



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE DETECCION DE  
PORTADORA Y RECONOCIMIENTO DE ACKNOWLEDGE  
EN UN SISTEMA DE TRANSMISION DE IMAGEN  
A TRAVÉS DE CANALES MULTIPASOS**

**EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO  
INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**Ing. Jorge Antonio Vega Rosero**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**AÑO 2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al PhD. Boris Ramos por su colaboración en este proyecto.

A los ingenieros Marisela Freire y José Alonso por su tenaz apoyo en los laboratorios.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios Todopoderoso que guía mi camino.

A mi señora madre María Luisa Rosero que siempre está conmigo en todo momento, y es mi motivación.

A mis hermanas Martha y Georgina por su apoyo moral y entusiasmo.

A mis tíos Antonio Vega y Carmela Vega por su apoyo incondicional.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Ph.D. Boris Ramos.

**EVALUADOR**



---

M.Sc. Carlos Valdivieso.

**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.



---

JORGE ANTONIO VEGA ROSERO

C.I.: 0912934759

## RESUMEN

La transmisión de datos a través de los sistemas de Telecomunicaciones, cada vez ha ido evolucionando con el avance de la tecnología. Los ambientes que antes eran inhóspito para la transmisión de señales, ahora mediante equipos con tecnología de punta se puede recibir la señal sin problema alguno. Es así, que para la transmisión de imágenes mediante la simulación de un enlace con la tecnología de Radio Definido por Software (SDR), utilizando los NI-USRP 2920 del laboratorio de Simulación de Telecomunicaciones, se pueden obtener datos interesantes en tiempo real, lógicamente va a depender mucho del ambiente simulado de los canales indoor comerciales y outdoor de áreas rurales, de las mediciones del Bit Error Rate (BER) y la relación señal a ruido (SNR), tanto en las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK.

# CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACION	III
DECLRACION EXPRESA	IV
RESUMEN	V
CONTENIDO	VI
ABREVIATURAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
<b>1.INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2.MARCO TEORICO</b>	
2.1 Canal Multipaso .....	2
2.1.1 Canales Comerciales Ambiente Indoor.....	5
2.1.2 Canales Outdoor Áreas Rurales.....	6
2.2 Modulación .....	7
2.2.1 Modulación QPSK .....	8
2.2.2 Modulación $\pi/4$ QPSK .....	10
2.3 Relación Señal a Ruido (SNR) .....	12
2.4 Bit error Rate (BER) .....	13

2.5 Tasa de Bit ( $R_b$ ) .....	13
2.6 Densidad espectral de potencia .....	14
2.7 CSMA .....	15
2.8 ACK/NACK .....	18
2.8.1 Proceso de reconocimiento ACK .....	18
2.8.2 Proceso de reconocimiento NACK .....	21
2.9 Procesamiento de Imágenes .....	24

### 3. MARCO TECNICO Y DE RESULTADOS

3.1 Constelaciones .....	28
3.1.1 Comportamiento de la constelación QPSK en presencia de ruido.....	28
3.1.2 Comportamiento de la constelación $\pi/4$ QPSK en presencia de ruido.....	29
3.2 Datos utilizados para QPSK y $\pi/4$ QPSK .....	29
3.3 Implementación de vi .....	30
3.3.1 Bloque de Modulación .....	30
3.3.2 Bloque de Demodulación .....	31
3.4 Creación de Canal multipaso para las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK .....	32
3.5 Resultados .....	37
3.5.1 Modulación $\pi/4$ QPSK .....	37

3.5.1.1 Análisis de rendimiento de los Canales Indoor Comerciales A y B.....	37
3.5.1.2 Análisis de rendimiento de los Canales Outdoor Áreas Rurales A y B. ....	39
3.5.2 Resultados para la Modulación QPSK .....	40
3.5.2.1 Análisis de rendimiento de los Canales Indoor Comerciales A y B.....	40
3.5.2.2 Análisis de rendimiento de los Canales Outdoor áreas rurales A y B.....	41
3.5.3 Simulado vs Ambientes Outdoor áreas rurales....	42
3.5.4 Simulado vs Ambientes Indoor comerciales.....	43
3.5.5 Power Delay Profile.....	44
3.5.6 Tasa de Bit .....	46
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
4.1 Análisis del rendimiento con modulaciones $\pi/4$ QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor .....	49
4.2 Análisis del rendimiento con modulaciones $\pi/4$ QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor .....	50
4.3 Análisis del rendimiento entre las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK, en ambiente Indoor.....	51
4.4 Análisis del rendimiento entre modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK, en ambiente Outdoor.....	52

4.5 Análisis del rendimiento de la modulación $\pi/4$ QPSK, en ambiente indoor comerciales y outdoor áreas rurales.....	53
4.6 Análisis del rendimiento de la modulación QPSK, en ambientes indoor comerciales y outdoor áreas rurales.....	53
<b>5.REFERENCIAS .....</b>	<b>54</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## ABREVIATURAS

<b>AWGN</b>	Ruido blanco aditivo Gausiano
<b>ISI</b>	Interferencia Intersimbolica.
<b>SNR</b>	Relación señal a ruido.
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase-Shift Keying
<b><math>\pi/4</math> QPSK</b>	Quadrature Amplitude Modulation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Efecto multipath en la señal transmitida	2
Figura 2.2. Representación de pasos	3
Figura 2.3. Transmisión y recepción de una imagen	7
Figura 2.4. Constelación QPSK	9
Figura 2.5. Modulador $\pi/4$ QPSK	10
Figura 2.6. Demodulador $\pi/4$ QPSK	10
Figura 2.7. Constelación pasando la transición de QPSK a $\pi/4$ QPSK	11
Figura 2.8. Constelación $\pi/4$ QPSK definida en vi de labview	11
Figura 2.9. SNR implementado en labview	12
Figura 2.10. Bit error rate implementado en labview	13
Figura 2.11. Parametrización de factores en el cálculo del Rb	13
Figura 2.12. La imagen transmitida y su deterioro en presencia de ruido	14
Figura 2.13. Densidad espectral de la señal de la imagen	15
Figura 2.14. Algoritmo CSMA	15
Figura 2.15. Eliminación de receiver en el top_rx.vi	17
Figura 2.16. Panel frontal de la implementación CSMA	17
Figura 2.17. Respuestas ACK	19
Figura 2.18. Implementación del ACK en el transmisor con direcciones ip	20

Figura 2.19. Implementación del ACK en el receptor con direcciones ip	21
Figura 2. 20. Respuestas NACK	22
Figura 2.21. Implementación del NACK en el transmisor con direcciones ip	23
Figura 2.22. Implementación del NACK en el receptor	23
Figura 2.23. Pasos para el procesamiento de imágenes	24
Figura 2.24. Proceso de deterioro de imágenes	25
Figura 2.25. Imaq Readfile.vi	26
Figura 2.26. Imaq create.vi	26
Figura 2.27, flatten image to string.vi	26
Figura 2.28, unflatteng from string.vi	26
Figura 2.29. Vi que lee la información de la imagen y la transforma en archivo plano	27
Figura 3.1. Modulación QPSK. Transmisión de la imagen	28
Figura 3.2. Modulación QPSK. Recepción de la imagen.	28
Figura 3.3. Modulación $\pi/4$ QPSK. Transmisión de la imagen	29
Figura 3.4. Modulación $\pi/4$ QPSK. Recepción de la imagen	29
Figura 3.5. Vi modulate QPSK	30
Figura 3.6. Vi modulate $\pi/4$ QPSK	31
Figura 3.7. Vi decoder QPSK	31
Figura 3.8. Vi decoder $\pi/4$ QPSK	32
Figura 3.9. Vi para canales indoor Comerciales A	33
Figura 3.10. Vi para canales indoor Comerciales B	33
Figura 3.11. Vi para canales outdoor Áreas Rurales A	34

