

# El método de simulación por redes (MESIR) como herramienta para la investigación

Manuel Cánovas <sup>(1)</sup>, Francisco Alhama <sup>(1)</sup>, Iván Alhama <sup>(1)</sup>, Manuel Alcaraz <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Departamento de Física Aplicada. <sup>(2)</sup> Departamento de Ingeniería Minera, Geológica Y Cartográfica.

Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniería de Minas.

Paseo Alfonso XIII, 52. 30203. Cartagena (Murcia)

Teléfono: 868 07 12 51

E-mail: [manuel.canovas@upct.es](mailto:manuel.canovas@upct.es), [paco.alhama@upct.es](mailto:paco.alhama@upct.es), [iam3@alumnos.upct.es](mailto:iam3@alumnos.upct.es), [m.alcaraz@upct.es](mailto:m.alcaraz@upct.es)

**Resumen.** *El método de simulación por redes (MESIR) es una herramienta que permite estudiar procesos físicos estableciendo un circuito eléctrico equivalente del proceso que se resuelve mediante la simulación en un software de resolución de circuitos eléctricos. Para ello, se crea un modelo en red reticulando el espacio en celdas elementales que se asocian en el medio finito. En el modelo se emplean unos componentes llamados monopuertas en función de la analogía entre el proceso simulado y el circuito eléctrico. El programa FAHET que simula flujo y transporte de calor en medios porosos es una aplicación del método de simulación por redes (MESIR).*

## 1. Introducción

El método de simulación por redes (MESIR) es una herramienta que permite estudiar cualquier proceso que pueda definirse mediante un modelo matemático. El procedimiento consta de dos fases: en primer lugar la elaboración de un modelo en red o circuito eléctrico equivalente del proceso y posteriormente, la simulación del proceso obteniendo la solución del modelo en red mediante el programa adecuado de resolución de circuitos eléctricos.

El MESIR ha sido aplicado con éxito en los campos de transporte a través de membranas, transferencia de calor, reacciones químicas, transferencia en masa en soluciones electrolíticas y no electrolíticas, transporte de calor en fluidos, vibraciones mecánicas, elasticidad, problemas inversos, etc.

## 2. El modelo en red

Un modelo en red se considera equivalente a un determinado proceso cuando las ecuaciones del modelo matemático discretizado y las ecuaciones del modelo en red para un elemento del volumen correspondientes a variables análogas coinciden.

La técnica consiste en reticular el espacio en elementos de volumen o celdas elementales. Al aplicar a estas celdas de tamaño finito las ecuaciones diferenciales, se obtienen un conjunto de ecuaciones diferenciales en diferencias finitas. Una vez que se ha establecido la correspondencia entre variables dependientes del problema y variables eléctricas, los resultados de la simulación pueden interpretarse en términos del proceso que se modela. La asociación de celdas según la geometría del problema configura el modelo en red correspondiente a todo el medio finito. El modelo será más preciso cuanto mayor sea el número de celdas.

## 3. Componentes del modelo en red

A la red se le asocia un conjunto de flujos que obedecen a una ley de balance local y un conjunto de fuerzas que satisfacen la condición de unicidad. Las leyes de Kirchhoff establecen relaciones entre flujos y fuerzas por separado, pero no expresan ningún tipo de relación de flujos y fuerzas entre sí. Las relaciones entre el par conjugado flujo-fuerza se conocen como ecuaciones constitutivas y definen los elementos del circuito que expresan características de cada proceso. Las relaciones constitutivas se pueden establecer entre las variables de un par flujo-fuerza, se denominan monopuertas.

### 3.1. Monopuertas pasivas

Los elementos pasivos no generan potencia (o bien la disipan en una transformación energética o bien la almacenan y/o la entregan a la red), constituyen las monopuertas pasivas. En función de la relación existente entre las variables que obedecen a la ley de corrientes de Kirchhoff LCK y a la ley de voltajes de Kirchhoff LVK, existen las siguientes monopuertas pasivas:

- Monopuerta resistiva: es un elemento de circuito asociado a una relación entre las derivadas temporales de las variables flujo y fuerza de una misma rama mediante una función independiente del tiempo que es la resistencia R.

