



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CODIFICADORES  
CONVOLUCIONALES PARA LA TRANSMISIÓN DE TEXTO EN  
CANALES MULTITRAYECTORIAS USANDO PROTOCOLOS  
CSMA Y ACK”**

**INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Ing. Jean Castillo Méndez**

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial y sincera a mi coordinador de la maestría al Ph.D. Boris Ramos y a la Ing. Maricela Freire, por su apoyo y su capacidad para guiar mis ideas, ha sido un aporte invaluable en el desarrollo de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro alcanzado de forma especial a Dios, a mi esposa Lissette Robles e hijos; por su paciencia en los días de mi ausencia, a mis tías Pilar Méndez, Maritza Méndez y a mis hermanas, por siempre estar conmigo y ser los pilares fundamentales de mi vida.

Especialmente a mi madre Martha Beatriz Méndez (+) y a mi hija Beatriz Castillo, son mi luz y mi fortaleza, el impulso de mi vida.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "German Vargas", written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

---

Ph.D. German Vargas

**EVALUADOR**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Vladimir Sánchez", written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

---

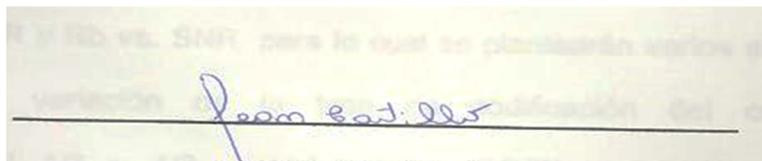
M.Sc. Vladimir Sánchez.

**EVALUADOR**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.

A photograph of a document showing a handwritten signature in blue ink. The signature is written over a horizontal line. The name 'Jean Castillo Méndez' is clearly legible. There is some faint, illegible text above the signature.

Jean Castillo Méndez

C.I.: 0925082091

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en la implementación de protocolos de control de acceso al medio CSMA y ACK en un sistema de una sola portadora con el fin de transmitir y recibir como información texto. Además se realizó un análisis comparativo de las variaciones de tasa de codificación convolucionales para evaluar el desempeño de los canales multitrayectorias ante variaciones de ruido. Para la elaboración de este proyecto se utilizó el software LabVIEW y los equipos NI-USRP 2920.

Se realizará el análisis del desempeño del sistema mediante las gráficas BER vs. SNR y  $R_b$  vs. SNR, para lo cual se plantearán varios escenarios tales como variación de la tasa de codificación del codificador convolucional  $1/2$  y  $1/3$ , modulaciones QPSK y 8-PSK y canales multitrayectorias Indoor y Outdoor. Al realizar las diferentes pruebas se pretender definir los parámetros adecuados con el fin de tener un sistema de comunicación inalámbrico óptimo para la recepción del texto sin errores.

## **CONTENIDO**

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN</b> .....	iv
<b>DECLARACIÓN EXPRESA</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>CONTENIDO</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA .....	12
1.2. TRANSMISIÓN Y RECEPCION DE TEXTO.....	13
1.3. MODULACIÓN DIGITAL.....	14
1.3.1. Modulación PSK .....	14
1.4. ENCRIPCIÓN CONVOLUCIONAL .....	17
1.5. CANALES INALAMBRICOS MUTITRAYECTORIA .....	19
1.6. AVISOS DE ACUSE DE RECIBO .....	20
1.7. PROTOCOLO CSMA/CD.....	21
<b>2. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	22
2.1. Estudio de la respuesta impulso de los canales utilizados .....	23
2.2. Análisis del enlace en base al tipo de modulación, la tasa de codificación y los canales empleados. ....	26
<b>CONCLUSIONES</b> .....	32
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	34

## ABREVIATURAS

<b>BER</b>	Bit Error Rate
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift keying
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio
<b>CSMA</b>	Carrier Sense Multiple Access
<b>USRP</b>	Universal Software Radio Peripheral
<b>NI</b>	National Instruments
<b>ACK</b>	Acknowledgment
<b>NACK</b>	Negative Acknowledgment
<b>MAC</b>	Media Access Control

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema. ....	12
Fig. 2. Esquema de transmisión de texto con USRP's. ....	13
Fig. 3. Esquema de modulación QPSK. [2] .....	15
Fig. 4. Esquema de modulación 8PSK. [2] .....	15
Fig. 5. Esquema de constelación QPSK.....	16
Fig. 6. Esquema de constelación 8PSK. ....	17
Fig. 7. Esquema de un enlace multitrayectoria.....	19
Fig. 8. Ejemplo de mensajes ACK en transmisión de datos.....	20
Fig. 9. Ejemplo de mensaje NACK en transmisión de datos. ....	20
Fig. 10. Esquema de funcionamiento del protocolo CSMA/CD. ....	21
Fig. 11. Diagrama de bloques del sistema implementado. ....	22
Fig. 12. Respuesta para el canal A – Indoor oficinas. ....	24
Fig. 13. Respuesta para el canal B – Indoor oficinas. ....	25
Fig. 14. Respuesta para el canal A – Outdoor áreas rurales.....	25
Fig. 15. Respuesta para el canal B – Outdoor áreas rurales.....	26
Fig. 16. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK sin codificación. ....	27
Fig. 17. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK con tasa de codificación $\frac{1}{2}$ . ....	27
Fig. 18. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK con tasa de codificación $\frac{1}{3}$ . ....	28
Fig. 19. BER vs. SNR para variaciones de modulación y en un canal Indoor para diferentes tasas de codificación. ....	29
Fig. 20. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor para variaciones de modulación y tasas de codificación. ....	30

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Perfil de retraso de potencia – Canal Indoor Oficina. ....	23
Tabla 2. Perfil de retraso de potencia – Outdoor áreas rurales. ....	24

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transmisión y recepción, han sido unos de los pilares fundamentales donde se ha apoyado el desarrollado de la humanidad en cada uno de sus ámbitos; específicamente en el de las comunicaciones inalámbricas, que por efectos de sus aplicaciones y usos, se ha desarrollado a tal punto que se puede transmitir toda clase de información por diferentes métodos, y dicha información ser recibida de la mejor manera posible aun cuando la distancia y las características del medio, afecten dicha comunicación.

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso del espectro radioeléctrico para poder viajar, es decir, a través de ondas electromagnéticas, la información viaja por el medio desde un origen a un destino. El medio de propagación usado en las comunicaciones inalámbricas es propenso a factores de ruido e interferencias, producidos por el entorno donde se propague la onda portadora; estos factores deben de ser mitigados mediante el uso de diferentes herramientas creadas y desarrolladas para dicho fin, como lo son, son los diferentes tipos de modulaciones, codificaciones de canal, filtros, entre otros.

# 1. MARCO TEÓRICO

Dentro de esta sección se procederá a explicar de forma concisa los fundamentos teóricos que fueron necesarios considerar para poder realizar el diseño e implementación del sistema de comunicación inalámbrico planteado.

## 1.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Al diseñar y emular el sistema de transmisión y recepción de texto, mediante diferentes modulaciones y con un tipo de codificación es importante seguir un esquema que permita determinar etapa a etapa el funcionamiento de lo que se desea trabajar. A continuación, se muestra un diagrama de bloques del sistema inalámbrico a implementar.

