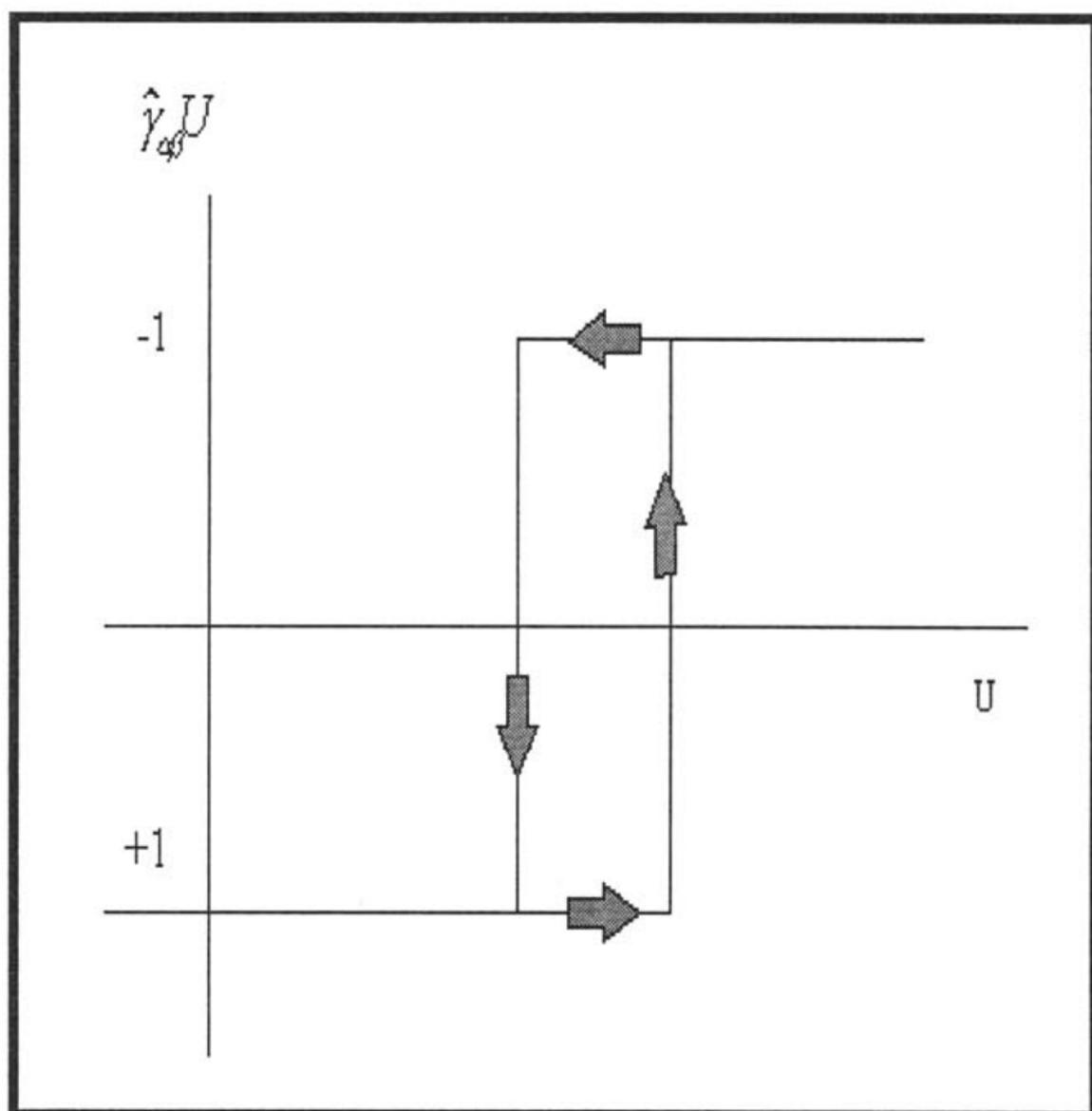


Un Modelo de Histéresis para Transformadores usando Redes Neuronales



Jaime A. Valencia, D.Sc.
 Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Colombia

Fernando Villada, D.Sc.
 Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Colombia.

Nabil Khalil, D.Sc.
 Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Helwan, Egipto.

Germán Moreno, D.Sc.
 Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Colombia.

Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica, GIMEL.

<http://ingenieria.udea.edu.co/programas/electrica/gimel/>

RESUMEN

El comportamiento de los materiales ferromagnéticos es bastante complejo. Desde principios de siglo se han propuesto modelos matemáticos para describir este fenómeno, entre ellos el que más trascendencia ha tenido es el conocido como modelo de Preisach, presentado en 1935 por el físico del que toma su nombre. Uno de los puntos débiles de este modelo es que no resulta práctico para simularlo, sin embargo, ya se han presentado varias propuestas para hacerlo más comprensible y fácil de incluir en los actuales programas de simulación que requieren de las características magnéticas del material. Inspirada en la representación geométrica del modelo de Preisach, se propone una red neuronal con realimentación intermedia para la implementación de un modelo de histéresis sencillo y de fácil aplicación.

En este artículo se presenta una arquitectura de red neuronal, donde una de sus partes requiere de un entrenamiento previo y en la otra es posible predefinir los pesos o también obtenerlos mediante el entrenamiento de la misma, previo conocimiento de un ciclo de magnetización completo del material.

