ANÁLISIS DE COMPRESIÓN DE IMÁGENES APLICANDO WAVELETS

Lorena Pazmiño
School of Electrical and Electronical Engineering
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
Email: lo_paz@hotmail.com

Paúl Bernal
School of Electrical and Electronical Engineering
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
Email: cpbernal@espe.edu.ec

Gonzalo Olmedo
School of Electrical and Electronical Engineering
Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
Email: gfolmedo@espe.edu.ec

***Abstract*—Este trabajo muestra el comportamiento de las familias de Wavelet y Wavelet Packet para la compresión de imágenes en HD empleando MATLAB; al retirar cantidades variables de energía, mediante un tipo de compresión hard, donde a través de las medidas MSE, PSNR y MOS se demostró que la Wavelet de Symlet y la Wavelet Packet de Daubechies son las que poseen un mejor desempeño ante este tipo de compresión.**

***Index Terms*—Wavelet, Wavelet Packet, compresión hard, MSE, PSNR y MOS.**

I. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología permite tener de una amplia gama de herramientas para el análisis y procesamiento de imágenes; entre las mas conocidas se encuentra la Transformada de Fourier, Transformada de Coseno y la Transformada Wavelet, la diferencia radica en la forma como cada una de estas transformadas realizan el análisis de los datos, ya sea en tiempo o en frecuencia. Para imágenes esta evolución no cesa; y se mantiene en una constante búsqueda por mantener la mejor calidad de la imagen y reducir su tamaño para su almacenamiento y transmisión a fin de optimizar el ancho de banda y aumentar su velocidad de transmisión.

El presente trabajo muestra una alternativa para los formatos de compresión actuales, mediante la transformada Wavelet (WT) que permite mejorar la compresión de imágenes, sin sacrificar su calidad al momento de reconstruirla, ya que elimina la información redundante y obtiene una representación eficiente de la imagen. Este estudio se basó en la DWT (Transformada Wavelet Discreta) tanto para las familias de Wavelet y Wavelet Packet mediante el "análisis multiresolució", ajustándose a los requerimientos del usuario. En base a lo mencionado se retiraron cantidades variables de energía de cada imagen y se realizaron pruebas objetivas y subjetivas con el fin de determinar el comportamiento y reacción de las wavelets.

II. ANTECEDENTES

A. Transformada de Fourier

El avance de la tecnología permite gozar de una variedad de herramientas para el análisis de señales, una de ellas es la transformación de una función o señal, en un dominio diferente.

La Transformada de Fourier (TF) permite transformar las señales del dominio del tiempo a la frecuencia, de manera que se puedan distinguir los detalles de mejor manera, como lo muestra la Figura 1, donde a través de la TF se puede ver claramente las frecuencias que son afectadas por el ruido en la señal.

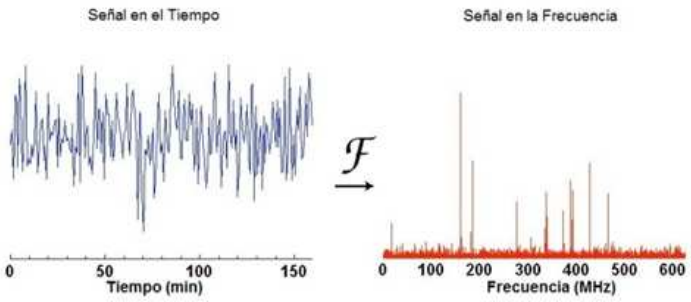

Figura 1. Representación de la Transformación de Fourier

Para señales estacionarias este tipo de transformación se adapta a sus necesidades; sin embargo para señales no estacionarias o transitorias esta transformación no es muy útil puesto no permiten determinar el momento exacto en el que ha ocurrido determinado evento [1].

