



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE RADIODIFUSIÓN
SONORA FM DIGITAL USANDO UN DISPOSITIVO USRP 2944RIO.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Telecomunicaciones

AUTORES: ANDERSON FABRICIO ZAPATA CHICAIZA

FRANCISCO SAÚL CALAHORRANO GARZÓN

TUTOR: LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Anderson Fabricio Zapata Chicaiza con documento de identificación N°1725279523 y por Francisco Saúl Calahorrano Garzón con documento de identificación N°1723828503; manifestamos que:

Somos las 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, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,



Anderson Fabricio Zapata Chicaiza

1725279523



Francisco Saúl Calahorrano Garzón

1723828503

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

Nosotros, Anderson Fabricio Zapata Chicaiza con documento de identificación N°1725279523 y por Francisco Saúl Calahorrano Garzón con documento de identificación N°1723828503, 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: “Desarrollo de un sistema de transmisión de radiodifusión sonora Fm digital usando un dispositivo USRP 2944RIO” , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Telecomunicaciones, 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, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,



Anderson Fabricio Zapata Chicaiza

1725279523



Francisco Saúl Calahorrano Garzón

1723828503

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N°1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE RADIODIFUSIÓN SONORA FM DIGITAL USANDO UN DISPOSITIVO USRP 2944RIO. realizado por Anderson Fabricio Zapata Chicaiza con documento de identificación N°1725279523 y por Francisco Saúl Calahorrano Garzón con documento de identificación N°1723828503, 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, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc
1717985830

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación se la dedico con profunda gratitud y amor, a mi madre y hermano, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y sostén a lo largo de mi vida. Su amor incondicional y apoyo constante han sido los pilares sobre los cuales he construido mis logros académicos. También quiero expresar mi agradecimiento a mis abuelitos maternos, cuyo apoyo y aliento han sido fundamentales en cada etapa de mi carrera. Aunque mi papito Mario Vicente Tipan ya no está físicamente presente entre nosotros, su influencia y sabiduría siguen vivas en mi corazón. Agradezco a toda mi familia por su inquebrantable respaldo en este viaje. Este trabajo es un humilde tributo a su amor y dedicación.

Anderson Fabricio Zapata Chicaiza

El presente artículo académico se lo dedico principalmente:

A mi querida madre Betty que nunca dio un paso atrás,

A mi padre Gregorio quien siempre demostró fortaleza

A mis segundos padres, mis hermanos María José y Luis Roberto

A mi Luna en el cielo que nunca me dejo solo.

Francisco Saúl Calahorrano Garzón

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud y humildad, extendemos nuestro agradecimiento a Dios, cuya guía y bendiciones han sido nuestra fortaleza y luz en cada paso de nuestra trayectoria profesional y personal.

A nuestros padres, les dedicamos un sincero reconocimiento por su inquebrantable apoyo y amor incondicional. Su constante aliento y sacrificio han allanado el camino hacia el éxito en esta etapa tan significativa de nuestras vidas.

Expresamos nuestra más sincera gratitud a nuestro director de carrera PhD. German Vicente Arévalo y Msc. Milton Napoleon Tipan, cuya dedicación y orientación han sido fundamentales para la realización exitosa de este proyecto de investigación. Su ayuda incondicional ha sido un faro en momentos de incertidumbre.

Agradecemos de corazón a cada uno de los docentes de la carrera de Telecomunicaciones que han dejado su huella en nuestro camino. Ya sea de manera directa o indirecta, su generosidad al compartir su conocimiento y experiencias han enriquecido nuestra formación profesional y personal.

Este trabajo es un testimonio de la importancia del apoyo, la orientación y la enseñanza recibida a lo largo de nuestra travesía. Con profunda gratitud, dedicamos este logro a todos aquellos que han sido parte de nuestro camino hacia el éxito. Demostrando que frente a la adversidad no hay mayor motor que la motivación propia y el auto aprendizaje.

Anderson Fabricio Zapata Chicaiza

Francisco Saúl Calahorrano Garzón

Desarrollo de un sistema de transmisión de radiodifusión sonora FM digital usando un dispositivo USRP 2944RIO.