PALABRAS CLAVES

Preisach, histéresis, simulación.

* La Revista recibió este artículo en Diciembre de 2001

ABSTRACT

Ferromagnetic materials behavior is highly complex. Since the beginning of twentieth century mathematical models have been proposed and a well known one is the Preisach model. Preisach was a physicist who presented the model in 1935. One of their drawbacks is that the model's implementation is difficult but there had been some publications suggesting ways to ease its application.

Based on a geometric representation of the Preisach model, we suggest a neural network with feedback hidden layer to implement the hysteresis model. This paper presents a novel neural network with two parts: one that needs to be trained and another whose weights are previously calculated. It is a combination of different architectures. A hysteresis cycle of a material must be available to train a neural network.

KEYWORDS

Preisach, hysteresis, simulation.

1. INTRODUCCIÓN

La característica no lineal de los materiales magnéticos ha llamado la atención de muchos investigadores y ya desde principios de siglo se han planteado modelos matemáticos para la descripción de este fenómeno natural. Los modelos más desarrollados hasta el momento son: el de Jiles-Atherton[10], el cual está implementado en programas de cálculo numérico de circuitos electrónicos y el modelo de Preisach. El modelo de Jiles-Atherton se expresa como una ecuación diferencial no lineal de primer orden y el modelo de Preisach como un operador integral. Cada uno de ellos tiene sus pros y contras pero el modelo de Preisach se adapta fácilmente al paradigma de cálculo con redes neuronales por su concepción basada en elementos simples con memoria local.

En 1935 el físico alemán F. Preisach propuso el modelo que actualmente lleva su nombre basándose en hipótesis sobre el mecanismo de magnetización de los materiales ferromagnéticos. Paralelamente fue desarrollado el mismo modelo por D. H. Everett trabajando en histéresis en absorción [9]. En la década del 70 el matemático ruso Krasnoselskii plantea una teoría matemática general de este modelo, lo que posibilita su empleo en otras áreas en las que se observan fenómenos de histéresis tales como ferroelectricidad, elasticidad mecánica, superconductividad, óptica y otras [4,9].

Del modelo de Preisach se han presentado muchas publicaciones para su implementación numérica [2,6,7 y 9] pero hasta el momento no se ha usado el paradigma de cálculo con redes neuronales aunque es brevemente comentado sin detalles sobre su implementación por Mayergoyz [9] como posibilidad computacional. En este artículo mostraremos detalladamente cómo usar las redes neuronales para el cálculo numérico del modelo de Preisach.

2. CONTENIDO

2.1. Modelo de Preisach

El modelo de histéresis de Preisach está basado en hipótesis sobre el mecanismo de magnetización de los materiales y considera un material magnético como un conjunto de dominios o dipolos magnéticos cuyo comportamiento es descrito por un ciclo de histéresis simple o rectangular.

Este ciclo de histéresis se representa matemáticamente como un operador $\hat{\gamma}_{\alpha\beta}$ que tiene una memoria local en su función.

En la región donde están estos dominios se tiene una función de peso o ponderación, $\mu(\alpha, \beta)$, a la cual en algunas referencias bibliográficas se designa como la función de Preisach. La expresión matemática que define el modelo viene dada por la ecuación 1.

$$f(t) = \hat{\Gamma}[u(t)] = \iint_{\alpha, \beta} \mu(\alpha, \beta) \hat{\gamma}_{\alpha\beta} u(t) d\alpha d\beta \quad (1)$$

Si $\mu(\alpha, \beta)$, es una función con soporte en una región triangular del plano, es decir, es cero en todo el plano excepto en dicha región triangular, entonces se incluyen los casos no lineales con lazos de histéresis limitados.

Este es el caso típico de los materiales ferromagnéticos.

La interpretación geométrica del modelo es muy ilustrativa. Mirando la figura 2, se tiene un triángulo sobre el cual estará definida la función de Preisach y en el que se interpreta un aumento de campo magnético como una línea vertical que se desplaza de izquierda a derecha y una disminución de campo magnético como una línea horizontal que se desplaza de arriba hacia abajo.

