

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:  
REDUCCIÓN DEL PAPR EN SEÑALES MULTIPORTADORAS GFDM  
MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING UTILIZANDO  
USRPS COMO TRANSCEIVER**

**AUTORA:  
DIANA ESTEFANIA ZURITA MÁRQUEZ**

**TUTOR:  
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA**

**Quito, febrero del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Diana Estefania Zurita Márquez con documentos de identificación N°1003686878, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación, intitulado: “REDUCCIÓN DEL PAPR EN SEÑALES MULTIPORTADORAS GFDM MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING UTILIZANDO USRPS COMO TRANSCEIVER”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



—

Diana Estefania Zurita Márquez

CI: 1003686878

Quito, febrero de 2019.

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “REDUCCIÓN DEL PAPR EN SEÑALES MULTIPORTADORAS GFDM MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING UTILIZANDO USRPS COMO TRANSCEIVER” realizado por Diana Estefania Zurita Márquez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019.



---

Milton Napoleón Tipán Simbaña

CI: 171358312-6

## DEDICATORIA

*A Dios ya que gracias a toda su fortaleza he logrado culminar con este objetivo tan anhelado. A mis padres por su apoyo incondicional, su amor, sus consejos y por ser mi ejemplo a seguir. A mis hermanos, mi sobrina y a todas aquellas personas que contribuyeron con un granito de arena para el logro de esta etapa de mi vida.*

*Diana Estefania Zurita Márquez*

# REDUCCIÓN DEL PAPR EN SEÑALES MULTIPORTADORAS GFDM MEDIANTE TÉCNICAS DE CLIPPING Y PEAK WINDOWING UTILIZANDO USRPS COMO TRANSCEIVER

## PAPR REDUCTION IN GFDM MULTICARRIERS SIGNALS THROUGH CLIPPING AND PEAK WINDOWING TECHNIQUES USING USRPS AS TRANSCEIVER

Diana Estefania Zurita Márquez<sup>1</sup>, Milton N. Tipán<sup>2</sup>

### Resumen

En el presente artículo se realiza la comparación de técnicas para reducir el PAPR de una señal 5G GFDM dentro de un sistema de transmisión en tiempo real mediante un dispositivo reconfigurable de radio definido por software USRP. Las técnicas de ventana pico (Hanning, Hamming y Kaiser) y de recorte (recorte clásico y recorte suave) fueron analizadas probabilísticamente donde se demuestra que no existe una diferencia significativa entre las técnicas analizadas obteniendo 4.83 dB de mayor reducción para el recorte clásico.

**Palabras Clave:** GFDM, PAPR, Técnicas de recorte, Ventana pico.

### Abstract

The present article is made comparing techniques to reduce the PAPR of a 5G GFDM signal within a real-time transmission system by means of a reconfigurable radio device defined by USRP software. The peak window techniques (Hanning, Hamming and Kaiser) and clipping (classic clipping and soft clipping) were probabilistically analyzed where it was showed that the difference between these techniques are not significant, the classical clipping technique reduces more the PAPR by 4.83dB.

**Keywords:** GFDM, PAPR, Clipping Techniques, Peak windowing.

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador  
Correo electrónico: dzuritam1@est.ups.edu.ec

<sup>2</sup> Miembro, del grupo de investigación GIETEC de la Universidad Politécnica Salesiana, estudiante de doctorado Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: mtipans@ups.edu.ec

## 1. Introducción

La tendencia de hoy en día de un sistema de comunicación es integrar una amplia variedad de servicios de datos que incluyen transmisión de audio, video y servicios multimedia en un mismo canal. Es así que nuevos servicios como: televisión de alta definición (HDTV), video por streaming, juegos en línea, internet de las cosas (Internet of Things, IoT), entre otros; demandan un acceso de datos masivo a través de redes inalámbricas con baja latencia, alta velocidad, flexibilidad y que sean ubicuos. Los sistemas inalámbricos de próxima generación (5G) requieren una mayor velocidad de transmisión que las generaciones anteriores con la capacidad de manejar una mayor carga de tráfico de datos. Por lo cual una gran variedad de nuevos formatos de modulación se han propuesto, los mismos que pueden ser implementados en los sistemas de radio definida por software (Software Defined Radio, SDR) y con ello permitir cubrir las exigencias de los usuarios [1].

