

Aplicación de transformada ondicular discreta bidimensional (DWT-2D) a registros geofísicos de imágenes de pozo en la determinación de la distribución de porosidad secundaria

*Dr. Enrique Coconi Morales
Ing. Gerardo Ronquillo Jarillo
Dr. Fernando Castrejón Vacío
Instituto Mexicano del Petróleo*

Información del artículo: recibido: enero 2013-aceptado: abril 2014

Resumen

Se presentan los resultados de la aplicación de la transformada ondicular bidimensional discreta (DWT-2D) a registros geofísicos de imágenes de pozo (FMI, EMI, FMS, ARI, UBI, USI) en la caracterización y delimitación de zonas porosas, vugulares y fracturadas. En este marco general, se presentan los conceptos relevantes del análisis tiempo (espacio) – frecuencia (escala) 2D; los tópicos principales del registro de imágenes y finalmente, se proporcionan los resultados obtenidos en la experimentación y aplicación de la DWT-2D a registros de imágenes de pozo.

Finalmente, se concluye que como consecuencia del análisis y correlación de resultados, la aplicación de la DWT-2D a registros de imágenes de pozo, constituyen una herramienta adecuada, complementaria, útil y no convencional, en la fase de análisis y evaluación de registros geofísicos de pozo y caracterización de yacimientos.

Palabras claves: Transformada ondicular bidimensional, registros geofísicos de imágenes, porosidad secundaria, vugulos.

Applications of 2-D discrete wavelet transform to well logging images in the distribution of secondary porosity

Abstract

We show the results of the application of the Discrete Wavelet transformed bi dimensional (DWT-2D) to geophysical well logging images (GWLI) in the characterization from porous, vugulares and fractured zones. The GWLI, within which they are those of electrical images (the FMI, EMI, FMS, ARI), and acoustics (UBI, USI), increase the efficiency in the perforation, and are a source of geologic knowledge. In this general frame, time appears in the first part of this work the excellent concepts of the analysis (space) - frequency (scale) 2D. In the second part, main topics of the imaging and finally third part, provide the results obtained in the experimentation and application of the DWT-2D to GWLI.

Finally, we concludes that as a result of the analysis and correlation of results, the application of the DWT-2D to GWLI, they constitute an suitable tool, complementary, useful and non- conventional, in the phase of analysis and evaluation of geophysical well logging and characterization of deposits.

Keys words: Discrete Wavelet Transformed Bi-dimensional, Geophysical Well Logging Images, Secondary Porosity, Vuggy.

Transformada de ondícula (WT)

La transformada ondicular representa una señal no estacionaria (función o imagen) en términos de bases (átomos de tiempo – frecuencia), los cuales son de banda

limitada o soporte compacto (Daubechies L., 1992, 1992a; Burke, 1998): De la ondícula madre y (a , b) se generan las ondículas de las diferentes familias respectivas, mediante el escalamiento o (a); traslación o (b), utilizando la ecuación 1.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

Daubechies (1992), desarrolló una familia de ondícula madre, **Figura 1**.

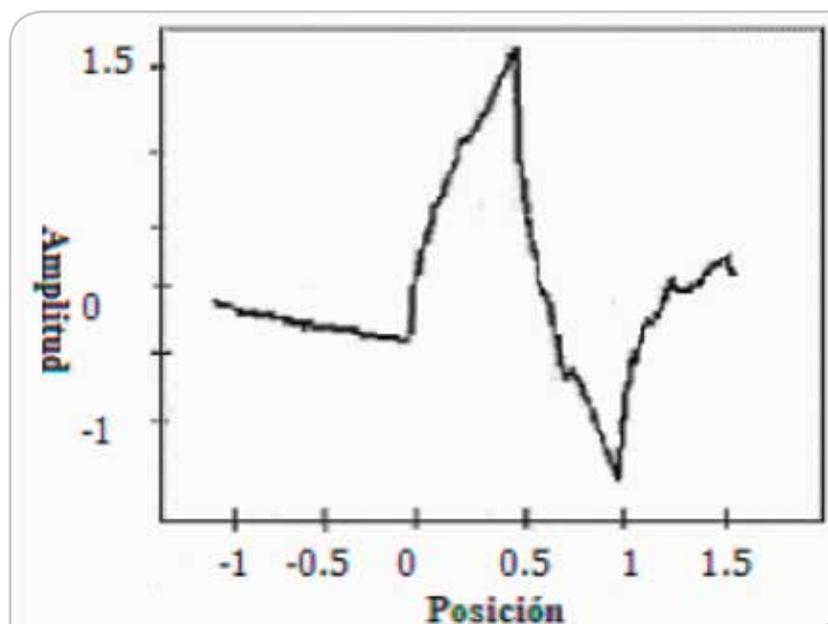


Figura 1. Ondícula Daubechies -4.

Mientras que las escalas altas, (bajas frecuencias) corresponden a una visión global no detallada de la señal, las bajas escalas, (altas frecuencias) corresponden a una vista detallada (Deighan et al., 1997; Strang, 1989), entendiéndose por escala la relación matemática que asegura la representación proporcionada de los

elementos originales de una serie de tiempo sobre un plano o dentro del espacio 2D, (Strang, 1989; Deighan, et al., 1997; Burke, 1998).

La transformación aplicada corresponde a la combinación del cambio de escala " a " y de la traslación " b ", **Figura 2**.

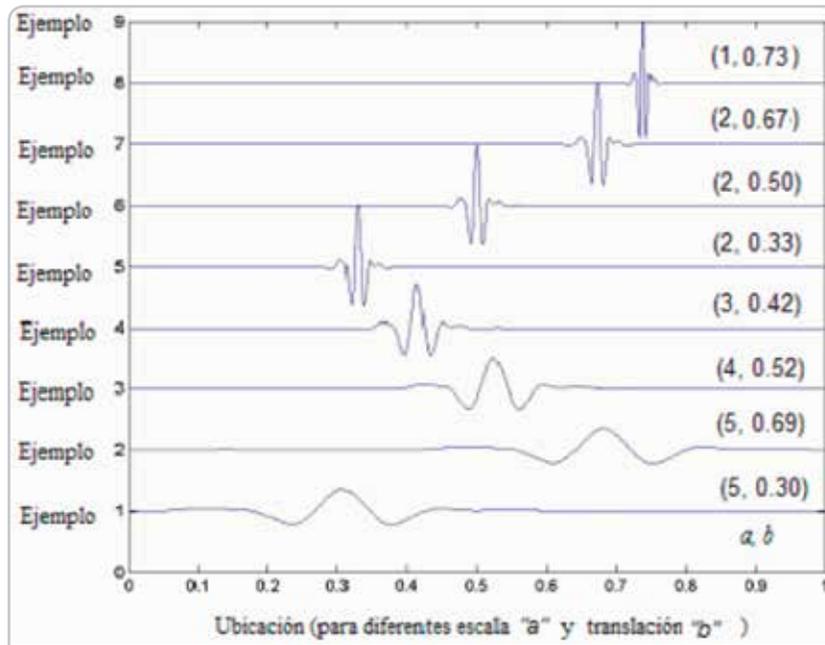


Figura 2. Representación gráfica de una familia de ondículas (Symmlets 8), para distintas escalas y localizaciones (“a”, “b”). Primera representación corresponde a $a = 5$ y $b = 0.30$. El eje de las “y” implica amplitudes para cada ejemplo.

