

APLICACIÓN DEL SISTEMA NEURO-DIFUSO (SND) EN DATOS DE POROSIDAD Y SATURACIÓN DE AGUA, PARA LA INFERENCIA DE PERMEABILIDAD.

Raamses Díaz^{1*}, Nuri Hurtado¹ y Julio Torres²

¹Laboratorio de Física Teórica de Sólidos. CEFITEC. Escuela de Física. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Calle Los Ilustres, Valle Abajo, Caracas – Venezuela.

²Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” Vicerrectorado “Luis Caballero Mejías”

*diaz_raamses@hotmail.com

RESUMEN

La alta precisión en la inferencia de propiedades de roca como porosidad (ϕ), saturación de agua (S_w) y permeabilidad (k); es sumamente útil en el análisis de pozo, principalmente cuando se quiere determinar si es rentable su explotación o no. Esto ha traído como consecuencia el desarrollo y utilización de ecuaciones empíricas como la ecuación de Tixier, Timur, entre otros. Con la finalidad de mejorar el porcentaje de inferencia de permeabilidad que arrojan los métodos empíricos, hemos utilizado una técnica conocida como Sistema Neuro-Difuso (SND), el módulo de ANFIS de MatLab, el cual nos ha permitido inferir permeabilidad de pozo, a partir de datos de porosidad y saturación de agua ($k(\phi, S_w)$). El trabajo fue realizado con datos de los pozos Px50 y Px21, del Bloque III, Lago de Maracaibo, Venezuela. Utilizamos el 50% de los datos de núcleo (k, ϕ, S_w) del pozo Px21 para entrenar el SND, y obtuvimos un conjunto de ecuaciones de inferencia (EI-P21) para la permeabilidad $k_{EI-P21}(\phi, S_w)$, que luego fueron validadas con el 100% de los datos (ϕ, S_w) de Px21. Con la validación de las EI-P21 se logró alcanzar un 43% de mejora en la inferencia de $k(\phi, S_w)$ respecto a los resultados arrojados por las ecuaciones de Tixier. Posteriormente, se usaron las EI-P21 y el 100% de los datos disponibles de ϕ y S_w del pozo Px50, para inferir la permeabilidad de dicho pozo, $k_{EI-P21}(\phi_{Px50}, S_w_{Px50})$. Al comparar estos resultados con los de Tixier, encontramos que las ecuaciones del sistema neuro difuso (EI-P21) mejora considerablemente el porcentaje de inferencia de permeabilidad (37%), con respecto al método empírico más usado, Tixier (21%). En trabajos posteriores evaluaremos estas ecuaciones en datos de pozos vecinos, con la finalidad de verificar la validez de las ecuaciones en la zona.

Palabras Clave: Permeabilidad, Porosidad, Saturación de agua, ANFIS, Tixier.

ABSTRACT

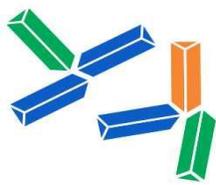
The high accuracy on inference of rock's properties, such as porosity (ϕ), water saturation (S_w) and permeability (k), is a very useful study in the analysis of well. This has resulted in the development and use of empirical equations like Tixier, Timur, among others. In order to improve the inference of permeability we used a technique known as Neuro-Fuzzy System (NFS), MatLab's module, ANFIS. NFS allowed us to infer permeability of well, from data of porosity and water saturation ($k(\phi, S_w)$). The work was performed with data from wells Px21 and Px50, Block III, Lake of Maracaibo, Venezuela. We used the 50% of core data (k, ϕ, S_w) of Px21 in NFS to obtain a set of inference equations (EI-P21) for permeability ($k_{EI-P21}(\phi, S_w)$). These equations were validated with 100% of Px21 data (ϕ, S_w). In the validation the inference of EI-P21 was improving by 43% $k(\phi, S_w)$ as regards to Tixier's equation. Subsequently, we used the

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS. Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 / 1645. Telfax: +58 212 - 6628927

Correo electrónico: jifi.eai.2012.ucv@gmail.com <http://www.ing.ucv.ve>



jifi-eai 2012



Jornadas de Investigación Encuentro Académico Industrial

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA

26 - 30 noviembre 2012

EI-P21 and 100% of available data of $P_{x50}(\phi, S_w)$ to infer the permeability itself ($k_{EI-P21}(\phi_{P_{x50}}, S_w, P_{x50})$). Comparing these results with those obtained using the Tixier's equation, we find that equations Neuro-Fuzzy System (EI-P21) significantly improves the percentage of inference of permeability (37%) if we want to compare with Tixier results (21%). We will evaluate the EI-P21's equations in neighboring well data, in order to verify the validity of the equations in the area.