Por otra parte, la multiplexación ortogonal por división de frecuencia (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) es la tecnología en casi todos los sistemas actuales de comunicación inalámbrica. Esta cuenta con una serie de ventajas entre ellas facilidad en la implementación y ser robusta frente a canales con desvanecimiento profundo. Sin embargo, tiene algunas deficiencias tales como: la alta radiación fuera de banda (Out Off Band, OOB) y un alto PAPR (Peak-to-Average Power Ratio). Por estas razones es necesario emplear otros formatos de modulación o técnicas que permitan reducirlos [2].

La multiplexación por división de frecuencia generalizada (Generalized Frequency Division Multiplexing, GFDM) es un enfoque multiportador no ortogonal propuesta para comunicaciones inalámbricas 5G. Este esquema de modulación avanzada, debido a su estructura basada en filtros, permite tener lóbulos laterales bajos, además hace uso eficiente del prefijo cíclico (CP) entre dos tramas GFDM, debido a la multiplexación en frecuencia y en tiempo que realiza, por lo que la hace más adecuada que OFDM para 5G. Aunque, el diseño original de GFDM todavía tiene un alto PAPR debido a la

naturaleza inherente de múltiples portadoras del sistema [1] [3].

El PAPR de GFDM puede saturar, fácilmente, al amplificador de potencia de transmisión y causar una degradación en el rendimiento del BER (Bit Error Rate) e incrementar el OOB [4]. Las técnicas de recorte (Clipping) y de ventana pico (Peak Windowing) son usadas con más frecuencia en la práctica para la reducción de PAPR de OFDM ya que son técnicas flexibles y permiten controlar el factor de profundidad de recorte para encontrar un buen equilibrio entre la reducción de PAPR y el BER [5].

En el presente artículo se presenta una comparación de las técnicas de recorte clásico (Classic Clipping), recorte suave (Smooth Clipping) y con las técnicas de ventana pico (Hanning, Hamming y Kaiser) con el objetivo de determinar la efectividad de la reducción de PAPR para GFDM en sistema de transmisión inalámbrica que usa SDR en particular Universal Software Radio Peripheral (USRP).

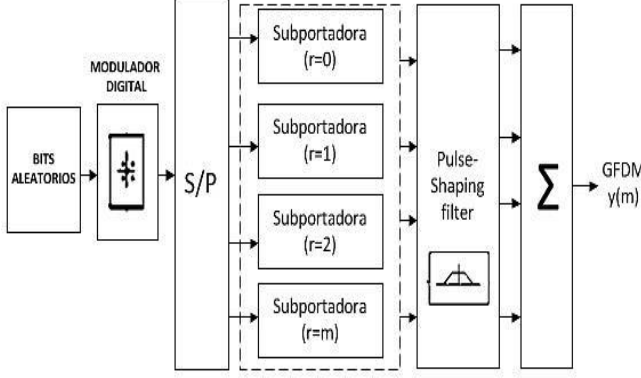
## 2. Modelo del sistema GFDM

La estructura de GFDM está formada por un bloque  $Z$  de muestras, donde las muestras están formadas por  $R$  sub-portadoras que llevan cada una  $Q$  sub-símbolos. Donde el tamaño del bloque está determinado por la ecuación 1. Donde el número de símbolos a transmitir es una restrictiva, debido a que al ser este un valor sumamente alto provocaría un aumento de la latencia de la señal causando un deterioro en el rendimiento del sistema [6].

$$Z = R * Q \quad (1)$$

El modulador GFDM está formado por las siguientes etapas como se muestra en la figura 1. La primera etapa es la generación de bits aleatorios, los cuales son modulados digitalmente en la segunda etapa. En la tercera etapa se realiza una conversión serial a paralelo de los símbolos tomados del modulador digital, luego estos símbolos pasan a la etapa donde se multiplexan los símbolos en  $R$  sub-portadoras de  $Q$  sub-símbolos en tiempo y en frecuencia para constituir una muestra GFDM.

Entonces, se aplica un filtro conformador de pulsos (pulse-shaping filter) a cada subportadora. El proceso de conformación de pulsos (pulse-shaping) se usa para filtrar cada subportadora y reducir el OOB. Los filtros posibles incluyen Raised Cosine (RC), Root Raised Cosine (RRC) o Dirichet [6].



**Figura 1.** Diagrama de Bloques del transmisor GFDM. Elaborado por: Diana Zurita

Finalmente, las señales de la subportadora se suman para construir la forma de onda final  $y(m)$ , la misma que puede expresarse como la ecuación 2 [7].

$$y(m) = \sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{r=0}^{R-1} d_r[q] \widehat{g}_t x(m - qM) e^{j2\pi \frac{r}{M} m} \quad (2)$$

Donde  $d_r[q]$  es un conjunto de símbolos de valor complejo  $r = 0 \dots R - 1$ ,  $q = 0 \dots Q - 1$ , que se distribuyen entre  $R$  subportadoras activas y  $Q$  intervalos de tiempo activos. Donde  $m$  es el índice de muestreo,  $M$  es el total de símbolos muestreados. Cada subportadora tiene forma de pulso con un filtro de transmisión  $\widehat{g}_t x$  y es modulada con una frecuencia central de subportadora  $e^{j2\pi \frac{r}{M} m}$  [7].

