

# ESTUDIO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ROCA-FLUIDO DE UN YACIMIENTO DE CRUDO PESADO AL SER SOMETIDO A CALENTAMIENTO ELÉCTRICO RESISTIVO

Diana Mercado<sup>1</sup>, Jesús Ricardo<sup>2</sup>, Julio Pérez<sup>3</sup>, Manuel Cabarcas<sup>4</sup>

## RESUMEN

El calentamiento eléctrico resistivo es una técnica de estimulación térmica en la cual corriente eléctrica se hace pasar a través del medio poroso. A medida que la corriente fluye en el yacimiento la energía eléctrica asociada a ésta es convertida en calor, produciéndose así un aumento en la temperatura promedio de la zona adyacente al pozo productor, lo cual genera una disminución en la viscosidad del crudo y por tanto un aumento en la producción.

Este trabajo fue realizado con el objetivo de analizar el comportamiento de un yacimiento hipotético de crudo pesado al ser sometido a un proceso de calentamiento eléctrico resistivo, además de estudiar el efecto que tienen parámetros de diseño tales como la ubicación del dispositivo de retorno, la longitud del electrodo y el voltaje aplicado sobre el comportamiento del perfil de temperatura en el yacimiento.

El análisis se realizó a partir de un estudio de simulación en el cual se empleó el módulo para calentamiento eléctrico del simulador STARS (Steam, Thermal and Advanced Processes Reservoir Simulator) de CMG (Computer Modelling Group).

**Palabras claves:** Calentamiento eléctrico resistivo, simulación de yacimientos, crudo pesado, estimulación térmica.

<sup>1</sup> Ingeniero de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga, Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniero de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga, Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Centro de Investigación del Gas, CIG. Bucaramanga, Colombia.

<sup>4</sup> Ingeniero de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Centro de Investigación del Gas, CIG. Bucaramanga, Colombia.

## ABSTRACT

The resistive electrical heating is a thermal stimulation technique in which an electrical current is made to pass through a porous media. While the current flows in the reservoir, the electrical energy associated with this, is converted into heat, being produced an increase in the average temperature of the adjacent zone to the producer well, generates a decrease in the viscosity of the crude and thus an increase in the production.

This work was realized to examine the behavior of a hypothetical reservoir of heavy crude which is being to exposed a process of resistive electric heating, furthermore to study the effect of design parameter as length of return the electrode and applied voltage have under temperature profile reservoir behavior and ubication.

The analysis was done from a study of simulation in which the module for electric heating of the simulator STARS (Steam, Thermal and Advanced Processes Reservoir Simulator) of CMG (Computer Modelling Group) was used.

**Keywords:** resistive electric heating, reservoir simulation, heavy oil, thermal stimulation.

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas de recobro térmico se han constituido a lo largo de los años en la principal herramienta para la recuperación de crudos pesados. Los procesos de estimulación térmica tienen como objetivo disminuir la resistencia al flujo de fluidos en la vecindad del pozo mediante el aumento de la temperatura promedio de dicha región, lo cual genera la disminución de la viscosidad de los fluidos. Esta disminución en la resistencia al flujo permite que las fuerzas de empuje presentes en el yacimiento (gravedad, gas en solución, empuje natural de agua, etc.) actúen de tal manera que contribuyan con el aumento de la producción de crudo (Prats, 1986).

La viabilidad de un proyecto de calentamiento eléctrico resistivo al igual que la de cualquier otro proyecto de estimulación, depende de un sin número de factores que involucran desde las mismas características del yacimiento hasta la factibilidad económica de la implementación de dicho método. Uno de los factores que se tienen en cuenta a la hora de decidir si el calentamiento eléctrico resistivo o cualquier otra técnica de

estimulación es implementada o no, es el comportamiento del yacimiento bajo dicho esquema de recuperación.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis del comportamiento de un yacimiento hipotético sometido a un proceso de calentamiento eléctrico resistivo. Dicho análisis fue realizado mediante un estudio de simulación, en el cual el módulo para calentamiento eléctrico del simulador de procesos térmicos STARS fue utilizado para efectuar las diferentes corridas de simulación, en las cuales se incluyeron variaciones en la ubicación del retorno, longitud del electrodo y voltaje aplicado.

