



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERA ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DEL RUIDO EN AUDIO SISTEMA DAB
MEDIANTE TRANSFORMADA WAVELET**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: José Alberto Altamirano Albán
Ericka Michelle Urjiles Enriquez
TUTOR: Luis Germán Oñate Cadena

Quito-Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Alberto Altamirano Albán con documento de identificación N° 1721253241 y Ericka Michelle Urjiles Enriquez con documento de identificación N° 1103989685; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 01 de abril del año 2022

Atentamente,



José Alberto Altamirano Albán
1721253241



Ericka Michelle Urjiles Enriquez
1103989685

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, José Alberto Altamirano Albán con documento de identificación No.1721253241 y Ericka Michelle Urjiles Enriquez con documento de identificación No. 1103989685, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis de reducción del ruido en audio sistema DAB mediante transformada Wavelet”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de abril del año 2022

Atentamente,



José Alberto Altamirano Albán
1721253241



Ericka Michelle Urjiles Enriquez
1103989685

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Germán Oñate Cadena con documento de identificación N°1712157401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DEL RUIDO EN AUDIO SISTEMA DAB MEDIANTE TRANSFORMADA WAVELET, realizado por José Alberto Altamirano Albán con documento de identificación N° 1721253241 y por Ericka Michelle Urjiles Enriquez con documento de identificación N° 1103989685, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de abril del año 2022

Atentamente,



Ing. Luis Germán Oñate Cadena, Msc.

1712157401

Análisis de reducción del ruido en audio sistema DAB mediante transformada Wavelet

José Alberto Altamirano Albán
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
jaltamiranoa@est.ups.edu.

Ericka Michelle Urjiles Enriquez
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
eurjilese@est.ups.edu

Luis Germán Oñate Cadena
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
lonatec@ups.edu.ec

Resumen – Este artículo examina cómo en los sistemas de comunicación el ruido ocasiona un deterioro a la señal transmitida donde se demuestra en la salida del receptor de radio digital, provocado por la interferencia de señales externas causando la pérdida de información, con el objetivo de lograr la reducción del ruido en una señal de audio se desarrolló un modelo en el sistema DAB (Digital Audio Broadcasting) utilizando un filtro basado en la DWT (Transformada wavelet discreta) con la ondícula Daubechies db4. Se compara la señal de audio que ha pasado por el canal de comunicaciones y la señal filtrada para determinar la calidad de la señal después del filtrado mediante el error cuadrático medio (MSE) y la relación entre la energía consumida por bits a la densidad de ruido (E_b/N_0). Además, se ha calculado el BER (Tasa de Bit Errado) y la relación señal a ruido (SNR) lo cual indica que la señal de audio es bastante clara para la percepción del oído humano, obteniendo un porcentaje de error 5.1403% entre la señal de origen y la señal filtrada.

Palabras claves – Sistema de comunicación, ruido, transformada wavelet discreta, sistema DAB, daubechies db4

Abstract – This article examines how in the communication systems the noise causes a deterioration to the transmitted signal, where is demonstrated in the receiver output of digital radio, caused by the interference of external signals causing loss of information, with the objective of get noise reduction in an audio signal a model was developed in the DAB system (Digital Audio Broadcasting) using a filter based

on the DWT (Discrete Wavelet Transform) with the Daubechies db4 wavelet. The audio signal is compared that has passed by the communications channel and the filtered signal to determine the quality of the signal after filtering by the mean square error (MSE) and the relationship between the energy consumed per bit to the noise density (E_b/N_0). In addition, the BER (Bit Error Rate) and the signal to noise ratio (SNR) have been calculated, which indicates that the audio signal is quite clear for the perception of the human ear, getting an error rate of 5.1403% between the source signal and the filtered signal.