Keywords: Permeability, Porosity, Water saturation, ANFIS, Tixier.

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes métodos que suelen ser utilizados como técnicas de inferencia, por ejemplo el modelo empírico de Tixier [1], el modelo Difuso [2], la teoría Fractal [3], etc. Algunas de estas técnicas se han utilizado en diferentes áreas tales como la medicina [4], sistemas magnéticos [5], paleontología [6], entre otros. Una técnica de inferencia, que da resultados bastante satisfactorios, basada en el Sistema Neuro Difuso (SND), creado por J.-S. R. Jang [7], en la cual se combinan las propiedades de las redes neuronales y la lógica difusa, desarrollaron una arquitectura híbrida de inteligencia artificial que resuelve problemas de naturaleza no lineal mediante soluciones aproximadas a eventos de carácter impreciso que se presentan en la naturaleza [8].

La lógica difusa y las redes neuronales poseen propiedades particulares en la resolución de problemas específicos, pero combinando los dos métodos se obtiene la ventaja de un sistema de inferencia de aprendizaje numérico y de certidumbre lingüística al mismo tiempo [9], lo cual amplía la certeza con la que una respuesta es ofrecida a un suceso en la naturaleza que requiera una aproximación de carácter difuso.

La ventaja de aplicar un razonamiento difuso para interpretar datos de índole Geofísicos recae en que un SND es una herramienta fundamentada en la toma de decisiones más cercana a la realidad, por ende se adapta a los eventos bajo estudio de forma más óptima y reproduce resultados con mayor fidelidad. Para ello los SND se respaldan en un proceso estadístico donde los datos de entrada son interpretados según reglas difusas que pueden determinarse a partir de las características de los valores a inferir. Un procedimiento de un SND es el método llamado Sistema de Inferencia Neuro-Difuso Adaptado (ANFIS) que permite sincronizar o crear la base de reglas de un sistema difuso [10]. Dicho método se ha utilizado para inferir datos de pozo [11, 12] debido a que se ha querido mejorar los resultados en relación a métodos convencionales.

En este trabajo estamos interesados en generar un conjunto de ecuaciones de inferencia las cuales nos permitan inferir el comportamiento de la permeabilidad, a partir de datos de porosidad y saturación de agua, en diferentes pozos del Bloque III del Lago de Maracaibo. Utilizando para ello el ANFIS. Adicionalmente compararemos los resultados obtenidos con la ecuación empírica de Tixier.

MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Bloque III, al este del Lago de Maracaibo, al Occidente de Venezuela (ver Figura 1) donde se encuentran los pozos bajo estudio:

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS. Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 / 1645. Telfax: +58 212 - 6628927

Correo electrónico: jifi.eai.2012.ucv@gmail.com <http://www.ing.ucv.ve>

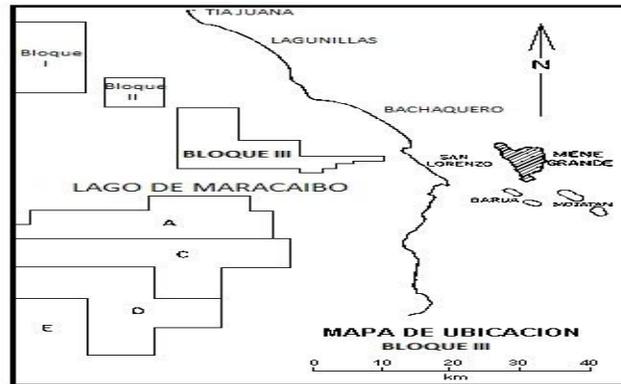


Figura 1. Geología de la zona bajo estudio. Bloque III, del Lago de Maracaibo, Venezuela.