DWT-2D

Los conceptos desarrollados para la representación unidimensional de señales e imágenes, son generalizados para el caso bidimensional.

Un análisis multiresolución usando la transformada de ondícula es realizada mediante proyecciones recursivas de

una base ortogonal formada por la función de escalamiento y otra base ortogonal formada por la ondícula, (Meyer and Ryan, 1993; Burke, 1998). Para señales 2D, a la transformada de ondícula se le multiplica la función de escalamiento 2D.

Como una transformación bidimensional de una imagen, podemos considerar función de escala bidimensional separable, (ecuación 2).

$$\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (2)$$

Tal como en el caso 1D, las ondículas $\Psi(x)$ y $\Psi(y)$ son generadas a partir de las funciones de escalamiento $\phi(x)$ y $\phi(y)$. Existen tres tipos de ondículas bidimensionales, (ecuación 3):

$$\begin{aligned} \psi^1(x, y) &= \phi(x)\psi(y) \\ \psi^2(x, y) &= \psi(x)\phi(y) \\ \psi^3(x, y) &= \psi(x)\psi(y) \end{aligned} \quad (3)$$

La proyección ortogonal de una imagen $f(x, y)$ o $s(x, y)$ da tres bases formadas por las ondículas y nos dará tres detalles, (ver ecuación 4):

$$\begin{aligned}
 d_i^1(x, y) &= \langle f, \psi^1 \rangle \\
 d_i^2(x, y) &= \langle f, \psi^2 \rangle \\
 d_i^3(x, y) &= \langle f, \psi^3 \rangle
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Una proyección ortogonal de $f(x, y)$ es un conjunto de funciones obtenidas de la función de escalamiento al nivel de resolución i y una aproximación a (ecuación 4), es mostrada en la **Figura 3** (Meyer and Ryan, 1993; Burke; 1998).

En la **Figura 4** se muestra un diagrama de bloques para la descomposición ondicular 2D; y la **Figura 5** muestra el diagrama para realizar la transformada inversa o reconstrucción de la imagen original (ecuación 5):

$$a_i(x, y) = \langle f(x, y), \phi_i(x)\phi_i(y) \rangle
 \tag{5}$$

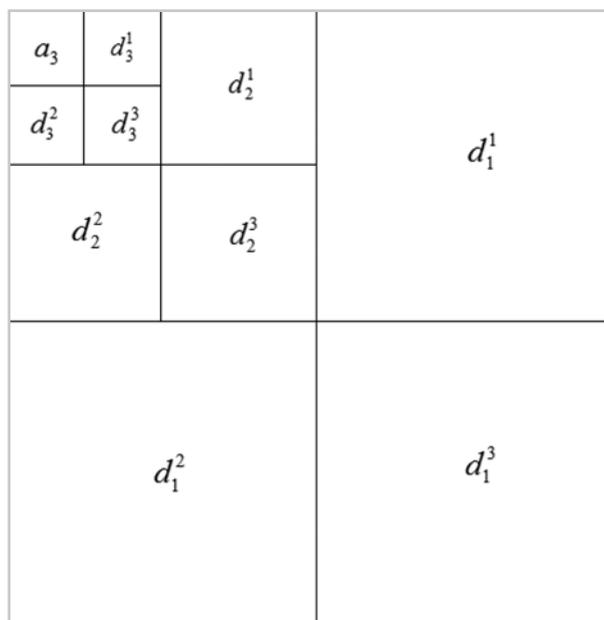


Figura 3. Representación de la descomposición usando la transformada de ondícula 2D. Se observa una resolución al nivel 3; a = aproximación y d = detalle.