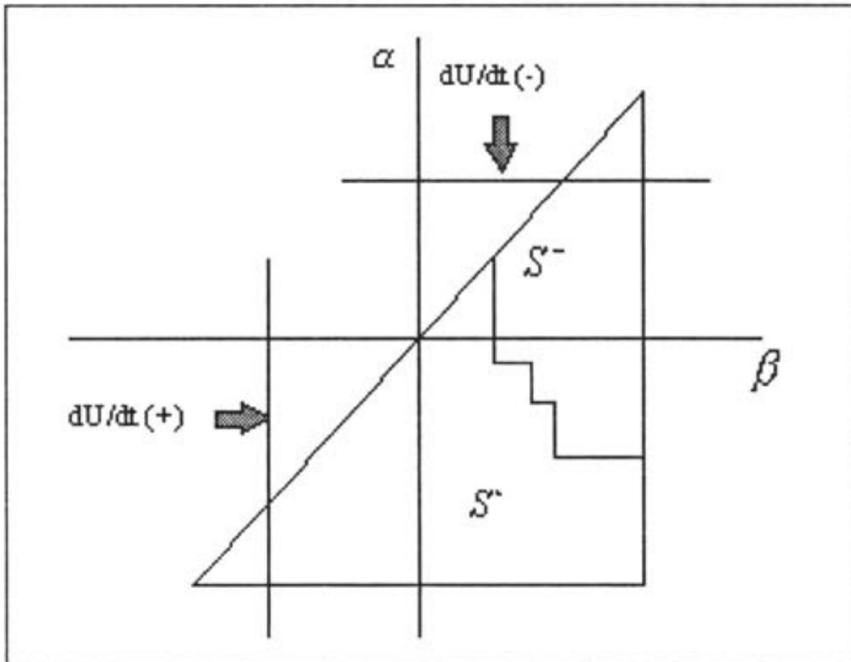


Figura 2. Diagrama de Preisach

Teniendo en cuenta que el operador de histéresis simple sólo puede tomar dos valores, la magnetización en un instante dado estará representada por la diferencia de dos integrales de superficie (ecuación 2)

$$f(t) = \iint_{S^+} \mu(\alpha, \beta) d\alpha d\beta - \iint_{S^-} \mu(\alpha, \beta) d\alpha d\beta \quad (2)$$

Este modelo también representa la curva inicial de magnetización partiendo de una región inicial que está dividida en dos triángulos iguales como se muestra en la figura 3.

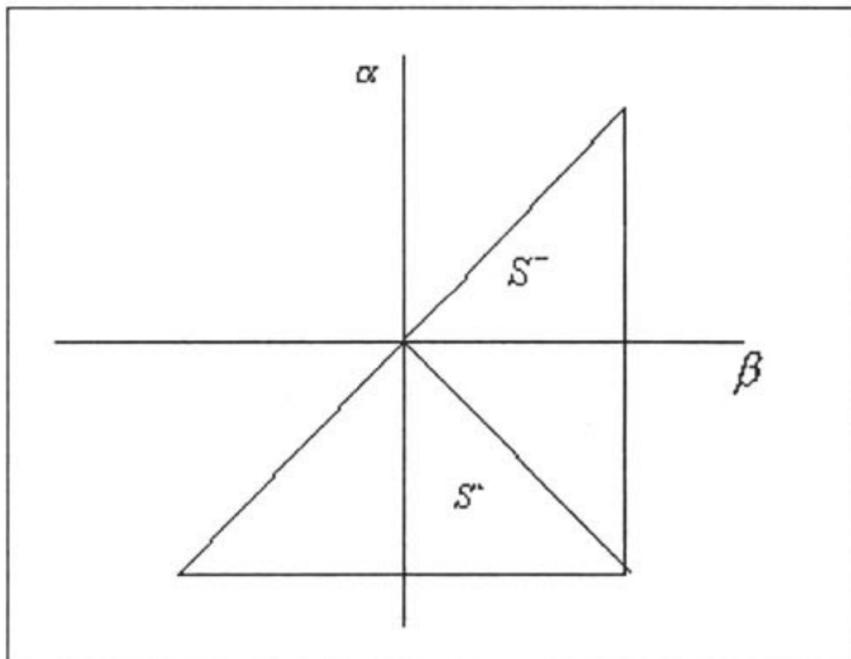


Figura 3. Representación inicial de un material magnético.

Es interesante observar que este modelo parte de operadores con memoria local y el conjunto de ellos da lugar a un operador con memoria no local, como se presenta en los materiales ferromagnéticos. También

se debe aclarar que aquí sólo estamos refiriéndonos a la denominada histéresis escalar estática no lineal, con memoria no local. Caso típico en ingeniería eléctrica. La generalización de estos conceptos está bastante desarrollada en la referencia [9].

2. ARQUITECTURA DE LA RED NEURONAL

La representación geométrica del modelo de Preisach y su hipótesis de un conjunto de dipolos con lazo de histéresis simple fueron los que inspiraron la arquitectura de la red. Ésta se compone de tres bloques básicos como se muestra en la figura 4.

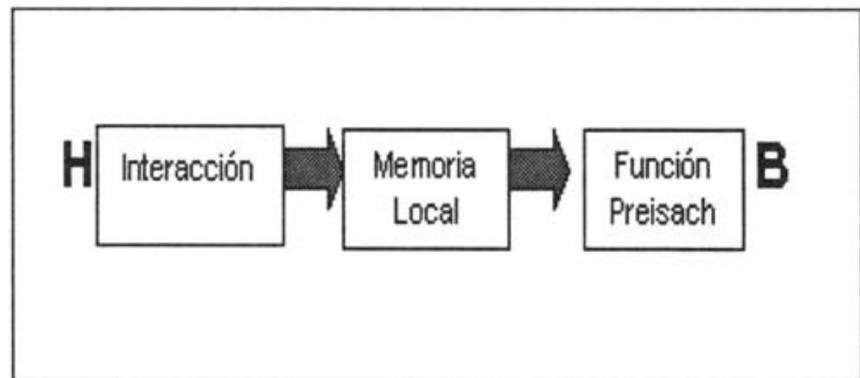


Figura 4. Diagrama de bloques de la red neuronal.