## 2.1 PAPR

El PAPR mide las fluctuaciones de la envolvente de la señal multiportadora. Es decir, es la relación entre la potencia máxima y la potencia promedio de la señal de banda base como se muestra en la ecuación 3 [8]:

$$\text{PAPR(dB)} = 10 \log \left\{ \frac{\max[|x(t)|^2]}{E[|x(t)|^2]} \right\} \quad (3)$$

Donde  $E[\cdot]$  es la esperanza matemática y  $x(t)$  es la señal a transmitir [8]. Al tener un alto PAPR se satura al amplificador de potencia del sistema, por tanto para evitar que este funcione en una región no lineal es vital reducir el pico de las señales a transmitir en relación a la potencia promedio. Para reducir el PAPR varias técnicas se han propuesto, entre ellas la técnica de clipping que es la de más fácil implementación, ya que este procedimiento recorta las amplitudes de señal que exceden en un cierto nivel fijo, sin introducir ningún cambio en los parámetros de la señal. Otra técnica es Peak Windowing, la misma que evita las altas fluctuaciones de picos en la señal mediante su filtrado. Esto permite la reducción del OOB, la cual depende de la ventana usada. [9].

## 2.2 Técnica de recorte clásico (classic clipping - cc)

El PAPR se reduce al recortar la señal a un nivel fijo  $k$ . Las muestras en el nivel  $k$  no cambian y la fase de la señal permanece constante. La función de esta técnica está definida por [10]:

$$y(t) = \begin{cases} t, & t \leq k \\ k, & t > k \end{cases} \quad (4)$$

Donde  $k$  representa el nivel de recorte y  $t$  la parte absoluta.

## 2.3 Técnica de recorte suave (smooth clipping - sc)

Este tipo de técnica es aquella que reduce las distorsiones al hacer un recorte con menos profundidad y se define como [10]:

$$y(t) = \begin{cases} t - \frac{1}{l}t, & t \leq \frac{3}{2}k \\ k, & t > \frac{3}{2}k \end{cases} \quad (5)$$

Donde  $t$  es la señal antes de recortar.  $y(t)$  es la señal después del recorte,  $k$  es el nivel de recorte y  $l$  es un valor fijo y está dado por la siguiente ecuación [10]:

$$l = \frac{27}{4} k^2 \quad (6)$$

## 2.4 Técnica de ventana Hanning

La forma más sencilla de reducir el PAPR es cancelar los picos recortando la señal por encima de un umbral, pero genera ángulos agudos en el dominio del tiempo, lo que aumenta el OOB [11]. La ventana de Hanning de longitud  $T$ , puede expresarse en tiempo discreto de la siguiente forma [12]:

$$r(n) = 0.5[1 - \cos(\frac{2\pi n}{T})] \quad (7)$$

Para  $n = 0, 1, \dots, T - 1$ .

## 2.5 Técnica de ventana Hamming

Esta técnica es similar a la anterior, salvo que tiene menores lóbulos laterales en su espectro; para una longitud  $T$  se expresa de la siguiente manera [12]:

$$r(n) = 0.54 - 0.42\cos(\frac{2\pi n}{T}) \quad (8)$$

Para  $n = 0, 1, \dots, T - 1$ .

## 2.6 Técnica de ventana Kaiser

Al aplicar esta técnica se tiene lóbulos laterales más pequeños,  $T_0(\beta)$  es una función Bessel, con un control de atenuación  $\beta$ , para un tamaño de ventana  $H$ , es representada con la ecuación (9) [12]:

$$r(n) = \frac{T_0(\beta \sqrt{1 - (\frac{2n}{H-1} - 1)^2})}{T_0(\beta)} \quad (9)$$

## 3. Configuración experimental

Se generó una señal GFDM en banda base, para lo cual un total de 5100 bits aleatorios fueron mapeados y modulados en 4-QAM. Se usó este número de bits ya que se desea alcanzar un BER mínimo de  $10^{-3}$ . El tipo de modulación 4QAM es escogido ya que cuenta con muchas

ventajas como: mayor inmunidad al ruido y fácil de implementar.