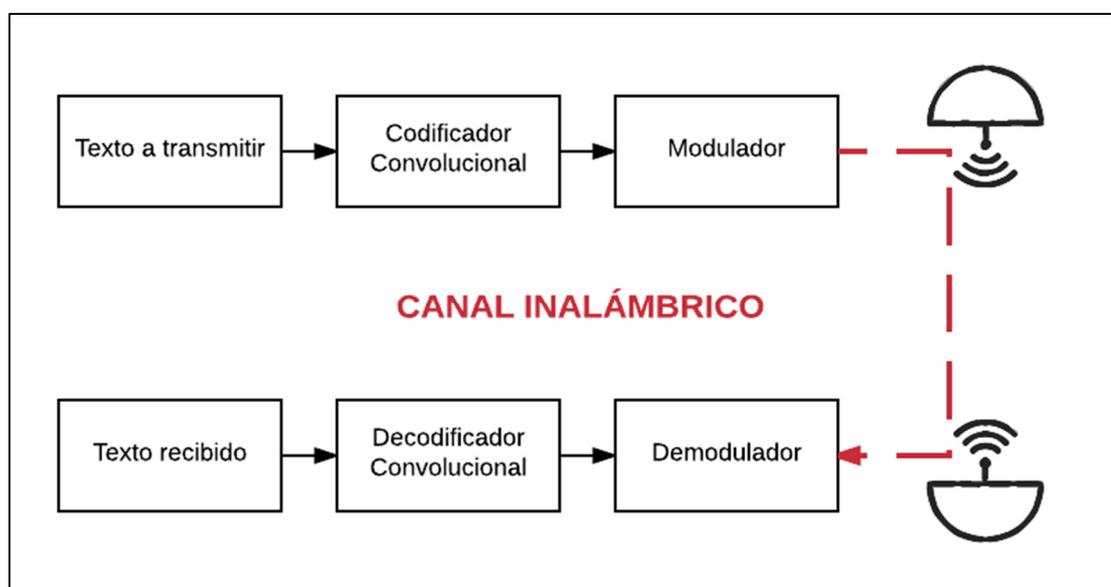
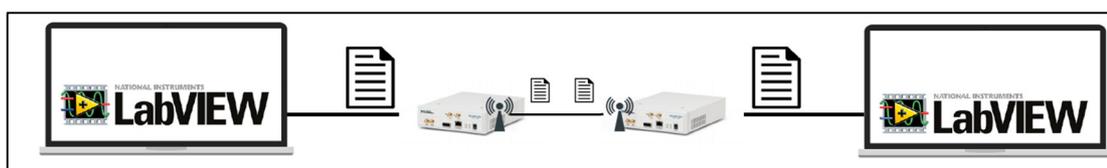


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema.

En la figura 1 se observa como a partir del texto a transmitir se siguen una serie de pasos para poder recibir éste, del lado del receptor. El texto pasa a ser codificado para posteriormente ser modulado (por QPSK u 8-PSK), ya que, del lado del receptor, se realizará el proceso contrario (demodular, decodificar y recibir el texto original enviado).

## 1.2. TRANSMISIÓN Y RECEPCION DE TEXTO.

En lo que respecta a la transmisión de texto, se utilizará un sistema de conversión de texto a bits, en donde, en base a los caracteres que conforman el texto se transformaran cada uno a su equivalente ASCII y estos a binario. Estos datos binarios serán interpretados por el transmisor para formar la trama que posteriormente será recibida del lado del receptor.



**Fig. 2. Esquema de transmisión de texto con USRP's.**

En la figura 2 se observa como en base a un programa realizado en LabVIEW, se procesa el texto para ser transmitido vía USRP y de la misma forma recibirlo para posteriormente, ese texto, visualizarlo del lado del receptor.

### **1.3. MODULACIÓN DIGITAL.**

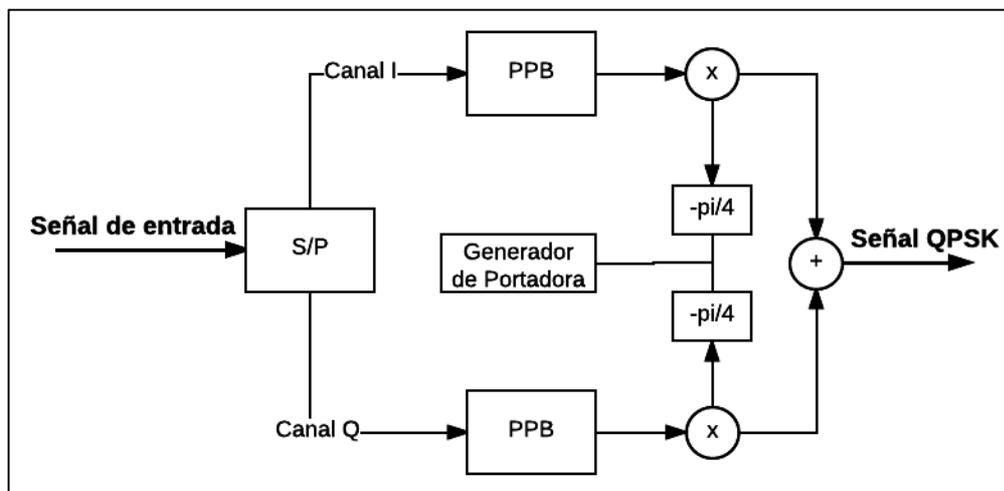
Las modulaciones digitales son aquellas en donde la portadora y la señal modulada son analógicas. Este tipo de modulación presenta muchas ventajas, entre las cuales se destacan la inmunidad al ruido, la facilidad de multiplicar, la capacidad de codificación o encriptación, entre otras. [1]

#### **1.3.1. Modulación PSK**

La modulación por desplazamiento de fase (PSK) es una forma de modulación angular de amplitud constante. La señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida. [1]

La modulación QPSK o modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, tiene como característica manejar 4 símbolos equidistantes y equiprobables con el mismo nivel de energía. Su posicionamiento en la constelación se basa en la fase a la que se trabaja para cada variación de la modulación PSK. Es común que para QPSK las fases de los símbolos se ubican cada 90 grados.

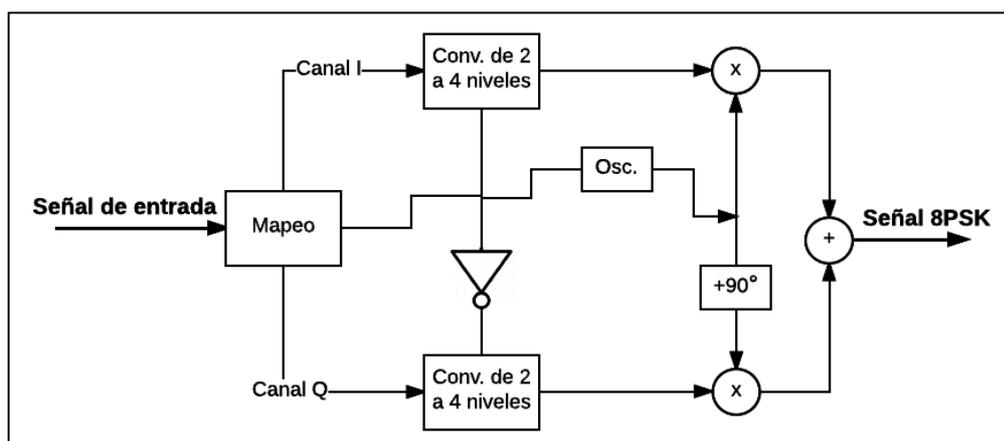
Sabiendo que la entrada de este modulador es de tipo binaria, para producir QPSK se hacen uso de 4 símbolos, que a su vez se producen de 2 bits. [2]



**Fig. 3. Esquema de modulación QPSK. [2]**

En la figura 3 se observa como las transiciones simultáneas en los canales I (fase) y Q (cuadratura), producen cruces por cero en la envolvente generada para la señal QPSK.