1st Francisco S. Calahorrano G. *Ingeniería en Telecomunicaciones*
Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

fcalahorranog@est.ups.edu.ec

2nd Anderson F. Zapata Ch. *Ingeniería en Telecomunicaciones*
Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

azapatac2@est.ups.edu.ec

3rd Lenin W. Aucatoma G. *Ingeniería en Telecomunicaciones*
Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

laucatoma@ups.edu.ec

Resumen—El artículo presenta el estudio experimental del aprovechamiento del ancho de banda en una transmisión FM al digitalizar la señal emitida por el USRP 2944RIO y configurada a través del software LabView. El enlace inalámbrico implementado fue sometido a pruebas de transmisión y recepción en un entorno controlado utilizando la modulación digital Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) lo cual permitió mejorar la eficiencia espectral del sistema obteniendo un aumento de 350,34 % a comparación de un canal analógico convencional. Como resultado de la experimentación se evidenció que es posible transmitir 3 señales digitalizadas dentro de un mismo ancho de banda de un canal en frecuencia modulada.

Palabras Clave—Eficiencia, QPSK, PNF, FM, digitalización.

Abstract—The article presents the experimental study of the use of bandwidth in an FM transmission by digitizing the signal emitted by the USRP 2944RIO and configured through the LabView software. The implemented wireless link was subjected to transmission and reception tests in a controlled environment using Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) digital modulation, which allowed to improve the spectral efficiency of the system, obtaining an increase of 350.34 % compared to a single conventional analog channel. As a result of the experimentation, it was evidenced that it is possible to transmit 3 digitized signals within the same bandwidth of a frequency modulated channel.

Keywords—Efficiency, QPSK, PNF, FM, digitalization.

I. INTRODUCCIÓN

En el territorio Ecuatoriano las frecuencias designadas para brindar el servicio de radio FM están estipuladas desde 88 a 108 MHz, aprobadas por el Plan Nacional Frecuencias (PNF), en donde se dictaminan 100 frecuencias con una separación de 200KHz enumeradas del 1 al 100, iniciando la primera

en 88.1 MHz [8]. Para cada canal se considera un ancho de banda (BW) de 220kHz para estereofónico y 180 kHz para monofónico con una tolerancia de 5 %, en donde, la separación entre portadoras por canal esta determinada por los grupos de frecuencias correspondientes. [4] Estudios realizados por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) han demostrado que el límite máximo del porcentaje de modulación para el Ecuador es de ± 75 denotada por la relación entre la desviación de frecuencia real producida y la desviación de frecuencia máxima permitida. [8]

Actualmente la frecuencia modulada (FM) y el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) son las técnicas utilizadas para la radiodifusión analógica. Uno de los objetivos del gobierno a corto plazo es realizar la evolución analógica, lo que implica que los sistemas analógicos se desconectarán para dar paso a sistemas completamente digitales, en el Ecuador, según el MINTEL, se espera que esto ocurra para el año 2025 de acuerdo a la reprogramación efectuada. [5] [10] En un sistema digital las portadoras analógicas son moduladas de forma digital, la información se convierte en pulsos digitales y se transmiten en un canal asignado, un radio enlace digital ofrece un abanico de ventajas respecto a los sistemas analógicos tradicionales: tiempo de procesamiento más corto, multicanalización, pérdidas bajas, inhibición de ruido y eficiencia espectral. [12] Algunas técnicas de acceso al medio generalmente utilizadas para la digitalización son: FSK, PSK, QAM, BPSK, QPSK, estas dos últimas utilizadas para las pruebas del sistema realizado. [1] [4]

El objetivo del artículo es desarrollar un sistema de radiodifusión sonora digital FM por medio del radio definido por software (USRP), para la transmisión de señales de voz en un conjunto de bandas de frecuencias VHF y UHF, con esto

se busca identificar si se puede obtener una mejora en el uso del ancho de banda para inclusión multicanal. El uso de dispositivos USRP (Universal Software Radio Peripheral) permite la configuración de transceptores (TRx) y, junto con un entorno de programación gráfica como (LabView) permiten simular estaciones Tx y Rx completas. El sistema se probó con modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) y por cuadratura (QPSK).