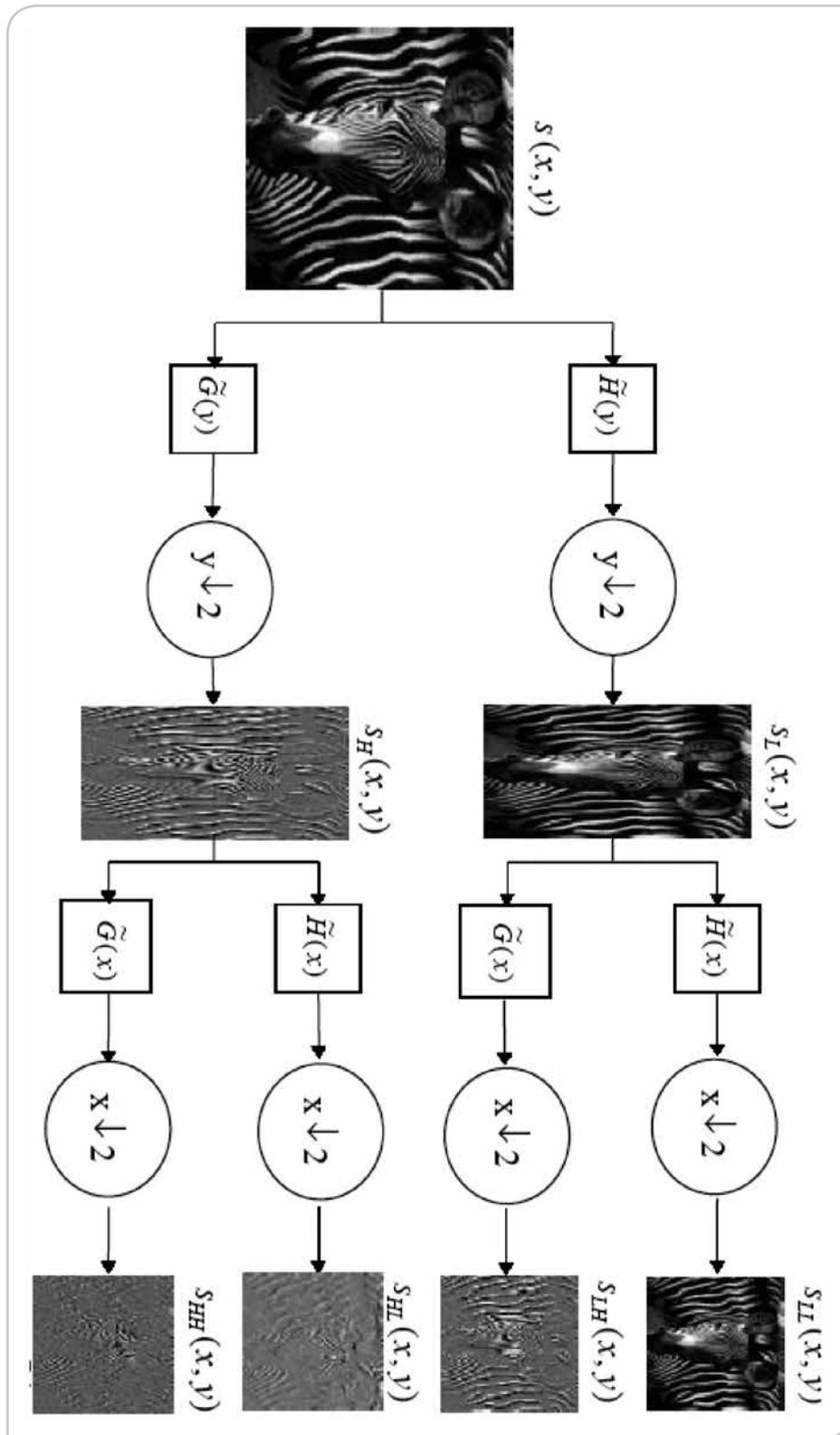


Figura 4. Diagrama de bloques para implementar la descomposición ondicular 2D.

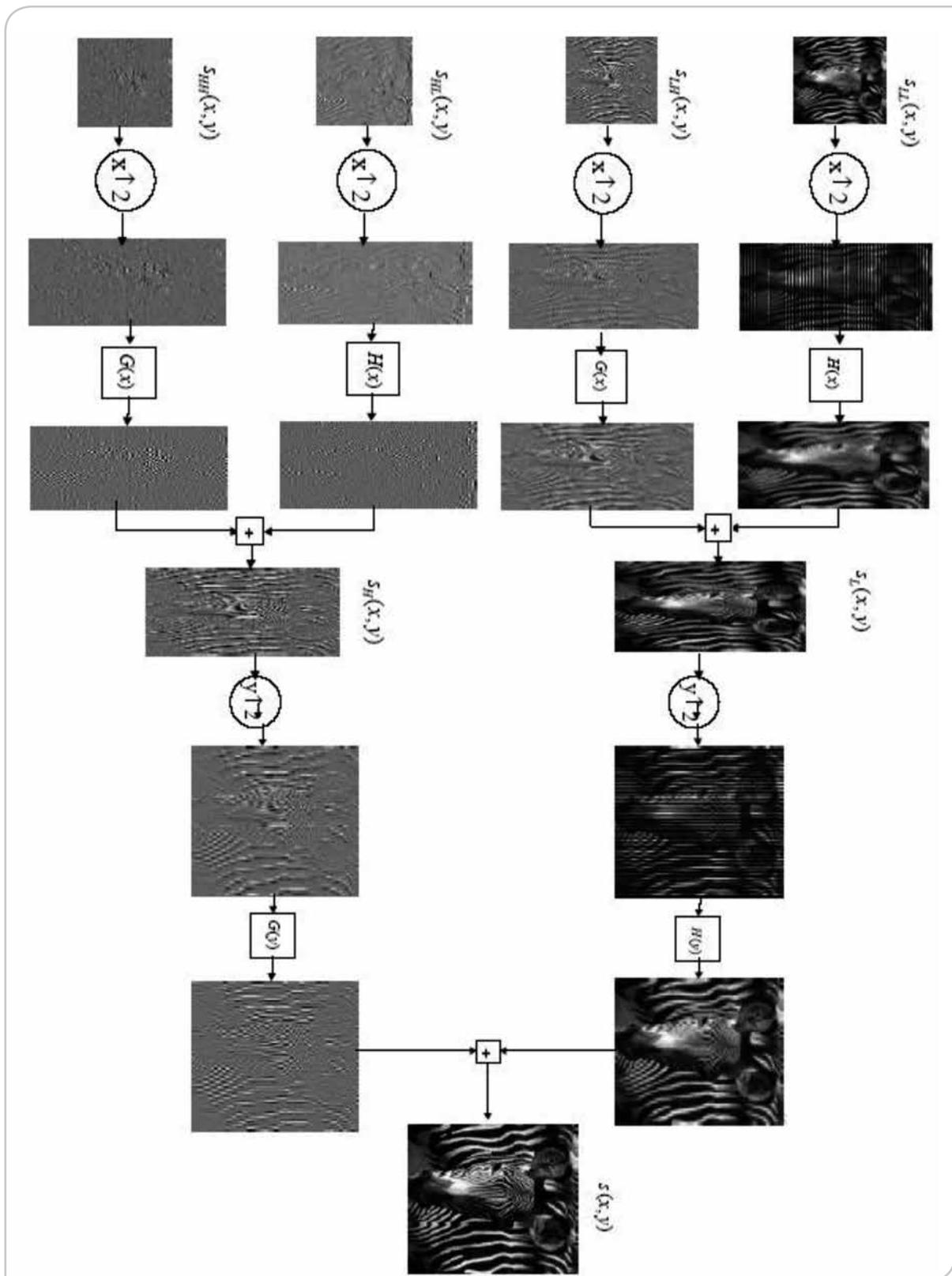


Figura 5. Diagrama de bloques para implementar la reconstrucción ondicular 2D.

Registros geofísicos de imágenes resistivas

Las herramientas asociadas con los registros de imágenes de microresistividad se introducen a mediados de 1980 como una extensión y perfeccionamiento de los registros geofísicos de echados, dipmeter, **Figura 6**.