Para mejorar este inconveniente se desarrollo la Transformada de Fourier de tiempo corto (STFT), adaptando una ventana (bloque de duración finita) a la señal, donde mientras mayor sea la duración de la ventana, se obtiene una mayor resolución en frecuencia, pero sacrifica la resolución en tiempo, aunque al mismo tiempo la STFT carece de flexibilidad al tener resolución fija en tiempo y frecuencia una vez determinada la ventana [2], como muestra la Figura 2.

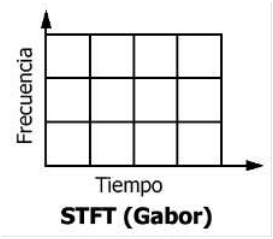

Figura 2. División Tiempo Frecuencia para la STFT

III. TRANSFORMADA WAVELET

Para solucionar las limitantes del análisis de la STFT se desarrolla la WT, ya que ésta presenta una técnica de ventanas con regiones de tamaño variables, filtrando la señal en el dominio del tiempo mediante filtros pasa bajo y pasa alto, que permite separar a la señal en componentes de alta y baja frecuencia [3]. La escala Wavelet se muestra en la Figura 3.

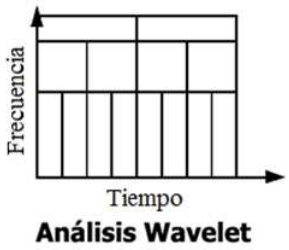

Figura 3. División Tiempo Frecuencia para la Transformada Wavelet

A. *Transformada Wavelet Discreta*

En base a la teoría de la WT la Transformada Wavelet Discreta DWT, usa filtros de distintas frecuencias de corte para analizar la señal en diferentes escalas, separando la señal en componentes de baja frecuencia llamada *Aproximaciones* (**A**) y componentes de alta frecuencia llamada *Detalles* (**D**); para alcanzar el nivel de precisión deseado se realiza el proceso de filtrado a la salida de cada etapa, este proceso se le conoce como Árbol de descomposición Wavelet [4], como muestra la Figura 4, la cual muestra como la señal S puede ser representada de diferentes maneras, así:

$$\begin{aligned} S &= cA_1 + cD_1 \\ &= cA_2 + cD_2 + cD_1 \\ &= cA_3 + cD_3 + cD_2 + cD_1 \end{aligned}$$

Dentro del análisis de imágenes esta descomposición se la realiza en dos dimensiones, como muestra la Figura 5 donde el número de niveles Wavelet dependerá del tamaño de la imagen, representado por: 2^N, donde N representa el número de niveles Wavelet.

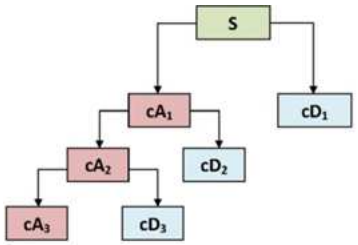

Figura 4. Árbol de Descomposición Wavelet

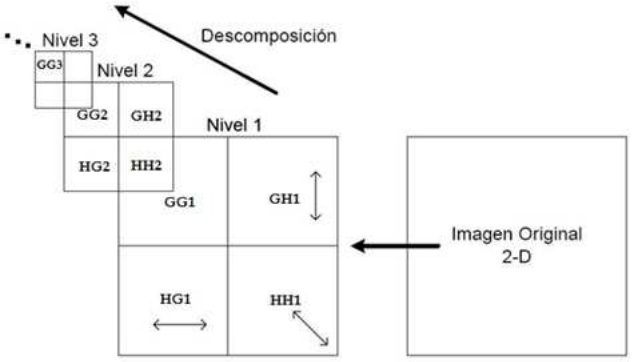

Figura 5. Ejemplificación de la descomposición Wavelet por niveles

IV. TRANSFORMADA WAVELET PACKET

Este análisis es una generalización de la descomposición Wavelet que ofrece mayores posibilidades para el análisis de señales puesto que realiza el mismo análisis que el Árbol de descomposición Wavelet pero en sus dos ramales como muestra la Figura 6, por lo que esto produce más de $2^{(2^{(n-1)})}$ formas de codificar la señal [5].

