

Aplicación de Métodos de Ordenadas Discretas al Modelado de Sondas Tipo Neutrón Compensado

José I. Márquez, Oscar M. Zamonsky - División Física de Reactores Avanzados - Centro Atómico Bariloche

Resumen

Las sondas de neutrón compensado utilizadas para perfilaje petrolero consisten básicamente en una fuente de neutrones de Am-Be y dos detectores de ^3He colocados a distintas distancias de la fuente. A través de cocientes espectrales entre las respuestas de ambos detectores es posible estimar el contenido de hidrógeno de la formación y por lo tanto la porosidad de la misma.

La simulación de estos dispositivos se realiza tradicionalmente mediante códigos probabilísticos, pero esto implica grandes tiempos de cálculo y la necesidad de recalculer el sistema para la obtención de parámetros no contemplados en el cálculo original. En este trabajo se realiza una comparación entre cálculos probabilísticos realizados con MCNP y cálculos determinísticos realizados con DORT utilizando secciones eficaces generadas con SCALE. Luego, utilizando los campos de flujo neutrónico calculados con DORT, se realizan cálculos estimativos para la optimización del diseño de la sonda.

Los resultados demuestran una muy buena performance del código utilizado, tanto en precisión como en tiempo de cálculo, respecto a los resultados obtenidos con MCNP. Las características de la simulación por métodos determinísticos permite la realización de cálculos paramétricos variando la composición del sistema y la reutilización de los resultados para la obtención de distintos parámetros que simplifican la tarea de diseño.

Introducción

Luego de los primeros cálculos analíticos utilizando teoría de difusión¹, el modelado de sondas de perfilaje neutrónico se orientó principalmente a la utilización de códigos probabilísticos del tipo Monte-Carlo² dada su aptitud para representar problemas de penetración profunda. En el presente trabajo se compara un código que utiliza el método de ordenadas discretas³, DORT 3.2⁴, con resultados obtenidos con un código Monte-Carlo, MCNP-4C⁵ y luego se utilizan estos datos para optimizar el diseño de la sonda modelada.

El problema considerado consiste en el modelado de una sonda del tipo neutrón-neutrón, compuesta por una fuente de neutrones de Am-Be, un blindaje de hierro y dos detectores de ^3He , colocada en un pozo entubado y cementado en una formación de roca caliza (Fig. 1, 2).

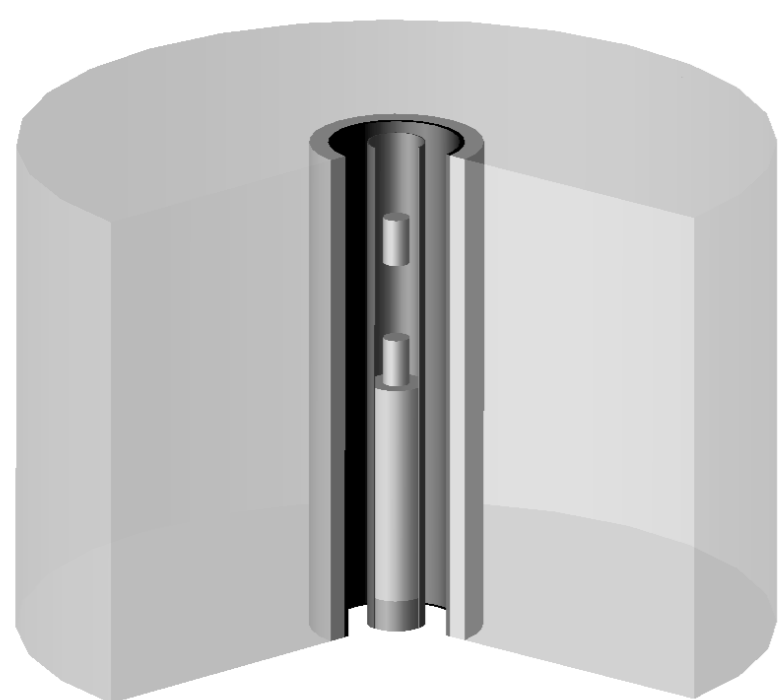


Figura 1. Representación de la sonda.