Las imágenes que se obtienen a partir de la información adquirida con la herramienta FMI, facilitan la interpretación sedimentológica y estructural de las formaciones atravesadas por el pozo y estimación de echados y su posible calibración con núcleos, **Figura 7** (Lloyd P. and Dahan R., 1986; Harker S. and McGann G., 1989; Bourke L. and Delfiner P., 1989). Ejemplos de registros geofísicos de imágenes resistivas en carbonatos se presentan en las **Figuras 8 a 10**.

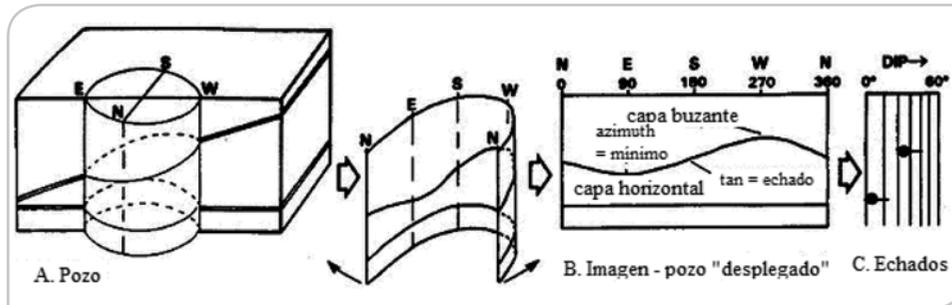


Figura 6. Estimación de echados a partir de registros de imágenes resistivas de pozos.

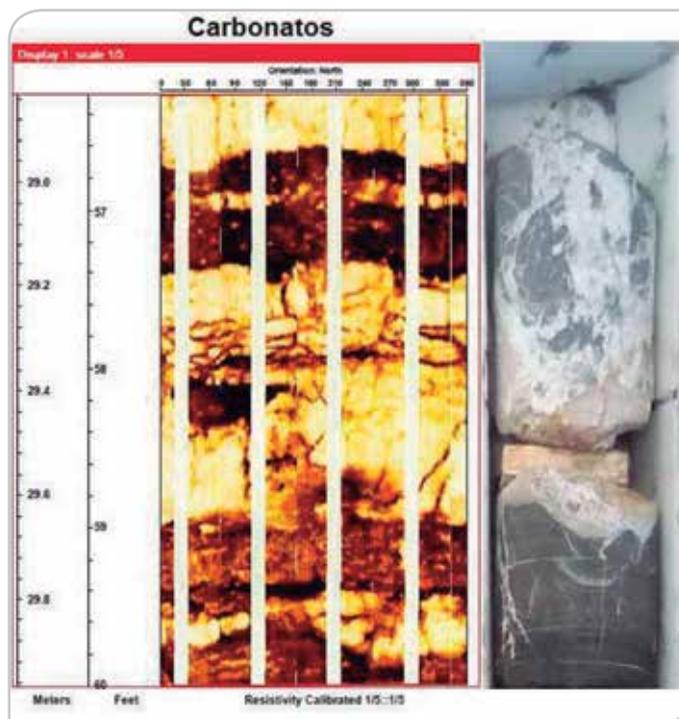


Figura 7. Muestra una imagen eléctrica con fracturas poligonales o chicken-wire (izquierda) y un núcleo (HQ) con fracturas poligonales en carbonatos (derecha) (Schlumberger, 2006).

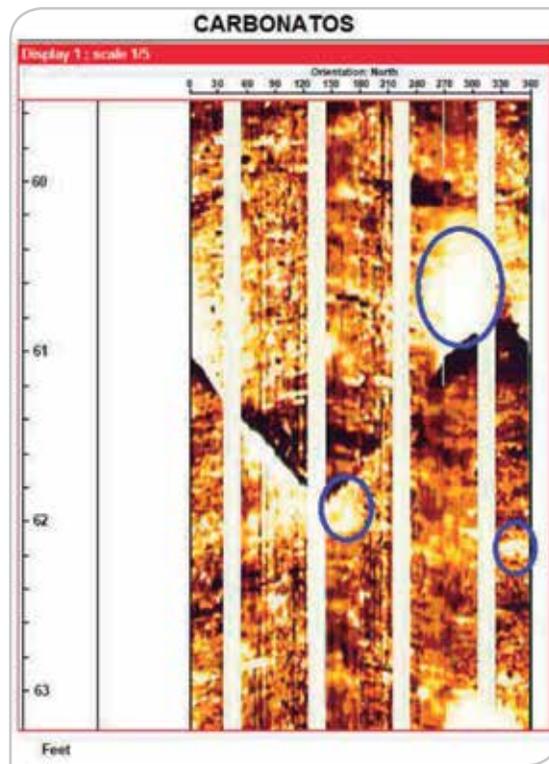


Figura 8. Muestra una imagen eléctrica con fracturas cementadas (círculos azules), por carbonatos en coloración blanca, (Schlumberger, 2006).

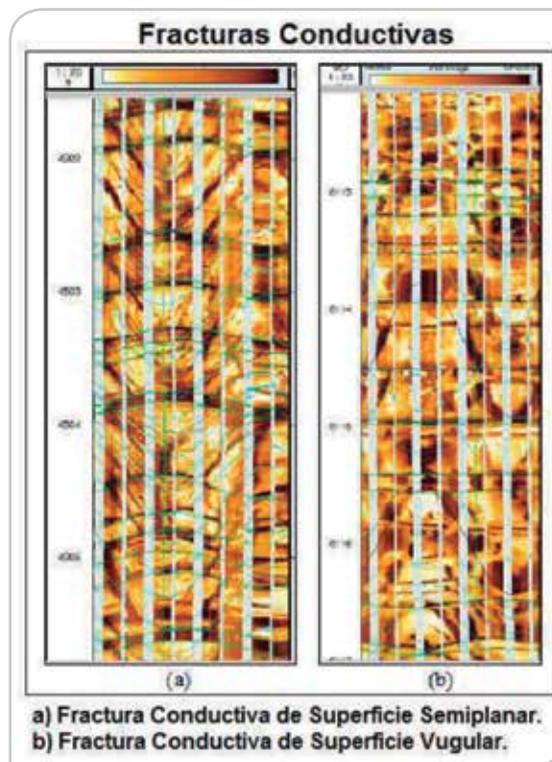


Figura 9. Vista de las fracturas conductivas en las imágenes FMI, (Schlumberger 2006).