Por otra parte, para obtener una modulación 8PSK se tiene el siguiente esquema.



**Fig. 4. Esquema de modulación 8PSK. [2]**

En términos generales, para poder obtener las fases de los símbolos en cualquier tipo de modulación PSK, se hace uso de la ecuación 1, en donde, en base a la cantidad de símbolos que se requiere, se obtiene una modulación M-PSK. [3]

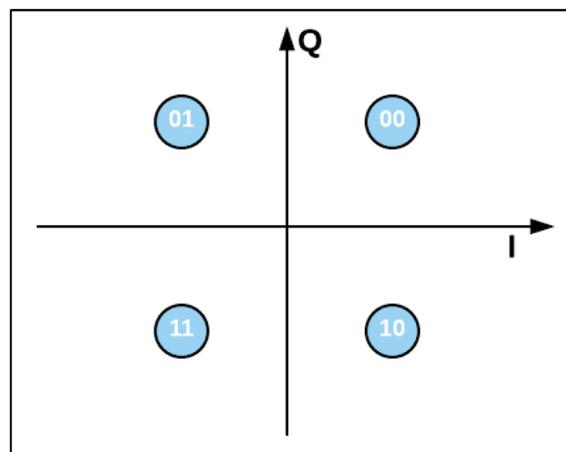
$$\theta_m = \frac{2\pi(m-1)}{M} \quad (1)$$

En donde:

M= Orden de a modulación (número de símbolos)

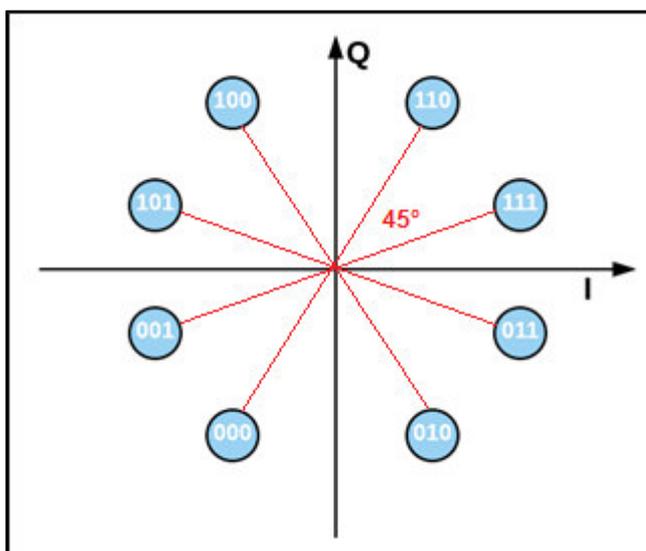
m=1, 2,..., M

Entonces, sabiendo esto, se pueden construir las constelaciones respectivas, tanto para QPSK y 8PSK, detalladas a continuación.



**Fig. 5. Esquema de constelación QPSK.**

En la figura 5 se observa que la constelación QPSK tiene un desfase entre símbolos de 90 grados, valor obtenido a partir de la ecuación 1.



**Fig. 6. Esquema de constelación 8PSK.**

En la figura 6 se observa que la constelación 8PSK tiene un desfase entre símbolos de 45 grados, valor obtenido a partir de la ecuación 1.

#### **1.4. CODIFICACIÓN CONVOLUCIONAL**

Los códigos convolucionales son un tipo de código capaz de corregir errores durante la transmisión de información. En canales con mucho ruido, este tipo de encriptación presenta grandes ventajas, siendo las comunicaciones inalámbricas o satelitales las más destacadas. [4]

Para poder construir un código convolucional, se debe tener en cuenta que, a partir del mensaje a codificar y los  $m$  anteriores, se generarán símbolos de redundancia. Entonces, para un código convolucional  $C$  para un alfabeto  $A$  se tienen 3 parámetros ( $n, k, L$ ):

**k:** número de símbolos de la palabra de datos que se encripta en cada paso.

**n:** número de símbolos de la palabra encriptada a partir de  $k$  bits.

**L:** restricción de distancia: Siendo  $m$  la memoria del código,  $L=m+1$ , es el número de fases en las que una palabra ejerce influencia sobre lo que se obtenga en la salida, es decir, influye sobre sí mismo y  $m$  más.

Entonces, una vez mencionado esto, se tiene que la tasa de codificación representada en la ecuación 1.

$$r = \frac{\text{BITS que se codifican}}{\text{BITS enviados}} = \frac{k}{n} \quad (1)$$

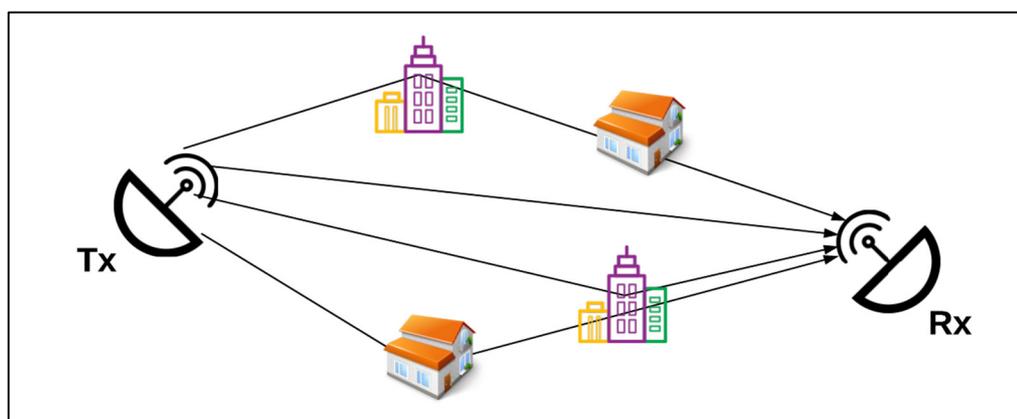
Generalmente, los bits se codifican uno a uno, por lo que la ecuación uno se expresa de mejor manera en la ecuación 2. [5]

$$r = \frac{1}{n} \quad (2)$$

### 1.5. CANALES INALAMBRICOS MUTITRAYECTORIA

Los canales multitrayectorias, son canales de comunicación inalámbrica en donde, a partir de una señal que viaja por el espacio hacia un receptor, es interceptada por objetos durante su trayectoria, así que la onda se refracte o se disperse hacia otros puntos del espacio del enlace, consiguiendo así, varias trayectorias desde el transmisor al receptor. Esta dispersión es producida por ductilidad atmosférica, reflexión y refracción ionosférica o en agua, a más de la que se produce en las edificaciones circundantes. [6]

Los canales multitrayectorias producen interferencia constructiva y destructiva y el desplazamiento de fase de la señal. En el tipo de comunicación a desarrollar, pueden producir errores que afecten la calidad del enlace. [7]



**Fig. 7. Esquema de un enlace multitrayectoria.**

En la figura 7 se observa cómo se dispersa la señal en un canal multitrayectoria, creando interferencia constructiva o destructiva de acuerdo a como lleguen todas las porciones de señal en el receptor.