I. INTRODUCCIÓN.

El ruido se ha definido de varias maneras dentro de nuestro entorno, como una señal desagradable, señal no deseada, señal perturbadora para el receptor en un sistema de telecomunicaciones provocados por varias fuentes eléctricas, [1] permitiendo interpretar como ruido a fenómenos tales como intermodulación o interferencias la calidad de señal de manera aleatoria. [2] Normalmente para minimizar el ruido se utiliza la reorientación adecuada de los distintos componentes y conexiones de un sistema de telecomunicaciones donde en gran medida se lo puede controlar mediante un diseño adecuado del sistema. [3] El sistema DAB es un estándar que permite mejorar la calidad de audio por la comprensión de los datos ingresados al pasar por el multiplexor, [4] dónde se emite información digital

en paquetes de bits dando paso al receptor con una menor cantidad de ruido. [5] Al estar el sistema en presencia de ruido este puede dañar parte de la información de bits y corromper la señal recibida. [6] Se utiliza métodos de filtrado tradicional para disminuir el ruido introducido por el canal de comunicaciones. [2]

El presente artículo propone la implementación de un sistema DAB en Simulink/Matlab utilizando la transformada wavelet Daubichies para reducir el ruido que ingresa en el canal de comunicaciones sobre la señal de audio, comparando la señal de sonido filtrada y la señal de sonido no filtrada y así determinar el grado en que el ruido ha disminuido al utilizar la transformada wavelet discreta.

En la sección II se describe el ruido en el sistema DAB, la transformada wavelet discreta, utilizando la ondícula Daubechies para el filtrado y los procesos matemáticos de la transformada. En la sección III se explica el modelo de la simulación del sistema DAB y la transformada wavelet discreta para filtrar el ruido. En la sección IV se llevó a cabo un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la relación al porcentaje del error cuadrático medio MSE, así como el BER, SNR y Eb/No.

II. RUIDO DAB Y WAVELET

A. Ruido DAB

La radiodifusión digital donde la cobertura del sistema DAB puede ser local, regional, nacional y supranacional desde el estudio de radio hasta el receptor en el dominio digital [7] está diseñado para funcionar en rango de frecuencia de 30 MHz a 300 MHz, la distribución de la estación principal de este sistema puede ser mediante satélite, transmisiones terrestres o por cable donde el receptor detecta automáticamente. [8] La atenuación del ruido para el sistema DAB es un proyecto europeo que permite una transmisión de señales de audio en calidad reduciendo el ruido, pero hay que considerar que en un sistema de audio se presentan pérdidas de señal

de información dentro de un entorno y que debe ser tomado en cuenta en la simulación.[9] El sistema DAB nos proporciona ventajas donde trabajan en redes de frecuencia única, permite transmitir audio y datos simultáneamente, con mayor calidad de audio y menos interferencias las cuales han hecho del sistema DAB uno de los más eficientes [10]

B. Wavelet discreta

La transformada wavelet discreta es un método analítico para señales no estacionarias proporcionando una representación de señales temporales o espectrales en tiempo y frecuencia, aplicando varios niveles de descomposición. [11] El filtrado de la señal utiliza un filtro pasa bajos y un filtro pasa altos de descomposición multiplexando el rango de frecuencia que ingresa a la wavelet obteniendo un proceso cíclico por lo que la señal original se descompone a través de una escala de aproximaciones y detalles dividiendo en diferentes bandas de frecuencia reduciendo el ruido de la señal de audio. [12]

La transformada wavelet discreta (DWT) parte de la desfragmentación reiterada de una señal de entrada, asumiendo que, se considera que es la suma aproximada de las dos subseñales de menor resolución. La ecuación 1 y la ecuación 2 representan el filtrado de la señal: [13]

$$(Af)_k = \sum_n f[n]g[n - 2k] \quad (1)$$

$$(Df)_k = \sum_n f[n]h[n - 2k] \quad (2)$$

Donde:

Los operadores A y D corresponde a un paso de análisis de Wavelet, $f[n]$ es la señal de audio original, $g[n]$, $h[n]$ son filtros digitales pasa bajos y pasa altos respectivamente, el factor $2k$ representa los coeficientes de aproximación-detalle del submuestreo.