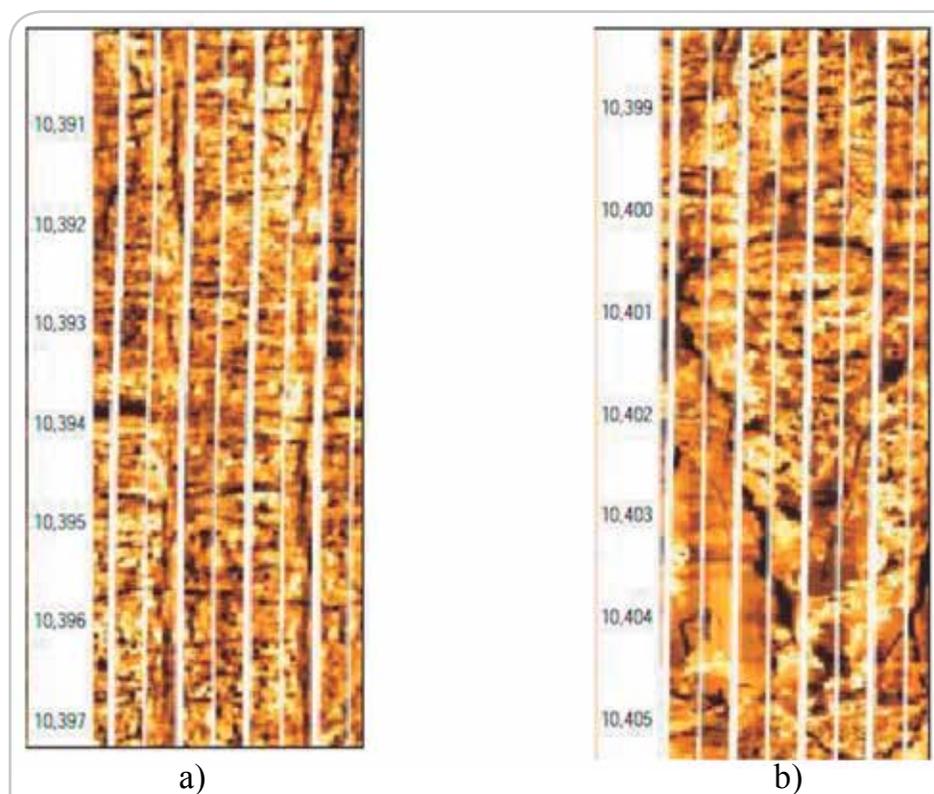


Figura 10. Registros de imágenes FMI de rocas carbonatadas del oeste de Texas, la profundidad está en pies. a) Carbonato continuo y relativamente homogéneo. b) Caliza fracturada, con cavidades y poros rellenos de lutita. (Akbar M. et. al., 2001).

Metodología empleada

Se presenta la metodología usada en este trabajo:

- Procesamiento y análisis de los datos de campos, FMI.
- Análisis, correlación e interpretación de imágenes de pozo (Lloyd et. al., 1986).
- Aplicación de la DWT-2D (análisis multiresolución) para representar la imagen FMI en varias escalas de resolución.
- Calibración del registro de imágenes, núcleos y escalas de representación.
- Correlación geológica.
- Extrapolación de propiedades petrofísicas y validación de resultados.

Aplicación

La metodología se aplicó a datos del Golfo de México, para una serie de registros de imágenes de pozo en zonas con porosidad móldica y dolomitas fracturadas (calibradas con núcleos). A estas imágenes se les aplicó la DWT-2D y se obtuvieron representaciones a distintas escalas de resolución, tanto en su variación horizontal, vertical y diagonal. Con esta descomposición se puede observar las zonas de fracturas y en otra escala de resolución la porosidad vulgar; adicionalmente se obtuvieron los límites de capas.

Resultados

Ejemplo 1

En la **Figura 11** se muestra un registro de imágenes en una zona con porosidad móldica en dolomías, de un espesor de 0.80 m. (colores claros altas resistividades y colores oscuros bajas resistividades). En la **Figura 12**, se muestra un registro FMI, relacionada con dolomitas fracturadas, la cual esta correlacionada con información de núcleo.

Al aplicar la DWT-2D a las imágenes de las **Figuras 11** y **12**, se han obtenido las representaciones a distintas escalas (cuatro), de estas imágenes originales, las que se incluyen en las **Figuras 13** y **14** respectivamente. De ambas figuras se muestran las descomposiciones hasta el nivel 4, presentándose las variaciones horizontales (H), verticales (V) y diagonales (D) respectivamente. En la **Figura 13** se

infieren rasgos característicos de la porosidad móldica, para los niveles o escalas 1 a 3 (para todas las direcciones H, V y D). En la **Figura 14**, correlacionadas con información de núcleos y considerando los niveles o proyecciones 1 a 3 (direcciones de detalle H, V y D), se muestra la distribución de fracturas, (tonos cafés). El nivel 4 (H, V y D), muestra indicios de porosidad vugular.

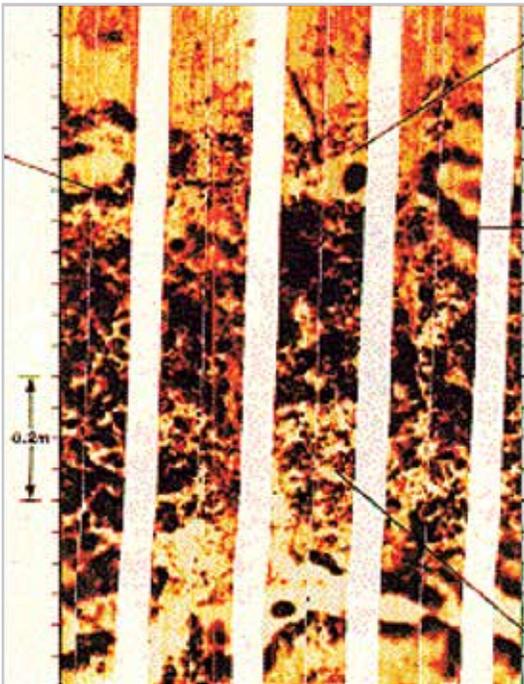


Figura 11. Porosidad móldica en una dolomía.