Los símbolos obtenidos del modulador se convirtieron a paralelos y se modularon con el filtro Root Raised Cosine con un parámetro rolloff de 0,5; dicha señal fue generada en Matlab®R2016b. El valor del rolloff es tomado de [6] el cual es un valor adecuado para esta señal.

Luego, se usó la interfaz Labview NXG 3.0, para realizar una co-simulación entre labview y matlab, para generar esta señal en banda pasante y en tiempo real se usó el USRP RIO 2944R que es un radio definido por software, el cual se configuró a una frecuencia de muestreo de 1MSamp/seg de IQ rate, y a una frecuencia de portadora de 915Mhz. Los valores fueron usados para tener una transmisión continua evitando que se llene el buffer y una frecuencia de asignación libre del espectro respectivamente.

Entonces, cada técnica para reducir el PAPR fue aplicada y a través de un cable coaxial COLEMAN RG058 la señal fue enviada, en disposición *back to back*, hacia un CXA Signal Analyzer N9000A, donde se observó el espectro de la señal transmitida, y se calculó la función de distribución acumulada complementaria (CCDF) para cada una de las técnicas antes mencionadas. Dicha configuración se observa en la figura 2.

## 4. Análisis de resultados

Se desarrolló un análisis estadístico por la reducida posibilidad de aparición de picos de potencia en la señal GFDM, para ello se generaron todas las posibles combinaciones de símbolos 4-QAM. Antes de aplicar el PAPR se debe determinar cómo es la función de distribución de la parte real, imaginaria y del valor absoluto de la señal, para así conocer cómo los picos están distribuidos.



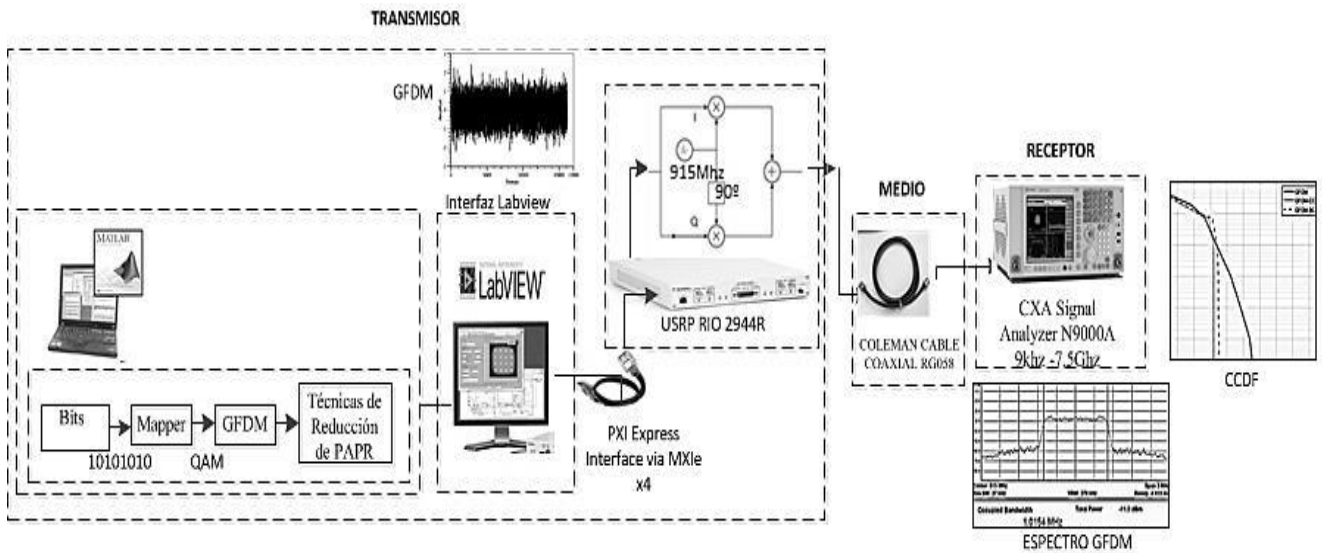


Figura 2. Configuración experimental de la transmisión de una señal 5G GFDM. Elaborado por: Diana Zurita

En Figura 3, en las partes a, b y c se exponen los resultados del ajuste de gráfica de función de probabilidad tanto para el componente real, imaginario y el módulo de la señal GFDM, respectivamente.