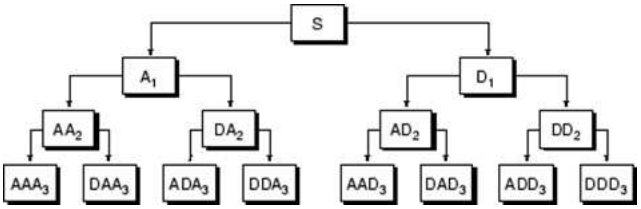

Figura 6. Árbol de descomposición Wavelet Packet

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. *Compresión mediante Wavelets*

Para verificar el desempeño entre las diferentes familias Wavelet se tomaron diez imágenes de texturas fuertes y diez imágenes de texturas suaves y se las aplicó una compresión tipo *hard* en porcentajes variables para determinar su error cuadrático medio MSE y su relación pico señal a ruido PSNR [5].

En la Tabla 1 y Figura 7 se pueden observar los resultados obtenidos para el MSE con imágenes de texturas fuertes mientras en la Tabla 2 y Figura 8 se presentan los resultados

del MSE obtenidos con imágenes de texturas suaves. En base a estos resultados se puede observar que las familias de Daubechies, Symlet, Coiflet y Biortogonal son las que mejor desempeño presentan por lo que se descartaron las demás familias.

MSE con Imágenes de Texturas Fuertes a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Haar	0,7268	0,7104	0,5408	0,3806	0,1165	0,0346	0,0329
Daubechies (db4)	0,2502	0,2479	0,2122	0,1240	0,0513	0,0333	0,0305
Symlet (sym4)	0,2487	0,2471	0,2117	0,1219	0,0511	**0,0316**	**0,0285**
Coiflet (coif4)	**0,2265**	**0,2260**	0,2095	0,1194	0,0591	0,0343	0,0286
Biortogonal (bior4.4)	0,2365	0,2349	**0,2013**	**0,1167**	**0,0488**	0,0324	0,0293
Discrete Meyer (dmey)	0,3966	0,3563	0,2202	0,2199	0,2173	0,1053	0,0396
Reverse Biorthogonal (rbio4.4)	0,2639	0,2620	0,2217	0,1300	0,0546	0,0336	0,0306