## CALENTAMIENTO ELÉCTRICO RESISTIVO

El calentamiento eléctrico resistivo también denominado calentamiento óhmico es una técnica de estimulación térmica en la cual una corriente eléctrica, cuya frecuencia se encuentra en un rango que va desde lo que se conoce como corriente continua hasta los 300 KHz aproximadamente, se hace pasar a través del yacimiento (Grant, 1996).

La conducción de la corriente eléctrica en el medio poroso se caracteriza por ser un proceso de carácter iónico, es decir, que la corriente eléctrica en el medio poroso se origina debido al movimiento de iones positivos y negativos en el agua intersticial.

La excitación eléctrica en el medio poroso se representa a partir de una diferencia de potencial. Cuando la zona a calentar es sometida a una diferencia de potencial se genera un campo eléctrico, el cual recorre el sistema con una velocidad cercana a la velocidad de la luz. El campo eléctrico establecido a través del sistema hace que los iones presentes en el agua intersticial se aceleren en dirección paralela a las líneas de campo. Cuando los iones encargados de transportar la carga eléctrica a través del sistema son acelerados por el campo eléctrico, se produce una transferencia de energía cinética a nivel molecular en el agua de la formación (MCGee, 2000).

La transferencia de energía cinética a nivel molecular se presenta debido a que al establecer el campo eléctrico, este intrínsecamente transporta una cantidad de energía, la cual es transferida a los iones en virtud de su posición dentro del campo. A medida que los iones son acelerados por el campo eléctrico experimentan una serie de choques con las demás partículas presentes en el agua, transfiriendo así parte de la energía adquirida. La energía disipada en los choques entre partículas aumenta la agitación térmica de las moléculas de agua, dando lugar a una transformación de la energía eléctrica en calor, lo cual se ve reflejado en un aumento de la temperatura del agua. Este efecto calórico que se produce por el paso de la corriente eléctrica se denomina efecto Joule.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO SIMULADO

Para el desarrollo de este estudio de simulación se seleccionó una configuración para un solo pozo, es decir, que tanto el electrodo como el dispositivo de retorno de la corriente eléctrica a la unidad de suministro de potencia se encuentran ubicados en un mismo pozo.

Los datos para la simulación fueron tomados casi en su totalidad del modelo de yacimiento propuesto por la Society of Petroleum Engineer (SPE) en su cuarto proyecto comparativo titulado Fourth SPE comparative solution project: comparison of steam injection simulator (Aziz, 1987). El caso en mención fue seleccionado, por contener una descripción completa de las características del yacimiento además de las condiciones operacionales requeridas para la construcción del modelo.

Para la simulación fue construido un enmallado radial con 25 divisiones en dirección radial, un radio de pozo de 0.3 pies y un radio externo de 288.5 pies. Los límites de los bloques en dirección radial se determinaron a 0.3, 1.3, 2.3, 3.3, 4.8, 6.3, 7.8, 9.8, 11.8, 13.8, 16.8, 19.8, 22.8, 25.8, 28.8, 34.8, 40.8, 46.8, 52.8, 58.8, 68.8, 78.8, 108.8, 138.8, 188.5, 288.5 pies. En dirección vertical se definieron 20 capas para el enmallado de las cuales 10 fueron utilizadas para modelar la zona productora y las 10 restantes para la sobrecarga.

Las propiedades de la roca y de los fluidos involucrados en la simulación son presentadas en la tabla 1 junto con las condiciones iniciales de operación establecidas para la misma.

El enmallado de simulación construido es presentado en la figura 1.

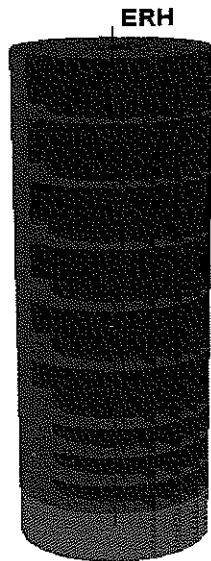


Figura 1. Enmallado de simulación construido para simular el proceso de calentamiento eléctrico resistivo. Las capas de color azul representan los 1500 pies de sobrecarga.

## RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para las diferentes corridas de simulación realizadas se empleó un suministro de potencia de 80 Kw y una corriente alterna de 60 Hz.

### Corrida 1: Variación del voltaje aplicado

Con el objetivo de establecer el efecto que tiene la diferencia de potencial aplicada a través del yacimiento en un proceso de calentamiento eléctrico resistivo, se construyeron una serie de casos de simulación en los cuales los valores tomados para la diferencia de potencial aumentaban en 110 voltios entre caso y caso.

La corrida inicial se realizó aplicando un voltaje de 110 voltios, y las siguientes fueron realizadas utilizando 220, 330 y 440 voltios respectivamente. Los resultados obtenidos para cada una de dichas corridas fueron comparados entre sí y con los resultados obtenidos para el comportamiento del pozo sin calentamiento.

En la figura 2 puede observarse que para un voltaje de 110 voltios sólo el 11% de la potencia suministrada es conducida hacia el yacimiento, mientras que para 220, 330 y 440 voltios se conduce aproximadamente el 43%, 98% y el 100% de la potencia de la unidad de suministro respectivamente, es decir, que en la medida que aumenta la diferencia de potencial aplicada a través del medio poroso una mayor cantidad de energía puede ser transmitida al yacimiento.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulator  
Efecto del voltaje en un proceso de calentamiento eléctrico resistivo

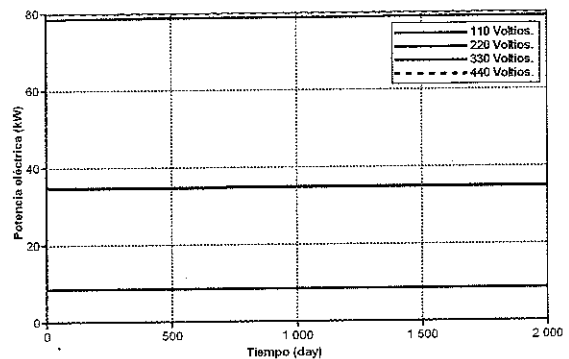


Figura 2. Potencia suministrada al yacimiento.

Cabe resaltar el hecho de que al aplicar un voltaje de 330 y 440 voltios la potencia suministrada al yacimiento es casi la misma, lo cual se debe a que la unidad de suministro solo puede dar una determinada cantidad de energía aunque el sistema sea capaz de transportar una mayor cantidad al yacimiento. Con base en lo anterior puede determinarse que el voltaje que debe ser aplicado a la zona de interés debe ser aquel que permita llevar a dicha zona la mayor cantidad de energía, sin tener que aplicar altas diferencias de potencial a través del electrodo y del retorno, ya que en la medida que se trabajen mayores voltajes la resistencia del equipo debe ser mayor, lo cual se ve reflejado directamente en su costo.

Como se mencionó el voltaje aplicado al yacimiento tiene un marcado efecto en la potencia que puede ser disipada en el medio

poroso, es así como en la medida en que se lleve al yacimiento una mayor cantidad de energía, mayor será el aumento de la temperatura de la zona estimulada debido a la transformación de la energía eléctrica en calor, lo cual se verá reflejado en la producción de aceite, tal como se muestra en la figura 3.

### Corrida 2: Variación de la posición del retorno.

Con el objetivo de analizar el efecto que tiene sobre el proceso de calentamiento la ubicación del dispositivo de retorno de la corriente eléctrica a la unidad de suministro de potencia, se realizaron una serie de corridas de simulación en las cuales se varió la ubicación de dicho dispositivo, manteniéndose el electrodo ubicado en la zona productora.

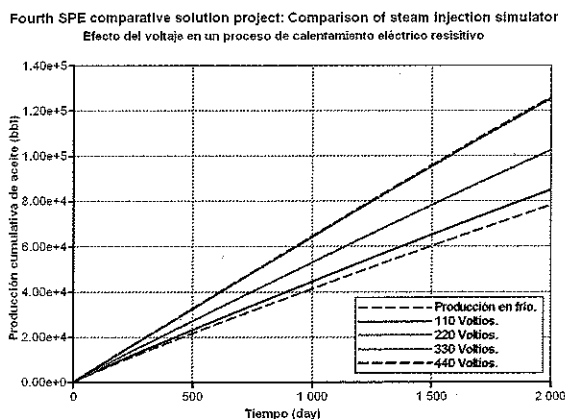


Figura 3. Producción acumulativa de aceite.