Figura 3.12. Vi para canales outdoor Áreas Rurales B	34
Figura 3.13. Constelación en Tx.	35
Figura 3.14. Diagrama de Ojo	35
Figura 3.15. BER optimo	35
Figura 3.16. Constelación en Rx.	36
Figura 3.17. Diagrama de Ojo resultante en Rx.	36
Figura 3.18. vi del Bit error rate.	37
Figura 3.19. vi SNR	37
Figura 3.20. Curvas Indoor Comercial A y B, modulación $\pi/4$ QPSK	38
Figura 3.21. Curvas Outdoor áreas rurales A y B, modulación $\pi/4$ QPSK	39
Figura 3.22. Curvas Indoor Comercial A y B, modulación QPSK	40
Figura 3.23. Curvas Outdoor áreas rurales A y B, modulación QPSK	41
Figura 3.24. Curvas de simulado vs Outdoor áreas rurales B	42
Figura 3.25. Curvas de simulado vs Indoor comercial A	43
Figura 3.26. Power delay Profile Indoor comercial A	44
Figura 3.27. Power delay Profile Indoor comercial B	45
Figura 3.28. Power delay Profile Outdoor areas rurales A	46
Figura 3.29. Power delay Profile Outdoor areas rurales B	46
Figura 3.30. Parámetros para obtener Rb	46
Figura 3.31. SNR vs Rb, Modulación $\pi/4$ QPSK	47
Figura 3.32. SNR vs Rb, Modulación QPSK	48
Figura 4.1. Curvas Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales,	49

modulación  $\pi/4$  QPSK

Figura 4.2. Curvas Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales,  
modulación QPSK 50

Figura 4.3. Imagen y su proceso de conversión en bits 51

Figura 4.4. Con BER  $\leq 0.2$ , presenta la imagen sin problema. 52

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Canales Indoor Comerciales	5
Tabla 2.2. Canales Outdoor Áreas Rurales	6
Tabla 2.3. Combinación de Bits y fases	9
Tabla 2.4. Conversión de Bits a símbolos QPSK	9
Tabla 2.5. Conversión de Bits a símbolos $\pi/4$ QPSK	12

## 1. INTRODUCCION

Los ambientes de trabajo donde se va a propagar la señal es en Indoor Comercial y en Outdoor áreas Rurales, por lo cual se va a tener canales multipaso a simular para poder transmitir imágenes en tiempo real con la utilización de los NI-USRP 2920 actuando como transmisor y receptor. Las señales van cambiando de acuerdo a las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK y al canal multipaso implementado que va a ser el medio al cual van a ser sometidos. Para cada ambiente de trabajo existen dos tablas de canales a simular.

Las transmisiones de imágenes van de acuerdo a la calidad que se desea obtener en el receptor que en algunos casos no se reflejan debido a la presencia de ruido en el canal o porque la calidad de la imagen es de alta definición y al grabarlas en formato de compresión jpeg son muy pesadas, por lo cual se debe seleccionar una imagen como máximo de 2 Kb para que no exista ningún problema.

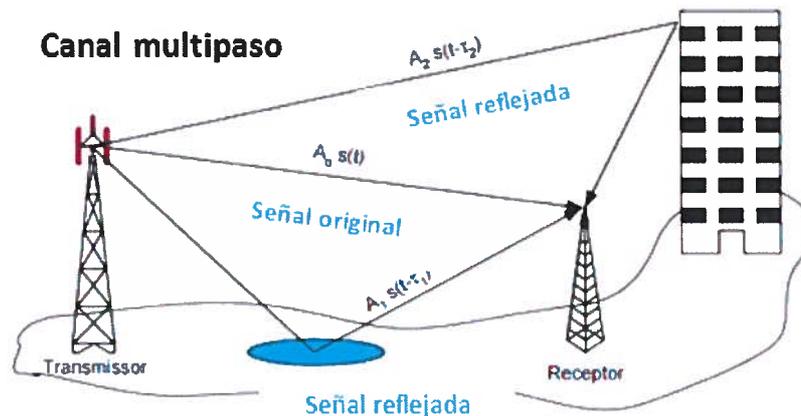
## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Canal Multipaso

El canal multipaso se presenta por el efecto Multipath que hacen que la señal que se transmite llegue con diferentes tiempos al receptor, ocasionado pérdidas de energía originadas por los múltiples trayectos que toma la señal en el medio. Cabe mencionar que existen dos tipos de multipaso o multitrayectorias, los cuales son:

- Multitrayectoria especular y
- Multitrayectoria difusa.

En la figura 1, se muestra un ejemplo del efecto multipaso.



$T_1$  = El retardo primera onda reflejada.

$T_2$  = El retardo segunda onda reflejada.

$$T_1 \neq T_2$$

Figura 2.1. Efecto multipath en la señal transmitida

Las pérdidas originadas por el efecto multipaso dan lugar a sus dos principales características que se reflejan al llegar la señal en el receptor, las cuales son las siguientes: el delay spread y el Doppler spread.

- El delay spread se caracteriza por la forma en particular como llega la señal al receptor, la cual es en forma de pequeñas señales como ecos sucesivos.
- El doppler spread es la segunda característica del efecto multipaso, se lo calcula desde el momento en que se empezó a transmitir hasta que el receptor recibió la señal, lo cual provoca un desvanecimiento selectivo por el trayecto recorrido y con ello origina una distorsión en la señal.

En sí, teniendo en cuenta que se tendrá diferentes trayectorias para la señal debido a los obstáculos por los que tiene que pasar, tenemos que ver su respuesta para el dominio del tiempo y la respuesta para el dominio de la frecuencia como a continuación se detalla.

Respuesta a impulso del canal:

$$h_c(t) = \sum_{i=0}^{I-1} a_i \delta(t-\tau_i)$$

Respuesta en Frecuencia:

$$H(f) = \sum_{i=0}^{I-1} a_i e^{(-j2\pi f \tau_i)}$$

Para este proyecto, los canales multipaso a implementarse poseen varios pasos para los ambientes Indoor comerciales y Outdoor áreas Rurales. Los pasos que se hacen mención, se los representan con números complejos, teniendo una parte Real y una parte Imaginaria (Re, Im). Tal como se puede observar en la figura 2.

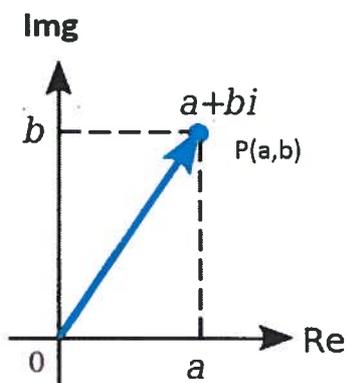


Figura 2. Representación de pasos

Para llegar a la representación en números complejos de los pasos se tienen que efectuar varios cálculos, en base a los valores dados de atenuación y retardos. Los cuales son:

- Cálculos de fasores para cada retardo.

$$\varnothing = -2\pi f \tau$$

f: frecuencia en MHz

$\pi$ : radianes

$\tau$ : radianes

- Transformar la atenuación de dB a W

$$\text{Potencia} = P_{\text{abs}} = 10^{P_{\text{dB}}/10}$$

P: Potencia en Watts

- Calculo de amplitud de la señal.

$$\text{Amplitud} = A = \sqrt{P}$$

P: atenuación en Watts

- Cálculos de la parte real (Re) e imaginaria (Im) de los pasos.

$$\text{Re} = A \cos \varnothing$$

$$\text{Im} = A \sin \varnothing$$

Como par ordenado:  $P(\text{Re}, \text{Im}) = P(a, b)$

Representación:  $(a + bi)$

Creando así, la representación numérica de los pasos implementados para este proyecto según los canales y ambientes en donde se desarrollan.

### 2.1.1 Canales Comerciales Ambiente Indoor

Dentro de los modelos de propagación determinísticos encontramos a los ambientes indoor comerciales, los cuales se propagan en ambientes cerrados tales como oficinas, laboratorios y centros comerciales, en donde la señal antes de llegar al receptor se encuentra con varios obstáculos como paredes, ventanas de vidrios, estructuras metálicas que provocan el efecto multipaso.

Para este proyecto se van a implementar dos canales multipaso A y B, en ambientes indoor comerciales que tienen diferentes retardos y atenuaciones. Cabe mencionar que los canales implementados van a hacer los escenarios de prueba para las transmisiones de la señal de la imagen en tiempo real con incidencia de ruido y manteniendo la misma frecuencia. Adjunto la tabla 1, con los valores correspondientes de atenuación y retardo para ambientes indoor comerciales.