Tabla 1. MSE de familia de Wavelets con texturas fuertes a blanco y negro

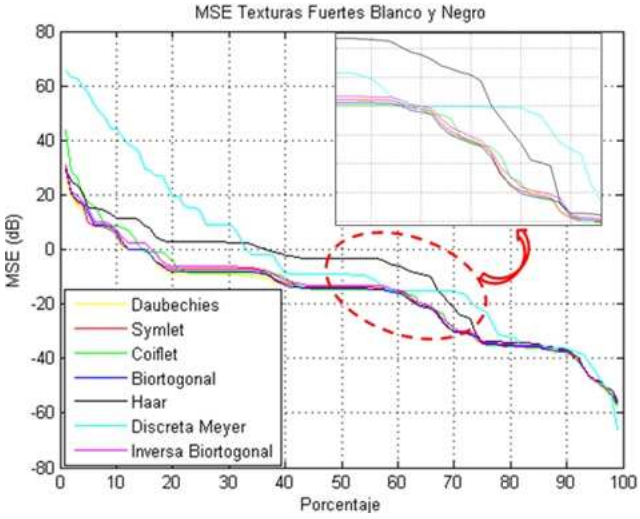

Figura 7. MSE con imágenes de texturas fuertes

MSE con Imágenes de Texturas Suaves a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Haar	0,3969	0,3284	0,2738	0,2176	0,1266	0,0603	0,0459
Daubechies (db4)	0,2040	0,1707	0,1474	0,1187	0,0731	**0,0517**	**0,0362**
Symlet (sym4)	0,1968	0,1685	0,1387	0,1219	0,0705	0,0545	0,0370
Coiflet (coif4)	**0,1820**	0,1715	0,1351	**0,1184**	0,0688	0,0538	0,0404
Biortogonal (bior4.4)	0,1885	**0,1637**	**0,1350**	0,1195	**0,0685**	0,0527	0,0374
Discrete Meyer (dmey)	0,1882	0,1745	0,1728	0,1664	0,1352	0,1069	0,0568
Reverse Biorthogonal (rbio4.4)	0,2124	0,1852	0,1514	0,1329	0,0761	0,0570	0,0402

Tabla 2. MSE de familia de Wavelets con texturas suaves a blanco y negro

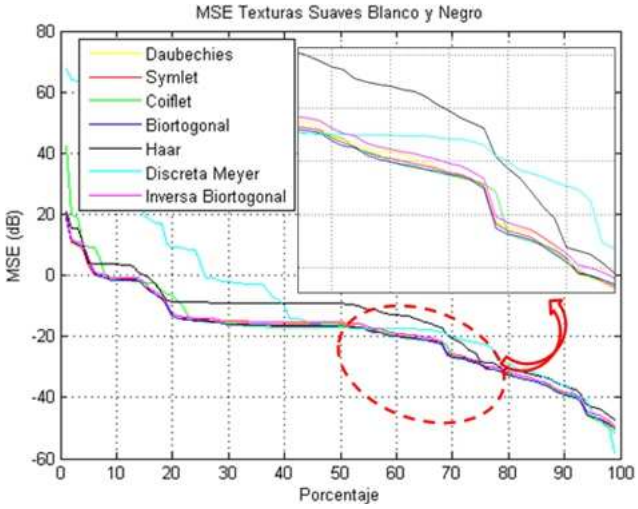

Figura 8. MSE con imágenes de texturas suaves

De manera que se pueda describir objetivamente la calidad de una señal; se utilizó el PSNR para calcular la relación entre la energía de la señal y el ruido que afecta a la misma, por lo que en la Tabla 3 y Figura 9 se presenta el desempeño de familias restantes para texturas fuertes y para texturas suaves se presenta en la Tabla 4 y en la Figura 10.

PSNR con Imágenes de Texturas Fuertes a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	47,3063	47,3464	48,0217	50,3549	54,1880	56,0647	56,4462
Symlet (sym4)	47,3324	47,3604	48,0320	50,4291	54,2050	**56,2923**	**56,7407**
Coiflet (coif4)	**47,7385**	**47,7481**	**48,0773**	50,5191	53,5733	55,9362	56,7255
Biortogonal (bior4.4)	47,5508	47,5803	48,2507	**50,6185**	**54,4050**	56,1837	56,6205