La corrida inicial se realizó con el retorno ubicado en superficie, es decir, a 1500 pies de la zona productora. Adicionalmente se realizaron cuatro corridas de simulación en las cuales el retorno fue ubicado en el revestimiento del pozo a 1100, 700, 300 y 100 pies de la zona productora para la segunda, tercera, cuarta y quinta corrida, respectivamente.

En la figura 4 se presenta el comportamiento de la potencia suministrada al yacimiento para

cada una de las ubicaciones del retorno señaladas. En dicha figura se puede observar que la cantidad de energía que es suministrada al yacimiento no solo depende del voltaje aplicado a través de la zona productora, como ya se había visto cuando se analizó el efecto de la diferencia de potencial aplicado al yacimiento, sino que también depende de la distancia a la cual se encuentran el electrodo y el retorno. La potencia suministrada al yacimiento aumenta en la medida en que la distancia entre el electrodo y el retorno se hace menor, manteniéndose dicho comportamiento hasta un punto tal que la cercanía entre el electrodo y el retorno afecta de forma adversa el suministro de potencia al yacimiento.

El comportamiento antes descrito se presenta principalmente por el efecto generado por la distancia que separa el electrodo del retorno de la corriente eléctrica, el cual se centra principalmente en la alteración de la distribución del campo eléctrico a través de la zona comprendida entre ambos dispositivos. Al encontrarse mas cerca el electrodo del retorno la densidad de líneas de campo eléctrico aumenta, produciéndose a su vez un aumento en la densidad de la corriente eléctrica, lo cual ocasiona que una mayor cantidad de la energía transmitida por la unidad de suministro de potencia pueda ser suministrada al yacimiento. El hecho de que la densidad de corriente aumente en la medida en que la distancia entre el electrodo y el retorno disminuye hace que exista un punto en el cual al sistema llegue mas energía de la que éste es capaz de disipar en virtud de la resistencia que este opone al flujo de la corriente eléctrica, produciéndose una serie de alteraciones en el circuito eléctrico existente en el yacimiento que hacen que el calentamiento no sea uniforme.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulator  
Efecto de la localización del retorno en el calentamiento eléctrico

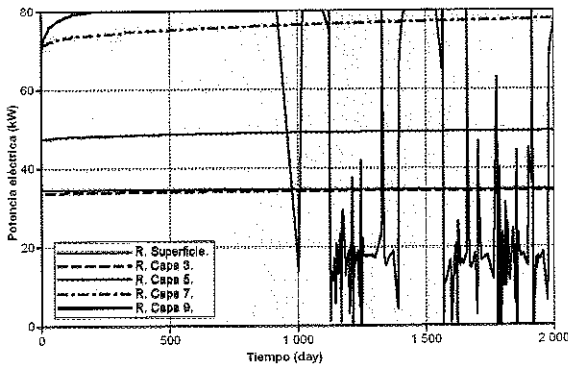


Figura 4. Potencia suministrada al yacimiento.

El hecho de que al yacimiento llegue una mayor o menor cantidad de energía, se ve reflejado en la producción de los fluidos intersticiales tal como se muestra en la figura 5.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulator  
Efecto de la localización del retorno en el calentamiento eléctrico

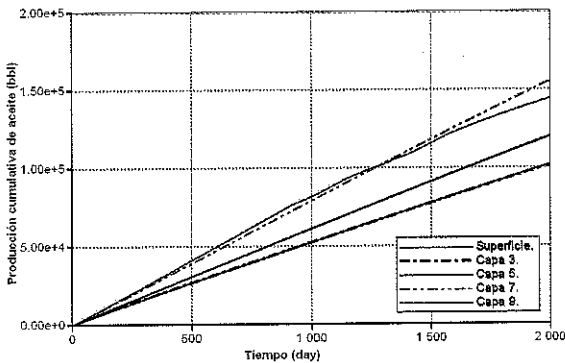


Figura 5. Producción acumulativa de aceite.