II. DISEÑO Y SOLUCIÓN

El diseño implica la creación de un sistema de radiodifusión con los componentes de transmisión y recepción. En este modelo no se toma en consideración la comunicación entre el estudio y el transmisor, debido a que el procesamiento de las señales que se generarían del estudio se incluyen dentro del bloque de transmisión del USRP. [8]

En la Figura 1, se observa la configuración del sistema digital de radiodifusión propuesto.

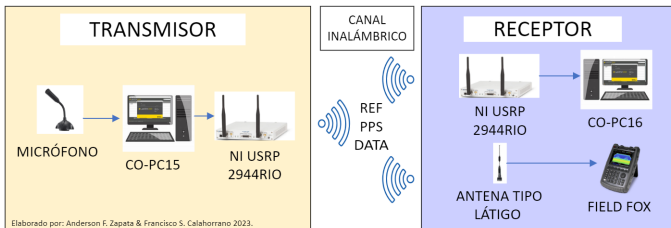


Figura 1: Diagrama representativo del sistema de radio difusión

Se empezó con la configuración de los elementos que forman parte de los bloques del Tx del sistema de radiodifusión según se muestra en la Figura 2, mismos que incluyen un micrófono para la adquisición de la señal de voz, un bloque entero de transmisión en LabView y un bloque de salida RF mediante USRP. La adquisición de audio se da a través del módulo Acquire Sound que permite capturar y almacenar los datos receptados por un periférico conectado al ordenador.

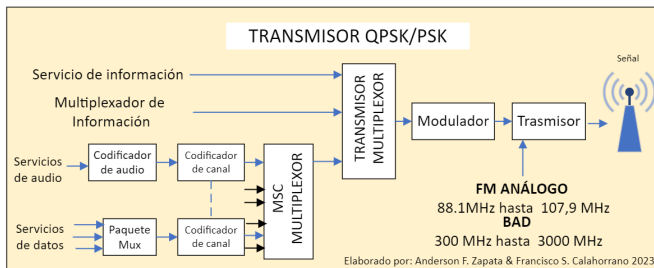


Figura 2: Diagrama de bloques sistema Tx

Dichos datos son codificados y procesados mediante el módulo de conversión de datos análogos a datos dinámicos para que en el siguiente bloque puedan ser digitalizados y modulados (QPSK y BPSK). La Figura 3 muestra los parámetros de transmisión en el USRP. Estos parámetros proporcionan información sobre el dispositivo utilizado en el diseño experimental, su capacidad de muestreo, la frecuencia operativa en la

que se realizó la medición, la ganancia aplicada, la antena de transmisión utilizada y el tiempo de adquisición de los datos.

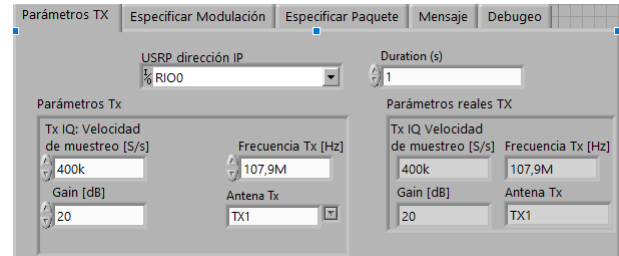


Figura 3: Parámetros de transmisión

Al ejecutarse, el USRP devolverá los valores reales de estos parámetros y gracias al bucle while, permite enviar un bloque de muestras de señal de banda base una y otra vez hasta que se pulse el botón "stop". [9] Una vez realizada la transmisión de datos Tx, el bloque correspondiente a la recepción de datos Rx comienza a operar y la adquisición de datos es puesta en marcha debido a la sincronización de los parámetros de transmisión de los módulos del USRP según se muestra en la Figura 4.