## 1.6. AVISOS DE ACUSE DE RECIBO

Dentro de un sistema de comunicación, en donde, es imperativo enviar datos desde un emisor hasta un receptor, se necesita algún método para poder saber si es que la información que ha sido enviada, llegó sin problemas. Es por esto, que existen los mensajes de acuse de recibo, ya que, tienen como función principal, la de indicar al transmisor que un mensaje fue enviado correctamente sin errores (ACK) o que durante la transmisión algo salió mal y la información enviada no llegó a su destinatario (NACK). [8]

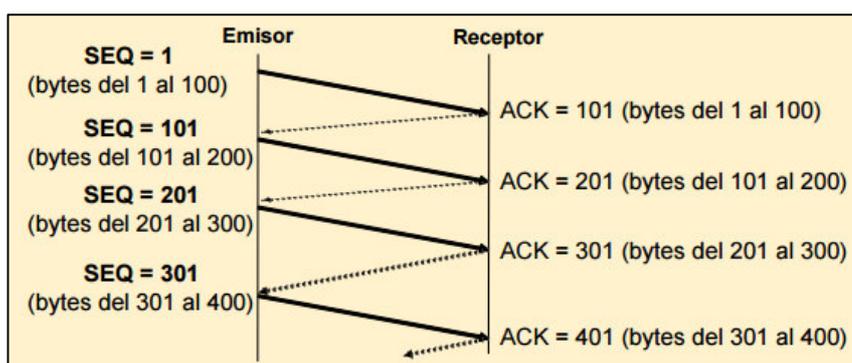


Fig. 8. Ejemplo de mensajes ACK en transmisión de datos.

En la figura 8 se observa como al transmitir información y esta sea recibida sin problemas, se genera un mensaje ACK indicando que todo está en orden.

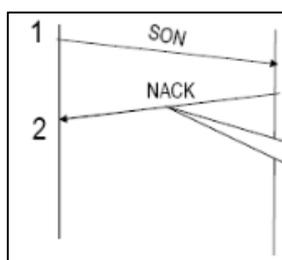


Fig. 9. Ejemplo de mensaje NACK en transmisión de datos.

En la figura 9 se observa que al enviar información y esta no continuó su curso, sino que, por algún motivo no llegó correctamente o no llegó en lo absoluto a su destino, se genera desde el receptor un mensaje de confirmación de recibo negativo (NACK).

### 1.7. PROTOCOLO CSMA/CD.

El protocolo CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones) es un protocolo MAC, en donde, si un nodo desea transmitir información, esperará a que el canal este libre, una vez que se encuentra en este estado, empieza la transmisión. Si en el mismo sistema, existe otro nodo que también va a transmitir, en ese instante se producirá una colisión, por ende, se detendrá por completo la transmisión y se retransmitirá luego de un periodo de tiempo aleatorio. [9]

La detección de portadora es empleada para poder sentir el medio y saber si se encuentra disponible o no. Si la portadora está libre, la información pasa a la capa física para poder ser transmitida, caso contrario, se monitorea hasta que la portadora este libre y se pueda transmitir sin generar colisiones. [10]

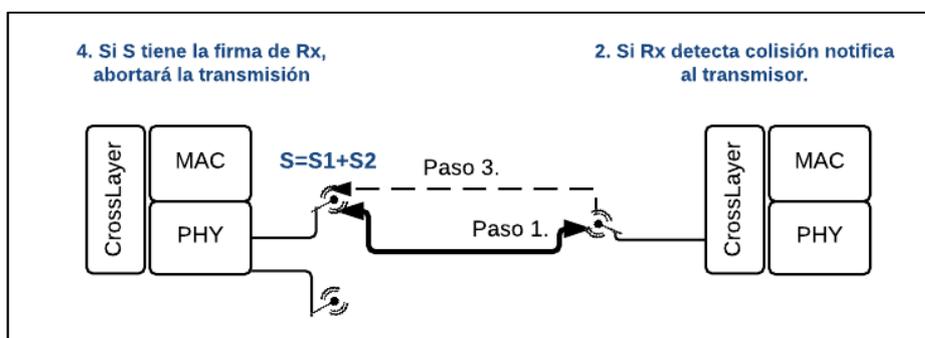


Fig. 10. Esquema de funcionamiento del protocolo CSMA/CD.

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos en base a 3 características fundamentales del sistema de transmisión de texto a implementar, descritas a continuación:

- Tipos de modulación.
- Tasas de codificación convolucional.
- Canales multitrayectoria utilizados.

Para la modulación se utilizará QPSK y 8PSK, de las cuales se comparará resultados para determinar cuál es la que mejor rendimiento tiene. Por otra parte, las tasas de codificación convolucional serán de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{3}$ , mientras que los canales a utilizar serán dos perfiles para un canal Indoor de oficina y dos perfiles para un canal Outdoor de áreas rurales.

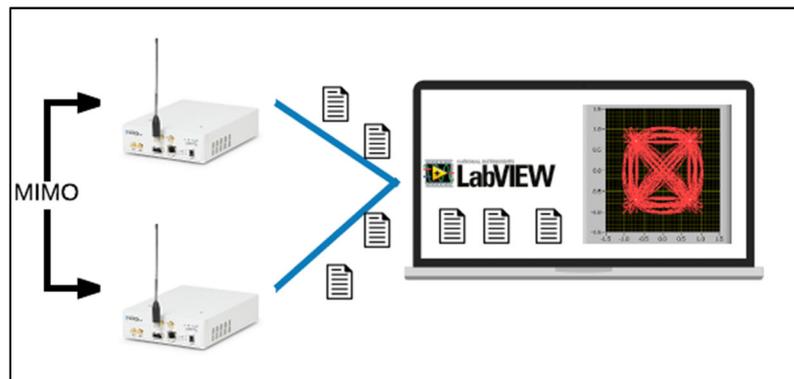


Fig. 11. Diagrama de bloques del sistema implementado.

En la figura 11 se observa el esquema de transmisión-recepción utilizado para la realización de este proyecto.

### 2.1. Estudio de la respuesta impulso de los canales utilizados

En base a las características de los canales a utilizar, se hace un estudio de como el sistema se comporta frente a una entrada impulso, ya que, mediante este proceso se puede predecir cómo responderá el sistema de comunicación. Partiendo de esto, se pudieron obtener los perfiles de retraso de potencia (Power Delay Profile), los cuales proporcionan una idea de la intensidad de la señal recibida a través de un canal multitrayecto en función del retardo de tiempo que tenga cada dispersión de la señal enviada.

Los datos obtenidos para el perfil de retraso de potencia para el canal Indoor de oficina, se muestra en la tabla 1, realizada en base a 6 muestras.

TAP	Canal A		Canal B	
	Delay (ns)	Avg. Power (dB)	Delay (nsec)	Avg. Power (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-138	100	-3,6
3			200	7,2
4			300	-10,8
5			500	-18
6			700	-25,2

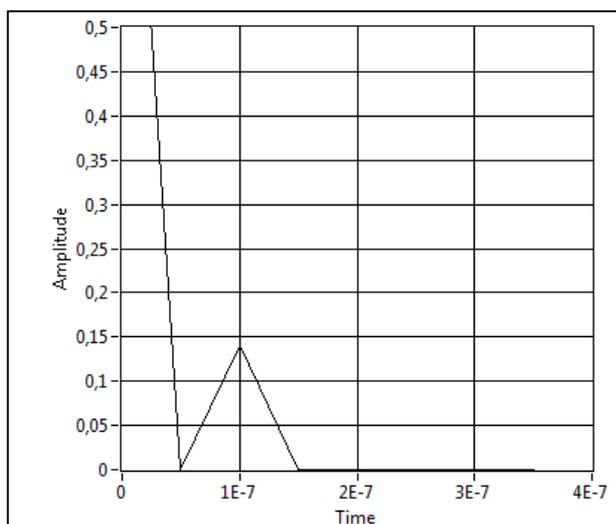
**Tabla 1. Perfil de retraso de potencia – Canal Indoor Oficina.**

Mientras que de manera similar se realizó el experimento de 6 muestras para el canal Outdoor de áreas rurales, datos que se posicionan en la tabla 2.