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{RdJ(T)}{dt}$$

Una monopuerta resistiva es lineal si también lo es la relación entre las variables X(t) y J(t), en este caso R es una constante. Su acción es instantánea y carecen

de memoria. Las monpuertas resistivas no lineales se definen a través de las funciones:

$$J(t) = Fr^{-1}(X)$$

$$X(t) = Fr(J)$$

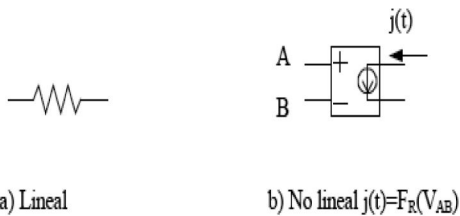


Fig. 1: Representación de monpuertas resistivas.

- Monpuerta capacitiva: es un elemento de circuito asociado a una relación entre la variable flujo y la derivada temporal de la variable fuerza en una misma rama mediante una función independiente del tiempo que es la capacidad C.

$$J(t) = CdX(t)/dt$$

En las monpuertas capacitivas se produce algún tipo de almacenamiento sin pérdidas. Su estado tiene en cuenta todas las operaciones hechas con anterioridad, de manera que tiene memoria.

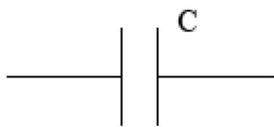


Fig.2: Representación de una monpuerta capacitiva lineal.

- Monpuerta inductiva: es un elemento de circuito asociado a una relación entre la variable fuerza y la derivada temporal de la variable flujo de una misma rama mediante una función independiente del tiempo que es la inductancia L.

$$X(t) = LdJ(t)/dt$$

Al igual que en la monpuerta capacitiva, se produce un almacenamiento de energía sin pérdidas y su estado tiene memoria.



Fig.3: Representación de una monpuerta inductiva lineal.

### 3.2. Monpuertas activas

Las fuentes de tensión y corriente son elementos activos que generan potencia según una determinada ley, son las monpuertas activas. En ellas se produce una aportación o extracción de energía al sistema. Hay tres tipos de monpuertas activas:

- Fuentes constantes: se definen con las expresiones  $F_J(J) = 0$  y  $F_X(X) = 0$  en fuentes de flujo y fuerza respectivamente. Tienen asignado un sentido que indica por donde fluye la energía. Corresponden a pilas o generadores de corriente constante.

- Fuentes dependientes del tiempo: la relación constitutiva entre las variables tiene la forma  $X = X(t)$  y  $J = J(t)$  según se trate de fuentes de fuerza o flujo. También tiene asignado un sentido que indica la dirección en que fluye la energía.

- Fuentes controladas: son monpuertas especiales asociadas a relaciones constitutivas entre variables (conjugadas o no) expresadas mediante cualquier función que no contiene explícitamente el tiempo. Se trata de elementos de entradas múltiples con una única salida que corresponde a un flujo o una fuerza que depende de otros flujos o fuerzas de distintas ramas y nudos, del mismo o diferente circuito. Estas fuentes permiten especificar acoplos energéticos de distinto tipo.

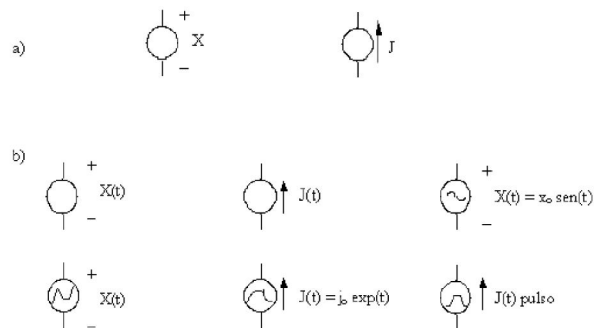


Fig.4: Representación de monpuertas activas: a) fuentes constantes, b) fuentes dependientes del tiempo.

### 4. El MESIR como método numérico

En el MESIR, el punto de partida es un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales (EDP) espacio-temporales. La única transformación que se hace en las ecuaciones es la discretización de la variable espacial que permite establecer la red eléctrica equivalente.

El modelo en red es la forma que se le da al modelo matemático para poder introducirlo en el software de resolución de circuitos eléctricos PSPICE, que

resuelve las ecuaciones de la red y proporciona la solución numérica del modelo matemático.