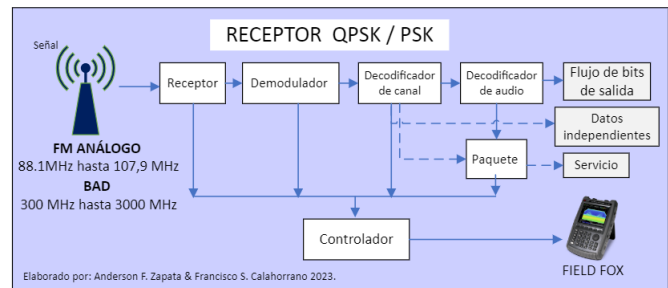


Figura 4: Diagrama de bloques sistema Rx

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizaron diversas transmisiones con las siguientes frecuencias de operación: 82.5 MHz, 107.9 MHz, 144 MHz, 328.6 MHz y 400 MHz, tomando en consideración como punto de análisis a las frecuencias portadoras 107.9 MHz que corresponde a FM convencional VHF y 328.6 MHz a radio navegación aeronáutica UHF, y que para este estudio se usará como frecuencia de prueba debido a que no tenemos definida aún la canalización para radiodifusión FM digital en el Ecuador.

Después de efectuarse la transmisión con 107.9 MHz, se obtiene una muestra en recepción equivalente a la muestra digitalizada de transmisión, lo que se evidencia en los bits recibidos y los diagramas de constelación en recepción, además se observa la reducción del ancho de banda del canal digitalizado en 3 veces comparado con un solo canal analógico, con un valor de 63.25 kHz. Este ancho de banda reducido se visualizó con la ayuda del analizador de espectros como se observa en la Figura 5. Para validar los resultados obtenidos se procedió a calcular la eficiencia espectral del sistema con la fórmula:

$$Ef.Espectral = \frac{Tasa\ de\ bits[bps]}{Ancho\ de\ banda[kHz]} \quad (1)$$

$$T.bits = \frac{128000[bits]}{1[s]} = 128000[bps]$$

$$Ef.Espectral = \frac{128[kbps]}{63,25[kHz]}$$

$$Ef.Espectral = 2,0237 [bps/Hz]$$

La ecuación (1) determina la eficiencia espectral medida en bps/Hz (bits por segundo/hercio) [13] [14] [15] y la ecuación (3) determina la eficiencia en función del total de canales analógicos para ello es necesario determinar el número total de canales análogos vs canales digitales contemplados en la banda de frecuencias analizada (76 MHz a 108 MHz), de tal manera que se pueda evaluar el incremento de canales y su eficiencia:

$$T_{Canales\ Analógicos} = \frac{108MHz - 76MHz}{Ancho\ de\ banda\ FM} \quad (2)$$

$$T_{Canales\ Analógicos} = \frac{32MHz * (\frac{1000kHz}{220kHz})}{220kHz}$$

$$T_{Canales\ Analógicos} = \frac{32000kHz}{220kHz}$$

$$T_{Canales\ Analógicos} = 145 \text{ Canales}$$

De igual manera se procedió a calcular el total de canales digitales mediante:

$$T_{Canales\ Digitales} = \frac{108MHz - 76MHz}{Ancho\ de\ banda\ FM\ Digital} \quad (3)$$

$$T_{Canales\ Digitales} = \frac{32000kHz}{63,25kHz}$$

$$T_{Canales\ Digitales} = 505,92 \approx 506 \text{ Canales}$$

Por lo tanto la eficiencia en función del número de canales digitales en la ecuación (3), en donde se demostró el aumento del número de canales análogos de 145 a 506, en la banda Digital (76 a 108 MHz), lo que representa un incremento de aproximadamente el 349% en comparación con el valor de la canalización analógica.