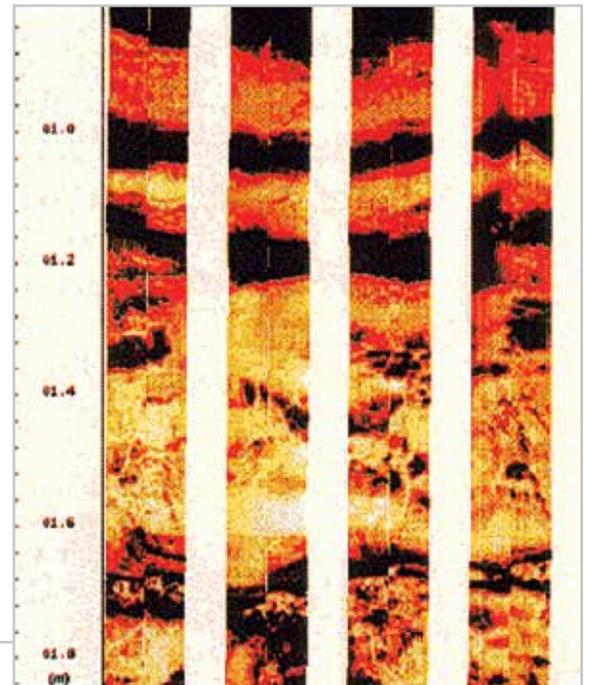


Figura 12. Dolomita con fracturas, las cuales concuerdan con el núcleo.

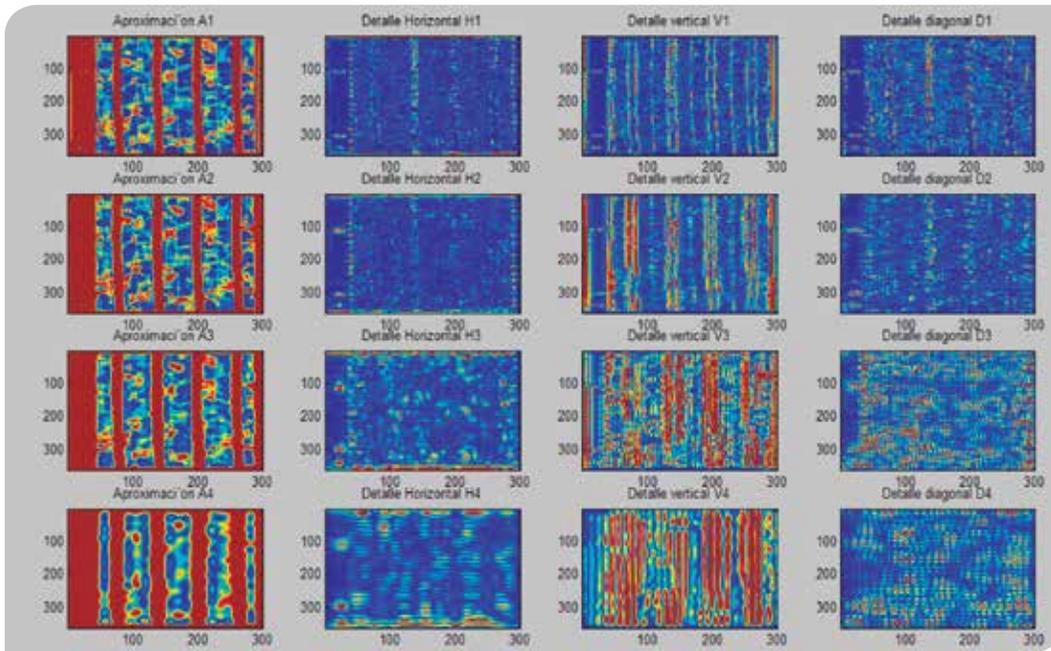


Figura 13. Se muestra la descomposición DWT-2D para el nivel 4, (detalles verticales, horizontales y diagonales).

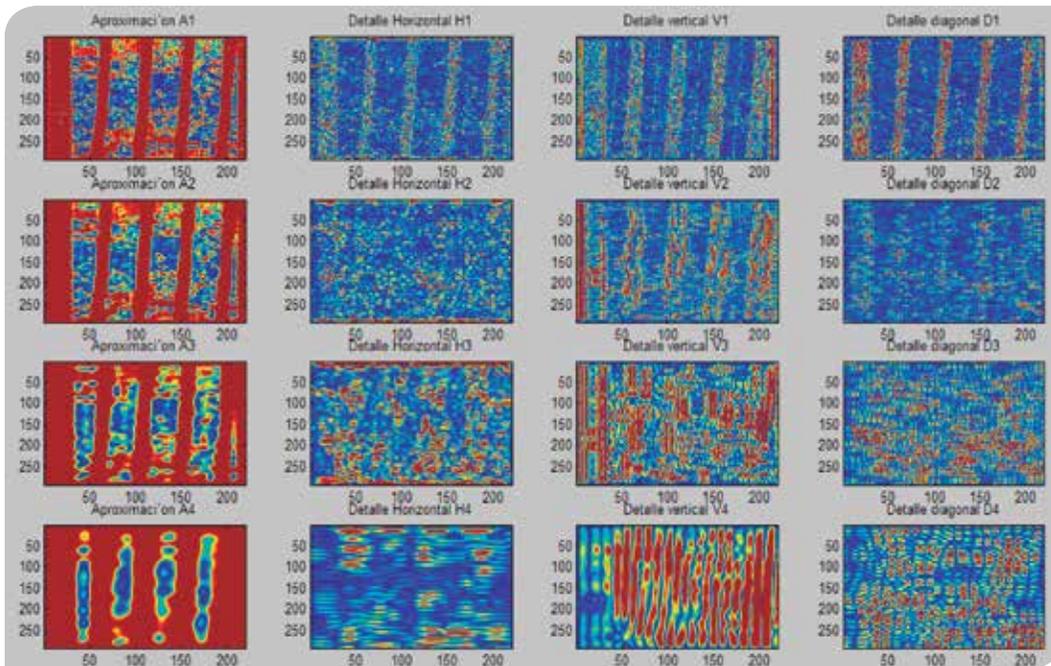


Figura 14. Se observa la descomposición DWT-2D para el nivel 4, (detalles verticales, horizontales y diagonales), se observan rasgos característicos de fracturas en una zona de dolomías para las aproximaciones 1 a 3. En la aproximación 4 cae dentro de la zona de vógelos.

Ejemplo 2

En la **Figura 15**, se muestra un registro de imágenes en una zona con fracturas en carbonatos, (ver **Figura 7**), de un espesor de 0.90 m (colores claros altas resistividades y colores oscuros bajas resistividades). La imagen original se muestra en la **Figura 15a** y en la **Figura 15b** es la misma imagen, sólo que se quitaron los espacios donde la herramienta no midió debido a un diámetro mayor del pozo con respecto a la herramienta.