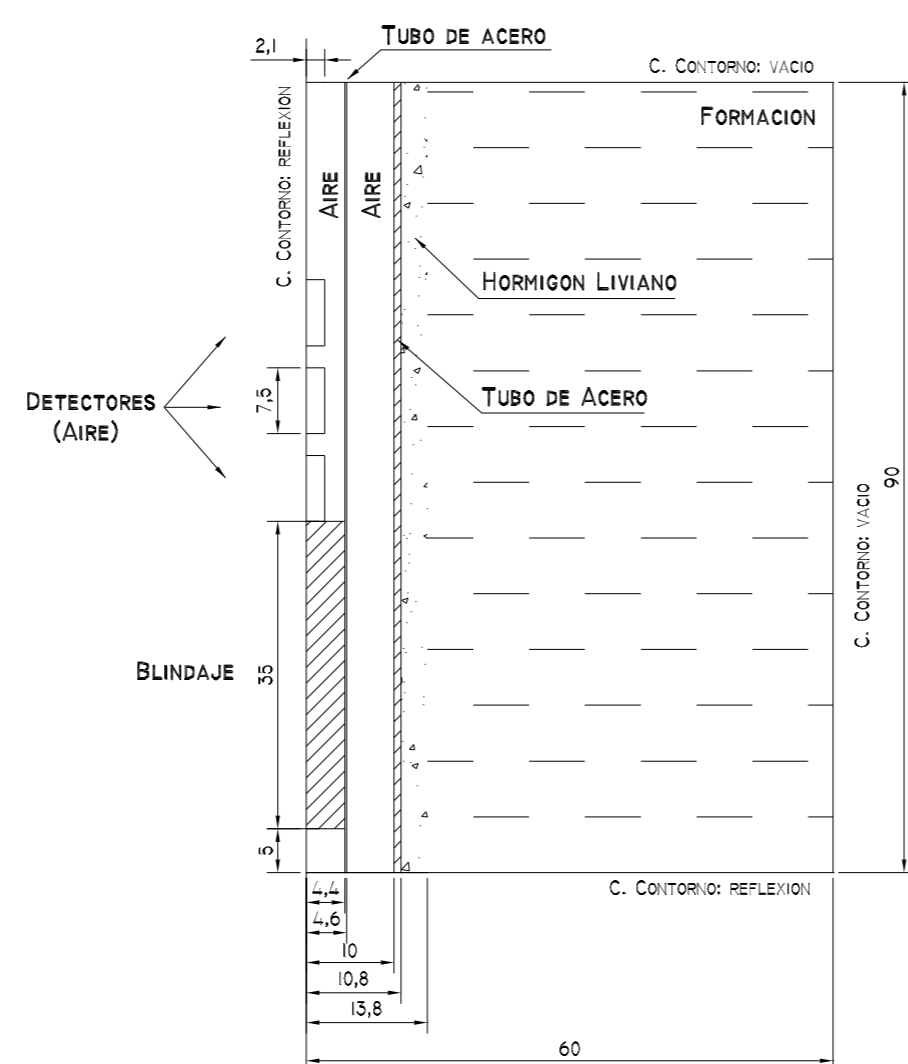


Figura 2. Esquema del modelo utilizado para el cálculo en geometría r-z.

Comparación MCNP-DORT

El problema modelado en MCNP incluyó tres *tallies* que simulaban la presencia de tres detectores alineados con la fuente (Fig. 3). Utilizando el campo de flujo angular obtenido con DORT (Fig. 4) en una simulación a 47 grupos utilizando secciones eficaces de la biblioteca Vitamin-B6⁶ procesadas con el sistema SCALE 4.4a⁷, se calculó el espectro en los detectores (Fig. 5) obteniéndose una aceptable concordancia. Los tiempos involucrados en el cálculo con MCNP y el procesamiento de secciones eficaces y cálculo con DORT se muestran en la Fig. 6.