TAP	Canal A		Canal B	
	Delay (ns)	Avg. Power (dB)	Delay (nsec)	Avg. Power (dB)
1	0	0	0	0
2	0,2	-2	0,1	-4
3	0,4	-10	0,2	-8
4	0,6	-20	0,3	-12
5			0,4	-16
6			0,5	-20

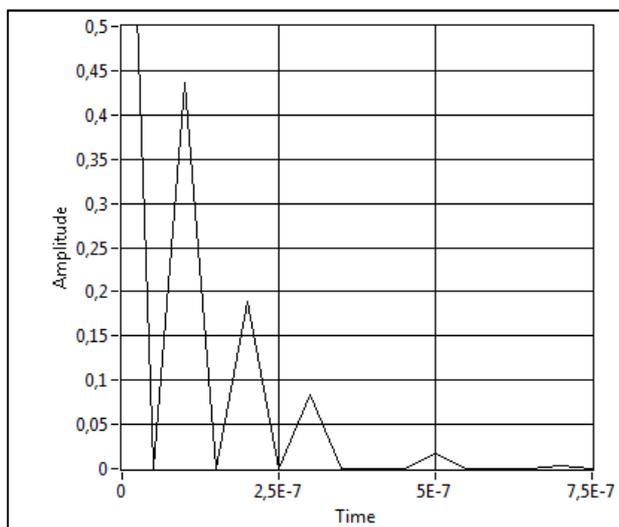
**Tabla 2. Perfil de retraso de potencia – Outdoor áreas rurales.**

Es en base a estas tablas que se obtuvieron gráficamente, los siguientes resultados:



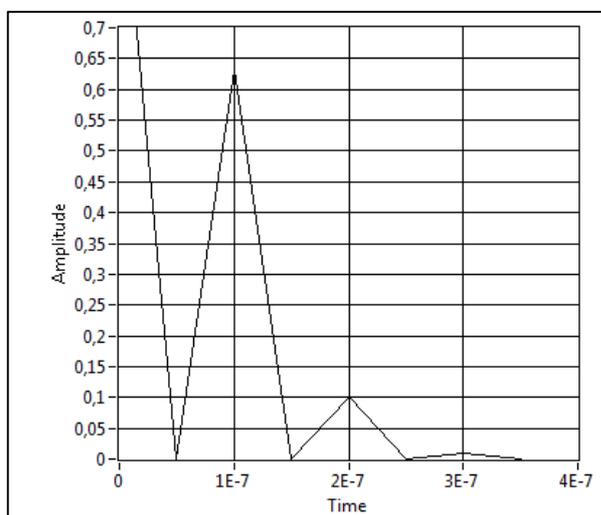
**Fig. 12. Respuesta para el canal A – Indoor oficinas.**

En la figura 12 se observa el perfil de retraso de potencia para el canal A Indoor Oficina, en el cual, se tienen 2 saltos.



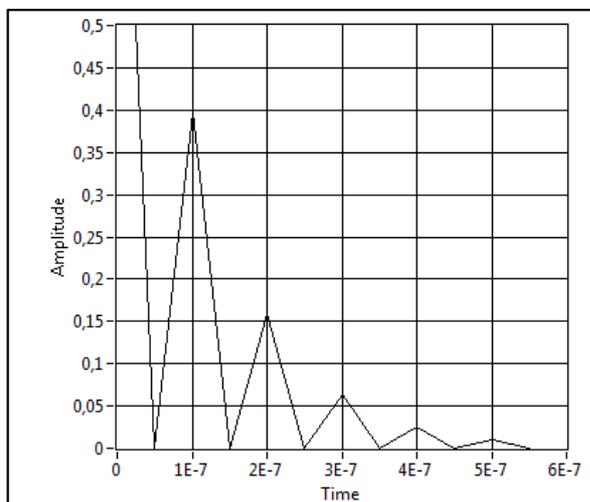
**Fig. 13. Respuesta para el canal B – Indoor oficinas.**

En la figura 13 se observa el perfil de retraso de potencia para el canal B Indoor Oficina, en el cual, se tienen 6 saltos.



**Fig. 14. Respuesta para el canal A – Outdoor áreas rurales.**

En la figura 14 se observa el perfil de retraso de potencia para el canal A Outdoor áreas rurales, en el cual, se tienen 4 saltos.

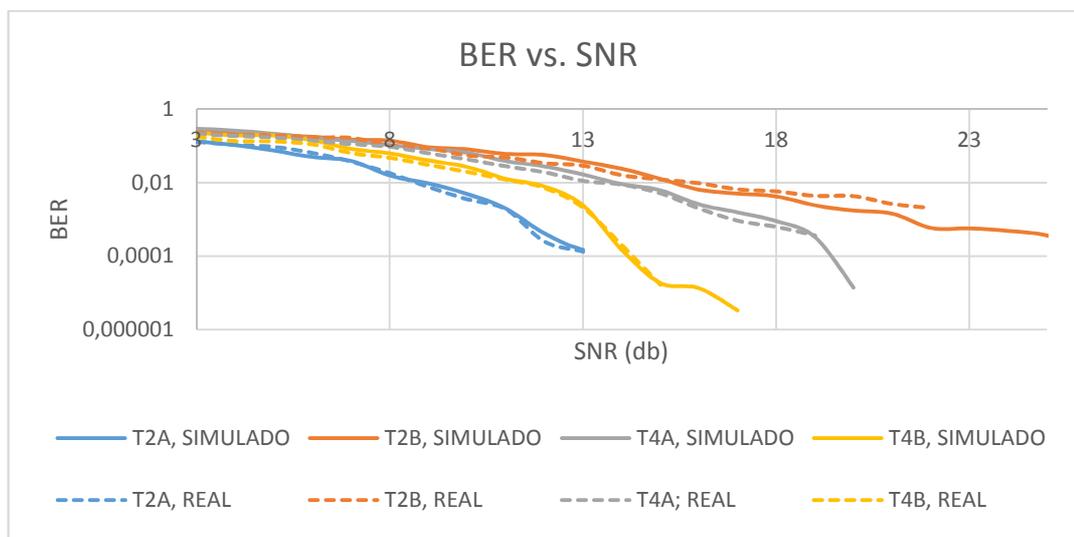


**Fig. 15. Respuesta para el canal B – Outdoor áreas rurales.**

En la figura 15 se observa el perfil de retraso de potencia para el canal B Outdoor áreas rurales, en el cual, se tienen 6 saltos.