Como se mencionó antes, una de las características que permite verificar que el sistema de transmisión-recepción tuvo éxito, radica en el análisis de los diagramas de constelación, como se visualiza en la Figura 5, los diagramas en transmisión reflejan a simple vista un mínimo desplazamiento de los símbolos que obtenemos en recepción. Esto se da por variaciones del canal inalámbrico, reflexiones, entre otras.

$$Ef.TCanalesDigAna = \frac{T_{Canales\ Digitales}}{T_{Canales\ Analógicos}} * 100\% \quad (4)$$

$$Ef.TCanalesDigAna = \frac{506}{145} * 100\%$$

$$Ef.TCanalesDigAna = 348,96 \approx 349\%$$

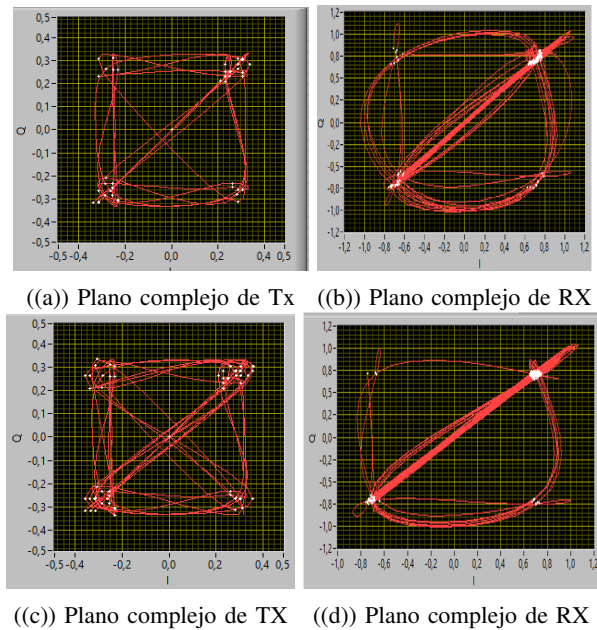


Figura 5: Diagramas de constelaciones con una frecuencia de 107.9 [MHz] y 328.6[MHz]

La Figura 5 representa el plano complejo de los estados de símbolo en términos de amplitud y fase. En esta figura se visualiza una muestra por símbolo de 8, utilizando la modulación QPSK normal, un α de 0.50 y una longitud de filtro de valor 6. Se observan desfases en 45° , 135° , 225° y 315° .

Al tomar 4 valores de fase o 2 bits, los símbolos sucesivos en desfase presentan las siguientes coordenadas y puntos de constelación analizando la figura 5(a) con:

- $[1, +j]$: 14 puntos de constelación.
- $[-1, +j]$: 6 puntos de constelación.
- $[-1, -j]$: 11 puntos de constelación.
- $[+1, -j]$: 6 puntos de constelación.

En la Figura 5(c), las coordenadas y puntos de constelación son los siguientes:

- $[1, +j]$: 20 puntos de constelación.
- $[-1, +j]$: 8 puntos de constelación.
- $[-1, -j]$: 17 puntos de constelación.
- $[+1, -j]$: 8 puntos de constelación.

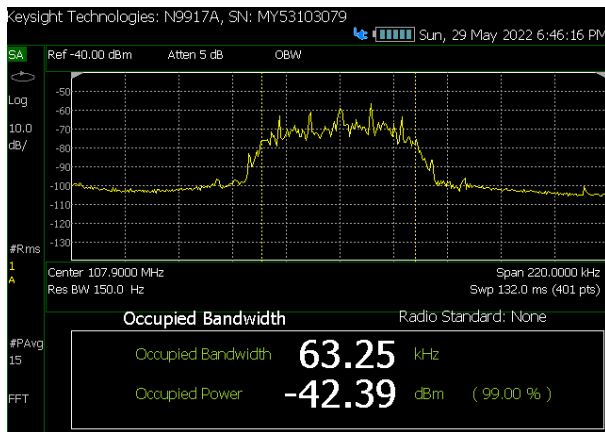
En la Figura 5(b), las coordenadas y puntos de constelación son los siguientes:

- $[1, +j]$: 16 puntos de constelación.
- $[-1, +j]$: 11 puntos de constelación.
- $[-1, -j]$: 16 puntos de constelación.
- $[+1, -j]$: 7 puntos de constelación.