Eliminar el ruido por completo es imposible, por ende, para la disminución del ruido se utiliza la transformada wavelet discreta la cual tiene

características de ortogonalidad para que la reconstrucción y transformación de la señal sea similares, minimizando así el efecto del ruido.[2]

C. Filtro daubechie

Conocida como wavelet ortogonal se caracteriza por tener un máximo número de desvanecimiento y ser la más empleada en el análisis de señales proporcionando una mejor localización y resolución en frecuencia de aproximación obteniendo un mejor rendimiento en la señal y por presentar menor error promedio.[14]

El análisis de Daubechies se emplea la propiedad de filtro de espejo en cuadratura para llevar a cabo un banco de filtros dividiendo a la señal original en dos bandas, dado esto para la transformada Daubechies db4 posee cuatro wavelets y los coeficientes de la función escala m son:[15]

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, m_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \\ m_2 &= \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, m_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (3)$$

Función de wavelet Daubechies D4:

$$g[i] = m_0 s_{2i} + m_1 s_{2i+1} + m_2 s_{2i+2} + m_3 s_{2i+3}$$

La figura 1 demuestra la forma de onda wavelet para este caso se utilizó una wavelet de cuarto orden o también conocida como Daubechies (db4), por lo general la forma y apariencia de la señal filtrada corresponde a la forma general de la ondícula.

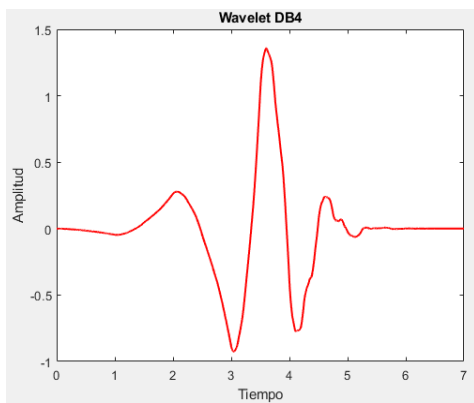


Figura 1. Función Wavelet (db4)

D. Transmisión

El sistema DAB utiliza el sistema de modulación OFDM para codificar el canal de transmisión detectando los errores y poder ser corregidos, además el sistema transmite la información en tiempo y frecuencia donde el tiempo entrelaza toda la información por lo que, si hay alguna perturbación, sea recuperada mientras que con las frecuencias conseguimos que la información se distribuya de forma discontinua en todo el espectro del canal y tener un mejor proceso. [10]

E. Recepción

En este trabajo se enfocó en la recepción de la información mediante la transformada wavelet discreta ya que al realizar el procedimiento del algoritmo de codificación de su-bandas procesan los datos a diferentes escalas o resoluciones, permitiendo mejoras en la recepción del sistema reduciendo la mayor cantidad de ruido en audio.[2]

F. Error cuadrático medio (MSE)

Mide la cantidad de error filtrado de la señal, evaluando la diferencia cuadrática promedio entre la señal de entrada con la filtrada donde y_i es la señal de entrada normalizada y donde \hat{y}_i es la de la filtrada. [16] La ecuación del MSE es la siguiente:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

Donde:

n es el número de puntos de datos, y_i Valor de la señal de origen, \hat{y}_i Valor de la señal filtrada y no filtrada.

G. BER

En la ecuación 4 se observa que el BER es la relación entre número total de bits erróneos recibidos durante un periodo de tiempo, dividido por el número total de bits transmitidos. [17]

$$BER = \frac{\text{bit Erróneos}}{\text{bits Transmitidos}} \quad (4)$$

H. SNR

En la ecuación 5 se detalla que el SNR es la relación entre la potencia de la señal transmitida y la potencia del ruido que la degenera. [18]

$$\text{SNR(dB)} = 20 \log\left(\frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido}}\right) \quad (5)$$

I. Eb/No

Relación entre la energía consumida por bits a la densidad de ruido, la cual es la energía ocupada por la portadora modulada. [19] En la ecuación 6 se observa la relación Eb y No.

