



Estudio numérico de los perfiles de temperatura en un tubo de combustión

J. Hernández Pérez¹ y F. Trejo¹

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694. Colonia Irrigación, 11500 México D. F.

Resumen

Se obtuvo una solución analítica para los perfiles de temperatura de un experimento en tubo de combustión. Asimismo estos perfiles son modelados numéricamente usando un programa en diferencias finitas y el método de Newton, lo que permite usar coeficientes variables. Se usó un modelo de mezclas para la dependencia de la conductividad térmica de la mezcla de roca, aceite y agua.

Introducción

Uno de los métodos de recuperación de crudo pesado es la inyección de aire en el yacimiento con el fin de crear un frente de combustión que simultáneamente empuja el crudo al tiempo que disminuye su viscosidad. Este fenómeno es estudiado a nivel laboratorio mediante el uso de los tubos de combustión.

El fenómeno es complejo pues involucra tanto transporte de masa y de energía en un flujo multifásico. Sin embargo, el fenómeno es estable y asintótico intermedio [1], lo cual es usado para resolver analítica y numéricamente los perfiles de temperatura en el tubo de combustión.

Procedimiento Experimental

En un tubo de combustión se introdujo una mezcla de roca carbonatada triturada con tamaño de partícula de 0.42 mm., con 35.23% de porosidad y 23.79% de aceite pesado del Golfo de México de 12.5° API y 25.26% de agua destilada. El tubo se presionó con nitrógeno a 300 lb/pulg² y se calentó a 70°C. El extremo superior se calentó hasta obtener la temperatura de ignición a los 300°C. Se introdujo un flujo de aire con un gasto de 3 L/m produciéndose un frente de combustión que se desplazó a velocidad constante. Una serie de termopares en un tubo capilar de aluminio miden el perfil de temperaturas durante el experimento. Posteriormente se plantea la ecuación de balance de energía para el tubo de combustión es planteada. Se usa un eje coordenado que se desplaza con el frente de combustión de tal manera que la condición de frontera en el extremo derecho es la temperatura del frente de combustión la cual es reportada en el experimento (450°C).

El problema de valores en la frontera es no lineal debido a la dependencia de la conductividad térmica y la capacidad calorífica de la temperatura y de las proporciones de los componentes en la mezcla.

Este es discretizado usando diferencias finitas centradas y resuelto mediante el método de Newton-Raphson. El jacobiano del sistema es calculado numéricamente.

Resultados y Análisis

La Figura 1 muestra los resultados experimentales de las mediciones de la temperatura a lo largo del tubo para diferentes tiempos. Las curvas continuas son los perfiles obtenidos con el programa con un error aproximado del 5%.

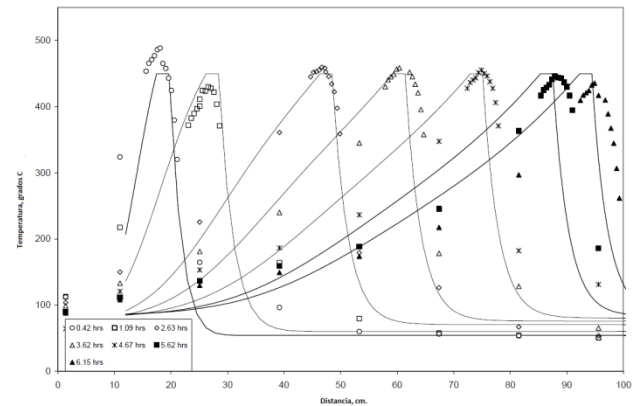


Figura 1. Valores medidos de los perfiles de temperatura y las curvas obtenidas por el programa.

Conclusiones

Se obtuvo una solución analítica al problema con coeficientes constantes y usando diferencias finitas y el método de Newton Raphson se obtuvo la solución numérica al problema con coeficientes variables. El error relativo máximo en la solución numérica fue del 5%.

Agradecimientos

Agradecemos al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) y a la Secretaria de Investigación y Posgrado (SIP), ambos del IPN por su apoyo a este trabajo.

Referencias

- [1] G. I. Barenblatt, Similarity, Self Similarity and Intermediate Asymptotics, Revised ed. (Plenum, New York) (1996).
- [2] M. A. Garnica, J. R. Hernández-Pérez, M. C. Cabrera Reyes, P. Schacht-Hernández and D.D. Mamora, *SPEJ/PS/CHOA* 117713. PS2008-355 (2008).