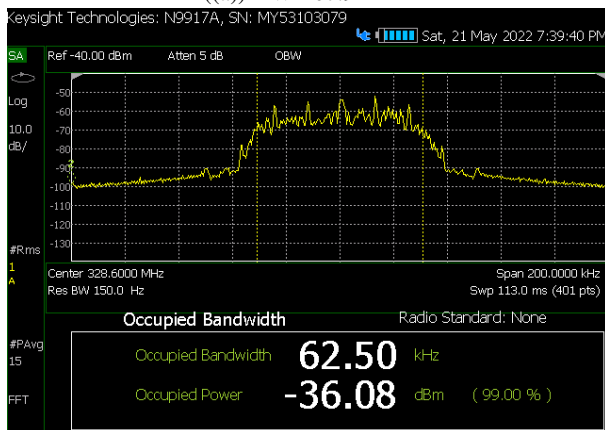
En la Figura 5(d), las coordenadas y puntos de constelación son los siguientes:

- $[1, +j]$: 22 puntos de constelación.
- $[-1, +j]$: 2 puntos de constelación.
- $[-1, -j]$: 15 puntos de constelación.
- $[+1, -j]$: 5 puntos de constelación.

En la Figura 5 se muestra el plano complejo de los estados de símbolo en términos de amplitud y fase, donde se observan diferentes fluctuaciones en puntos de constelación dependiendo de las coordenadas y desfases.



(a) BW 107.9 MHz



(b) BW 328.6 MHz

Figura 6: Captura de pantalla ancho de banda y potencia ocupada de 107.9 [MHz] y 328.6[MHz]

La Figura 6 muestra capturas obtenidas a través del equipo FIELDFOX. En la Figura 6(a), se presenta un espectro de potencia de señal transmitida en el rango de frecuencia de 107.9 MHz. Se observa que la señal tiene un ancho de banda de 63.25 kHz y una potencia de transmisión de -42.39 dBm. Se aplicó un span de 220 kHz para capturar un rango más amplio de frecuencias. Durante la adquisición de datos, se realizaron 401 barridos con un tiempo de resolución de barrido (SWP) de 132 milisegundos por barrido. Además, se aplicó una atenuación de 5 dB como configuración estándar del equipo para ajustar la potencia de la señal antes de la adquisición. El ancho de banda remplazado en la ecuación 1 nos demuestra que la eficiencia espectral varía del valor estándar según la teoría de Claude E. Shannon. [16] En la Figura 6(b), se presenta un espectro de potencia de una señal transmitida en el rango de frecuencia de 328.6 MHz. La señal tiene un ancho de banda de 62.50 kHz y una potencia de transmisión de -36.08 dBm. Se utilizó un span de 200 kHz durante 113 milisegundos por barrido y se realizaron 401 barridos para la adquisición de datos.

Tabla I: Frecuencias de operación

Banda VHF [MHz]	Banda UHF [MHz]
82.5	328.6
107.9	400
144	

Es importante destacar que el alcance obtenido cumple con los parámetros de eficiencia espectral técnica de 2 [bps/Hz] según la IEEE 802.11a. Además, se implementaron diversas frecuencias operativas dentro de las bandas UHF y VHF, como se muestra en la Tabla I. La variación del ancho de banda, los SWP y la potencia necesaria para operar todos los valores resultantes se detallan en la Tabla II. [13] [15]

Tabla II: Cuadro comparativo de frecuencias operativas

Frec.[MHz]	BW [kHz]	Swp[ms]	N Barr.(pts)	Pot[dBm]
82.50	65.45	123.0		- 61.82
107.9	63.25	132.0		- 42.39
144.0	62.70	122.0	401	- 48.49
328.6	62.50	113.0		- 36.08
400.0	62.50	114.0		- 38.05

Se encontró que la frecuencia de 328.6 MHz usada en radio navegación aeronáutica con un ancho de banda de 62.50 kHz, un SWP de 113 milisegundos por barrido y 401 barridos con una potencia de -36.08 dBm, es óptima y la más baja en comparación con las demás frecuencias operativas evaluadas, configurando los valores en la ecuación 1 la eficiencia espectral calculada es de 2,048 [bps/Hz]. [13]

IV. CONCLUSIONES

El enlace inalámbrico implementado con el USPR RIO 2944 demostró un rendimiento favorable al optimizar la eficiencia espectral y permitir la transmisión de múltiples señales en un mismo canal analógico. Estos resultados representan una

mejora significativa en términos de capacidad y utilización del ancho de banda en comparación con los sistemas convencionales de FM.