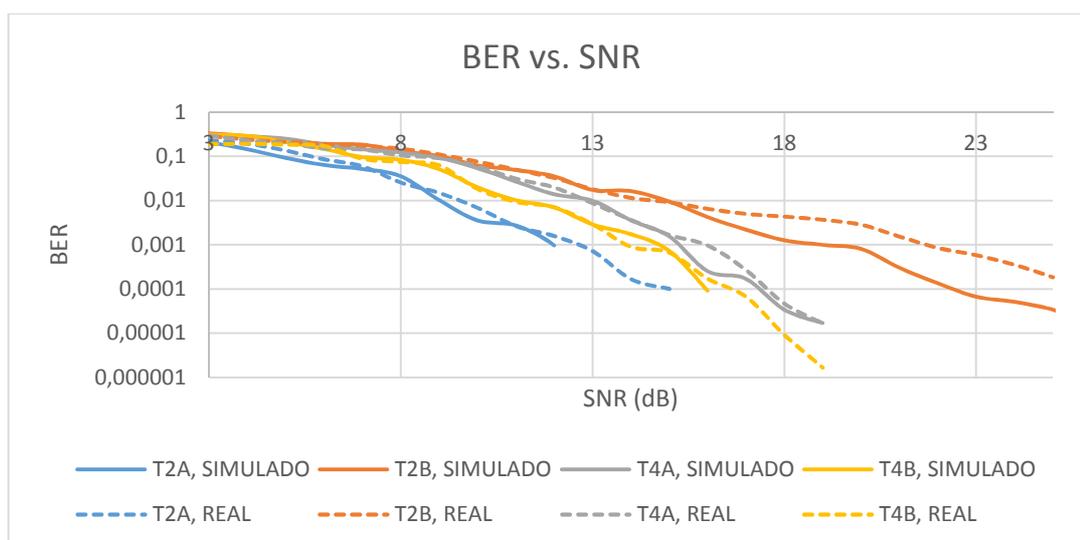
## **2.2. Análisis del enlace en base al tipo de modulación, la tasa de codificación y los canales empleados.**

En esta sección se analizarán las curvas de la tasa de error de bit frente a la SNR configurada para cada prueba, en donde se variará el tipo de modulación y las tasas de codificación para determinar cómo se comporta el sistema en los canales Indoor y Outdoor seleccionado.



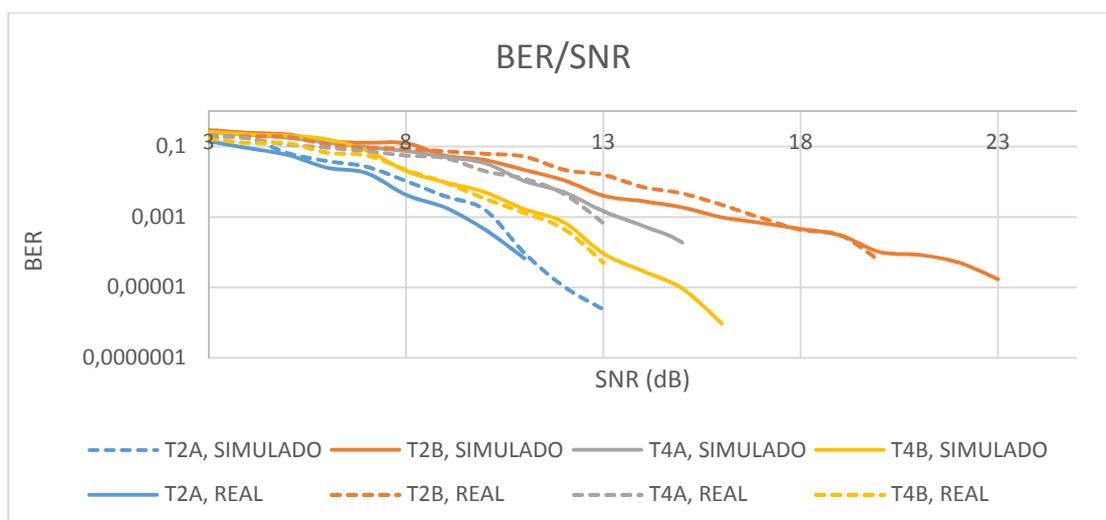
**Fig. 16. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK sin codificación.**

En la figura 16 se tiene la gráfica comparativa para la curva de BER vs. SNR para los diferentes canales utilizados con modulación QPSK, siendo su característica más relevante, que las pruebas fueron realizadas sin ningún tipo de codificación. Obteniendo que el Indoor A es el más confiable.



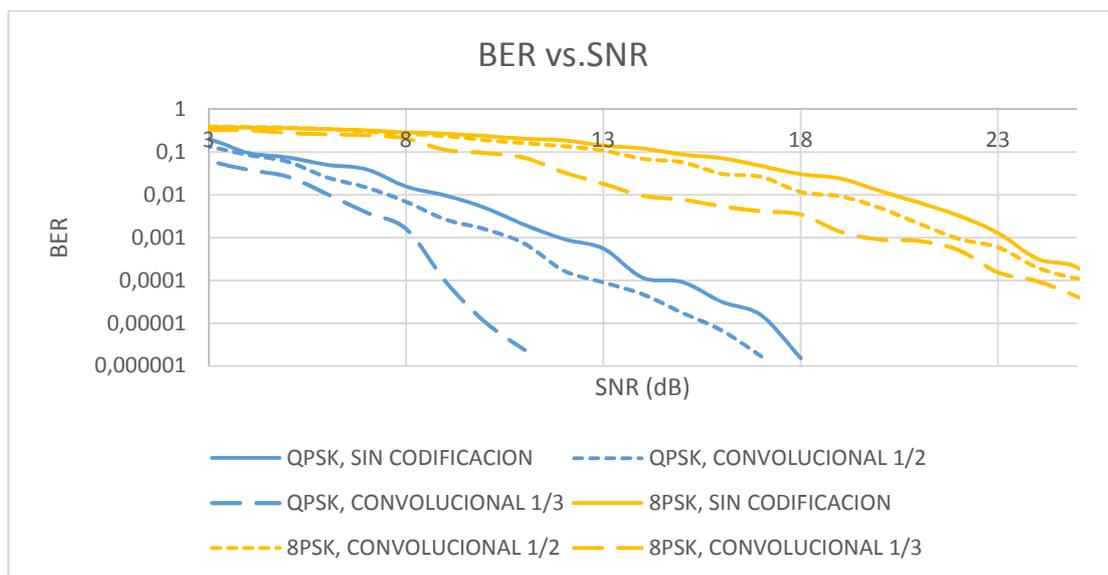
**Fig. 17. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK con tasa de codificación  $\frac{1}{2}$ .**

En la figura 17 se tiene la gráfica comparativa para la curva de BER vs. SNR para los diferentes canales utilizados con modulación QPSK, siendo su característica más relevante, que al estar codificado con una tasa de 1/2, el canal Indoor A persiste en ser el que mejor se desempeña.



**Fig. 18. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor en modulación QPSK con tasa de codificación 1/3.**

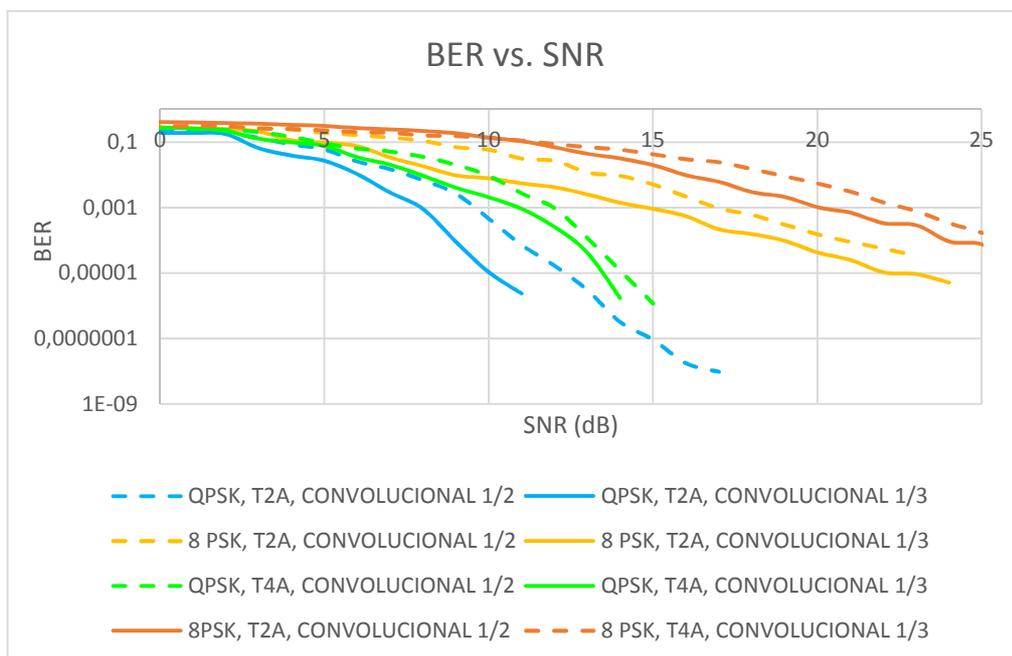
En la figura 18 se tiene la gráfica comparativa para la curva de BER vs. SNR para los diferentes canales utilizados con modulación QPSK, siendo su característica más relevante, que al estar codificado con una tasa de 1/3, el canal Indoor A persiste en ser el que mejor se desempeña, ya que los otros presentan variaciones bruscas en el asentamiento de la gráfica.