$$\frac{E_b}{N_o} = \text{SNR(dB)} - 10 \log(\log_2(k)) \quad (6)$$

Donde k= número de bits de información por símbolo de entrada

III. MODELO DAB CON FILTRO WAVELET

En el modelado del sistema DAB implementado en Simulink-Matlab se añadió el bloque de la transformada wavelet discreta (DWT), de esta manera, se puede atenuar del ruido del audio recibido en el sistema DAB. Para analizar la transformada wavelet discreta de la señal obtenida en el estándar DAB es necesario tener en cuenta la comparación entre la señal no filtrada y la señal filtrada [20]

El bloque del sistema de reducción de ruido se conecta al bloque descrambles permitiendo el paso de la señal no filtrada. La salida de este bloque es una señal de datos tipo double esta se conectará en el bloque speaker para así reproducir el audio filtrado lo que conlleva hacer una conversión a de la variable tipo double a una variable de tipo uint8.[21]

Para el diseño de diagrama de un sistema DAB de audio se utilizará los distintos bloques que se pueden observar en la figura 1, el bloque Multimedia interpretará muestras de audio desde un archivo multimedia y emite la señal en distintos tipos de datos y amplitudes, estos pueden ser de tipo double, single, uint8, int16, [22] el bloque Scrambler-Descrambler permite la codificación o decodificación de la señal de audio original. Utilizado código polinomial $P(x) = x^9 + x^5 + 1$ obteniendo una mejor dispersión de energía. [23] el bloque Convolutional Encoder puede aceptar entradas de longitud variable durante la simulación codificando serie de vectores de entrada y salida binarios y a su vez procesando varios símbolos a la vez, [24] el bloque Convolutional Interleaver-deinterleaver permuta los símbolos en la señal de entrada internamente utilizando registros de desplazamiento, [25] el bloque DQPSK Modulator-Demodulator es un tipo de modulación y demodulación eligiendo una rotación de $\pi/4$ realizando cambios desde el orden de π , $\pi/2$, 0 y $-\pi/2$ permitiendo que la señal transporte hasta el doble de información en comparación con la PSK, [26] y por último el bloque OFDM Modulator-demodulator Realiza la modulación - demodulación multiprotadora de datos transmitidos codificados-decodificados y modulador-demodulador como una combinación de señales de banda estrecha ortogonales, conocidas como subportadoras con una longitud de FFT es de 16424. [27]

Por otro lado, para la salida AWGN se agrega ruido gaussiano blanco a la señal para lograr un nivel de potencia de señal a ruido deseado, mientras menor sea el valor en SNR mayor será el valor de interferencia que entra al sistema. [28]