Para evaluar el rendimiento del experimento, se calculó la eficiencia en función de los canales y el ancho de banda ocupado que se podrían utilizar en FM convencional. Los resultados mostraron un aumento significativo, con una base de 145 canales y una eficiencia aproximada de 349 %. Esto se traduce en un total de 508 canales digitales, reduciendo el espacio de ancho de banda ocupado a solo 1/3 del valor convencional de 63.25 KHz.

El sistema logró obtener una eficiencia espectral de 2.0237 [bps/Hz] en comparación con la que establece la técnica de acceso al medio OFDM según la IEEE 802.11a de 2 [bps/Hz] evidenciando un ligero aumento en el valor de la eficiencia espectral en la transmisión de una señal digital por un canal analógico.

V. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [1] William Stallings, "Comunicaciones y Redes de computadores", PEARSON EDUCACIÓN, S. A., Madrid, vol. 7, pp. 72, 2004.
- [2] J. Gomezjurado, J. Nuñez, and J. Cordero, "HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR", Academia Nacional de Historia, pp. 95-96, 2014.
- [3] MINTEL, "PLAN MAESTRO DE TRANSICIÓN A LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE", Viceministerio de Tecnologías de la Información y Comunicación, pp. 17-26, 2018.
- [4] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, "PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS," Direccion Técnica de Regulación del Espectro Radioeléctrico, pp. 23, 2021.
- [5] B. Cañar, "ANÁLISIS TEÓRICO TÉCNICO DE LOS ESTÁNDARES DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL TERRESTRE EN LA BANDA FM, PARA UNA FUTURA IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR", Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, pp. 3-16;40-80, 2015.
- [6] ETSI, Digital Audio Broadcasting (DAB); Domestic and in-vehicle digital radio receivers; Minimum requirements and Test specifications for technologies and products", European Broadcasting Union 2020, pp. 9-40, 2020.
- [7] J. Mantilla, "Chasqui No 59.", Revista Latinoamericana de Comunicación, pp. 20-23, 1997.
- [8] ARCOTEL, "NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FRECUENCIA MODULADA ANALÓGICA.", Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Resolución N°2020-0145
- [9] National Instruments 2023, "USRP-2944 Especificaciones", Disponible en: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usrp-2944-specs/page/specs.html>, visitado el (29-06-2023)
- [10] F. Sánchez, G. Sagbay "ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA ESTANDARIZACIÓN Y REGULACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE RADIO ANALÓGICO AL DIGITAL EN EL ECUADOR", Universidad Politécnica Salesiana, pp 65-125,2013.
- [11] A. Arcos, "IMPLEMENTACIÓN DE UN CODIFICADOR Y DECODIFICADOR DIFERENCIAL EN TIEMPO REAL PARA TRANSMISIÓN DE VIDEO MEDIANTE UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL (USRP)", Universidad Politécnica Salesiana, pp 7, 2016.
- [12] E. Moreno, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE SEÑALES DIGITALES EN BANDA BASE Y PASANTE UTILIZANDO USRP2920", Universidad Politécnica Salesiana, pp 2-54, 2017.
- [13] R. Verdecia Peña, "Análisis del desempeño de los esquemas de modulación BPSK y QPSK para diferentes condiciones de canales en sistema GFDM", Universidad de las Fuerzas Armadas, pp 7-10, 2018.
- [14] O. Nehme, "SISTEMAS OFDM DE ALTA EFICIENCIA ESPECTRAL", Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, pp 31-49, 2012.
- [15] IEEE, "IEEE 802 LAN/MAN STANDARDS COMMITTEE (LMSC) OPERATIONS MANUAL", Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp 3-17, 2012.
- [16] F. Holik, "Teoría de la información de Claude E. Shannon", Universidad de Buenos Aires, 2016.