**Fig. 19. BER vs. SNR para variaciones de modulación y en un canal Indoor para diferentes tasas de codificación.**

En la figura 19 se tiene la gráfica comparativa para la curva de BER vs. SNR para un canal Indoor con modulaciones QPSK y 8PSK, en la cual se observa que se tiene un mejor rendimiento con modulación QPSK ya que presenta una mayor separación entre las regiones definidas para los símbolos.

Además se observa que el codificador de canal convolucional con una tasa de 1/3 presenta menores valores de BER, ya que en esa tasa de codificación se insertan más bits de paridad con el fin de corregir más errores en la trama recibida.



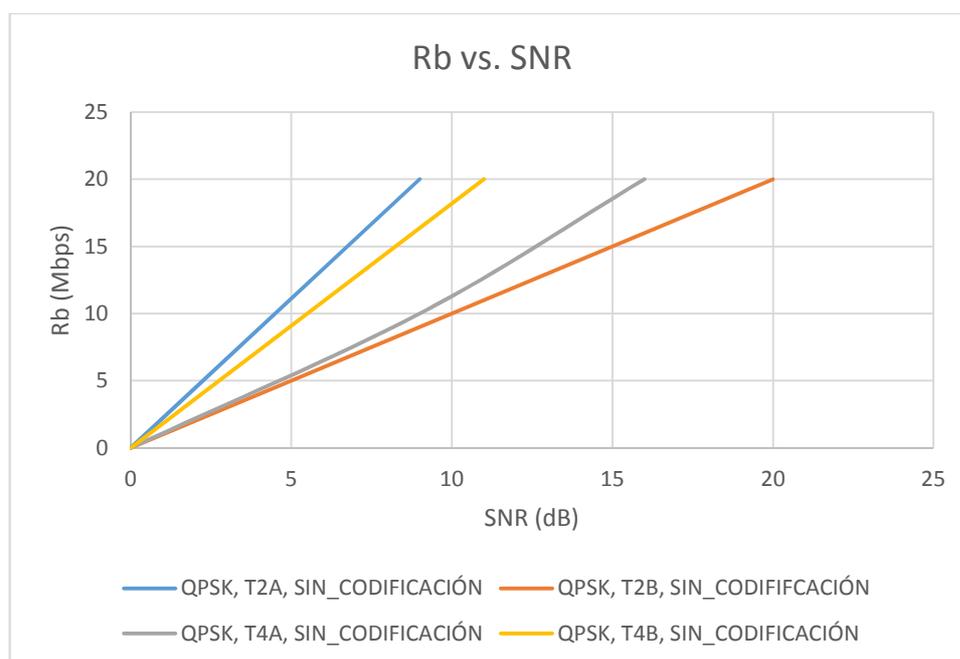
**Fig. 20. BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor para variaciones de modulación y tasas de codificación.**

En la figura 20 se tiene la gráfica comparativa para la curva de BER vs. SNR para canales Indoor y Outdoor con modulaciones QPSK y 8PSK y con diferentes tasas de codificación. Como bien se observa, el sistema QPSK Indoor a una tasa de 1/3 es el que mejor desempeño tiene frente a los otros sistemas que cuentan con variaciones de tasa de codificación o de tipo de modulación.

### 2.3. Análisis de tasa de transmisión de datos.

De las pruebas realizadas lo que se pretende es establecer bajo el análisis de tasa de transmisión de datos que sistema soporta un mayor ruido o a su vez una baja tasa de SNR.

Para este análisis de tasa de transmisión de datos se considera ciertos parámetros como la tasa de símbolo y los bits que se transmitirán que a su vez depende del tipo de modulación que se está utilizando para transmitir la información en nuestro caso el texto, se agrega ruido al canal inalámbrico y se evalúa el máximo punto en el cual se pueda recuperar la información sin distorsión.



**Fig. 21. Rb vs. SNR en diferentes canales multitrayectorias**

En la figura 21 se puede observar que bajo la misma tasa de transmisión de datos  $R_b$  (20 Mbps) el sistema que presenta un mejor desempeño y que por lo tanto tiene una baja relación señal a ruido (SNR) es la transmisión que se realizó bajo un canal multitrayectoria Indoor A ya que este canal tiene una menor cantidad de trayectorias para llegar la información desde la antena del transmisor hacia el receptor lo cual se resume en una menor cantidad de obstáculos.

## CONCLUSIONES

Luego de realizadas las pruebas de transmisión para los canales utilizados, se pudo concluir que a transmisión de texto resultó ser más eficiente en el canal Indoor A sin importar el tipo de modulación y si se usa o no una tasa de codificación convolucional.

De acuerdo a las características del medio de transmisión y del sistema de comunicación inalámbrica implementado, se obtuvo una clara superioridad en estabilidad y confiabilidad para la modulación QPSK con respecto a la modulación 8 PSK, ya que este tipo de modulación es más robusta a la interferencia intersimbólica porque presenta un mayor desfase entre cada símbolo.

Se comprobó que cuando se modula en QPSK o 8 PSK se tiene una baja relación señal a ruido SNR utilizando una tasa de codificación  $1/3$  en comparación con  $1/2$ , lo cual indica que al introducir más bits de redundancia en la transmisión se logra tener una menor probabilidad de error al recuperar el mensaje en el receptor, luego de atravesar la información por un canal multitrayectoria con ruido.

Por lo expuesto anteriormente un sistema propicio para la transmisión de texto sin errores sería un canal multitrayectoria Indoor A descrito en la Tabla 1 utilizando modulación QPSK y un codificador de canal convolucional con tasa

de 1/3, de esta manera se evaluó la necesidad de utilizar codificador de canal con el fin de eliminar los efectos del canal inalámbrico sin embargo debe considerarse utilizar codificadores más eficientes como lo son los turbo códigos.