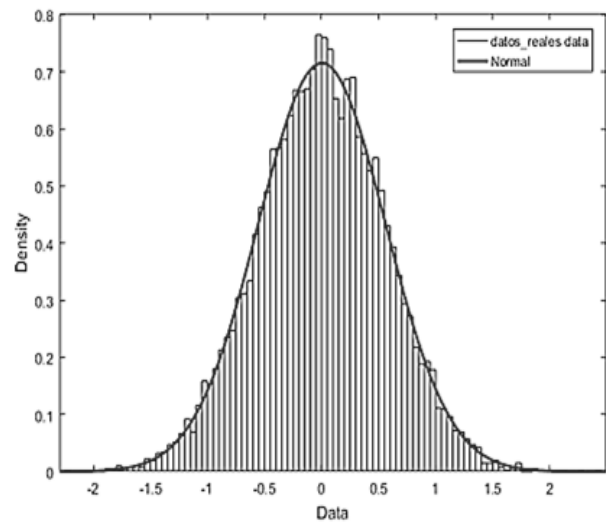
Los datos fueron ajustados a una función de distribución normal con valores de media cero y varianza 0.310548 para la parte real y, 0.320706 para la imaginaria. Lo cual coincide con el resultado que se esperaba ya que se generaron bits con distribución normal.

Para la magnitud de la señal, una distribución Rayleigh fue ajustada con valores de media, aproximadamente, a 0.704 y varianza de 0.135.

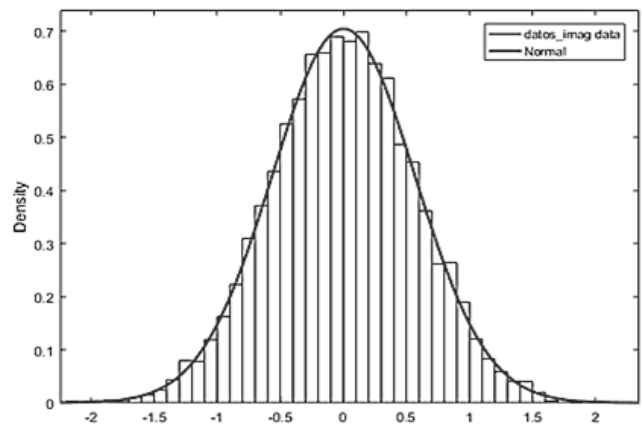
Luego, se desarrolló una evaluación del PAPR a través del uso de la función de distribución acumulada complementaria (CCDF) definida por la siguiente ecuación (10) [7]:

$$CCDF(w) = P_r\{PAPR \geq w\} \quad (10)$$

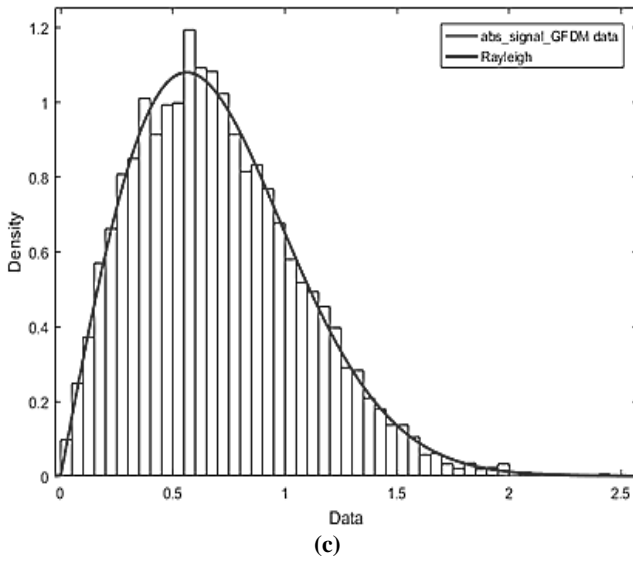
El CCDF determina qué tan probable es que la señal sobrepase un valor  $w$ .



(a)



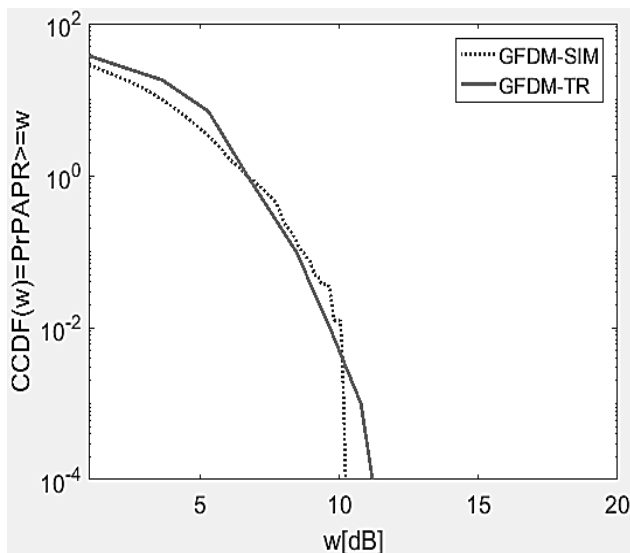
(b)



**Figura 3.** Ajuste de datos GFDM a una función de densidad de probabilidad. (a) Señal real, (b) Señal imaginaria y (c) Señal absoluta. Elaborado por: Diana Zurita

Para cada técnica el CCDF fue calculado, para ello se determinó el nivel de recorte de la señal en 1.22 V correspondiente al percentil 52 de la señal GFDM [10].