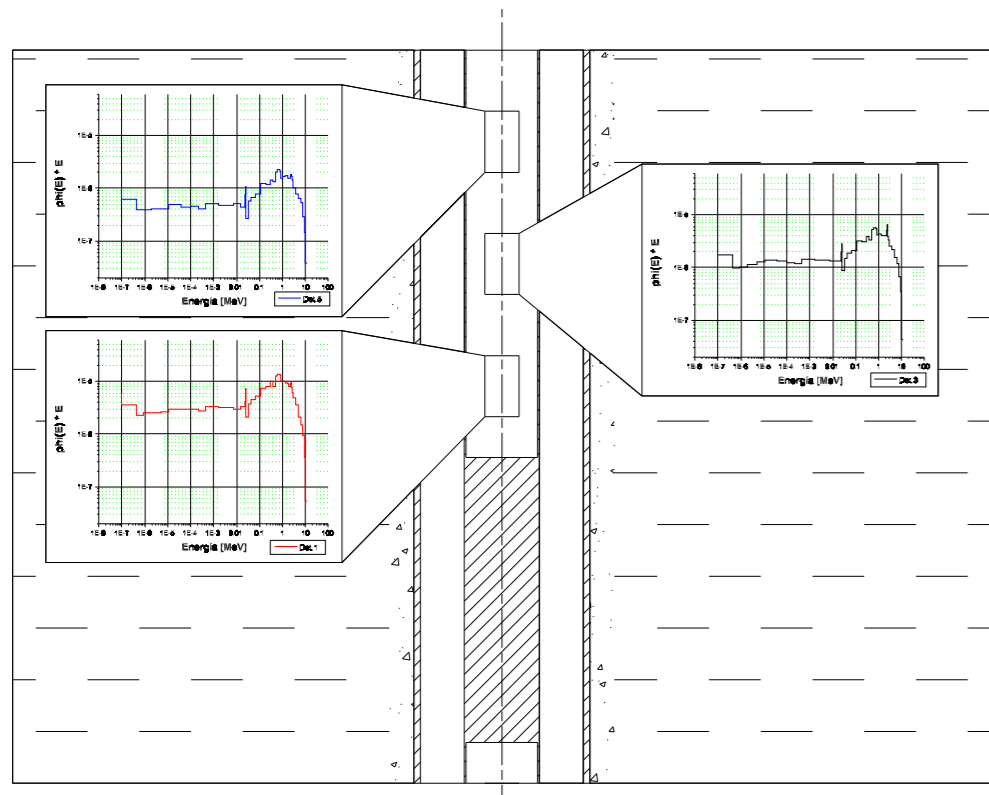


Figura 3. Espectros en los detectores calculados con MCNP.

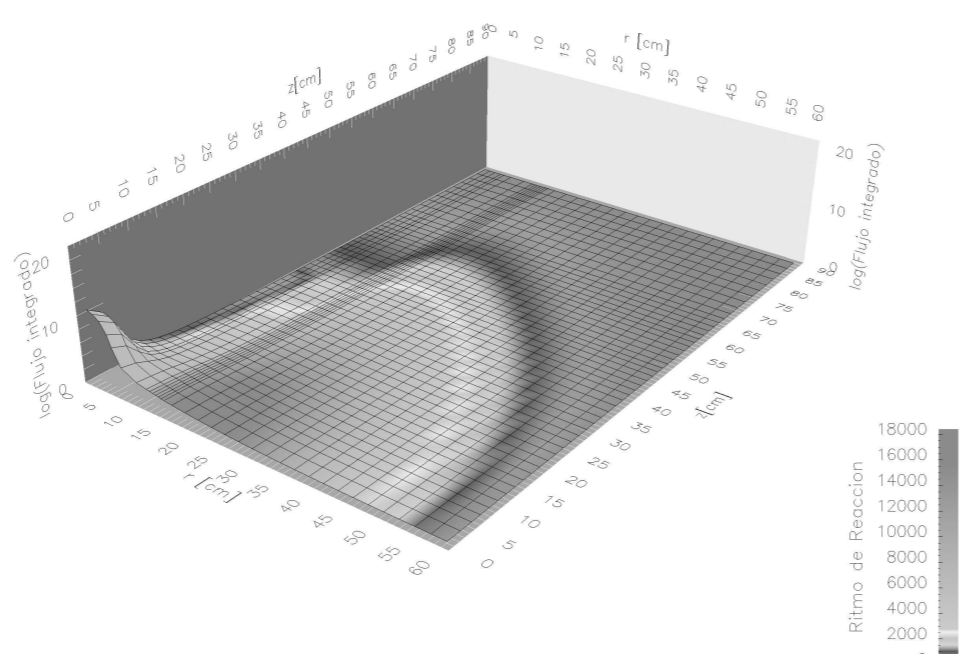


Figura 4. Ritmo de reacción y flujo integrado para cada (r, z) procesado de la salida $\phi_g(r_i, z_j, \Omega_k)$ obtenida con DORT.