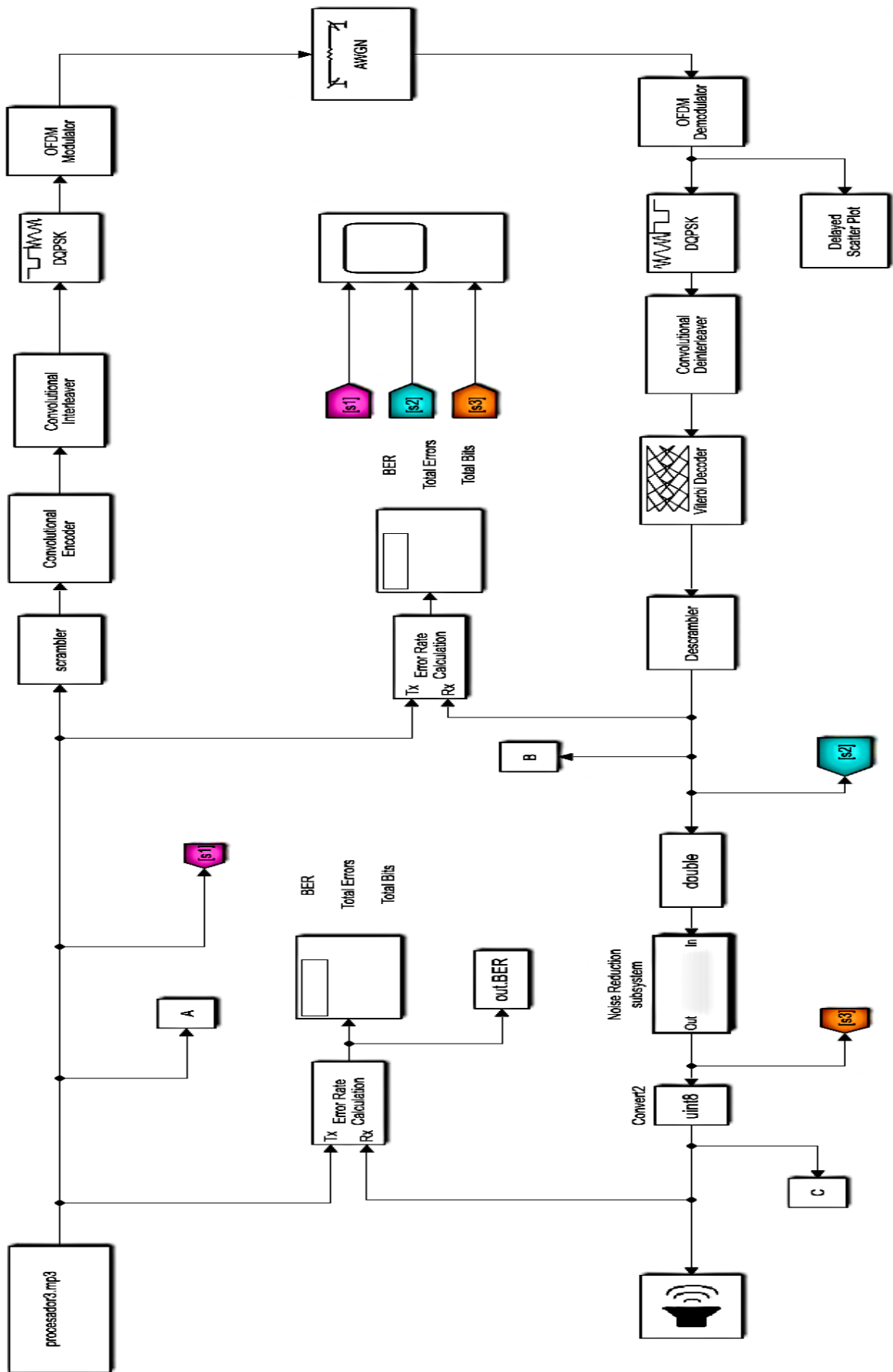


Figura 2. Modelo de reducción de ruido en audio sistema DAB mediante transformada wavelet implementado en el software Simulink

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Sistema DAB opera con un ancho de banda de 1.5 MHz donde la información es transmitida por varias portadoras de 16424 por medio del multiplexado de OFDM [28]. Mediante el bloque AWG se varió el SNR de 3 a 9 dB para este rango de señales se realiza un muestreo de error de cálculo que está dentro de los valores del 5% permitido en las telecomunicaciones [29], en este caso se trabajó con un SNR de 7 dB ya que calculando el Error Cuadrático Medio (MSE) es de 5.1403% del audio original en comparación con la señal filtrada observando una mejor calidad de audio sin interferencias.

El resultado dado de este análisis, se indica en la Tabla 1 de los valores de SNR utilizados correspondientes al valor del MSE para cada señal filtrada y señal no filtrada, obteniendo el mejor valor para el MSE filtrado con un SNR de 7 dB el cual es óptimo al tener un MSE filtrado no mayor del 5% puesto que relativamente se tiene menor pérdida de información en comparación al resto de valores que son muy cercanos al de 7dB.