Tap	Canal A		Canal B	
	Delay (nSec)	Avg Power (dB)	Delay (nSec)	Avg Power (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-5.9	100	-0.2
3	200	-14.6	200	-5.4
4			400	-6.9
5			500	-24.5
6			700	-29.7

Tabla 2.1 Canales Indoor Comerciales

Para la implementación de este proyecto se tomaron los datos de la tabla 1, para desarrollar el canal multipaso que obedece a este comportamiento, por el cual la señal se va a transmitir.

El canal A se desarrolló con tres pasos de acuerdo al incremento en su retardo y el canal B con ocho pasos debido a que se insertaron potencias nulas en los retardos de 300 ns y 600 ns.

### 2.1.2 Canales Ambiente Outdoor – Áreas Rurales

Los ambientes outdoor áreas rurales están clasificados como uno de los modelos de propagación determinísticos, los cuales se caracterizan porque se propagan en ambientes abiertos, en donde la presencia de edificios y personas es mínima, asegurando que el impacto por interferencia sea el menor posible entre el transmisor y el receptor. Cabe mencionar que el punto que hay que tomar en consideración es la vegetación de los alrededores de la zona en donde se van a ubicar las torres, ya que de igual manera como sucede en la ciudad se podrá observar el efecto multipath.

La implementación de este proyecto con lleva a observar el comportamiento de la señal de la imagen, al ser transmitida en el exterior por estos canales A y B, en base a datos tomados de la tabla 2 adjunta.

Tap	Canal A		Canal B	
	Delay (uSec)	Avg Power (dB)	Delay (uSec)	Avg Power (dB)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	-2.0	0.1	-4.0
3	0.4	-10.0	0.2	-8.0
4	0.6	-20.0	0.3	-12.0
5			0.4	-16.0
6			0.5	-20.0

Tabla 2.2. Canales Outdoor – Áreas Rurales

Los canales multipaso A y B, tienen diferentes valores de retardos y atenuaciones, por el hecho de que su punto de acción esta en ambientes outdoor. Es así que en el canal A, sus retardos van con incrementos de 0.2  $\mu$ s, mientras que en el canal B van con incrementos de 0.2  $\mu$ s. El desarrollo

de estos canales se desarrolló con cuatro pasos para el canal A y con seis pasos el canal B.

## 2.2 Modulación

La capa física es el primer nivel del modelo OSI y es lugar donde se empieza a conocer cuál es la fuente de datos a transmitir, siendo estas de diversas índoles, tales como: Texto, audio, imagen y video.

La fuente de datos para este proyecto es una imagen, la misma que puede ser adquirida desde una cámara webcam de un equipo portátil, a través de una foto instantánea o por un archivo grabada en nuestro disco duro, teniendo en cuenta que cada imagen tiene una calidad definida y una técnica de compresión que clasifica a los archivos como gif, jpeg, bmp entre otros. La figura 3, muestra un sistema de telecomunicación para trasmitir y recibir una imagen en jpeg.

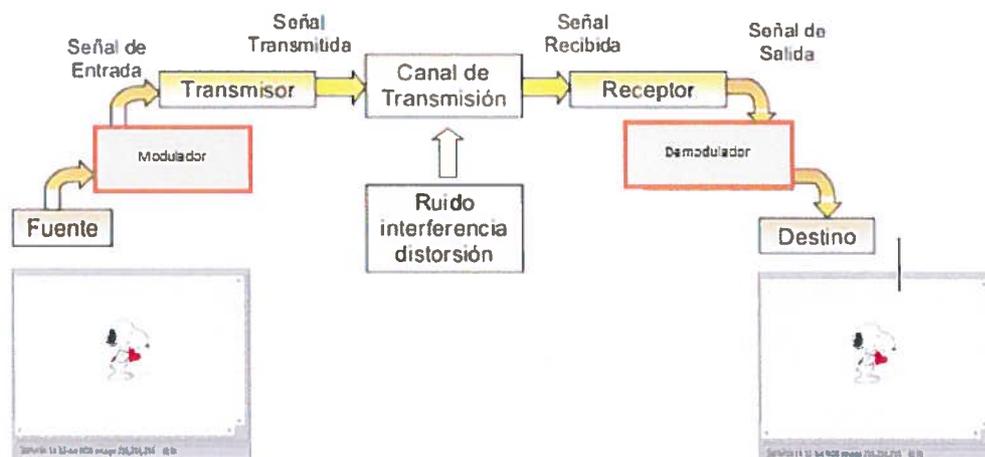


Figura 2.3. Sistema de Telecomunicación básico para la Transmisión y recepción de una imagen.

Una vez seleccionada la fuente de información o datos (que para nuestro caso es una imagen), se lo transforma en bits (0 y 1), para luego

proceder a modularla. La combinación de bit para las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK son de dos bits.

La técnica de modulación consiste en llevar la señal convertida en bits de los datos de la imagen en una portadora desde el transmisor hasta el receptor. Por lo cual, los bits son modulados y se transforman en símbolos, luego son transmitidos por el medio o canal hacia el receptor. Al llegar los símbolos al receptor se desmodulan convirtiéndolos nuevamente los símbolos en bits. Cabe mencionar que, en este proceso de transmisión y recepción, la señal puede sufrir variaciones originadas por ruido o interferencia en el canal multipaso.

Las técnicas de modulación tienen esquemas característicos y trabajan en base a los bits, por lo cual se requiere determinar la constelación con la cual se va a trabajar. Para este proyecto se considera el estudio de las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK.

### 2.2.1 Modulación QPSK

La modulación QPSK, es una modulación muy robusta y es el referente para toda transmisión. Posee una constelación de 4 puntos de distancias iguales, por lo cual puede trabajar solo con 2 bits y representar 4 símbolos. Tal como se detalla en la siguiente formula.

$$N_b = \log_2 M$$

$N_b$ : Numero de bits por símbolo

M: Numero de símbolos

Para el caso de modulaciones QPSK,

$$M=4 \text{ y } N_b = 2.$$

Para la constelación antes mencionada tenemos, las siguientes combinaciones de bits y su representación en el plano cartesiano:

Bits	Representación
11	$45^{\circ}$
01	$135^{\circ}$
00	$-135^{\circ}$
10	$-45^{\circ}$

Tabla 2.3. Combinación de Bits y fases

La representación de la constelación QPSK es la siguiente:

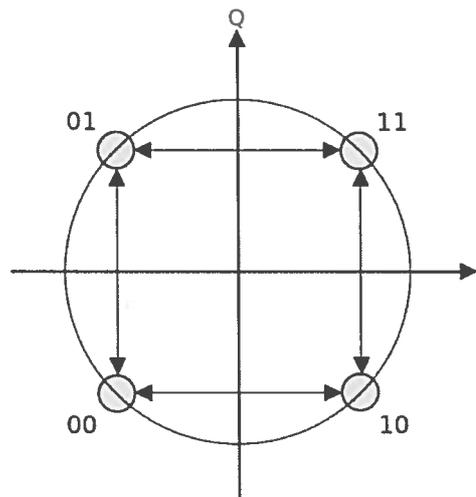


Figura 2.4. Constelación QPSK.

Bits	Símbolos
11	$1+1i$
01	$0+1i$
00	$-1-1i$
10	$1-1i$

Tabla 2.4. Conversión de Bits a símbolos

La implementación de la modulación QPSK, obedece al comportamiento de la constelación de la figura 4.

$$S_n(t) = \sqrt{(2E_s/T_s)} \cos(2\pi f_c t + (2n - 1)\pi/4), n \in \{1, 2, 3, 4\}$$

Siendo la probabilidad de error de bit, la siguiente:

$$P_b \approx Q(\sqrt{2E_b/N_0})$$

Siendo la probabilidad de error de símbolo, la siguiente:

$$P_s \approx 2Q(\sqrt{E_s/N_0})$$

## 2.2.2 Modulación $\pi/4$ QPSK

La modulación  $\pi/4$  QPSK, es una modulación que resulta del desfase de la onda en  $45^\circ$  con respecto a la modulación QPSK, por lo cual se dice que una forma especial de implementación de QPSK. Se la usa para transmisiones de información en ráfaga. La figura 5 y 6, muestran la forma de implementar la modulación completa antes mencionada.