El comportamiento de la producción de aceite no sólo está sujeto al hecho de que la posición relativa entre el electrodo y el retorno afectan la distribución del campo eléctrico existente, sino que adicionalmente debe tenerse en cuenta que en la medida en que el electrodo y el retorno se encuentren más separados el campo eléctrico generado cubre un mayor área de las formaciones adyacentes a la zona productora ocasionando mayores pérdidas de potencia hacia dichas formaciones.

### Corrida 3: Variación de la longitud del electrodo.

El electrodo utilizado en un proceso de calentamiento eléctrico resistivo, es un dispositivo cuyas características se asemejan a las de un conductor lineal de carga, en el cual existe una distribución de campo eléctrico y por tanto de densidades de corriente, que generan que el flujo de corriente eléctrica a través de éste no sea uniforme. En la medida en que la longitud de dicho dispositivo varía, la distribución de corriente en éste también varía, por ello se hizo necesario realizar una serie de corridas a través de las cuales se pudiera analizar el efecto de dicho comportamiento en el proceso de calentamiento.

La corrida de simulación inicial se realizó empleando un electrodo de 170 pies de longitud ubicado en toda la zona productora. Posteriormente se realizaron tres corridas adicionales en las cuales se emplearon electrodos de 135, 100 y 60 pies respectivamente ubicados en la parte central de la zona productora.

La longitud del electrodo es un parámetro que determina en cierta forma la cantidad de energía eléctrica que puede ser suministrada al yacimiento, ya que entre mayor sea la longitud de dicho dispositivo mayor será su capacidad de entregar energía al yacimiento, tal como puede verse en la figura 6.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulator  
Efecto de la longitud del electrodo en el calentamiento eléctrico

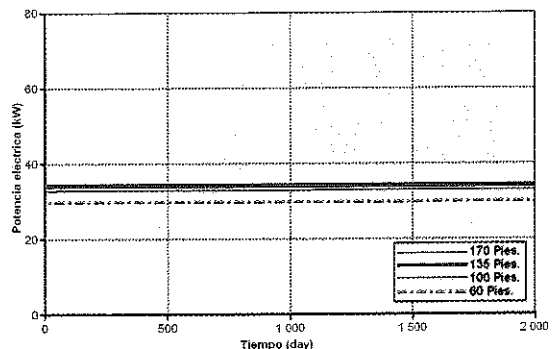


Figura 6. Suministro de potencia al yacimiento.

En la medida en que una mayor cantidad de energía es conducida al yacimiento, el aumento en la temperatura de la zona cercana al electrodo es mayor, haciendo que el efecto del calentamiento sobre la viscosidad de los fluidos presentes en la zona sea más significativo, por tanto el efecto en la producción de los mismos también será mayor, tal como se muestra en la figura 7.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam Injection simulator  
Efecto de la longitud del electrodo en el calentamiento eléctrico

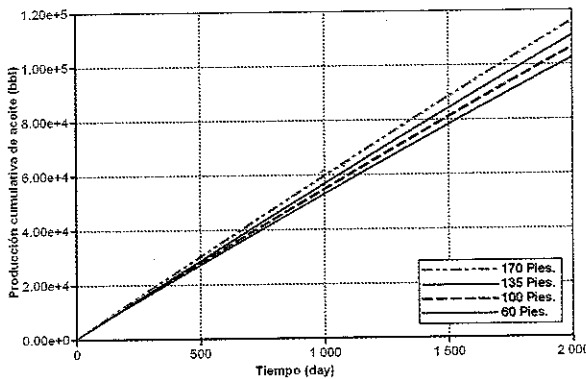


Figura 7. Producción acumulativa de aceite.

#### Corrida 4: Comportamiento del yacimiento al ser sometido a calentamiento eléctrico resistivo.

Una vez establecidos los efectos que tiene sobre el proceso de calentamiento eléctrico factores tales como el voltaje aplicado a través de la formación, ubicación del retorno de la corriente eléctrica y la longitud del electrodo, se construyó un caso de simulación a partir del cual se analizaría el comportamiento de los fluidos de la zona productora al ser sometida a dicho proceso de estimulación durante un periodo de 2000 días.