Partiendo del diagrama de Preisach se discretiza el área triangular según se indica en la figura 5. A cada porción discreta se le numera y se le asigna una unidad fundamental con memoria local. Una de estas unidades se muestra en la figura 6 y está compuesta por una neurona con dos entradas y una salida; una de las entradas es realimentada por la salida retardada. Su función de transferencia es la denominada "Symmetrical Hard Limit" y su respuesta simula un ciclo básico de histéresis, el cual dependerá de los pesos y el umbral para variar su amplitud o para desplazarlo. El bloque de memoria local tendrá entonces tantas de estas unidades básicas como discretizaciones se hagan y también aquí radicará la exactitud de la red.

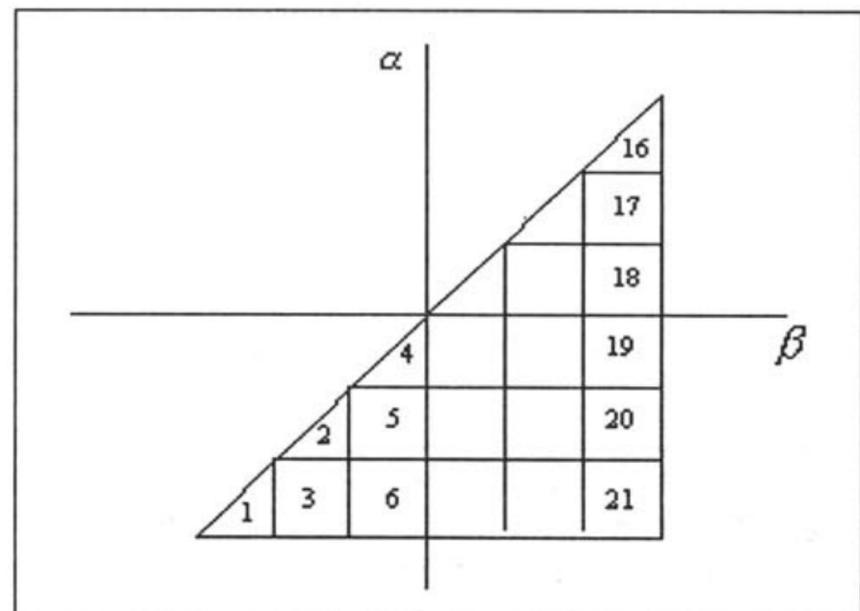


Figura 5. Diagrama de Preisach discretizado.

Para el bloque final se usa como patrón de salida un ciclo exterior de histéresis del material y su entrada la define el diagrama de Preisach. Si se conoce la función de Preisach, que puede determinarse experimentalmente [4], no será necesario entrenar este bloque.

En resumen, el entrenamiento de toda la red se hace por bloques y se puede reducir a entrenar un solo bloque, el de interacción. Aunque los tiempos de entrenamiento que obtuvimos no son muy altos, es posible reducirlos sustancialmente aumentando el error permitido en el entrenamiento y luego colocar a la salida neuronas con función de activación escalonada que discrimine los valores 0, -1 y 1 dentro de un rango apropiado.

3. RESULTADOS DEL MODELO

En las figuras 10, 11a 11b, 12, 13a, 13b, 14, 15a y 15b se presenta una muestra de los resultados obtenidos con la red, los cuales son bastante buenos y se ajustan a lo esperado. Como es lógico, su exactitud dependerá del número de dominios o dipolos que se hayan seleccionado. En la figura 10 se presenta la función de entrada a la red ($H(t)$) y en las figuras 11a y 11b se muestra la salida en función de la entrada ($H-B$). Los pesos de la función de Preisach para la gráfica 11 se obtuvieron por entrenamiento. La figuras 12 y 14 muestran otras señales de entrada con sus respectivas respuestas en 13 y 15.