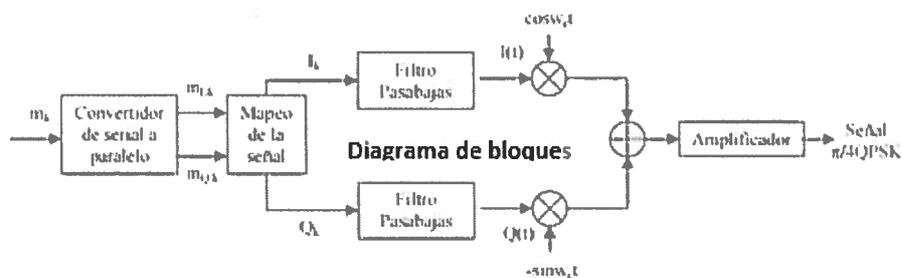


Figura 2.5. Modulador  $\pi/4$  QPSK

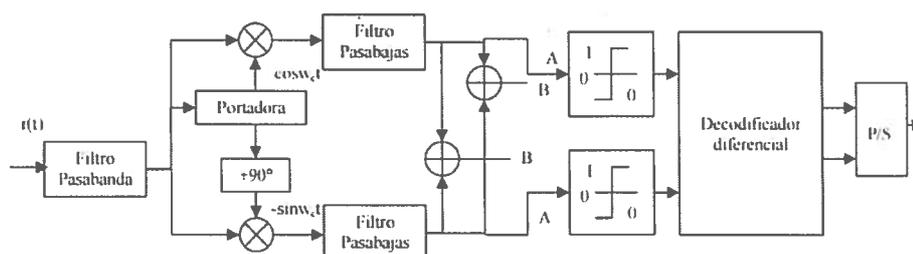


Figura 2.6. Demodulador  $\pi/4$  QPSK



La implementación de la modulación  $\pi/4$  QPSK, obedece al comportamiento de la constelación de la figura 8.

$$S_n(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) - Q(t) \sin(2\pi f_c t), \quad kT \leq t \leq T$$

$$\Theta_k = \Theta_{k-1} + \Theta_k$$

Donde:

$$I(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \cos \Theta_k p(t - kT_s - T_s/2)$$

$$Q(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \sin \Theta_k p(t - kT_s - T_s/2)$$

Siendo la probabilidad de error de símbolo, la siguiente:

$$P_s \approx 2Q(\sqrt{2E_b/N_0})$$

### 2.3 Relación Señal a Ruido (SNR)

Es el margen o la relación de la potencia transmitida con respecto al ruido que se va ingresando al sistema, su mediada es en dB. Nos sirve como medida para observar el rendimiento con las modulaciones implementadas. Que para este proyecto son: QPSK y  $\pi/4$  QPSK

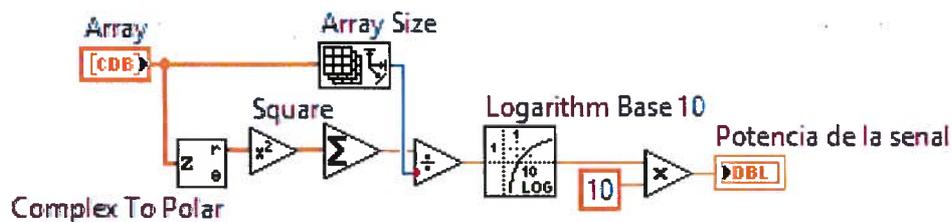


Figura 2.9. SNR implementado en labview

## 2.4 Bit Error Rate (BER)

Es la tasa de error por BIT que se genera al ingresar al sistema influenciado por los multipaso, ruido y las modulaciones implementadas. Es una medida muy importante y cuando se relaciona con SNR nos sirve para obtener el comportamiento de la señal, dará la pauta para saber cuál sistema implementar.

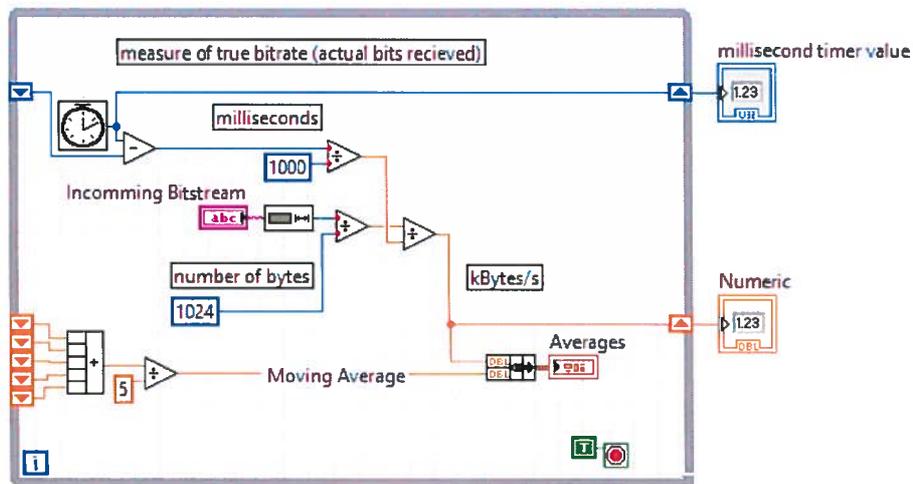


Figura 2.10. Bit error rate implementado en labview

## 2.5 Tasa de Bit (Rb)

La tasa de bit es la velocidad que tiene el sistema para operar con las diferentes modulaciones y según los canales multipasos implantados van a requerir mayor parametrización. La figura 9 sirve para configura factores que intervienen en el Rb.

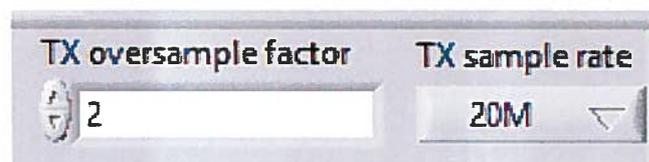


Figura 2.11. Parametrización de factores que intervienen en el cálculo del Rb.

Para nuestro caso los valores de esta relación entre los factores de la figura 9, son:

- 2 – 20M para los canales cuyos retardos se incrementan de 0.1  $\mu$ s.
- 4 – 20M para el canal outdoor áreas rurales A cuyo retardo se incrementa de 0.2  $\mu$ s.

Luego de esta configuración se empieza a incrementar el ruido hasta llegar al momento antes de que se pierda la transmisión de la imagen efectuada.

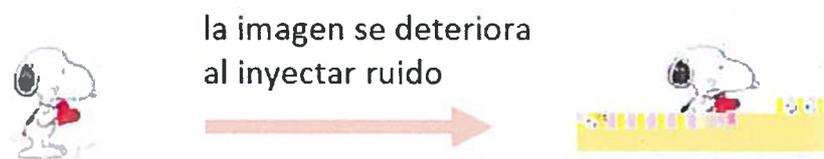


Figura 2.12. La imagen transmitida y su deterioro en presencia de ruido

## 2.6 Densidad espectral de potencia

La densidad espectral de la potencia nos sirve para observar el campo de acción de nuestra señal de transmisión de la imagen y saber hasta qué valor de ruido se puede ingresar al sistema.