Una gráfica con las señales conseguidas en tiempo real (GFDM-TR) y las obtenidas en simulación (GFDM-SIM) son mostradas en la figura 4, donde se observa una gran similitud entre ellas ratificando la validez de las simulaciones.



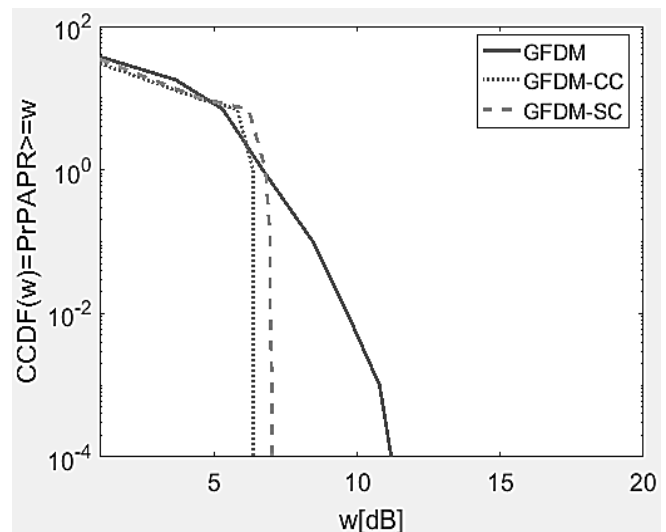
**Figura 4.** Señal GFDM en tiempo real y en Simulación. Elaborado por: Diana Zurita

Entonces, las técnicas de recorte clásico y recorte suave fueron aplicadas a la señal GFDM y el CCDF con referencia  $10^{-4}$  fue medido para

cada una de las técnicas y comparada con la señal original para obtener una mayor precisión en las medidas realizadas, los resultados son mostrados en la Figura 5.

Una reducción en el PAPR de 4.83 dB y 4.16 dB fueron obtenidas para el recorte clásico y profundo, respectivamente en relación a la señal original GFDM a un CCDF de  $10^{-4}$ . Por lo tanto, fue obtenida una reducción mayor en 0.67 dB más que la técnica de recorte clásico.

Luego, se realizó una comparativa usando las ventanas de Hanning, Hamming y Kaiser, con una longitud de ventana de 4 [13]. En la figura 6 se visualiza la gráfica del CCDF en función del PAPR usando las técnicas de ventana pico. Se observa un comportamiento similar entre las ventanas de Hamming y Hanning con una reducción de PAPR de 4.60 dB y 4.61 dB, respectivamente.



**Figura 5.** PAPR con técnicas de recorte clásico y recorte suave. Elaborado por: Diana Zurita

Mientras que con la ventana Kaiser se encontró un valor de PAPR muy aproximado a Hamming y Hanning, y superior en apenas 0.13 dB para un CCDF de  $10^{-4}$ . Este resultado puede explicarse ya que la señal GFDM está multiplexada en tiempo, por lo que el comportamiento de las ventanas es similar debido a que tienen la misma longitud. La ventana de Kaiser fue tomada como la ventana representativa para la comparación con las técnicas de recorte ya que fue la que más redujo el PAPR.

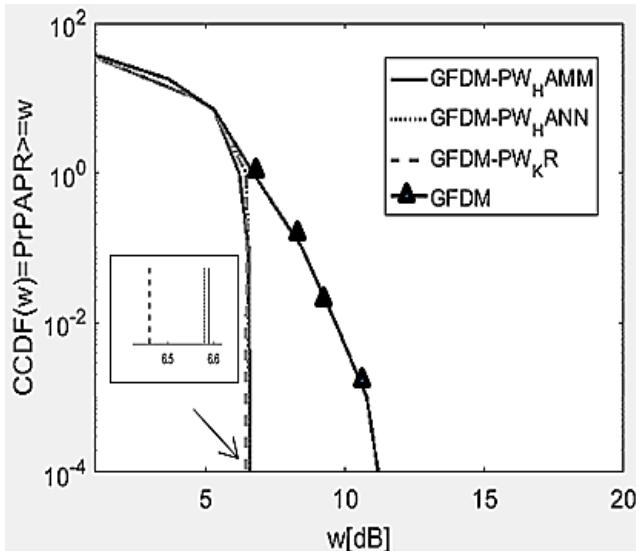


Figura 6. Reducción de PAPR usando ventana pico (haming, hanning y kaiser). Elaborado por: Diana Zurita