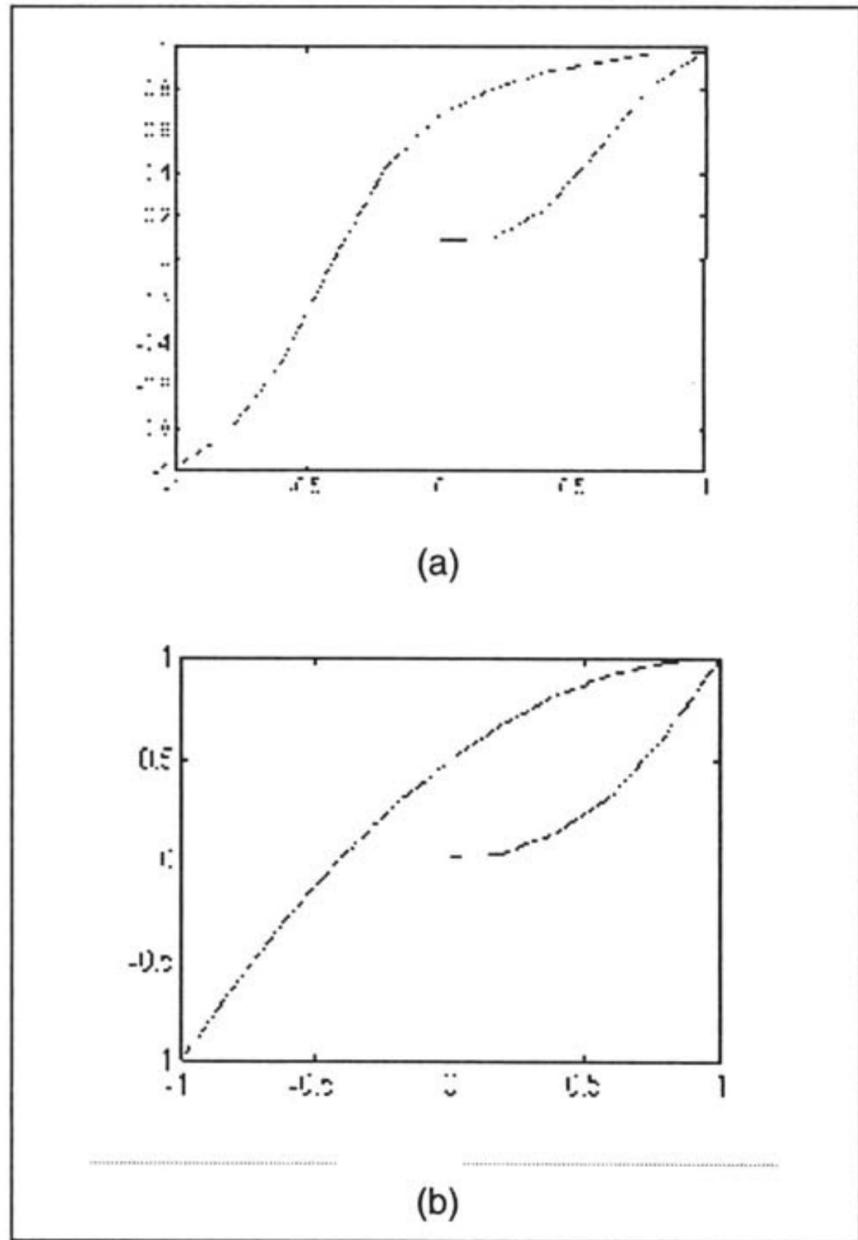


Figura 11a 11b . Resultados.

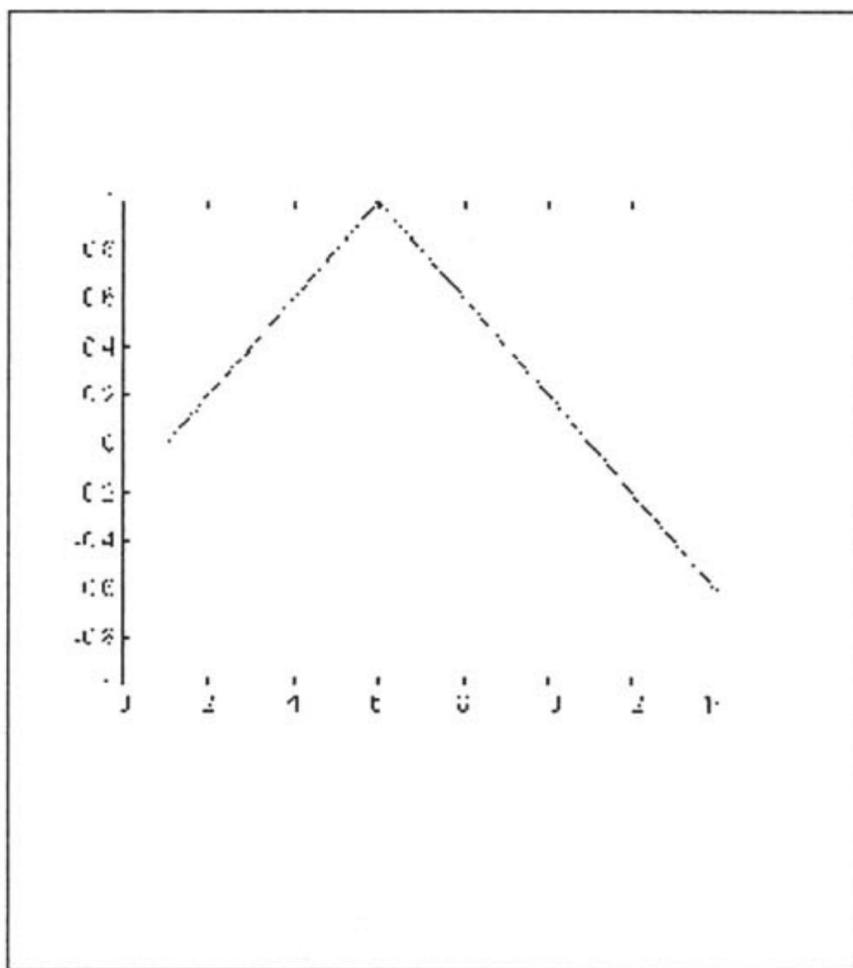


Figura 10. Resultados.