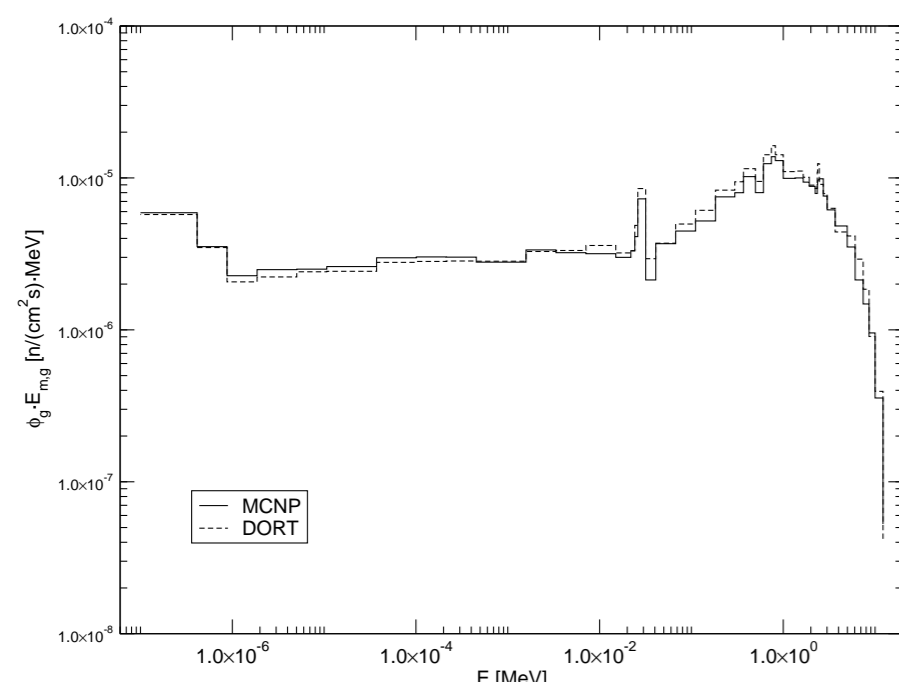


Figura 5. Comparación del espectro en el detector cercano, calculado con MCNP y DORT.

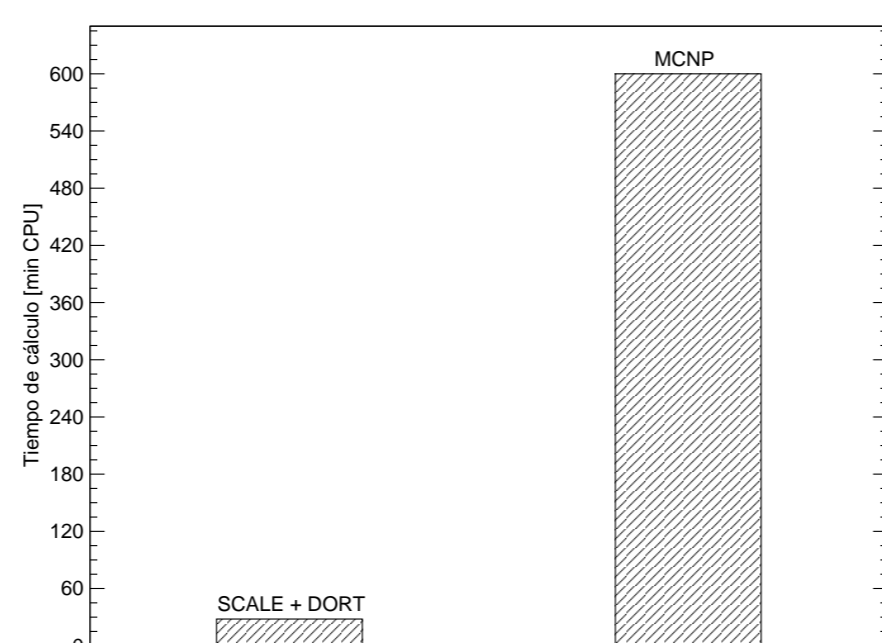


Figura 6. Tiempos de cálculo involucrados en el problema de comparación.