Tabla 3. PSNR de familia de Wavelets con texturas fuertes a blanco y negro

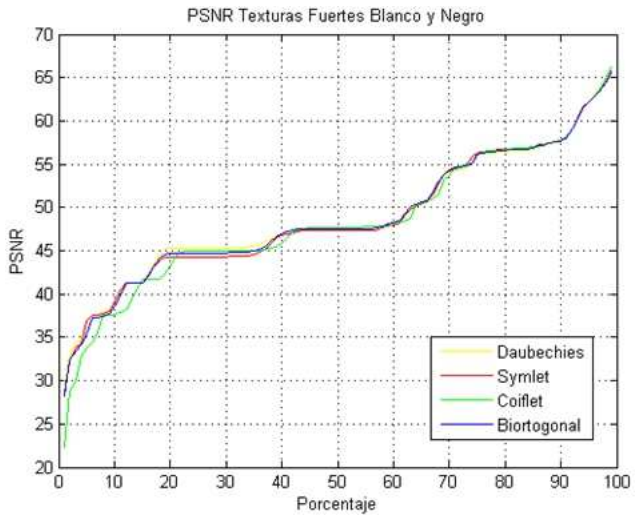

Figura 9. PSNR Imágenes texturas fuertes a blanco y negro

PSNR con Imágenes de Texturas Suaves a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	58,6984	59,6555	60,7129	**61,6660**	62,7697	63,8674	65,3776
Symlet (sym4)	58,7099	**59,6686**	**60,7143**	61,6629	**62,8091**	**63,9001**	**65,3943**
Coiflet (coif4)	**58,8587**	59,5316	60,6602	61,5936	62,7749	63,7975	65,1546
Biortogonal (bior4.4)	58,1485	59,1030	60,1683	61,1255	62,2957	63,4133	64,9049

Tabla 4. PSNR de familia de Wavelets con texturas suaves a blanco y negro

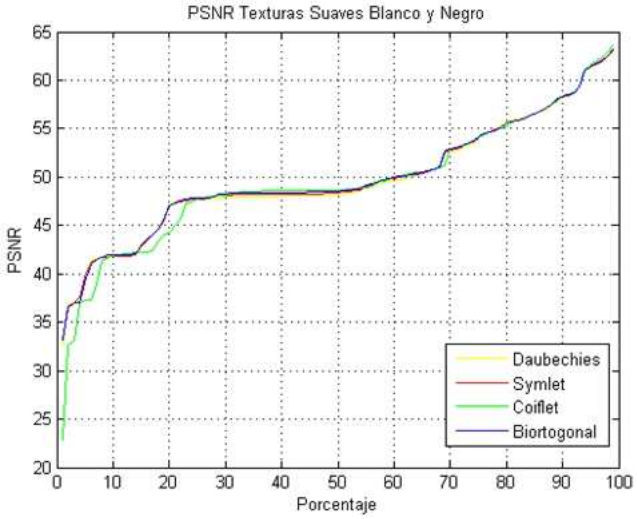

Figura 10. PSNR Imágenes texturas suaves a blanco y negro

B. Compresión mediante Wavelet Packet

Se realizó el mismo análisis que en la sección 5.1 para determinar cual familia Wavelet Packet es la que presenta el mejor desempeño. En la Tabla 5 y Figura 11 podemos ver el resultado del MSE para estas familias con imágenes de texturas fuertes. Mientras que para texturas suaves se muestra en la Tabla 6 y Figura 12.

MSE con Imágenes de Texturas Fuertes a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	**0,0228**	**0,0207**	**0,0155**	**0,0089**	**0,0057**	**0,0042**	**0,0037**
Symlet (sym4)	0,0232	0,0211	0,0694	0,0091	0,0421	0,0044	**0,0037**
Coiflet (coif4)	0,0245	0,0221	0,0190	0,0107	0,0063	0,0046	0,0056
Biortogonal (bior4.4)	0,0290	0,0267	0,0202	0,0103	0,0064	0,0048	0,0042