TABLA 1

Error Cuadrático Medio (MSE) de la señal filtrada y la señal de origen

SNR	MSE NO FILTRADO %	MSE FILTRADO %
3	44.7182	2.4634
4	43.2183	2.5925
5	41.5346	3.4219
6	40.6009	4.5791
7	33.3052	5.1403
8	33.3052	5.2843
9	29.7691	5.3191

En la figura 3 la señal de color fucsia muestra la señal original de sonido a la entrada del sistema, la de color magenta es la señal no filtrada conformada por la señal original al ingreso del canal AWG contaminado con el ruido lo que genera la perdida de la información mientras tanto la señal de color naranja indica la señal filtrada donde existe una mejor calidad de audio al pasar por el bloque de la transformada wavelet discreta.

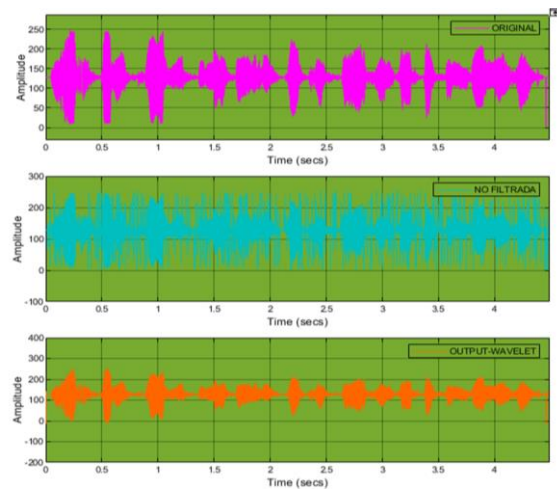


Figura 3. Señales de audio obtenidas en la simulación en orden de señal original, no filtrada y filtrada

Por otro lado, consideraremos la tasa de error de bits (BER) en comparación con la energía consumida por bits a la densidad de ruido (E_b/N_0), la figura 4 nos indica los valores dados del BER en el eje "Y" mientras que en el eje "X" los valores del (E_b/N_0) medios obtenidos por el bloque cálculo de errores, para los valores de E_b/N_0 el más alto es de 6.76 y el más bajo es de 3.84 producidos por el canal de comunicaciones, mientras que para el BER el valor más alto de la señal filtrada es de 0.968881 y el valor más bajo es de 0.960398 logrando reducir los errores en la señal final es decir se obtuvo menos valor de ruido en comparación con la señal original.

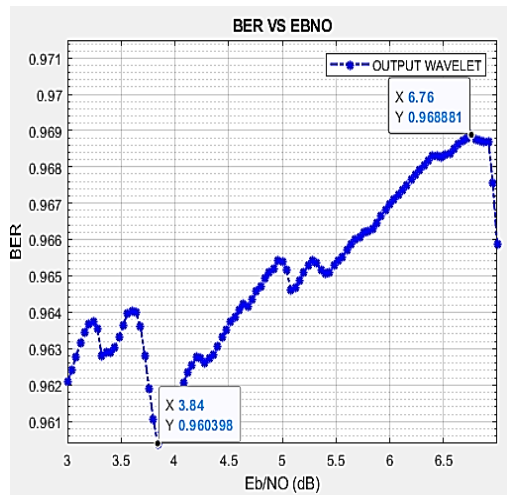


Figura 4. BER vs Eb/No de la señal filtrada

En la figura 5, la curva de color rojo BER vs SNR donde se tiene valores dados del BER en el eje “Y” mientras que en el eje “X” los valores del SNR, para los valores BER el valor más alto de la señal filtrada por la transformada wavelet discreta es de 0.968881 y el valor más bajo es de 0.960398 al parametrizar el canal AWG en 7 dB se obtiene los valores de SNR siendo el valor más alto de 6.7497 dB y el más bajo es de 3.8297 dB.