A ambas imágenes se les aplicó la DWT-2D hasta una descomposición de la escala 7, cuyo resultado se muestra en las **Figuras 15c** y **15d**, con el objeto de mostrar la conveniencia de trabajar con la imagen original o modificada. En ambas figuras se resalta el evento localizado en una posición $x=50$ y $y=250$ aproximadamente. Tanto x y y son números de muestras.

En las **Figuras 16a** a **16d** se muestran resultados de aplicar la DWT-2D a la imagen de la **Figura 15b**.

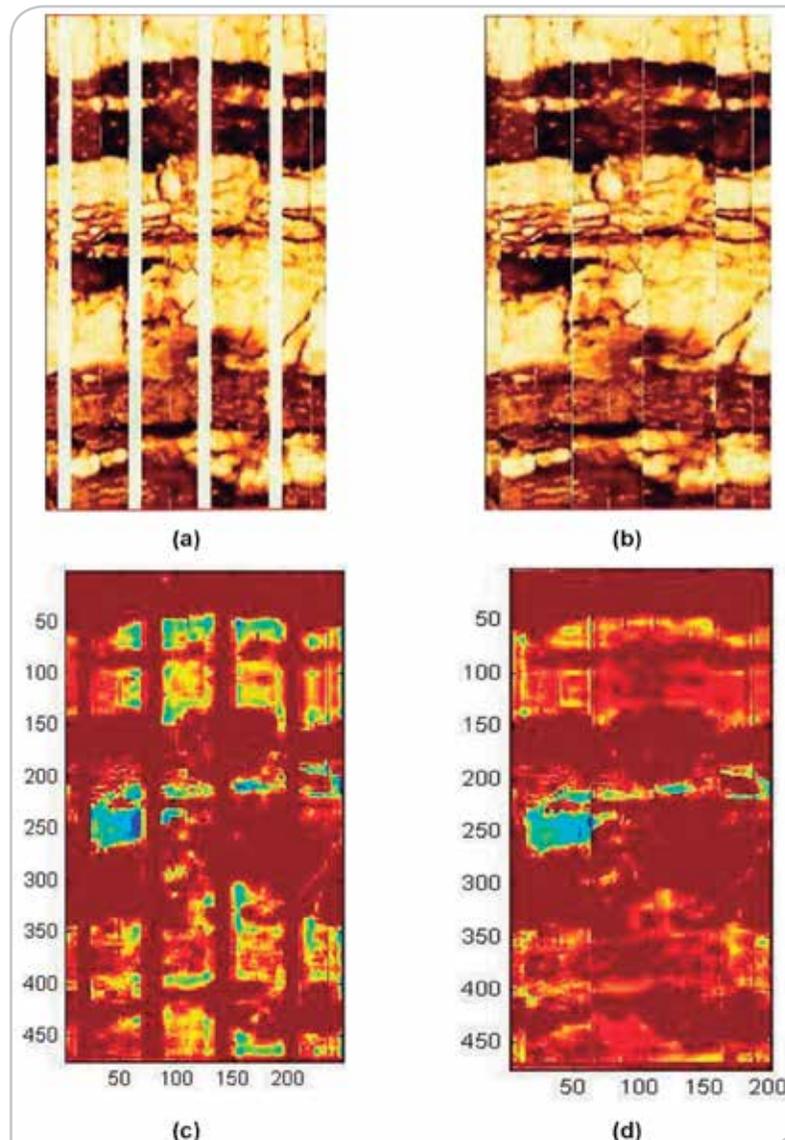


Figura 15. Registro de imágenes en carbonatos con fracturas, x escala de 0 a 250 y y escala de 0 a 450. a) Imagen original; b) Imagen modificada quitando los espacios debido al tamaño del pozo; c) y d) Imágenes a las cuales se les aplicó la DWT-2D, en ambas imágenes se resalta el evento localizado en la posición $x=50$ y $y=250$.

Se muestra la reconstrucción de dicha imagen para diferentes escalas de reconstrucción. En la **Figura 16a** se tiene la imagen reconstruida quitando la escala 1, resaltan los eventos en tonos azules. La **Figura 16b** muestra la reconstrucción de la imagen dejando sólo las escalas 3, 4 y 5, se observan posibles fracturas, conectadas. Una

reconstrucción de la imagen usando solo las escalas 3 y 4 se muestra en la **Figura 16c**, se observan posibles fracturas conectadas. Y en la **Figura 16d** se observa la imagen reconstruida usando sólo la escala 3, se observa el evento localizado en $x = 50$ y $y = 250$.