Tabla 5. MSE Wavelet Packet con texturas fuertes en blanco y negro

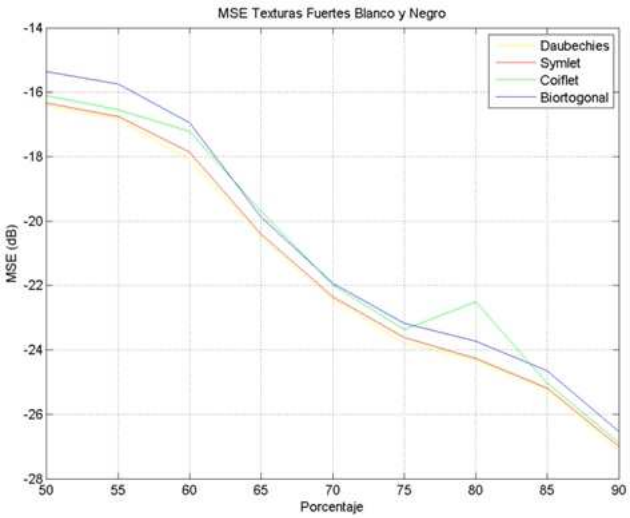

Figura 11. MSE Wavelet Packet con imágenes de texturas fuertes

MSE con Imágenes de Texturas Suaves a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	0,0313	**0,0256**	**0,0192**	**0,0142**	0,0102	**0,0073**	**0,0054**
Symlet (sym4)	0,0322	0,0262	0,0198	0,0146	0,0102	0,0074	**0,0054**
Coiflet (coif4)	**0,0291**	0,0258	**0,0192**	0,0143	**0,0099**	**0,0073**	0,0055
Biortogonal (bior4.4)	0,0360	0,0298	0,0224	0,0164	0,0115	0,0082	0,0061

Tabla 6. MSE Wavelet Packet con texturas suaves en blanco y negro

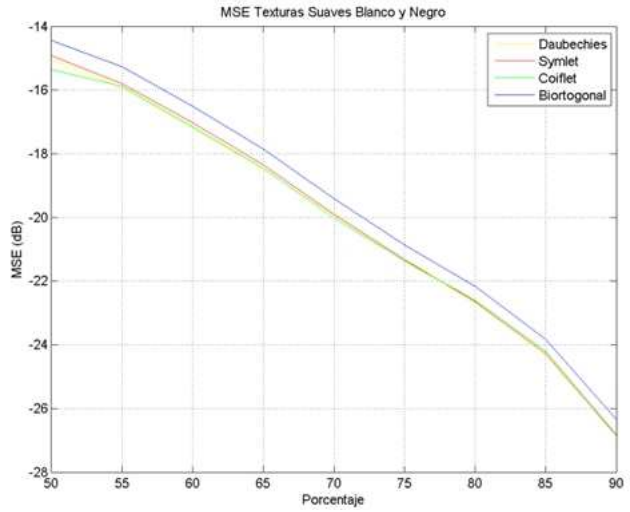

Figura 12. MSE Wavelet Packet con imágenes de texturas suaves

Los resultados obtenidos de las medidas PSNR para imágenes con texturas fuertes se muestran en la Tabla 7 y Figura 13, mientras que para las imágenes con texturas suaves se muestra en la Tabla 8 y Figura 14.

PSNR con Imágenes de Texturas Fuertes a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	**59,780**	**60,203**	**61,153**	**63,011**	**64,724**	**67,303**	66,547
Symlet (sym4)	59,729	60,150	58,899	62,933	63,069	65,952	**66,640**
Coiflet (coif4)	59,592	60,059	60,646	62,335	64,414	65,725	65,256
Biortogonal (bior4.4)	58,524	58,896	59,753	62,302	64,227	65,459	66,038