La elaboración del modelo en red implica la reticulación espacial, pero no temporal. Se parte de un sistema de EDP cuya reticulación espacial las convierte en ecuaciones diferenciales ordinarias en el tiempo, que son las correspondientes al circuito de una celda elemental. La diferencia esencial es que en los métodos numéricos ordinarios se realiza una reticulación simultánea de las dos variables independientes espacio y tiempo, mientras que en el MESIR la reticulación es sucesiva: primero se realiza una etapa de reticulación espacial que da como resultado el modelo en red y en segundo lugar, una reticulación temporal que realiza el software PSPICE durante el proceso de simulación.

## 5. Simulación mediante el programa PSPICE

Una vez que se ha traducido el modelo a un lenguaje que PSPICE puede interpretar, el programa simula el proceso y arroja los resultados. La simulación está estructurada en cinco subprogramas principales (entrada, organización, análisis, salida y utilidades) que interactúan entre ellos a través de una estructura de datos. El subprograma de entrada lee el archivo, construye una estructura de datos y chequea el circuito. El de organización construye las estructuras adicionales de datos que serán requeridas en el programa de análisis. El subprograma de salida genera y organiza en la memoria central los resultados solicitados por el usuario en forma tabulada o gráfica.

El subprograma análisis es la parte más importante del programa de simulación. Ejecuta los análisis del circuito requeridos según las indicaciones del archivo de entrada. La información resultante se almacena en la memoria central para su posterior procesamiento en los archivos de salida.

En el proceso de simulación se obtiene la solución numérica de la representación matemática del modelo en red, esta representación contiene: las ecuaciones matemáticas de los diferentes tipos de monopuertas, solución de ecuaciones lineales, solución de ecuaciones no lineales e integración numérica.

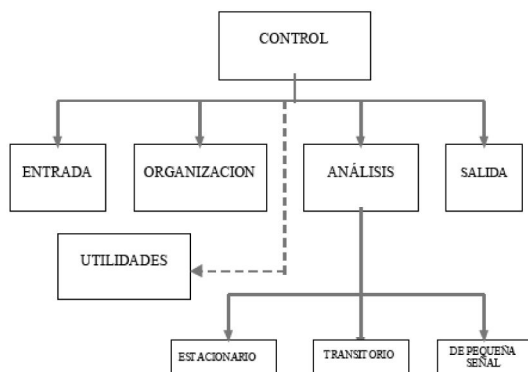


Fig.5: Diagrama de bloques del programa de simulación de circuitos PSPICE.

El uso cada vez más extendido de PSPICE demuestra su capacidad para el tratamiento de una extensa variedad de problemas en simulación de circuitos, resolviendo respuesta en corriente continua, respuesta transitoria en el tiempo y análisis de Fourier en el dominio de la frecuencia y análisis de pequeña señal en corriente alterna y distorsión.

## 6. El programa FAHET

El programa FAHET (Alhama y col., 2011) es un software capaz de resolver problemas en 2-D transitorios, de flujo y transporte de calor en medios porosos con comportamiento anisótropo de sus propiedades térmicas e hidráulicas.

Es capaz de realizar simulaciones fidedignas de “benchmark problems” de la geotermia como los problemas de Elder, Yusa y Bernard.

Los modelos creados se basan en el método de simulación por redes, FAHET emplea la analogía entre el transporte eléctrico y el de fluido con difusión de calor en un medio poroso. Los algoritmos de computación son los contenidos en el software de simulación de circuitos PSPICE. Además, FAHET, utiliza las funciones de representación gráfica de MATLAB y es posible realizar representaciones animadas en problemas transitorios.

## Referencias

- [1] Alhama, I., Soto, A., Alhama, F. (2011) “Simulador de flujo y transporte de calor FAHET. Manejo y aplicaciones” Cartagena. ISBN 978-84-96997-64-6.
- [2] Alhama, I., Soto, A., Alhama, F. (2010) “Simulador de flujo y transporte de calor FATSIM-A. Manejo y aplicaciones docentes y de investigación” Cartagena. ISBN 978-84-96997-51-6.
- [3] Alhama, F., Zueco, J., González-Fernández, C.F. (2007) “An inverse determination of unsteady heat fluxes using a Network Simulation Method”. J. Heat Transfer, pp. 1178-1183, vol.125. ISBN: 0022-1481
- [4] Moreno, J.A., Gómez de León, H., Alhama, F. (2007) “Solution of temperature fields in hydrodynamics bearing by the numerical network model”. Tribology International, pp. 139-145, vol. 40. ISSN: 0301-679X