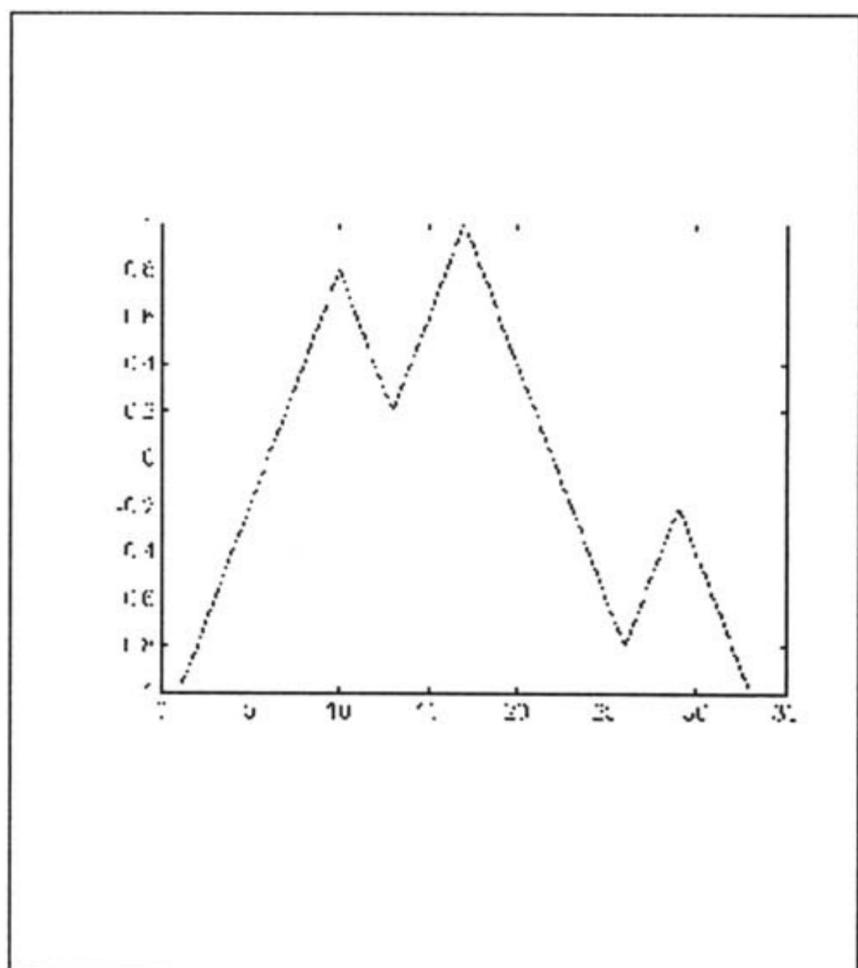


Figura 12. Resultados.