Tabla 7. PSNR Wavelet Packet con texturas fuertes en blanco y negro

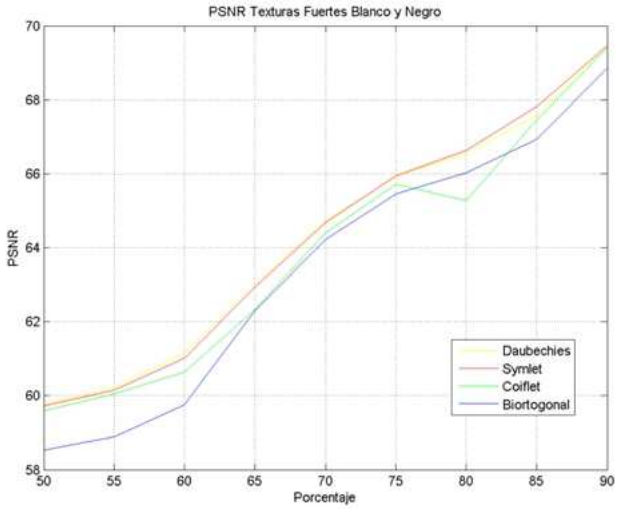

Figura 13. PSNR Wavelet Packet con imágenes con texturas fuertes

PSNR con Imágenes de Texturas Suaves a Blanco y Negro							
Wavelets	Porcentaje de Compresión						
	50	55	60	65	70	75	80
Daubechies (db4)	58,6984	59,6555	60,7129	**61,6660**	62,7697	63,8674	65,3776
Symlet (sym4)	58,7099	**59,6686**	**60,7143**	61,6629	**62,8091**	**63,9001**	**65,3943**
Coiflet (coif4)	**58,8587**	59,5316	60,6602	61,5936	62,7749	63,7975	65,1546
Biortogonal (bior4.4)	58,1485	59,1030	60,1683	61,1255	62,2957	63,4133	64,9049

Tabla 8. PSNR Wavelet Packet con texturas suaves en blanco y negro

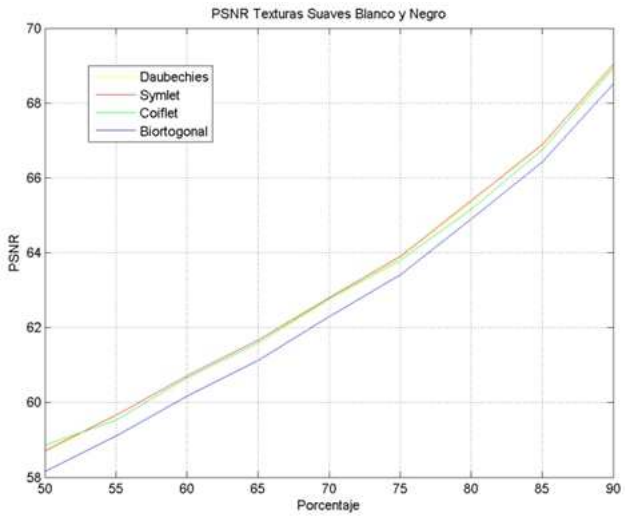

Figura 14. PSNR Wavelet Packet con imágenes con texturas suaves

En base a los resultados mostrados tanto para las familias Wavelet y Wavelet Packet se retiró del análisis a las familias de Coiflet y Biortogonal puesto que las familias de Daubechies y Symlet presentan un mejor desempeño tanto para Wavelet como Wavelet Packet; por lo que se complementaron estos resultados mediante la medida subjetiva MOS, para determinar la percepción que tiene el usuario final en base a la Tabla 9, ante imágenes comprimidas al 5% con las familias antes mencionadas.

Escala	Calidad	Deterioro
5	Excelente	Imperceptible
4	Buena	Perceptible pero tolerable
3	Media	Ligeramente molesto
2	Pobre	Molesto
1	Mala	Muy molesto

Tabla 9. Escala de Valoración MOS

El promedio de valoración MOS obtenida de cuarenta y un personas que no poseen mayores conocimientos sobre la teoría de compresión de imágenes y la Transformada Wavelet, se muestra en la Tabla 10.

	Daubechies	Symlet	WP DB	WP SYM
Imágenes Texturas Fuertes	3,7073	3,9512	2,4390	2,2683
	4,0000	4,2195	2,5122	2,2683
	4,0488	4,1707	3,1220	2,8049
	4,0000	4,1220	2,6585	2,7561
	3,7805	3,7561	3,0000	2,9756
Imágenes Texturas Suaves	4,0732	4,0244	3,0732	3,0000
	3,2195	3,3658	1,3415	1,6829
	4,0732	4,2683	2,5366	2,4878
	3,5610	3,9025	1,5122	1,9756
	3,6341	3,6829	1,9756	1,4878
Promedio	**3,8098**	**3,9463**	**2,4171**	**2,3390**