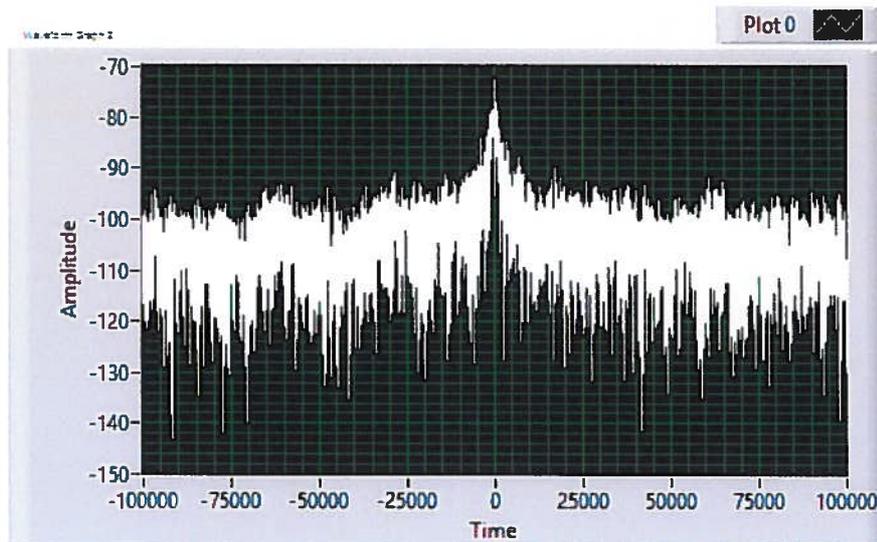


Figura 2.13. Densidad espectral de la señal de la imagen

## 2.7 CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

El Acceso Múltiple con sensor de Portadora (CSMA), es una técnica muy utilizada en el ambiente o mundo de las telecomunicaciones, la cual consiste en censar el medio o canal implementado con la finalidad de saber si existe o no presencia de portadora en el medio y con ello evitar colisiones con otros usuarios que en esos momentos deseen transmitir.

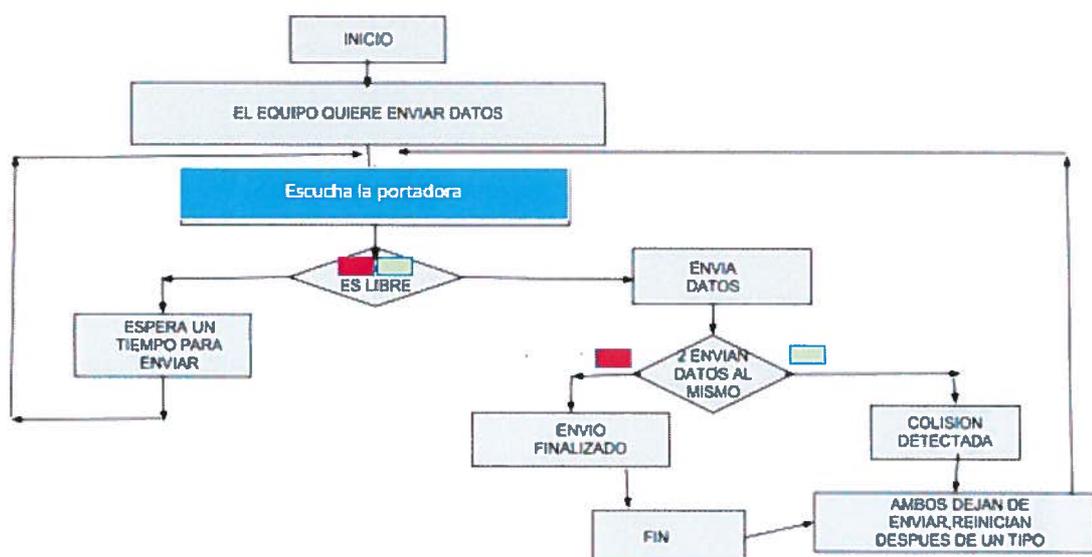


Figura 2.14. Algoritmo CSMA

El CSMA tiene varios tipos de implementaciones, las cuales son:

- CSMA/CD (Con detección de colisiones)
- CSMA/CA (Evitar colisiones)
- CSMA-NP (no persistente): Depende de que el canal este libre para transmitir definiendo en su implementación un tiempo aleatorio de espera con un tope máximo.
- CSMA-pP(p-Persistente): Se considera como la mejor implementación del CSMA, ya que el canal va a estar libre para todos los usuarios en base al cálculo de probabilidades de uso, que hacen que los tiempos de espera sean mínimos.
- CSMA- 1P (1-Persistente): La implementación de este canal genera tiempos largos de espera, ya que siempre está escuchando al medio para poder transmitir.
- CSMA/BA (Collision Sense Multiple Access/Bitwise Arbitration): Si dos usuarios desean transmitir y se mantienen esperando, esta técnica para por completo los procesos y selecciona a un usuario en base a jerarquía de su dirección ip y este será el que primero transmite.
- CSMA/CD 1-Persistente.

Para este proyecto se va a implementar el CSMA-1P. en base a los siguientes criterios:

- Que siempre se va a censar el medio, hasta ver la portadora libre y poder transmitir.
- La transmisión es simultánea para evitar colisiones.

Pues bien, para nuestro caso necesitaríamos 3 USRP, con el fin de implantar este esquema de CSMA.

El primer USRP se lo utilizara para ejecutar el vi top\_rx, con la particularidad de que se eliminará el receiver, con la finalidad de que al transmitir no se vaya la señal al receptor, sino que compita con el otro

transmisor que tiene los otros dos USRP en funcionamiento, para ganar el acceso al medio y poder transmitir la señal de imagen hacia el receptor. Cabe mencionar que para que se ejecute este esquema se necesita que las frecuencias sea la misma. La figura 15 detalla el procedimiento que se hizo en el vi.

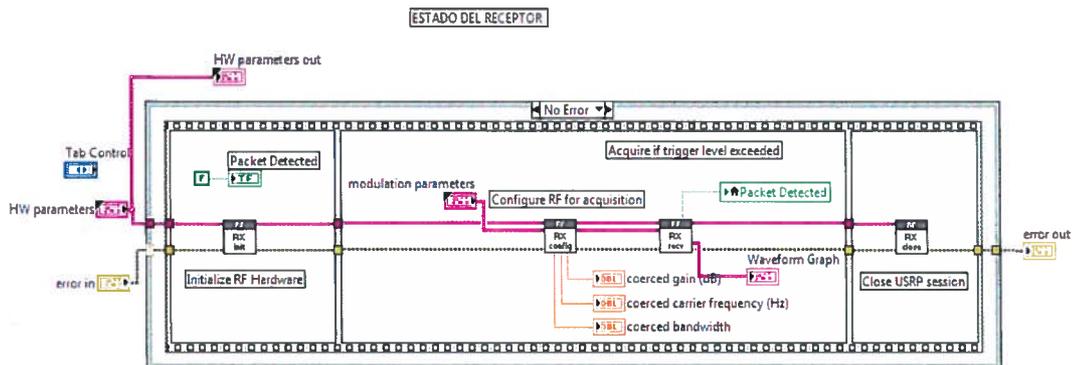


Figura 2.15. Eliminación de receiver en el top\_rx.vi

Como se puede observar en el vi, la ejecución de los algoritmos es en secuencia. Ahora la implantación vista en el panel frontal es de la siguiente manera, tal como se muestra en la figura 16.

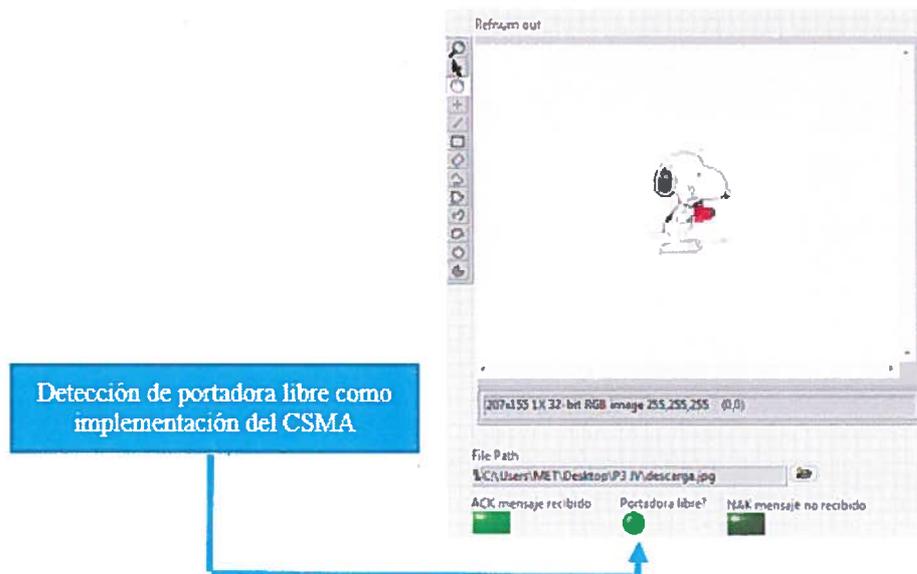


Figura 2.16. Panel frontal de la implementación CSMA

La portadora libre me indica que no hay otro USRP trabajando bajo la misma frecuencia de operación, por lo cual realiza la transmisión de la imagen para luego poder verla en el receptor como es el caso del led de portadora libre, que está encendida. En el caso de que el led estuviera apagado me indica que hay USRP que transmiten bajo esta misma frecuencia por lo cual se tendrá que esperar hasta que los otros USRP terminen su transmisión y con ello se encienda el led de portadora libre. La idea de la espera se originó con un algoritmo que funciona con un lazo infinito que termina cuando no detecta un paquete en el receptor.