El área se puede subdividir en tres yacimientos o zonas:

- Yacimiento 395/925 (Zona A): ubicada al noreste del Bloque III, con acumulación de hidrocarburo atrapada en un monoclinial buzando 4° hacia el norte. Presenta baja producción inicial con arenas de alta resistividad (46-100) Ω -m y buena transmisibilidad.
- Yacimiento 363 (Zona B): ubicada al sur del Bloque III, con acumulación de hidrocarburo atrapada en monoclinial buzando 3° hacia el sur. Presenta alta producción inicial, resistividades intermedias (30-40) Ω -m y buena transmisibilidad.
- Yacimiento 993 (Zona C): se encuentra en la parte central del Bloque III, al norte de un sistema de fallas sedimentarias. Presenta producciones iniciales intermedias, resistividades entre (80-250) Ω -m y transmisibilidad intermedia.

La estratigrafía asociada a la zona presenta 2500 pies de sedimentos de edad Eoceno, que yace sobre lutitas de origen marino con intercalaciones de calcitas caracterizando la discordancia del Paleoceno o Formación Guasare.

METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó el módulo ANFIS (Adaptative Neuro-Fuzzy Inference System) de la plataforma de MatLab Rb-2011, en datos de los pozos Px21 y Px50, del Bloque III, Lago de Maracaibo, Venezuela (ver figura 1). La finalidad era generar ecuaciones que permitiesen predecir valores de permeabilidad a partir de otros parámetros petrofísicos. Se contó con datos de núcleo de permeabilidad (para comparar), volumen de arcilla (V_{sh}), porosidad (ϕ) y saturación de agua (S_w).

Para el entrenamiento de ANFIS se utilizó una optimización tipo híbrido, un error de tolerancia de 1,87. Con iteraciones de entre 10 y 100 por entrenamiento dependiendo de la densidad de datos y, como función de membresía, una distribución gaussiana.

En el módulo de ANFIS se implementan reglas difusas del tipo Takagi-Sugeno-Kang, para establecer las relaciones matemáticas de inferencia, bajo las siguientes premisas:

Si x pertenece a un conjunto A_1 e y pertenece a un conjunto B_1 entonces $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$
 Si x pertenece a un conjunto A_2 e y pertenece a un conjunto B_2 entonces $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

El funcionamiento interno de ANFIS se puede dividir en 5 capas:

- *Capa 1 (capa de pertenencia):* Se le asigna el grado de pertenencia a las entradas de la función de cada nodo o parámetro que el antecedente posee, parámetros ajustables donde esta función puede tener una forma definida (Gaussiana, triangular, etc...) con valores en el rango entre 0 y 1.
- *Capa 2 (nodos de reglas):* En esta capa se calcula el grado de activación de cada nodo (neurona). Esto se realiza aplicando el producto T-norma entre las señales de entrada y este producto modela la operación lógica AND.
- *Capa 3:* Esta es la capa en la cual se normalizan los grados de activación de cada una de las entradas, es decir, los pesos normalizados.
- *Capa 4:* En esta capa se calcula la salida, lo cual se hace mediante el grado de activación por salida de la regla asociada al consecuente.
- *Capa 5:* Esta capa viene a ser la agregación o combinación de las salidas.

Los resultados son ecuaciones de inferencia, lineales o constantes, para la variable deseada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El entrenamiento de ANFIS, fue realizado utilizando el 50% de los valores de porosidad (ϕ) y saturación de agua (S_w), para generar ecuaciones de inferencia de valores de permeabilidad.

Se hicieron con ANFIS diferentes pruebas para establecer el tipo de dato a usar, lo cual llamamos modelos. En este caso probamos con 8 tipos de modelos: A para (K, ϕ, S_w) , B para $(\text{Log}(K), \phi, S_w)$, C para $(K, \text{Log}(\phi), S_w)$ y así sucesivamente hasta el modelo H para $(\text{Log}(K), \text{Log}(\phi), \text{Log}(S_w))$. El conjunto de datos que arrojó las ecuaciones que ofrecían una mejor inferencia fueron del tipo:

$$\text{Log}(K_{P_{x21} \text{con EI-P21}}) = 103,63\phi + 2,63\text{Log}(S_w) - 3,99 \text{ rango: } [1,31 ; 5,69] \quad (1)$$

$$\text{Log}(K_{P_{x50} \text{con EI-P21}}) = 26,89\phi + 1,06\text{Log}(S_w) - 0,83 \text{ rango: } [0,99 ; 5,82] \quad (2)$$