Finalmente, se realizó el análisis de la técnica de recorte clásico y la técnica de ventana pico usando la ventana Kaiser, donde se observó que la técnica que reduce más el PAPR es la técnica de recorte clásico con 0.1dB mayor que la técnica de ventana pico (Kaiser), con referencia de CCDF de  $10^{-4}$ . Este resultado es mostrado en figura 7.

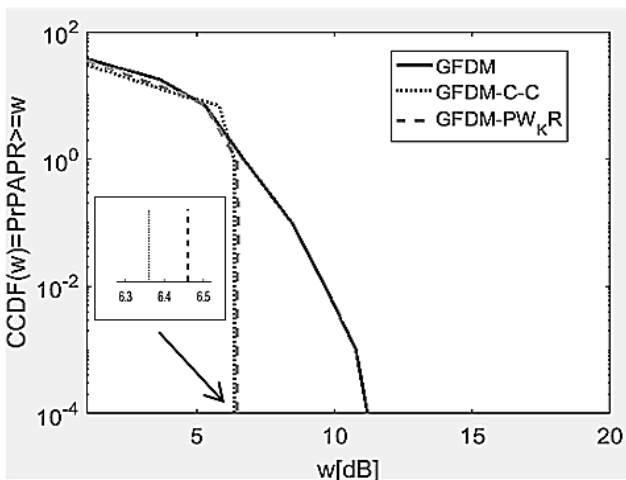


Figura 7. Reducción del PAPR usando recorte clásico y ventana kaiser. Elaborado por: Diana Zurita

Por lo tanto, los resultados determinan que la técnica de recorte clásico tiene, levemente, una reducción mayor del PAPR que la técnica de ventana pico Kaiser para el mismo nivel de recorte. Esto se explica porque la ventana de Kaiser permite superar el nivel de recorte en algunos puntos por su comportamiento. Un recorte grande de los picos de las señal es

esperado por la reducción en 4.83 dB, lo cual se puede ver, claramente, en la Figura 8, la cual muestra la señal original GFDM (Figura 8a) y la señal con recorte clásico (Figura 8b).

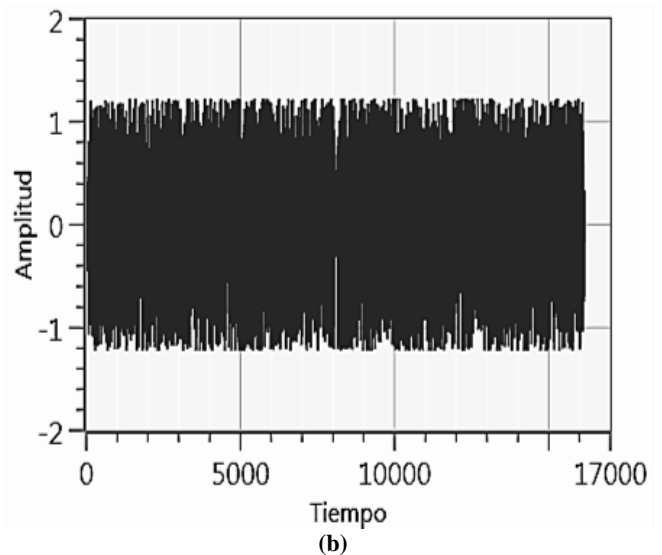
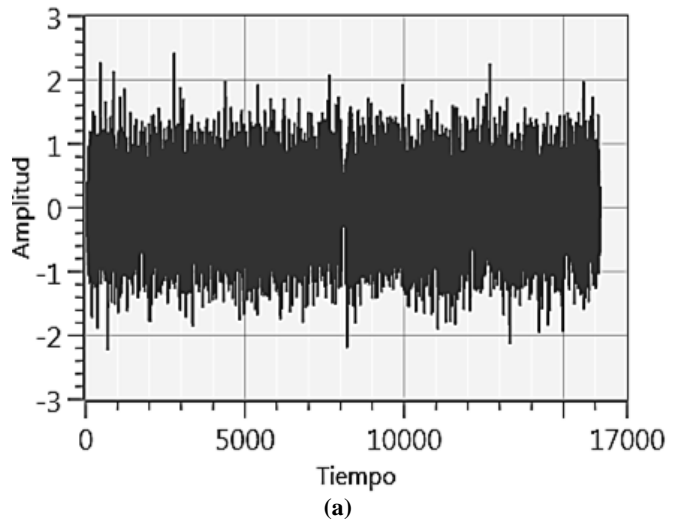