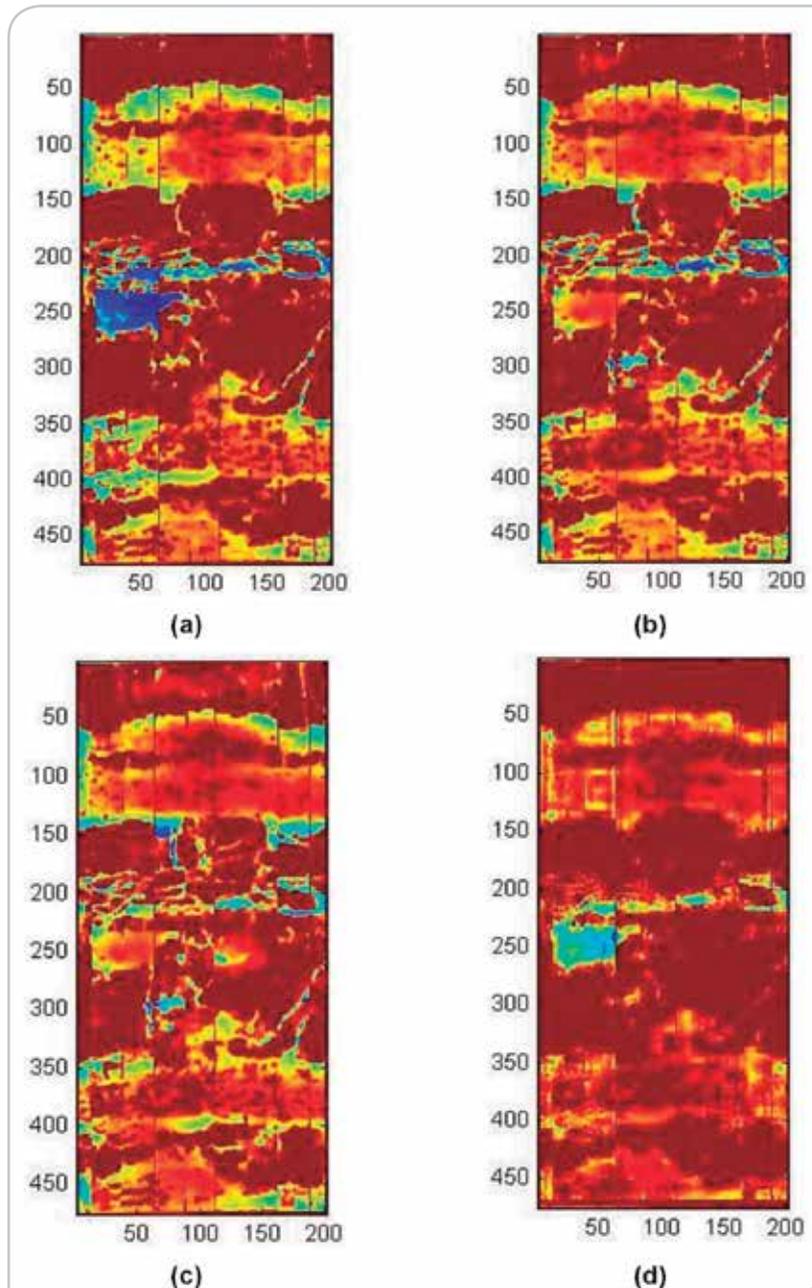


Figura 16. Aplicación de la DWT-2D a la imagen de la **Figura 15b**. a) Imagen reconstruida quitando la escala 1, resaltan los eventos en tonos azules; b) Imagen reconstruida con las escalas 3, 4 y 5; c) Reconstrucción de la imagen original con las escalas 3 y 4; d) Imagen original reconstruida usando sólo la escala 3.

Conclusiones

Del trabajo presentado se puede concluir:

- La determinación de la escala óptima de representación de un registro de imágenes, con un aumento relativo de su resolución, permite la identificación sectorial de zonas de interés eventualmente relacionadas a parámetros petrofísicos.
- El análisis de multiresolución prueba ser una herramienta adecuada, complementaria y útil, en el análisis y evaluación de los registros geofísicos de imágenes y que vislumbra un campo de posibles aplicaciones.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Instituto Mexicano del Petróleo para la presentación del presente trabajo.

Referencias

1. Akbar, M., Vissapragada, B., Alghamdi, A.H., et al. 2001. Evaluación de Yacimientos Carbonatados. *Oilfield Review* (primavera): 20-43. https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish01/spr01/p20_41.pdf (descargado el 10 de enero de 2013).
2. Bourke, L., Delfiner P., Trouiller, J.-C., et al. 1989. Using Formation MicroScanner Images. *The Technical Review* **37** (1): 16-26. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors89/jan89/2_microscanner.pdf (descargado el 15 de enero de 2013).
3. Bratton, T., Cahn, D.V., Que, N.V., et al. 2006. La Naturaleza de los Yacimientos Naturalmente Fracturados. *Oilfield Review* (otoño): 4-25. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish06/aut06/naturally_fract_reservoirs.pdf (descargado el 10 de enero de 2013).
4. Daubechies, L. 1990. The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis", IEEE Transactions on Information Theory **36** (5): 961-1005. <http://dx.doi.org/10.1109/18.57199>.
5. Daubechies, L. 1992. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, Pennsylvania: SIAM.
6. Deighan, A. y Watts, D.R. 1997. Ground-Roll Suppression Using the Wavelet Transform. *Geophysics* **62** (6): 1896-1903. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1444290>.
7. Harker S.D., McGann, G.J., Bourke, L.T., et al. 1990. Methodology of Formation MicroScanner Images Interpretation in Claymore and Scapa Fields (North Sea). *Geol. Soc., London, Spec. Pub.* **48**: 11-25. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1990.048.01.03>.
8. Hubbard, B.B. 1998. *The World According to Wavelets: The History of a Mathematical in the Making*, second edition. Wellesley, Massachusetts: A.K. Peters.
9. Lloyd, P.M., Dahan, C. y Hutin, R. 1986. Formation Imaging with the Micro Electrical Scanning Arrays: A New Generation of Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool. 10th European SPWLA, paper L.
10. Meyer, Y. y Ryan, R. 1993. *Wavelet Theory & Applications*. Cambridge, RU: Cambridge University Press.
11. Strang, G. 1989. Wavelets and Dilation Equations: A Brief Introduction. *SIAM Review* **31** (4): 614-627. <http://dx.doi.org/10.1137/1031128>.

Semblanza del autor

Dr. Enrique Coconi Morales

Ingeniero geofísico por parte de la ESIA del IPN. Maestro en Ciencias por parte de la DEPEFI, UNAM. Doctor en ingeniería por parte del Posgrado IMP. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores desde el 2010.

Obtuvo Mención honorífica en examen de maestría. Primer lugar premio a la mejor tesis de licenciatura en la industria petrolera nacional. Tercer lugar, premio a la mejor tesis de maestría en la industria petrolera nacional.

Profesor de las carreras de ingeniería geológica y geofísica de la ESIA, en el área de Ciencias de las Tierra del IPN. Ha impartido más de 70 cursos en el área de registros geofísicos de pozos, petrofísica, métodos geofísicos, computación, geofísica nuclear en las carreras de ingeniería geofísica, geológica a nivel licenciatura y nivel posgrado.

Dirección de 50 tesis a nivel licenciatura, dos de maestría y sinodal en más de 90 tesis. Impartición de tres seminarios de titulación y actualización para 90 estudiantes de las carreras de ingeniería geológica, geofísica y petrolera.

Presidente de la Academia de geofísica superficial desde el año 2000. Responsable de reestructuración de las materias de registros geofísicos I, II y petrofísica. Corresponsable de la reestructuración de la carrera de Ingeniería geofísica del IPN del 2008 al 2009.

Participación en congresos de la UGM, SPWLA y EAGE, con más de 20 ponencias.

Investigador en la Subdirección de investigación y posgrado en el área de registros geofísicos de pozos. Capacitación a personal de Pemex, impartición de cursos en el área de registros geofísicos de pozos, desarrollo de metodología para procesado e interpretación de registros PNC. Metodología para análisis multiescala en registros geofísicos de pozos y metodología para la obtención de volúmenes mineralógicos.

Obtención de cuatro derechos de autor y cuatro artículos con arbitraje en revistas internacionales.