Aplicaciones al diseño

Para probar la aplicabilidad de SCALE/DORT al diseño de sondas, se realizó un análisis del efecto de la posición de los detectores en la respuesta de la sonda. Para esto se tomó como condiciones del problema la geometría original y se estableció una intensidad de fuente de $3 \cdot 10^7$ n/s y una presión de 10 bar de ^3He en los detectores.

La calibración de estas sondas se realiza midiendo la porosidad presente en pozos de calibración, y se grafica el logaritmo de la porosidad en función del cociente entre la respuesta del detector lejano y el detector cercano¹ (r_{far} y r_{near} en Figs. 7-12). El objetivo de la optimización es mejorar la lectura de estas curvas para la sonda simulada, variando la disposición de los detectores.

Ubicación del detector cercano

Dado que se fijó una geometría del conjunto sonda/pozo, se buscó una posición para el detector cercano que maximice el conteo, pero evitando la influencia de la depresión introducida en el flujo por el blindaje de hierro colocado entre la fuente y el detector (Fig. 7). Por otra parte, se verificó que ambos detectores se encuentren en la región de respuesta monótona decreciente con la porosidad (región sobremoderada) para obtener una relación unívoca entre el cociente medido y la porosidad (Fig. 8). De esta manera, se determinó que la posición óptima para el detector cercano es $z_{\text{near}} = 45$ cm.

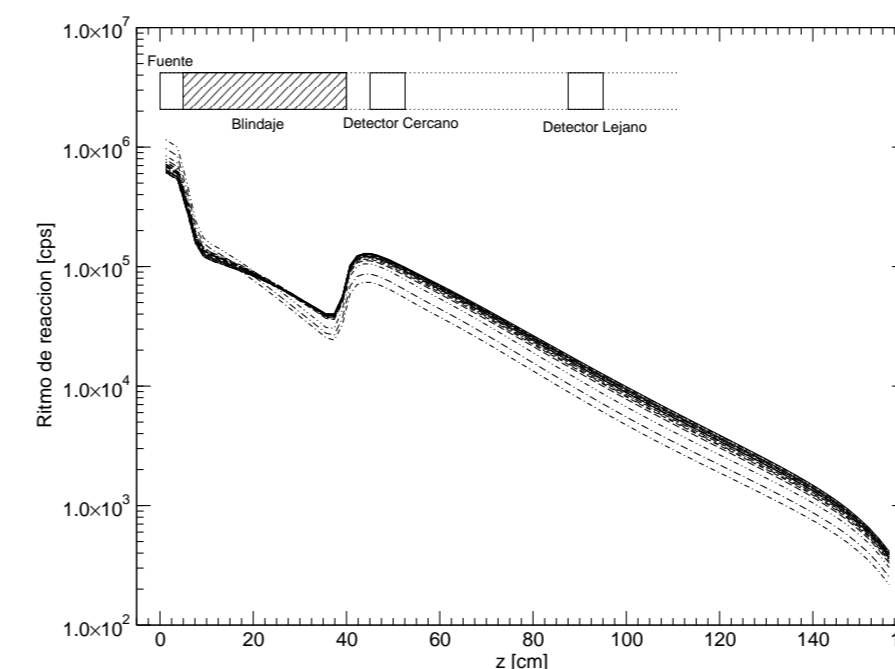


Figura 7. Depresión producida por el blindaje y posición del detector cercano. (0 - 100.000 ppm NaCl / 0 - 100% porosidad).