## **2.8 ACK/NACK**

Las solicitudes de reconocimientos en el medio, que se efectúan en una red inalámbrica son con la finalidad de saber si están presentes o no en la red, por lo cual se usa para este efecto las direcciones ip. Las mismas que primero se deben establecerse entre dos equipos que por lo general, uno actúa como cliente y otro como servidor, para luego realizar la transferencia de datos o información y por ultimo dar fin de la conexión.

Cabe mencionar que nuestro proyecto necesitamos implementar varios vi que hacen posible la implementación del ACK/NACK basados en el uso de USRP, en un ambiente de laboratorio, por lo cual nuestros algoritmos deben de trabajar con las direcciones ip de los dispositivos antes mencionados para realizar los procesos de reconocimiento en la red local.

### **2.8.1 Proceso de reconocimiento ACK**

El reconocimiento ACK, define el grado de confianza que tiene el medio a un usuario en particular, por lo cual entabla una comunicación con un

servidor, luego de pasar el proceso del CSMA. Tal como describo a continuación:

1. El cliente necesita un archivo de imagen del servidor. Le envía su dirección ip, para que el servidor valide su acceso en base a las tablas de ruteo ya configurada.
2. El servidor chequea sus tablas y encuentra que es un usuario que si tiene permisos para solicitarle el archivo de imagen.
3. El cliente le llega la petición de una sincronización para la transferencia de datos.
4. Con ello el servidor le transfiere el archivo de imagen al cliente.
5. El cliente se siente satisfecho y termina la sesión.
6. El servidor reconoce que el cliente cerró la sesión.

Adjunto figura 17, que explica este procedimiento en forma gráfica del comportamiento de los actores.

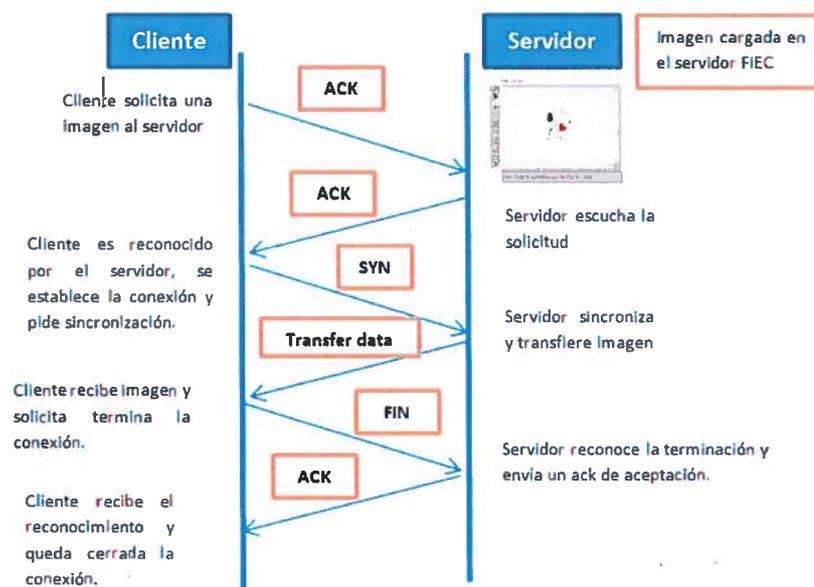


Figura 2.17. Respuestas ACK

Para las pruebas del ACK, se tomaron los bits que se generan de la imagen de un archivo denominado descarga.jpg, archivo que lo tomo como modelo para nuestro proyecto de Transmisión y Recepción de imagen y no

una simulación de bits aleatorios, por lo cual el ambiente es real. Adjunto figura 20, que detalla el panel frontal del algoritmo con el que se implementó el proyecto.

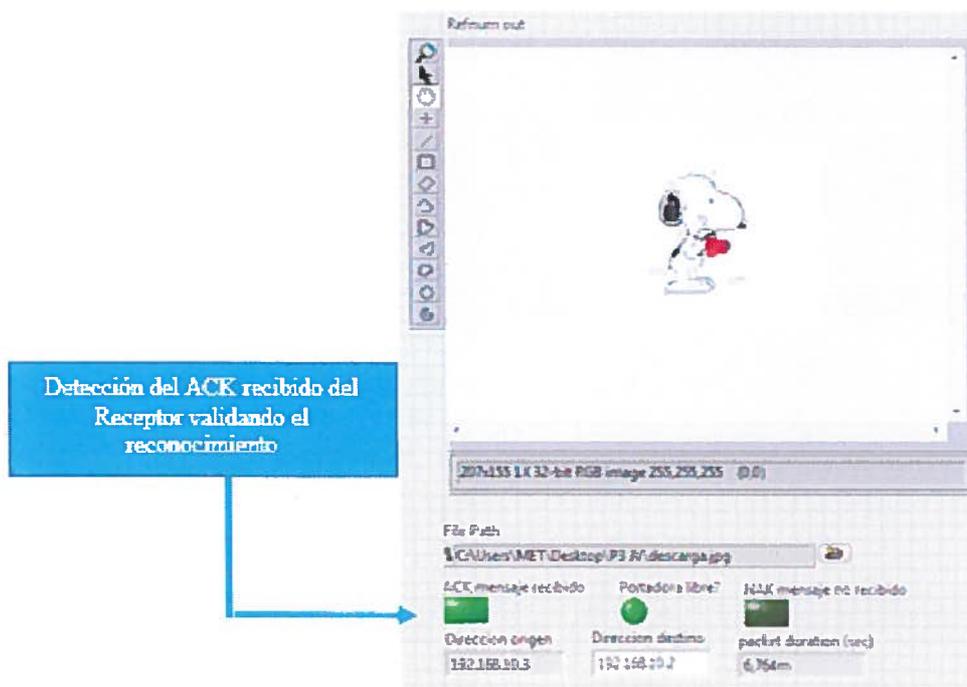


Figura 2.18. Implementación del ACK en el transmisor para imágenes, en base a sus direcciones ip

Ahora las direcciones ip y los datos se convierten en bits para ser transmitidos en el receptor. Al llegar al receptor se validan con sus algoritmos de reconocimiento las direcciones antes mencionadas, con la finalidad de dar paso a la transmisión de los datos o la información en bits de la imagen, no sin antes preguntarse si la portadora esta libre.

La imagen receptada, ejecuta un algoritmo que permite al receptor responder al transmisor con un ACK. Cabe mencionar que los procesos de modulación y demodulación se ejecutan en forma transparente y dependiendo de los canales multipaso permitirá una excelente recepción de la imagen o una pérdida completa de la misma.