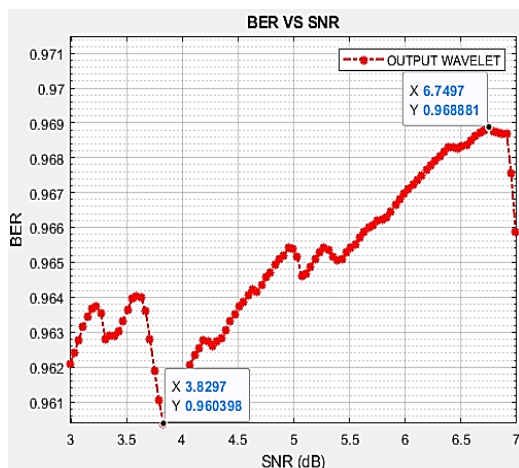


Figura 5. BER vs SNR de la señal filtrada

V. CONCLUSIÓN

El sistema DAB proporciona un mejor procesamiento y una mejor calidad de sonido, al analizar los resultados de la simulación del sistema DAB con filtro wavelet discreta (DWT) puesto que

esta tiene mejor respuesta computacional gracias al ajuste de datos con menos coeficiente resaltando entre las técnicas de atenuación de ruido con mejores resultado ya que maneja un algoritmo de codificación por sub-bandas permitiendo la descomposición de audio haciendo posible la reconstrucción de la señal original con un mejor procedimiento al ser disminuido el ruido en la señal de audio donde el MSE tiene un valor de 5.1403% usando la wavelet discreta Daubechies db4 lo cual indica que la señal de audio es bastante clara para la percepción del oído humano. Por otro lado, se tiene niveles en relación al BER máximo de 0.968881 dB con el Eb/No 6.76 dB y el SNR 6.7497 dB indicando un ruido menos perceptible lo cual demuestra lo ventajoso que es utilizar el filtrado mediante transformada Wavelet con Daubechies de orden cuatro, concluyendo que la señal disminuyo la cantidad de ruido introducido por el canal de trasmisión.

VI. REFERENCIAS

- [1] Granda, C. E. A. (s. f.). Ruido en Telecomunicaciones. Prezi.Com. Recuperado 31 de enero de 2022, de <https://prezi.com/dp08fumf1xof/ruido-en-telecomunicaciones/>
- [2] Moyano, J. M. D. (2005). Ruidos e Interferencias: Técnicas de reducción. Santander: Universidad de Cantabria.
- [3] Vega, C. P., & López, A. C. (2007). Sistemas de telecomunicación. Ed. Universidad de Cantabria.
- [4] Guías Prácticas.COM. (2014, 25 noviembre). DAB (Digital Audio Broadcasting) | Guías Prácticas.com. Guías Prácticas.com | Todas las respuestas en un click. Recuperado 31 de enero de 2022, de <https://www.guiaspracticacom.com/radios-wifi/dab-digital-audio-broadcasting>
- [5] Guillén Carpio, P. X. (2008). Estudio de factibilidad para la implementación de radio digital DAB (Digital Audio Broadcasting) para la emisora Súper 9, 49 FM. de la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis).
- [6] M. Kuyucu, Digital Audio Broadcasting (DAB) as a tool of future radio, Ankara: Gece Akademi, 2019
- [7] Gimeno Muñoz, N. (2013). Adaptación de una emisora FM a DAB (Digital Audio Broadcasting) (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