Tabla 10. Resultados Pruebas MOS

De acuerdo a estos resultados las familias que mejor se comportan son: Wavelet Symlet que posee una valoración

de **3,9463** cercano a cuatro, lo que indica que posee como características: calidad buena y deterioro perceptible pero tolerable; y Wavelet Packet de Daubechies con una valoración de **2,4171,** la cual se encuentra más cercana a la valoración de tres, marcando como características: calidad media y deterioro ligeramente molesto**.**

VI. CONCLUSIONES

En base a los óptimos resultados obtenidos en las pruebas objetivas MSE y PSNR podemos observar que el desempeño tanto de Wavelets como Wavelet Packet es muy bueno teniendo en cuenta que se está realizando una compresión tipo hard, frente a porcentajes muy bajos de retención de energía; debido a que para este análisis las Wavelets concentran la mayor parte de energía en los primeros niveles de descomposición.

Para toda aplicación que incluya imágenes la percepción del usuario final es muy importante, es por esto que de acuerdo a las medidas subjetivas MOS realizadas, las Wavelets tienen una gran aceptación obteniendo una valoración para la Wavelet de Symlet de 3,94 y Wavelet Packet de Daubechies de 2,41; lo cual es muy bueno teniendo en cuenta que se mantuvo únicamente el 5% de la información. Es por esto que las Wavelets poseen un buen comportamiento reteniendo porcentajes bajos de energía**,** mejorando su calidad de compresión al aumentar la resolución de la imagen.

Una clara ventaja de las Wavelets Packet es que se puede retirar niveles completos de coeficientes sin que esto afecte mayormente a la imagen; a diferencia que con las Wavelets ya que su remoción de energía afecta directamente a todos los niveles de la imagen; un claro ejemplo de esto es que el MSE promedio obtenido de veinte imágenes con texturas fuertes en escala de grises para la Wavelet de Symlet al 55%, es de 0,2471 dB, mientras que para la Wavelet Packet de Symlet es de 0,0211 dB, un valor mucho menor al de las Wavelets.

En base a las pruebas realizadas con la compresión tipo hard, se pudo observar que las Wavelets a porcentajes bajos de compresión empiezan a mostrar problemas en los bordes marcados de la imagen.

Ciertamente aunque el desempeño de las Wavelets Packet es mejor que las Wavelet**,** estas exigen una mayor capacidad de procesamiento al poseer el doble de información; es decir su costo computacional es superior al de las Wavelets ya que exige mayor número de operaciones; por lo que se debe tener en cuenta el tipo de aplicación y si ameritaría el uso de la misma**.**

REFERENCES

[1] Fourier, *Transformada de Fourier*. [Citado: 07 de Septiembre de 2011]; http://www.fiec.espol.edu.ec.

[2] D. Gabor, *Theory of communications*. Jour. Inst. Elec. Eng. Londres. 93:429-457. 1946.

[3] R. de Castro Fernández, *Análisis de la teoría de ondículas orientada a las aplicaciones en ingeniería eléctrica: Fundamentos*, E.T.SI. Industriales. Madrid, 2002. [Citado: 25 de Agosto de 2011]; http://www.uta.cl/hdiaz/Documents/Fundamentos_Wavelets.pdf.

[4] S. Mallat, *A Wavelet tour of signal processing*, Academic Press. 1998. [Citado: 20 de Septiembre de 2011]; http://cas.ensmp.fr/čhaplais/Wavetour_presentation/Wavetour_presentation_US.html.

[5] Avaluació de la Qualitat de Video Sense Referencia, *pags. 22,23*. [Citado: 23 de Octubre de 2011]; http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12502/1/69741.pdf.

Biografía

Lorena Paola Pazmiño Altamirano. Nació en Ambato-Ecuador el 08 de Julio de 1988. Sus estudios primarios los realizó en la escuela "CEBLAG" y sus estudios secundarios los realizó en la Unidad Educativa San Francisco de Sales, alcanzando el título de Bachiller en Ciencias. Obtuvo su título de Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE. Desarrolló su proyecto de grado para complementar los proyectos de investigación dentro de la Universidad.