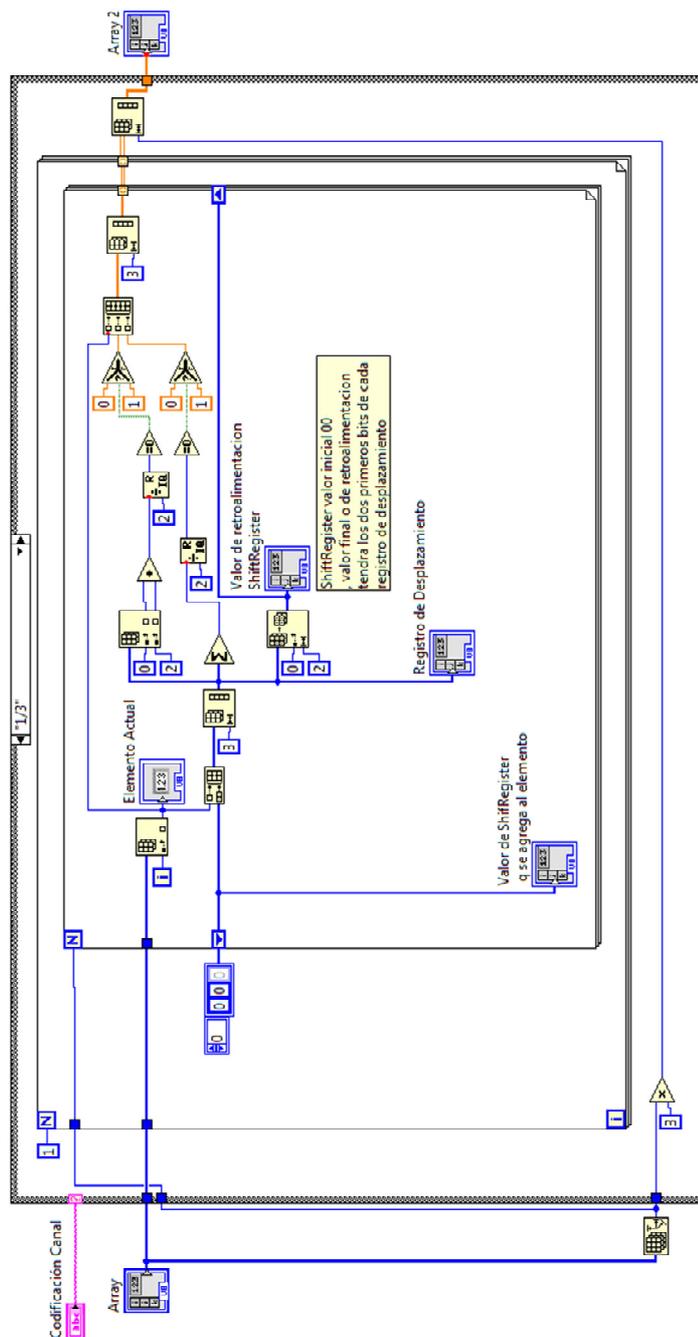
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Hernández, *Sistemas de Telecomunicación*, 1st ed. Valencia: Enrique Hernández, 2012.
- [2] *Sistemas de modulación derivados de QPSK*, 1st ed. Las Palmas de Gran Canaria: Departamento de señales y comunicación, 2010.
- [3] E. Guevara Ventura, *Modulación Digital MULTI-Bit*, 1st ed. Barquisimeto, 2012, pp. 1-32.
- [4] M. Weik, *Computer science and communications dictionary*, 1st ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, pp 309.
- [5] C. Sánchez, *Códigos Convolutionales*, 1st ed. 2013.
- [6] Z. Qian, *Recent advances in computer science and information engineering*, 1st ed. Heidelberg: Springer, 2012, pp. 85-90.
- [7] A. Mitra, *Lecture Notes of Mobile Communication*, 1st ed. Guwahati: Abhijit Mitra, 2009, pp. 75-89.
- [8] M. Weik, *Computer science and communications dictionary*, 1st ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, pp 634.
- [9] X. Jiang, *Communications and networks*, 1st ed. [Place of publication not identified]: Springer, 2012, pp. 325-346.
- [10] W. Franta and M. Bilodeau, "Analysis of a prioritized CSMA protocol based on staggered delays", *Acta Informatica*, vol. 13, no. 4, pp. 299-324, 1980.

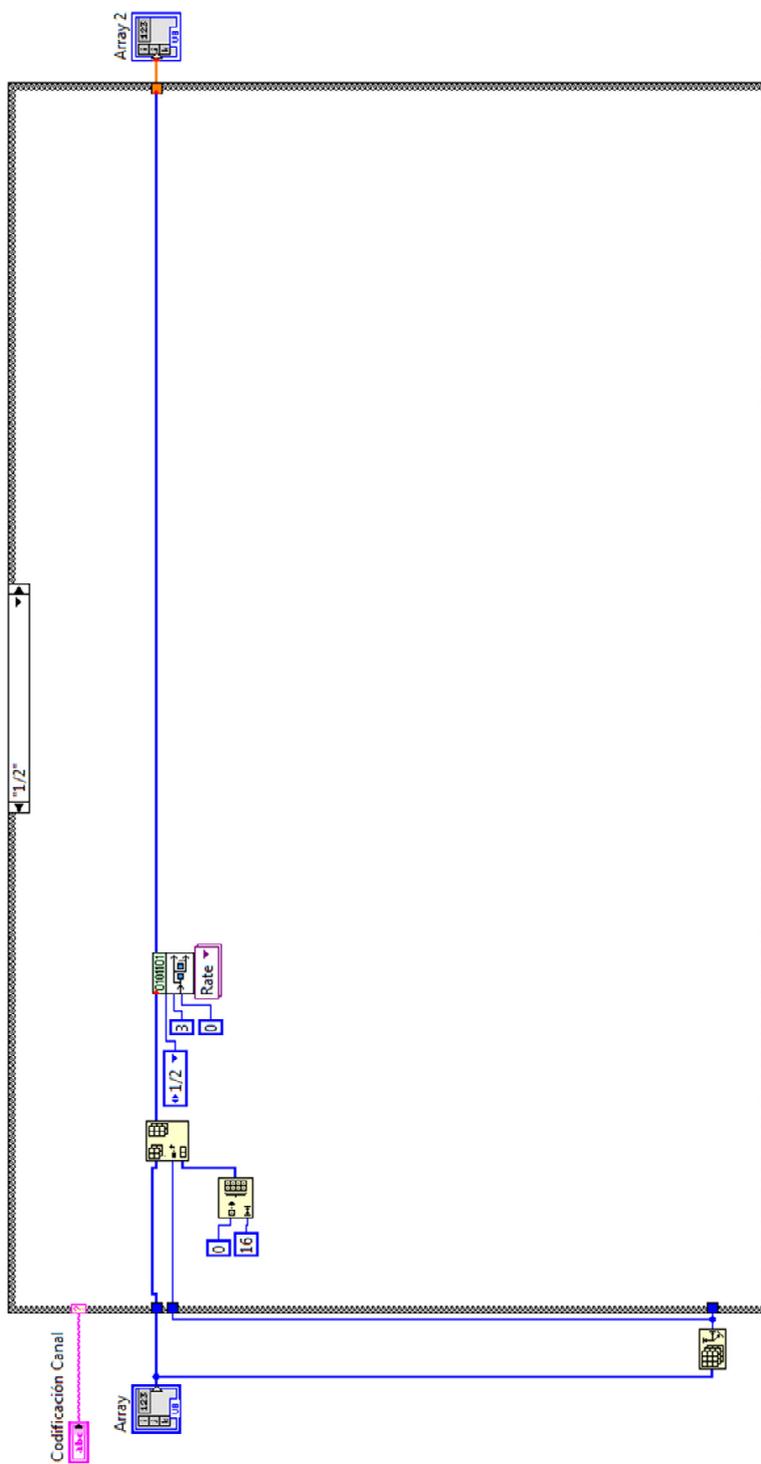
## ANEXOS

### 2.1. Diagramas de bloque de los codificadores.

#### 2.1.1. Codificador Convolutivo a $\frac{1}{3}$



## 2.1.2. Codificador Convolutivo a $1/2$



## 2.2. Diagramas de bloque de los decodificadores.

### 2.2.1. Decodificador Convolutivo a $\frac{1}{3}$