Figura 8. Señal GFDM. (a) Sin técnicas, (b) Recorte Clásico. Elaborado por: Diana Zurita

## 5. Conclusión

Fue realizada una comparación entre las técnicas de recorte (suave y clásico) y 3 tipos de ventanas (Kaiser, Hanning y Hanning) para reducir el PAPR en señales GFDM. Se obtuvo como resultado una reducción de similar valor usando las técnicas de ventana Hamming, Hanning y Kaiser. A pesar de ello la que redujo un poco más fue Kaiser con respecto a las dos tipos de ventana pero fue ligeramente menor a la realizada con recorte clásico ya que ésta es aquella técnica que mayormente disminuye el

PAPR con un valor de 4.83dB con respecto a la señal original GFDM para un CCDF de  $10^{-4}$ . Esta diferencia no es significativa por lo que no existen diferencias relevantes al usar las técnicas de reducción del PAPR en sistemas GFDM. Además se realizó una comparativa de cada una de las señales obtenidas en tiempo real con respecto a las señales en simulación donde se observó una gran similitud entre ellas, logrando con ello un sistema de simulación confiable para señales GFDM.

## Referencias

- [1] Tribble, A. C. (2008). The software defined radio: Fact and fiction. 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium, RWS, 5–8. <https://doi.org/10.1109/RWS.2008.4463414>
- [2] Sendrei, L., Marchevsky, S., Michailow, N., & Fettweis, G. (2014). Iterative receiver for clipped GFDM signals. *2014 24th International Conference Radioelektronika, RADIOELEKTRONIKA 2014 - Proceedings*, (1), 1–4. <https://doi.org/10.1109/Radioelek.2014.6828483>
- [3] Zhang, W., Zhang, Z., Qi, L., & Dou, Z. (2019). Lattice-reduction-aided signal detection in spatial multiplexing MIMO–GFDM systems. *Physical Communication*, 33, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2018.12.015>
- [4] Ortega, A., Fabbri, L., & Tralli, V. (2016). Performance evaluation of GFDM over nonlinear channel. *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2016*, 12–17. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2016.7763423>
- [5] Guel, D., & Palicot, J. (2009). Analysis and comparison of clipping techniques for OFDM peak-to-average power ratio reduction. *DSP 2009: 16th International Conference on Digital Signal Processing, Proceedings*, (Cc), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2009.5201128>
- [6] Johanna Berenice Arguero Tello. (2018, Agosto) Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Online]. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/8917>
- [7] Michailow, N., Gaspar, I., Krone, S., Lentmaier, M., & Fettweis, G. (2012). Generalized frequency division multiplexing: Analysis of an alternative multi-carrier technique for next generation cellular systems. *Proceedings of the International Symposium on Wireless Communication Systems*, 171–175. <https://doi.org/10.1109/ISWCS.2012.6328352>
- [8] Singh, S., Pandey, R., & Yadav, P. (2015). Effect of windowing functions on clipping and filtering based PAPR reduction techniques in OFDM Systems. *2015 International Conference on Signal Processing and Communication, ICSC 2015*, 171–176. <https://doi.org/10.1109/ICSPCom.2015.7150642>
- [9] Singh, R. K., & Fidele, M. (2016). An efficient PAPR reduction scheme for OFDM system using peak windowing and clipping. *Proceedings of 2015 3rd International Conference on Image Information Processing, ICIIP 2015*, 491–495. <https://doi.org/10.1109/ICIIP.2015.7414822>
- [10] Tipán, M. N., Cáceres, J., Jiménez, M. N., Cano, I. N., & Arévalo, G. (2017). Comparison of clipping techniques for PAPR reduction in UFMC systems. *2017 IEEE 9th Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2017, 2017-Janua*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM.2017.8240171>
- [11] Chen, G., Ansari, R., & Yao, Y. (2009). Improved peak windowing for PAPR reduction in OFDM. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/VETECS.2009.5073593>
- [12] Rakshit, H., & Ullah, M. A. (2014). A

comparative study on window functions for designing efficient FIR filter. *2014 9th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2014*, 91–96. <https://doi.org/10.1109/IFOST.2014.6991079>

- [13] Cristian Paul Musuña Rojas and Franco Lenín Caiza Llumiyinga. (2018, Julio) Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. [Online]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15684>