Dichas ecuaciones de inferencia se compararon con los resultados de la ecuación de Tixier:

$$K^{1/2} = \left(250 \frac{\phi^3}{S_w} \right) \Rightarrow \text{Log}(K_{Tixier}) = 6\text{Log}(\phi) - 2\text{Log}(S_w) + 2\text{Log}(250) \quad (3)$$

En la Figura 2 se muestran los resultados del logaritmo de permeabilidad a profundidad del pozo Px21, donde en la primera columna se encuentran los datos de núcleo, en la segunda columna los datos calculados utilizando la ecuación empírica de Tixier y en la tercera los datos obtenidos mediante el SND (ecuaciones de inferencia con datos del pozo Px21: EI-P21). Podemos observar que cualitativamente la inferencia usando las EI-P21, del SND, dan una mejor representación del perfil del pozo.

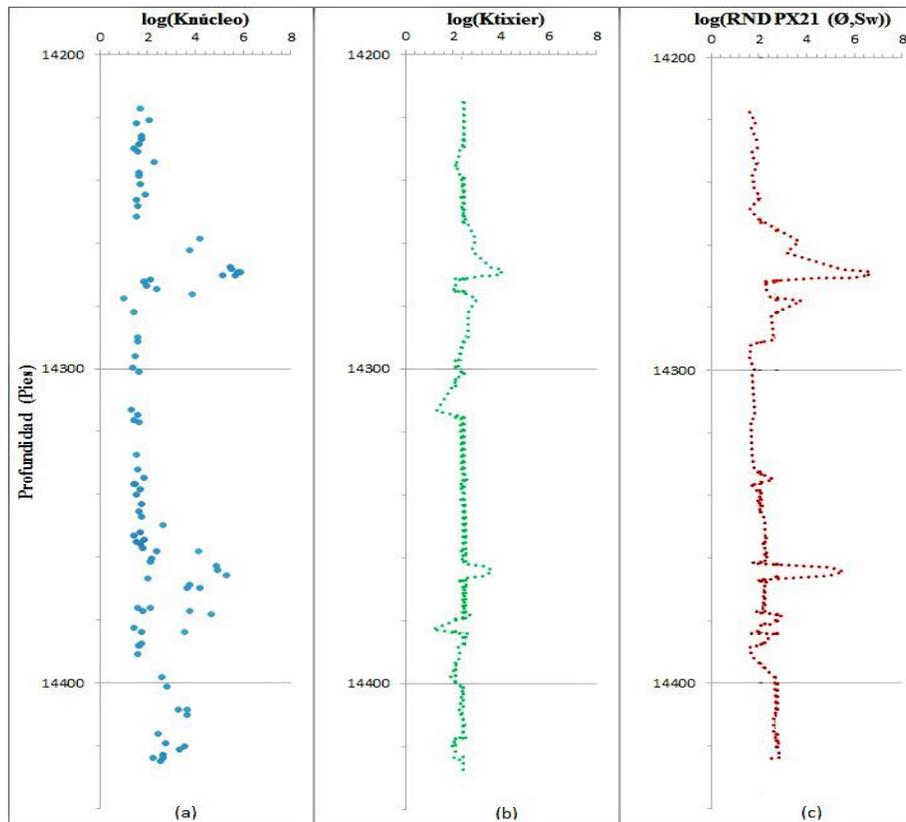


Figura 2. Logaritmo de permeabilidad del Pozo Px21 a profundidad de: (a) Valores de Núcleo, (b) Datos inferidos con las ecuación de Tixier y (c) Datos inferidos usando las EI-P21 obtenidas con el SND.

En la Tabla 1, hemos colocado los resultados cuantitativos, donde el porcentaje de inferencia mejora considerablemente con el SND.

Tabla 1. Resultado de los valores de R^2 obtenidos del cross-plot entre $\log(k_{Tixier})$ vs $\log(k_{Núcleo})$ y $\log(k_{Inferido})$ vs $\log(k_{Núcleo})$ para el pozo Px21

Modelo usado para inferir Permeabilidad en Px21	Linealidad entre $\log(k_{Núcleo})$ y $\log(k_{inferido})$, R^2
Tixier (ec. empírica)	13%
EI-P21 (ec. del SND)	56%

Para establecer la potencialidad de las ecuaciones encontrada con el 50% de los datos del pozo Px21 (EI-P21), hemos utilizado los datos del pozo Px50 con las ecuaciones EI-P21. En la Figura 3 mostramos los resultados obtenidos con estas ecuaciones, tanto con las empíricas de Tixier, como las estadísticas del SND (EI-P21). Los resultados son bastante buenos, ya que las EI-P21, logran reproducir el comportamiento de Px50 significativamente mejor que las ecuaciones de Tixier.