Para la simulación se empleó un modelo con las siguientes características: diferencia de potencial de 220 Voltios, retorno ubicado a 300 pies de la zona productora y longitud del electrodo de 120 pies.

El efecto de la generación de calor por el flujo de corriente eléctrica a través del medio poroso se ve reflejado en un aumento de la temperatura en la zona estimulada, en una proporción tal que las mayores temperaturas son alcanzadas en la región cercana al electrodo donde ocurre la mayor disipación de potencia. El comportamiento de la temperatura con la distancia para la zona productora es presentado en la figura 8, en la cual puede observarse que 2000 días después de iniciado el proceso de calentamiento eléctrico, en la cara de la formación se alcanzan temperaturas de cerca de 220 °F, es decir, 95 °F por encima de la temperatura inicial del yacimiento.

La razón por la cual en la figura 8 se observa que el calentamiento de la zona productora no se realiza de manera uniforme, es que el comportamiento del perfil de temperatura está determinado por la distribución del campo eléctrico generado por el electrodo y el retorno, haciendo que dicho comportamiento sea característico para este tipo de procesos de estimulación térmica.

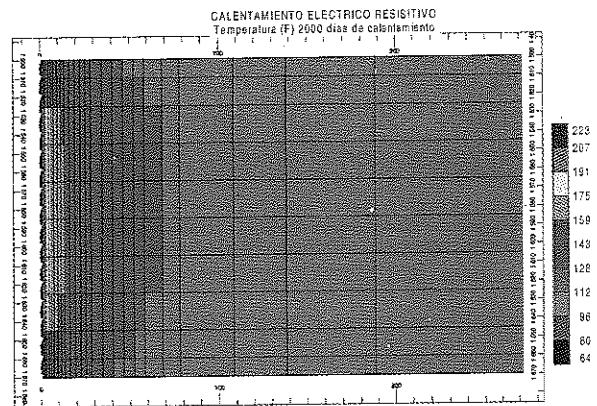


Figura 8. Perfil de temperatura.

El aumento de temperatura en la región cercana al electrodo genera que la viscosidad de los fluidos intersticiales allí presentes disminuya de tal manera que su resistencia al flujo se hace menor, permitiendo que estos sean producidos

con mayor facilidad. En la figura 9 se presenta el comportamiento de la viscosidad y la temperatura con respecto a la distancia para una de las capas de la zona productora 2000 días después de iniciado el calentamiento.

En dicha figura se puede observar que el radio afectado por el proceso de estimulación es de aproximadamente 80 pies, en el cual se nota una reducción de la viscosidad del aceite de cerca de 50 centipoises.

La disminución de la viscosidad del aceite presente en el yacimiento ocasiona que éste pueda ser producido con mayor facilidad, tal como se muestra en la figura 10, en la cual se presenta la producción acumulativa de aceite para la zona productora sin y con estimulación térmica.

En la figura 11 se presenta el comportamiento del factor de recobro para el aceite con respecto al tiempo. En dicho comportamiento puede observarse que en la medida en que el tiempo de estimulación es mayor, mayor es la diferencia entre el factor de recobro para la producción sin estimulación y la producción con calentamiento eléctrico resistivo. El hecho de que el factor de recobro aumente durante el calentamiento significa que el volumen de hidrocarburos recuperados del yacimiento es mayor, cumpliéndose así con el objetivo del proceso.

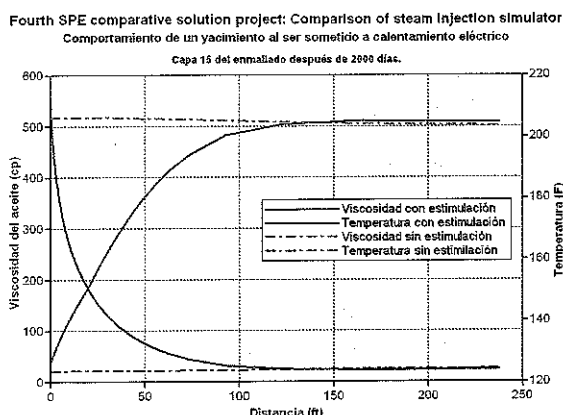


Figura 9. Comportamiento de la viscosidad con la temperatura para la capa 16 del enmallado.