- [8] García Artiles, J. (2015). Instalación De Ict Para Edificio De 108 Viviendas En Almatriche.
- [9] Uriarte Ramírez, I. (2008). Evaluación del desempeño de un sistema de radio digital (DAB) utilizando un código de bloque espacio tiempo (STBC).
- [10] Brignton. (2002, octubre). SISTEMA DAB. Recuperado 14 de diciembre de 2021, de <http://www.brignton-sonfer.es/descargas/SISTEMA%20DAB.pdf>
- [11] 3.1.- Características de las emisiones DAB. | ICTV03.- La señal de radiodifusión. Segunda parte: TV Satélite, Radio FM y DAB, magni. . . (s. f.). DAB. Recuperado 1 de febrero de 2022, de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV03/es_IEA_ICTV03_Contenidos/website_31_caracteristicas_de_las_emisiones_dab.html
- [12] Nieto, N., & Orozco, D. M. (2008). El uso de la transformada wavelet discreta en la reconstrucción de señales senosoidales. *Scientia et technica*, 14(38), 381-386.
- [13] Yamunaqué Chunga, E. J. (2017). Aplicación de la Transformada Wavelet a señal de baja Potencia en Entorno de Matlab.
- [14] Larotta, B. D. M. (2003). Aplicación de la transformada Wavelet en la descomposición temporo-frecuencial de señales de electroencefalografía. *Biblat*. Recuperado 28 de enero de 2022, de: <https://biblat.unam.mx/es/revista/umbralcientifico/articulo/aplicacion-de-la-transformada-wavelet-en-la-descomposicion-temporo-frecuencial-de-senales-de-electroencefalografia>
- [15] Onda de Daubechies. (s. f.). Daubechies. Recuperado 2 de febrero de 2022, de https://wikioes.icu/wiki/Daubechies_wavelet#Transform,_D4
- [16] Colom, R. J., Gadea, R., Sebastia, A., Martinez, M., Ballester, F., & Herrero, V. (2001). Implementación de la Transformada Wavelet Discreta 2D con filtros no separables. In *I Conference on Reconfigurable Computing and Applications*.
- [17] Murillo, V. J. F. (2017, 1 agosto). Biblioteca Digital Universidad de San Buenaventura Colombia: Implementación de la transformada wavelet sobre un sistema embebido para el preprocesamiento de señales unidimensionales no estacionarias. Implementación de la transformada wavelet sobre un sistema embebido para el preprocesamiento de señales unidimensionales no estacionarias. Recuperado 15 de diciembre de 2021, de <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/handle/10819/4278>
- [18] López, D. A. B., & Arias, M. P. M. (2020). Estimación del consumo energético de una vivienda. *Ingenio Magno*, 11(1), 88-97.
- [19] Andreotti, J. I. (2022, 28 enero). ¿Qué es el BER (Bit Error Rate)? BER. Recuperado 28 de enero de 2022, de https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate_21.html
- [20] Ávila Jara, G. P., & Tello Borja, F. X. (2018). Simulación e implementación de un sistema de transmisión digital mimo 4x4 con algoritmo V-BLAST usando los módulos USRP 2920 (Bachelor's thesis).
- [21] Garcés Cevallos, D. P., Mena Tinoco, D. W. (2021). Análisis de la disminución del ruido en el estándar de audio DAB (Bachelor's thesis).
- [22] Decompose signals into subbands with smaller bandwidths and slower sample rates or compute discrete wavelet transform (DWT) - Simulink. (s. f.). MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink. <https://www.mathworks.com/help/dsp/ref/dyadicanalysisfilterbank.html>
- [23] Read video frames and audio samples from multimedia file - Simulink - MathWorks América Latina. (s. f.). Multimedia From. Recuperado 28 de enero de 2022, de https://la.mathworks.com/help/vision/ref/frommultimediafile.html?s_tid=doc_ta
- [24] Scramble-Descramble input signal - Simulink. (s. f.). Descramble Input Signal - Simulink. Recuperado 11 de enero de 2022, de <https://www.mathworks.com/help/comm/ref/descrambler.html>
- [25] Create convolutional code from binary data - Simulink - MathWorks América Latina. (s. f.). e. Recuperado 28 de enero de 2022, de <https://la.mathworks.com/help/comm/ref/convolutionalencoder.html>
- [26] Convolutional Interleaver-Deinterleaver (Communications Blockset). (s. f.). Convolutional Interleaver-Deinterleaver (Communications Blockset). Recuperado 11 de enero de 2022, de <http://matrix.etseq.urv.es/manuals/matlab/toolbox/comm/blk/convolutionaldeinterleave.html>
- [27] ¿Qué es OFDM? (s. f.). MATLAB & Simulink. Recuperado 13 de enero de 2022, de <https://es.mathworks.com/discovery/ofdm.html>
- [28] AWGN Channel - MATLAB & Simulink. (s. f.). MATLAB & Simulink. Recuperado 13 de enero de 2022, de <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/awgn-channel.html>
- [29] Rojas Milla, C. J. (2012). Modelación estadística de canal satelital para aplicación en microsátélites.