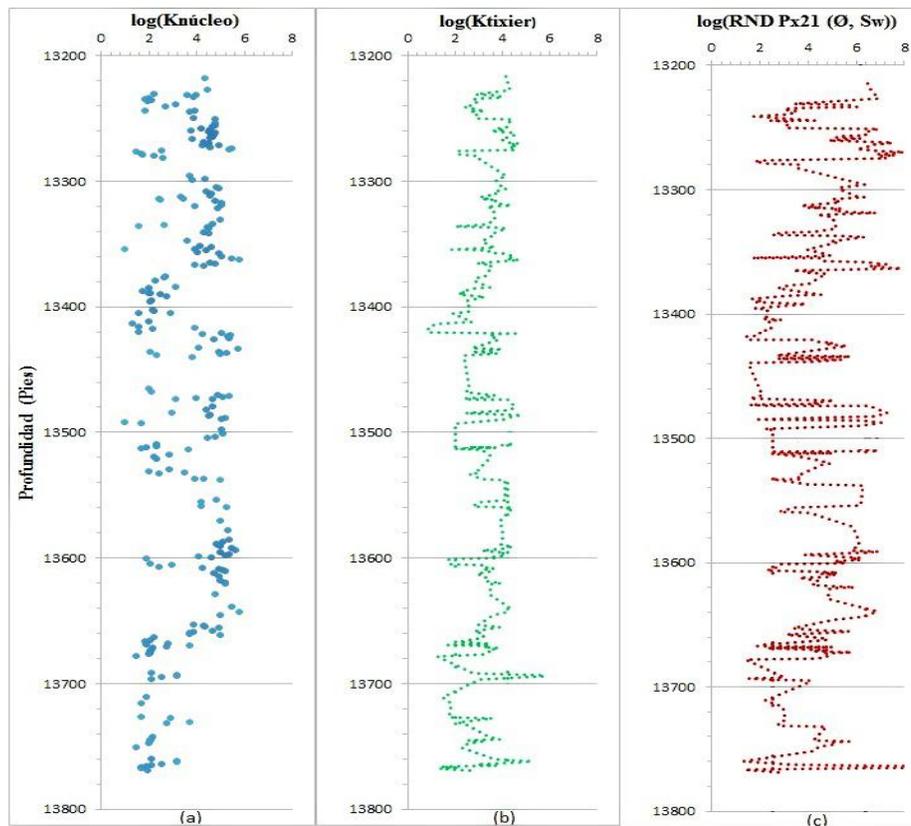
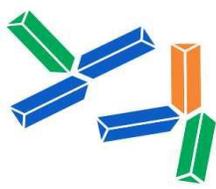


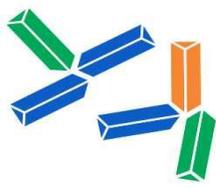
Figura 3. Logaritmo de permeabilidad del Pozo Px50 a profundidad de: (a) Valores de Núcleo, (b) Datos inferidos con las ecuaciones de Tixier y (c) Datos inferidos usando las EI-P21 obtenidas con el SND.

Cuantitativamente los resultados para Px50, también resultan mejores al usar EI-P21, como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultado de los valores de R^2 obtenidos del cross-plot entre $\log(k_{Tixier})$ vs $\log(k_{Núcleo})$ y $\log(k_{Inferido})$ vs $\log(k_{Núcleo})$ para el pozo Px50

Modelo usado para inferir Permeabilidad en Px50	Linealidad entre $\log(k_{Núcleo})$ y $\log(k_{inferido})$, R^2
Tixier	21%
EI-P21	37%

Esto hace que las EI-P21 obtenidas por el SND puedan ser consideradas como ecuaciones capaces de describir el comportamiento de la permeabilidad en la zona. En trabajos posteriores haremos pruebas sobre otros pozos del Bloque III, para tener un estudio con más verificaciones.