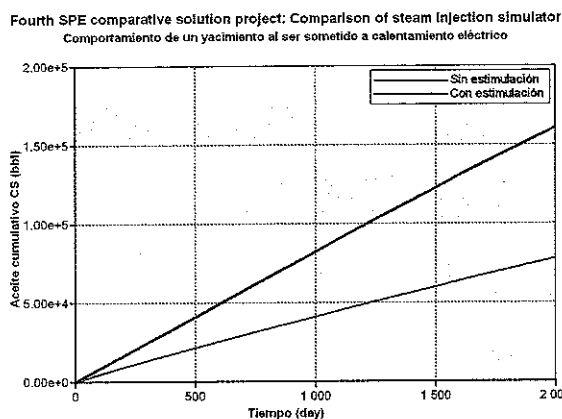


Figura 10. Producción acumulativa de aceite.

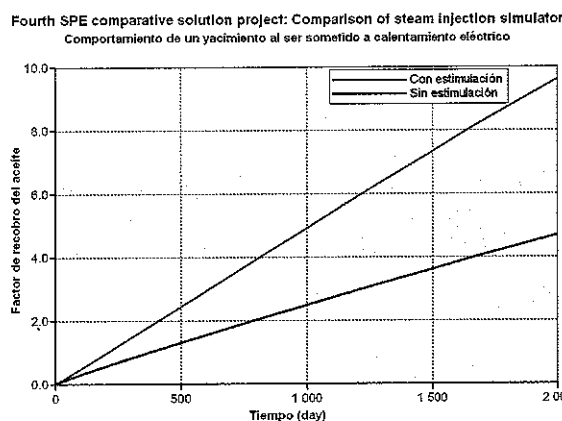


Figura 11. Factor de recobro de aceite.

La generación continua de calor en el yacimiento mejora notoriamente la recuperación de crudos pesados, en comparación con la producción sin estimulación. Pero la viabilidad de un proyecto de estimulación no sólo depende de la respuesta que el yacimiento tiene bajo dicho esquema de recuperación, sino, que adicionalmente debe considerarse si la producción incremental justifica la inversión.

Considerando que el calentamiento eléctrico resistivo emplea energía eléctrica para generar calor en el yacimiento y que además ésta es uno de los tipos más costosos de energía, se hace necesario establecer la cantidad de energía eléctrica requerida por cada barril de petróleo incremental obtenido durante el proceso.



En la figura 12 se observa el comportamiento entre la producción incremental de aceite y la energía que entra al sistema, a partir del cual se puede determinar la energía requerida por barril incremental.

Teniendo en cuenta que el comportamiento entre la producción incremental de aceite y la energía que entra al sistema describe una línea recta, la pendiente de dicha recta representa la energía requerida por cada barril incremental obtenido durante la estimulación térmica.

Aplicando la relación de mínimos cuadrados se obtiene que la pendiente de la recta que mejor se ajusta al comportamiento de la figura 12 es igual a 40.29, es decir, que en este caso se requieren 40.29 Kw-h para producir un barril incremental de aceite.

Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulator  
Comportamiento de un yacimiento al ser sometido a calentamiento eléctrico

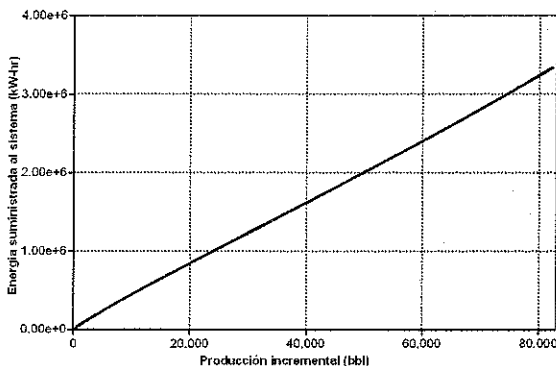


Figura 12. Energía suministrada al yacimiento por cada barril incremental de aceite recuperado.

