. Maturín: Maximiliano González.
- Limited, “Promising Progress in Field Application of Reservoir Electrical Heating Methods”, SPE, 12-14 March 2001.
- Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company, Richard B. Knapp, Lawrence National Laboratory “Electromagnetic Heating.
- Martínez, H. (2012). Evaluación del Sistema de Calentamiento Eléctrico en Fondo de Pozo como Proyecto Piloto para la Recuperación de Crudo Pesado en el Campo Orocuai. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Maturín.
- Methods for Heavy Oil Reservoirs”, SPE, June 2000. M. A. Carrizales, Larry W. Lake & R. T. Johns, University of Texas Austin, “Production Improvement of Heavy-Oil Recovery by Using Electromagnetic Heating”, SPE, 2008.
- J.K. Wittle, Electro-Petroleum, Inc.; D.G. Hill, and G.V. Chilingar, University of Southern California, “Direct Current Electrical Enhanced Oil Recovery in Heavy-oil Reservoirs to Improve Recovery, Reduce Water Cut, and Reduce H₂S Production While Increasing API Gravity”, SPE, 31 March-2 April 2008.
- Swapn Das, Marathon Oil Corporation, “Electro-Magnetic Heating in Viscous Oil Reservoir”, SPE, October 2008.
- Sierra R., Tripathy, B. Da Mata, W., Farouq Ali, S. M., Briges. J., “Evolutions of Reservoir Electrical Heating New Promise in Field Applications”, SPE, presented at the World Petroleum Congress, Alberta, Canadá, June 2000.
- Prats, M. (1987). Procesos Térmicos de Extracción de Petróleo. Los Teques: Ediciones Técnicas Intevep