CONCLUSIONES

Hemos hecho un estudio cualitativo y cuantitativo respecto a las ecuaciones obtenidas con el Sistema Neuro-Difuso (SND) de ANFIS, a partir de datos del pozo Px21 ubicado en el Bloque III, del Lago de Maracaibo, Venezuela.

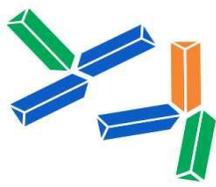
Hemos encontrado que la inferencia en permeabilidad del pozo Px21 mejora considerablemente al utilizar el SND (EI-P21), respecto a los resultados obtenidos con la ecuación empírica de Tixier. Se alcanza una mejora de más de un 40%.

Al utilizar las ecuaciones obtenidas con datos del pozo Px21 (EI-P21), en datos de pozos vecinos, como el Px50, los resultados son bastante buenos, obteniéndose, para este caso que la inferencia es mayor respecto a la ecuación empírica de Tixier, en más del 15%. Estos resultados sugieren que las ecuaciones obtenidas a partir del Sistema Neuro-Difuso (EI-P21), servirían como una buena herramienta en la modelación de un cubo sísmico 3D de la zona bajo estudio.

Cualitativamente el SND logra reproducir un perfil más adecuado del comportamiento de la permeabilidad y mucho mejor definido que el modelo de Tixier, tanto para el pozo Px21 como para el Px50.

REFERENCIAS

- [1] Balan, B., Mohaghegh, S., Ameri, S. (1995). State-of-the-Art in Permeability determination from well log data: Part 1- A Comparative study, Model development. West Virginia University U.S.A. Eastern Regional Conference & Exhibition held in Morgantown. Petroleum Engineers, Inc. SPE 30978.
- [2] Sugeno, M., Yasukawa, T. (1993). A Fuzzy-Logic Based Approach to Qualitative Modeling. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. Vol. 1. N.º 1.
- [3] Wang, Y., Niu, Ling, D. and Ji, L. (2011). Optimization of Short-Term Load Forecasting Based on Fractal Theory. New Challenges for Intelligent Information and Database Systems Studies in Computational Intelligence Vol. 351, Pág. 175-186.
- [4] Cárdenas, Yrma., Guerra, Luis. y Mauricio, D. (2009). Diseño de un algoritmo genético para la generación de conocimiento en el diagnóstico del Síndrome Autista. Revista de Ingeniería de Sistemas e Informática Vol. 6, N.º 2.
- [5] Rairán, J., Pérez, J. y Osorio, J. (2009). Implementación de una red neuronal para la medición indirecta de posición. Revista Avance en Sistema e Informática Vol. 6, N.º 3.
- [6] Salas Burgos, N., Cuevas - Gonzáles, J. y López Martínez, N. (2007). Detección de micromamíferos fósiles del yacimiento de Somosaguas Sur (Pozuelo de Alarcón, Madrid) mediante redes neuronales artificiales.. Coloquios de Paleontología, Vol. 57: Pág. 7-14.



jifi-eai 2012



Jornadas de Investigación | Encuentro Académico Industrial

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA FACULTAD DE INGENIERÍA

26 - 30 noviembre 2012

- [7] J.-S. R. Jang. (1993) ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on **23(3)**, Pág. 665-685.
- [8] Babuška, Robert. and Verbruggen, Henk. (2003). Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification. Annual Reviews in Control. Vol. **27**. Pág.73–85.
- [9] MathWorks: MATLAB and Simulink for Technical Computing. (Septiembre 2012). <http://mathworks.com/help/index.html>
- [10] Wu, Yue., Zhang, Biaobiao., Lu, Jiabin. and Du, K.-L. (2011). Fuzzy Logic and Neuro-fuzzy Systems: A Systematic Introduction. International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems (IJAE), Vol. **(2)** : Issue (2).
- [11] Hurtado, N., Aldana, M. and Torres, J. (2009). Comparison between neuro-fuzzy and fractal models for permeability prediction. Computational Geosciences Magazine. Vol. **13**, Number 2, Pág.181-186.
- [12] Hurtado, N., Torres, J. and Aldana, M. (2007). Comparison of three different techniques with real data from the well in the determination of permeability. Revista Ciencia, **15 (4)**, Pág. 433-437.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS. Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 / 1645. Telfax: +58 212 - 6628927

Correo electrónico: jifi.eai.2012.ucv@gmail.com <http://www.ing.ucv.ve>