Con base en el boletín Estadísticas Internacionales Minero Energéticas correspondiente al periodo 1998-2003, se tiene que la tarifa media de electricidad para el sector comercial en Colombia es de 0.09 U\$/Kw-h. El costo de producción adicional en el cual se incurre bajo la técnica de estimulación en mención, está dado por:

$$40.286 \left[ \frac{Kw-h}{Bl} \right] * 0.09 \left[ \frac{U\$}{Kw-h} \right] = 3.626 \left[ \frac{U\$}{Bl} \right]$$

Es decir, que el costo adicional para producir un barril incremental de aceite es de aproximadamente 3.626 dólares por barril.

Para la estimación de los costos antes mencionados sólo se tuvo en cuenta el valor de la energía requerida durante el proceso.

## CONCLUSIONES

A partir del estudio de simulación realizado para analizar el comportamiento de los fluidos de un yacimiento al ser sometido a calentamiento eléctrico resistivo, se llegó a las siguientes conclusiones:

El comportamiento del perfil de temperatura en un proceso de calentamiento eléctrico resistivo, se encuentra gobernado principalmente por tres parámetros de diseño que son el voltaje aplicado, ubicación del retorno con respecto al electrodo y la longitud del electrodo.

Debido a las características de distribución del campo eléctrico en el yacimiento, el perfil de temperatura desarrollado es característico para este tipo de procesos de estimulación, ya que alrededor del pozo se presenta un considerable incremento de temperatura como resultado de las altas densidades de corriente en dichas zonas.

Los resultados obtenidos en la simulación están limitados en exactitud por el hecho de que dentro del modelo de simulación se debió incluir las formaciones suprayacentes a la zona productora para poder determinar la excitación eléctrica en el yacimiento mediante el establecimiento de los límites eléctricos.

En un proceso de estimulación con calentamiento eléctrico resistivo, la mayor parte de la potencia entregada por el generador se disipa en los primeros 30 pies del yacimiento en dirección radial, de ahí que el radio afectado por dicha técnica sea un poco reducido.

Para el modelo simulado la aplicación de un proceso de calentamiento eléctrico genera un incremento significativo en la producción de aceite, el cual se ve reflejado en el aumento del factor de recobro de aceite del yacimiento.

## REFERENCIAS

AZIZ, K. RAMESH, A. B. and WOO, P.T. Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam simulators. SPE 13510, December 1987.

GRANT Duncan. Electric heat: Enhanced recovery engineering. World Oil. March 1996.

MCGEE Bruce C.W y VERMEULEN Frederick E. In situ electromagnetic heating for hydrocarbon recovery and environmental remediation. Volume 39 N° 8. August 2000.

PRATS, Michael. Thermal recovery. 2 ed. New York: Society of petroleum Engineers, 1986. 283 p. (Henry L. Doherty Series; no.7). ISBN 0-89520-314-6.

Unidad de Planeación Minero Energética. Boletín Estadísticas Internacionales Minero Energéticas 1998-2003. Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Disponible en Internet: WWW. Upme. gov. co.

**Tabla 1.** Propiedades asignadas al enmallado de simulación.

PROPIEDADES DE LA ROCA	
Porosidad: 30% Permeabilidad: 500 mD Capacidad calórica del yacimiento: 35 BTU/ft °F Compresibilidad de la roca: $5 \cdot 10^{-4}$ Psi <sup>-1</sup> @ 75 Psi.	Conductividad térmica del yacimiento: 24 BTU/ft día °F Conductividad térmica de las formaciones adyacentes: 24 BTU/ft día °F Capacidad calórica de las formaciones adyacentes: 35 BTU/ft °F
PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES	
Agua	Se toman las propiedades estándar Densidad a condiciones estándar: 60.68 lb/ft <sup>3</sup> Gravedad API: 14
Aceite	Compresibilidad: $5 \cdot 10^{-4}$ Psi <sup>-1</sup> Coeficiente de expansión térmica: $3.8 \cdot 10^{-4}$ °R <sup>-1</sup> Calor específico: 0.5 BTU/lb °R. Peso molecular: 600
Corriente	Peso molecular: 28 Presión crítica: 492 Temperatura crítica: 232
CONDICIONES INICIALES	
Temperatura de la zona productora: 125 °F Presión: 678 Psi	Saturación de aceite: 0.55 Saturación de agua: 0.45

Recibido: 19 de abril de 2005

Aceptado: 9 de mayo de 2006