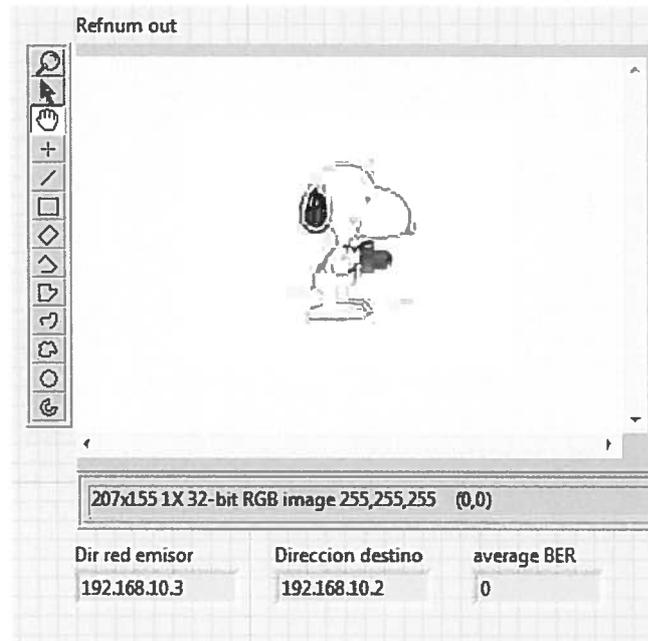


Figura 2.19. Implementación del ACK en el receptor para imágenes, en base a sus direcciones ip

### 2.8.2 Proceso de reconocimiento NACK

El reconocimiento NACK, se define como el grado de no acceso a los servicios del servidor, por lo cual se trata de un usuario intruso de la red o es un usuario sin permisos de acceso a los datos o información del servidor, por lo cual se a perdido la confianza que tiene el medio. Tal como describo a continuación:

1. El cliente necesita un archivo de imagen del servidor. Le envía su dirección ip, para que el servidor valide su acceso.
2. El servidor chequea sus tablas y encuentra que es un usuario sin permisos para solicitar el archivo de imagen. Le indica que nuevamente le envíe su dirección ip.
3. El cliente le llegue una notificación de que no tiene acceso y se le solita que envíe otra dirección ip para validarlo.

4. Al servidor le llega la nueva dirección ip y tampoco es válida por lo cual notifica al usuario y cierra la sesión.
5. El cliente no tuvo acceso a ningún servicio y termina la sesión.
6. El servidor reconoce que el cliente cerró la sesión y da por terminado el proceso.

Adjunto figura 20, que explica este procedimiento en forma gráfica del proceso NACK.

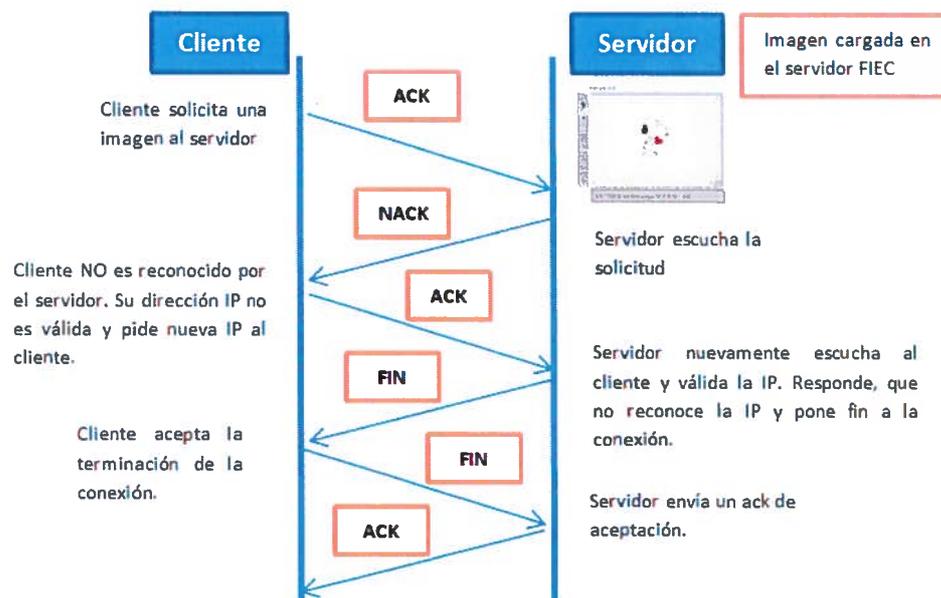


Figura 2.20. Respuestas NACK

Para la ejecución de las pruebas del proceso NACK, se tomó en consideración la transmisión de la imagen desde un archivo denominada descarga.jpeg, que posee una calidad básica y tiene una compresión que brinda jpeg. Adjunto figura 21, que detalla el panel frontal del algoritmo con el que se implementó el proyecto.

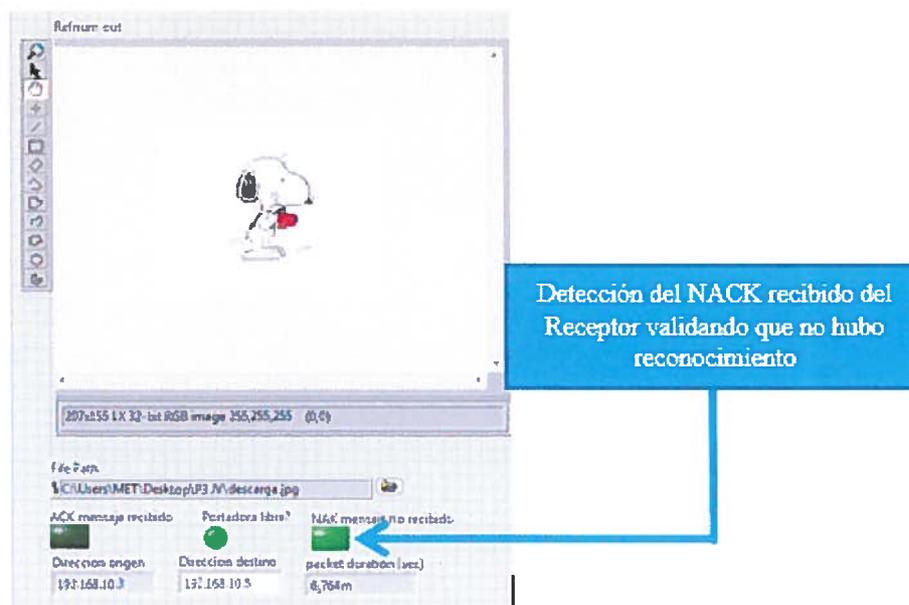


Figura 2.21. Implementación del NACK en el transmisor para imágenes, en base a sus direcciones ip

La transmisión de la imagen bajo el proceso de NACK tiene un algoritmo que valida las direcciones ip, que para este caso no reconoce al transmisor y no le da autorización para que se ejecute la transmisión de la imagen en el receptor como se observa en la figura 22, en donde no se presenta la imagen en el receptor.

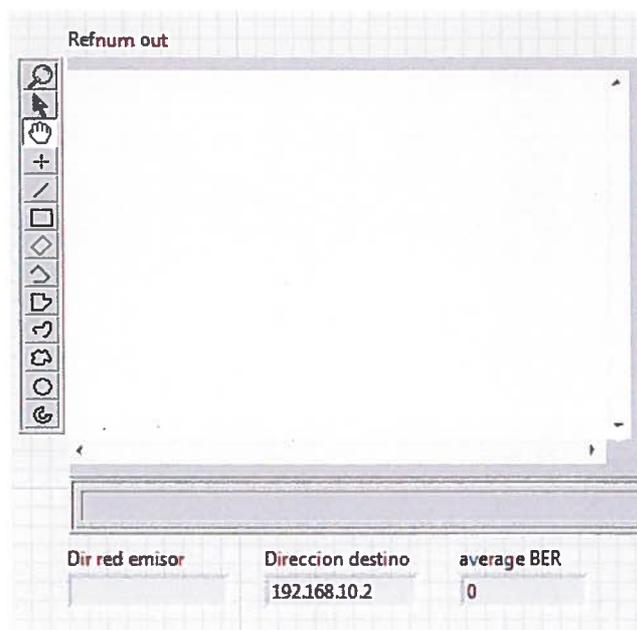


Figura 2.22. Implementación del NACK en el receptor

## 2.9 Procesamiento de Imágenes

LabView posee varias librerías para procesar las imágenes desde un archivo, las cuales convierten la imagen en un archivo plano (data string), con el fin de obtener de forma más eficaz la conversión en bits (0 y 1), y con ello proceder a la modulación y con ello a la transmisión de la información.

Localización de archivo.



Imagen cargada.