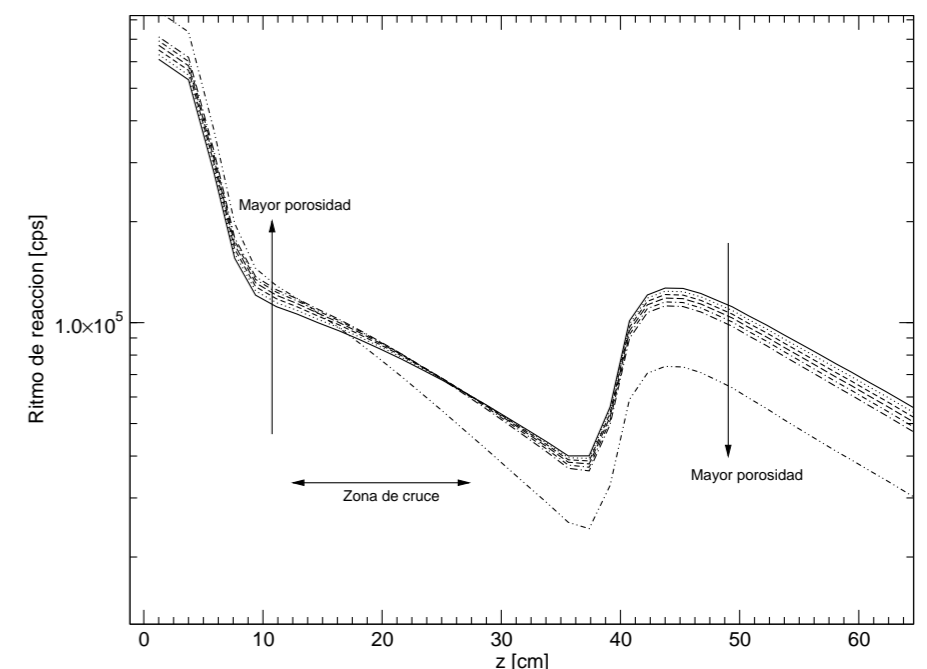


Figura 8. Posición de la zona de cruce en la respuesta de los detectores.

Posición del detector lejano

Como primer parámetro para evaluar la posición óptima del detector lejano, se observó la sensibilidad del detector, medida como la diferencia de cocientes ($r_{\text{far}}/r_{\text{near}}$) para dos porosidades dadas (Fig. 9). Sin embargo, como el error absoluto en la determinación de los cocientes disminuye al aumentar la distancia (Fig. 10), se observa que la estimación de la porosidad tiene una incerteza mínima con una distancia mayor del detector lejano (Fig. 11).

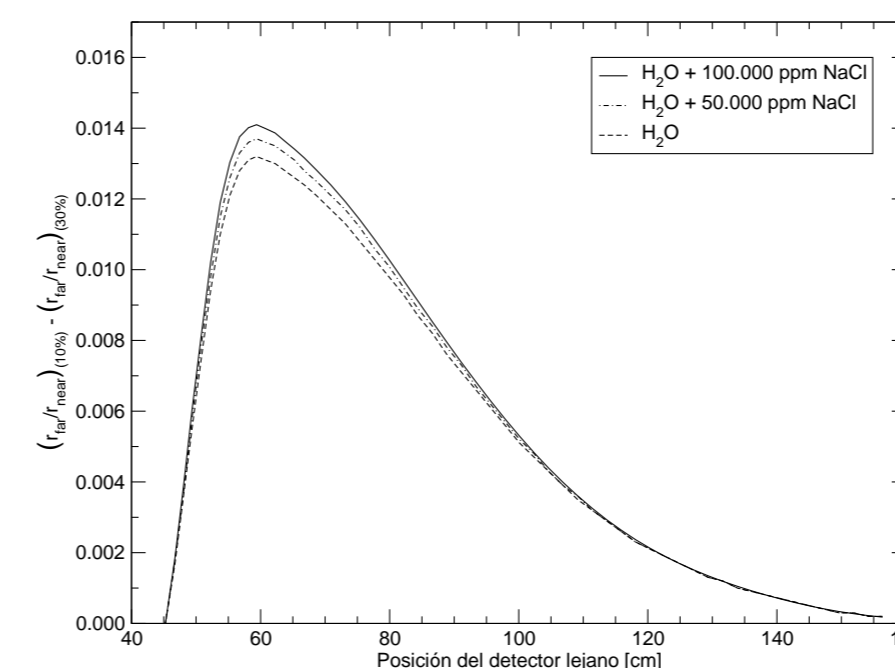


Figura 9. Sensibilidad de la sonda al variar la posición del detector lejano.