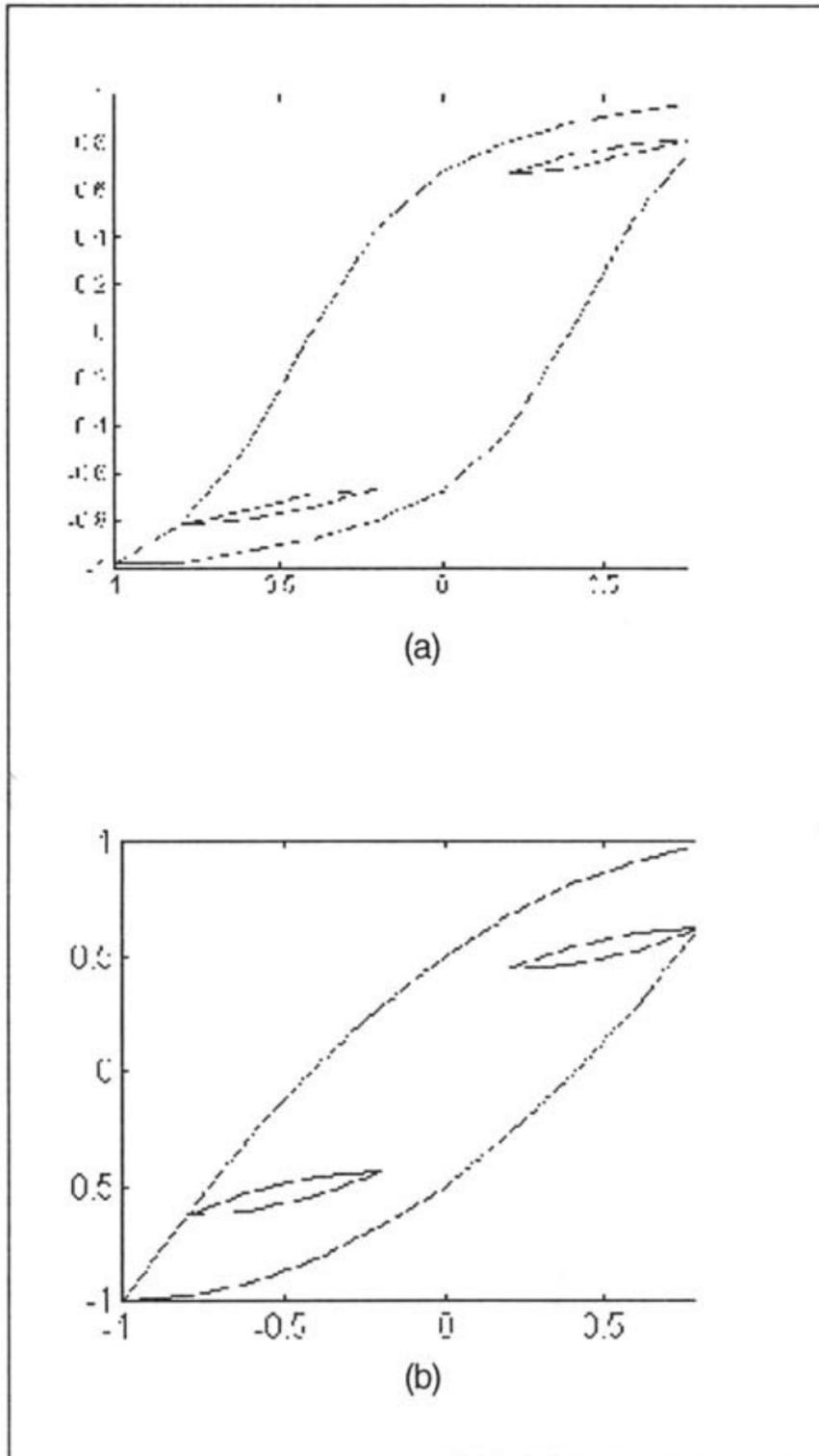


Figura 13a 13b. Resultados.

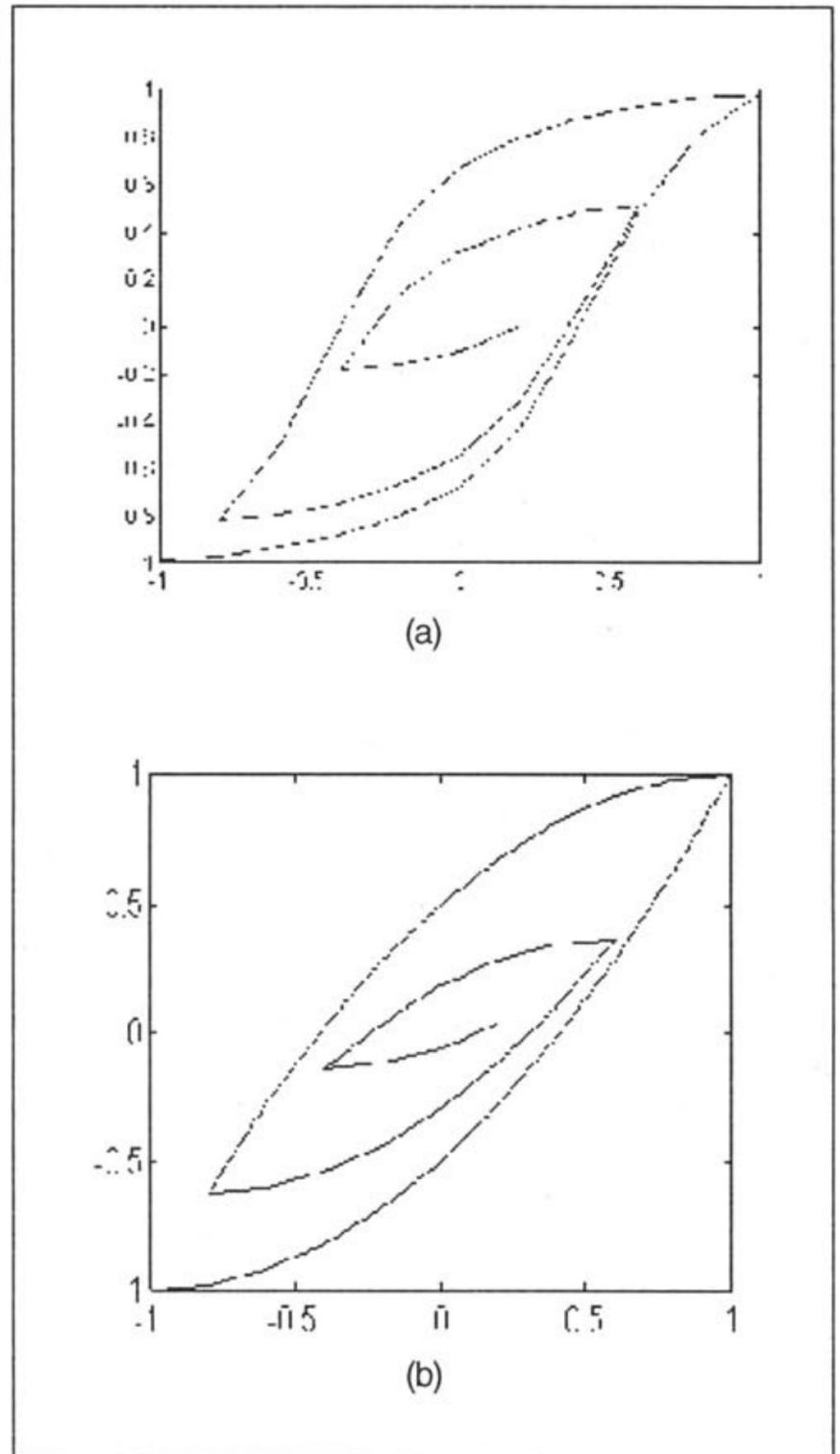


Figura 15a 15b. Resultados.

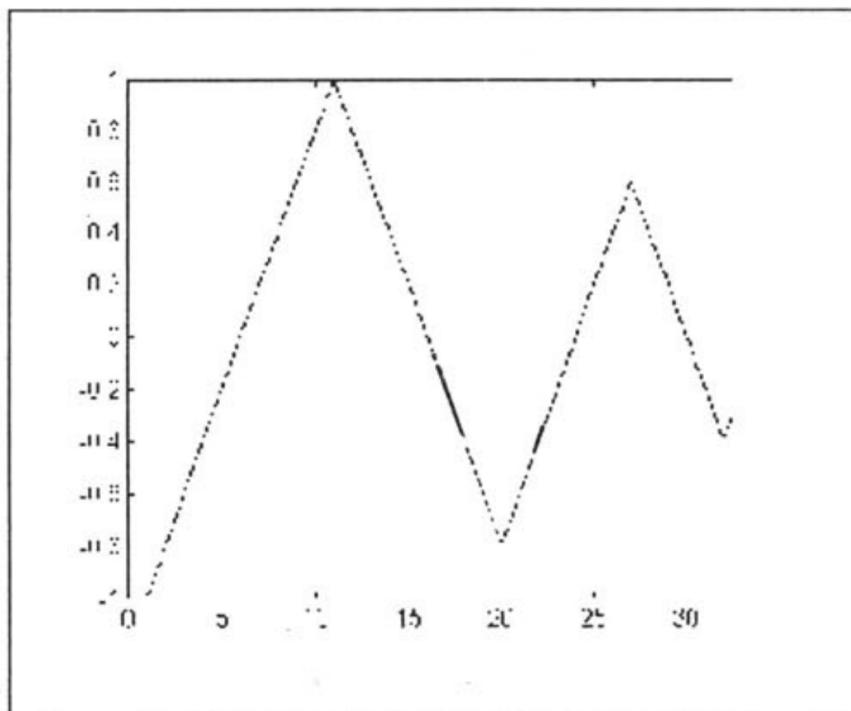


Figura 14. Resultados.

4. CONCLUSIONES

El presente artículo es una nueva propuesta de cálculo del modelo de Preisach basada en las redes neuronales, el cual se ajusta perfectamente debido a que la concepción del modelo parte de unidades simples que son copiadas fácilmente con el concepto de neurona. Este modelo tiene todas las ventajas del modelo original de Preisach y a ellas se añade la ventaja intrínseca de las redes neuronales, es decir, el procesamiento en paralelo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1.] B. Szpuner, D. L. Atherton, M. Schonbachler, "An extended Preisach model for hysteresis processes", IEEE trans. on Magnetics. Vol MAG-23, Nº 5, September 1987.

[2.] Ferenc Vajda, Edward Della Torre, "Efficient numerical implementation of complete-moving-hysteresis model", IEEE trans. on Magnetics. Vol MAG-29, N° 2, March 1993.

[3.] R. M. Del Vecchio, "An efficient procedure for modeling complex hysteresis processes in ferromagnetics materials", IEEE trans. on Magnetics. Vol MAG-16, N° 5, March 1980.

[4.] I. D. Mayergoyz, "Mathematical models of hysteresis", Physical Review Letters, Vol. 56, N° 15, 14 April 1986.

[5.] D. L. Atherton, B. Szpunar, J. A. Szpunar, "A new approach to Preisach diagrams", IEEE trans. on Magnetics. Vol MAG-23, N° 3, May 1987.

[6.] S. R. Naidu, "Simulation of the hysteresis phenomenon using Preisach's theory", IEE PROCEEDINGS, Vol. 137, Pt A, N° 2, March 1990.

[7.] S. Y. R. Hui, J. Zhu, "Numerical modelling and simulation of hysteresis effects in magnetic cores using transmission-line modelling and the Preisach theory", IEE Proc-Electr. Power Appl., Vol. 142, N° 1, January 1995.

[8.] J. G. Zhu, S. Y. R. Hui, V. S. Ramsden, "Discrete modelling of magnetic cores including hysteresis, eddy currents and anomalous losses", IEE Proceedings, Vol. 140, Pt A, N° 4, march 1993.

[9.] I. D. Mayergoyz, "Mathematical models of hysteresis", Springer-Verlag 1991.

[10.] D. C. Jiles, D. L. Atherton, "Theory of ferromagnetic hysteresis", J. Magnetism and magnetic materials, Vol. 61, pp. 48-60, 1986

AUTORES



Jaime Alejandro Valencia. Ingeniero Electricista, D.Sc. en Ingeniería Industrial Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53 - 108, bloque 20-447, Teléfono:

2105558, Medellín, Colombia.

jvalenci@jaibana.udea.edu.co



Nabil Khalil. D.S.c. en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cataluña, Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Helwan, El Cairo, Egipto.

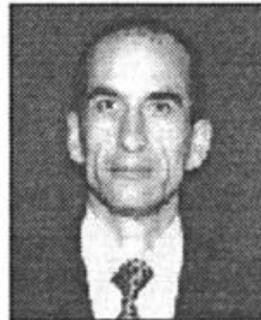
Fernando Villada Duque. Ingeniero Electricista, D.Sc. en Ingeniería Industrial Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53 -108, bloque 20-447, Teléfono: 2105558, Medellín, Colombia.

fvillada@jaibana.udea.edu.co



Germán Moreno Ospina. Ingeniero Electricista, D.Sc. Universidad Federal de Río de Janeiro, Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Calle 67 Número 53 -108, bloque 20-447, Teléfono: 2105558, Medellín, Colombia.

gmoreno@jaibana.udea.edu.co



"Nada en el mundo es insignificante".

Friedrich von Schiller