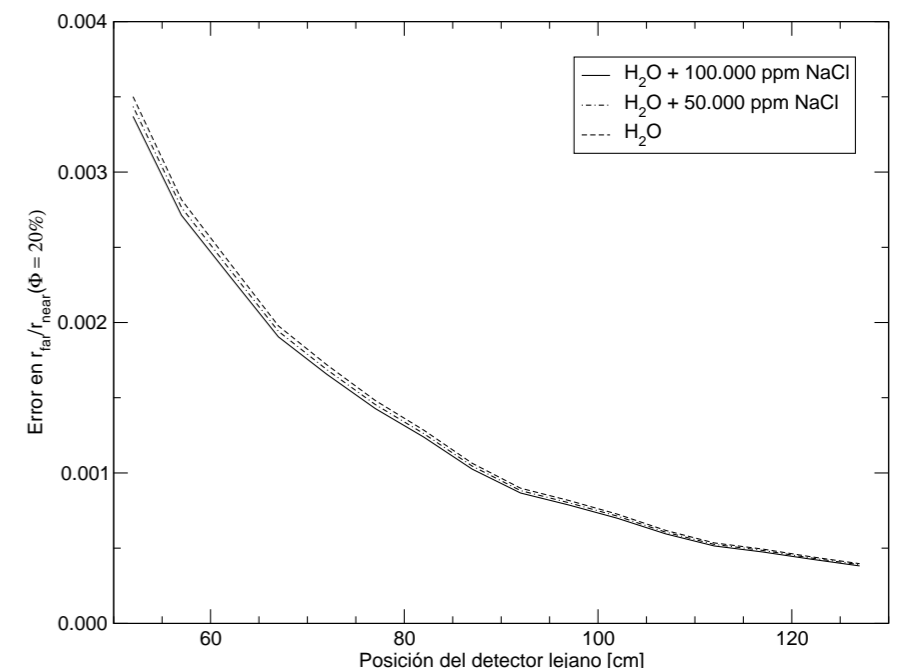


Figura 10. Error absoluto en los cocientes de ritmos de reacción.

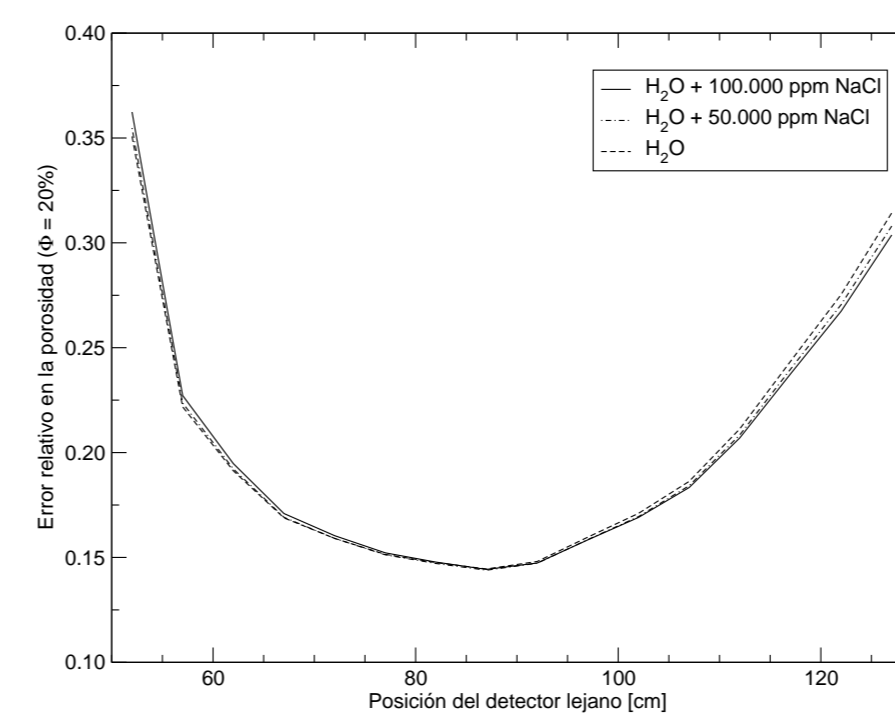


Figura 11. Error relativo en la estimación de la porosidad, para porosidades del orden del 20%.

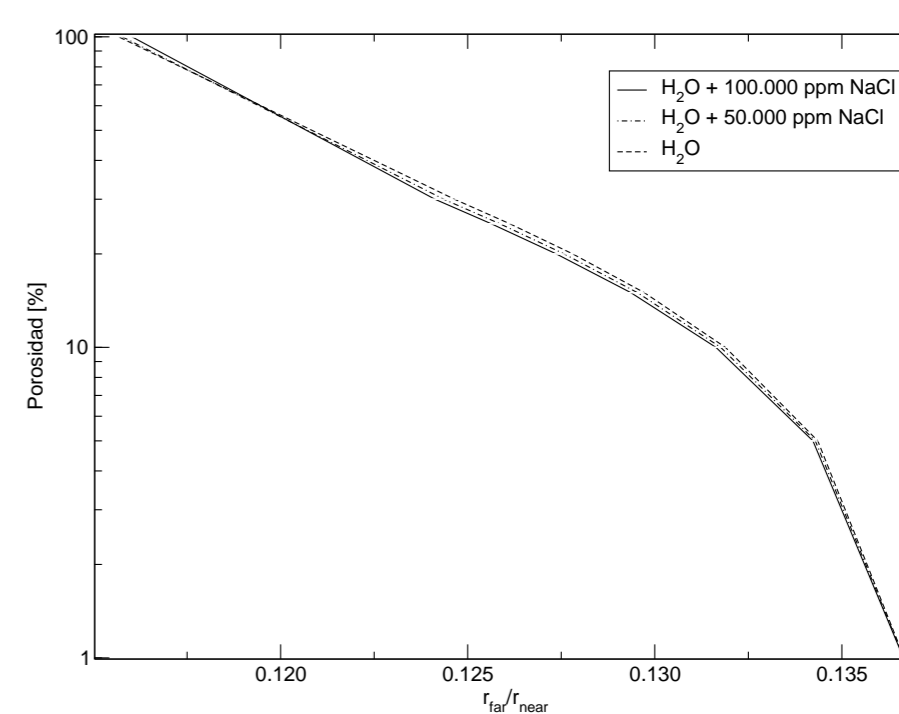


Figura 12. Curvas de calibración de la sonda para distintas concentraciones de sal en el agua de la formación.

La calibración resultante para la sonda, con el detector cercano a 45 cm y el detector lejano a 87 cm se muestra en la Fig. 12.

Conclusiones

- Es posible modelar con DORT este tipo de sondas, obteniéndose resultados comparables a los obtenidos con MCNP en tiempos de cálculo mucho menores.
- Se pudo determinar la configuración óptima para los detectores. Los tiempos relativamente cortos involucrados en el proceso de cálculo, permitieron simular en rango de porosidades y salinidades y validar los resultados para distintas condiciones de la formación.

Referencias

- L.S. Allen, C.W. Tittle, W.R. Mills y R.L. Caldwell. Dual Spaced Neutron Logging For Porosity. Geophysics, Vol XXXII, No. 1, (1967) pg. 60-68.
- J.J. Uitto. Use of Multidimensional Transport Methodology on Nuclear Logging Problems. Nuc. Sci. and Eng., 92, (1986), pg. 228-239.
- R.J.J. Stamm'ler, M.J. Abbate. Methods of Steady-State Reactor Physics in Nuclear Design. Academic Press (1983), Cap. VI.
- W. A. Rodes, M. B. Emmett, R. L. Childs, and J. O. Johnson. DORT: A Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code. RSICC Computer Code Collection, DOORS3.2, (1992).
- J. F. Briesmeister. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. RSICC Code Package CCC-660, (1997).
- J. E. White and D. T. Ingerson. VITAMIN-B6-A Fine-Group Cross Section Library Based on ENDF/B-VI for Radiation Transport Applications. RSICC Data Library Collection, (1996).
- L. M. Petrie. SCALE System. NUREG/CR-0200, 3 (2000).