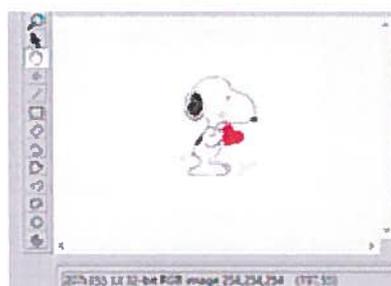
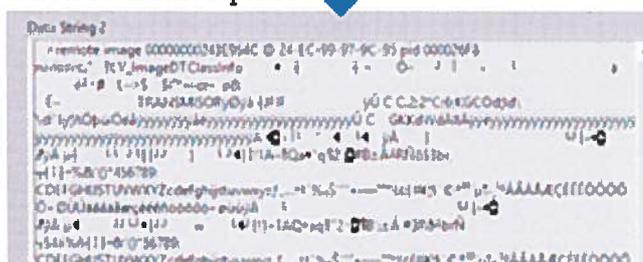


Imagen convertida en archivo plano



Archivo plano convertido en bits



Figura 2.23. Pasos para el procesamiento de imágenes

Lógicamente al pasar la imagen desde el transmisor al receptor puede haber variaciones debidas a la presencia de ruido y a los canales

multipaso implementadas en ambientes indoor y outdoor de áreas rurales. Tal como la figura adjunta.

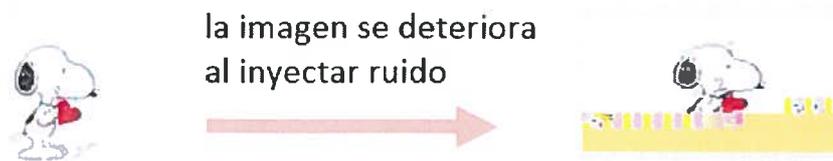


Figura 2.24. Proceso de deterioro de imágenes

Para la implementación de nuestro proyecto, se utilizó los vi de la librería NI-VISION y NI-VISA, tales como:

- imaq create.vi
- imaq readfile.vi
- imaq flatten image to string.vi
- unflatten from string.vi

Cada uno de estos vi tienen características específicas que fueron tomadas en cuenta al momento de implementar el subvi LEER001.vi, con la finalidad de convertir nuestra fuente de información en bits. Por lo cual se requiere enfatizar las cualidades de cada uno de ellos, como a continuación se describe:

- Imaq Readfile, me sirve para leer la ruta del archivo en donde está ubicada la imagen y lo considera como una entrada, luego necesita inicializar la imagen para obtener el formato tipo imagen con la entrada image. De la ejecución de este vi obtendremos una salida denominada image out Tal como se muestra en la siguiente figura.

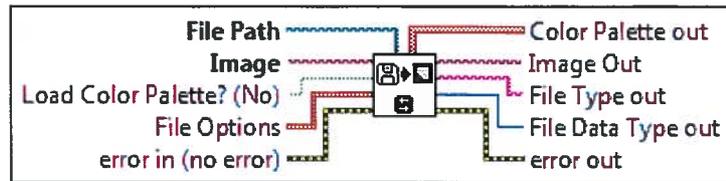


Figura 2.25. Imaq Readfile.vi

- El caso de imaq create, me sirve para encerrar la imagen y definirla como tipo imagen.

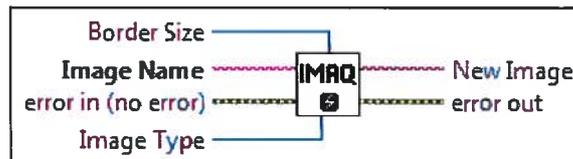


Figura 2.26. Imaq create.vi

- Luego los vi de flatten image to string, me sirve para definir la calidad de la imagen, el formato de compresión que se desea utilizar, como entradas del vi. Al ejecutar este vi se obtiene como salida una conversión de una imagen a un archivo plano.

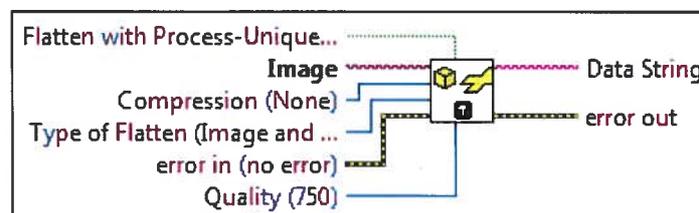


Figura 2.27, flatten image to string.vi

- Por ultimo unflatten from string, me transforma el archivo plano en la imagen nuevamente en base a la ejecución de este vi.

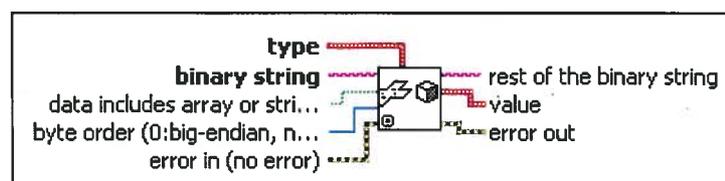


Figura 2.28, unflatten from string.vi

- Luego de este proceso de transformación se requiere que la data string se transforme en bits para poder ingresar al proceso de transmisión de una señal.

La implementación de todas estas funciones que trabajan con formatos imágenes, dan lugar a manipular para poder obtener bits. En la figura 25, se muestra el vi con la implementación antes mencionada.

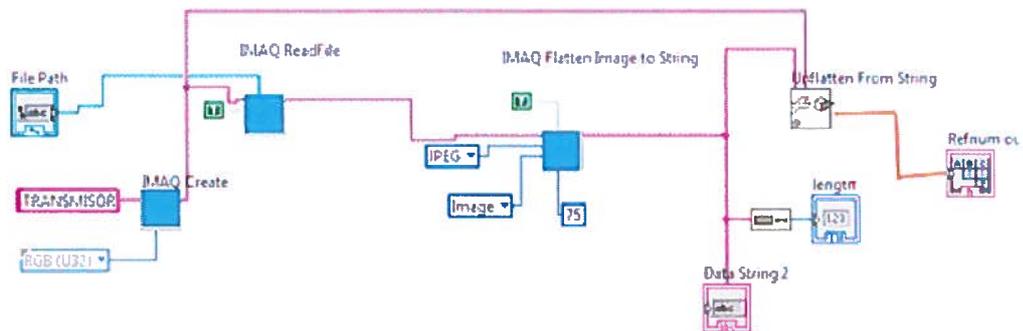


Figura 2.29. Vi que lee la información de la imagen y la transforma en archivo plano

### 3. MARCO TECNICO Y DE RESULTADOS

#### 3.1 Constelaciones

La constelación es un mapeo de bits que para nuestro proyecto consta de 4 puntos tanto para la modulación QPSK, como para la modulación  $\pi/4$  QPSK. Siendo su característica especial el desfase entre ambas de  $45^\circ$ . Como se muestra en las figuras.

#### 3.1.1 Comportamiento de la constelación QPSK en presencia de ruido.

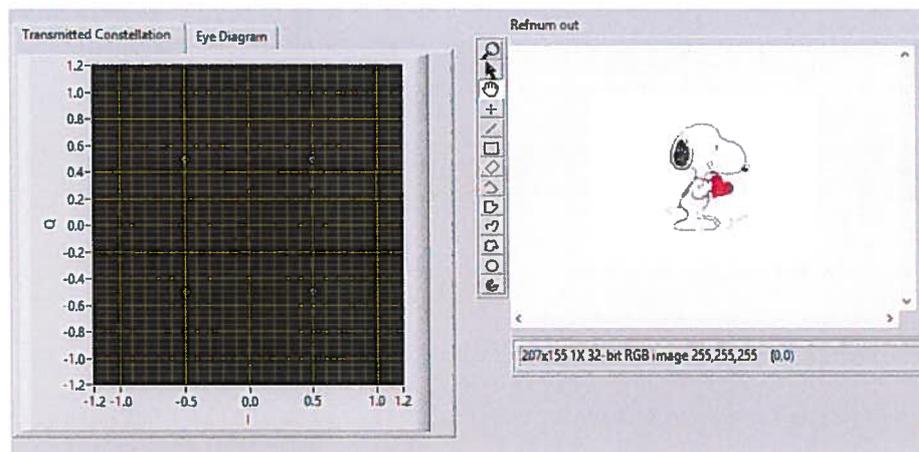


Figura 3.1. Modulación QPSK. Transmisión de la imagen.

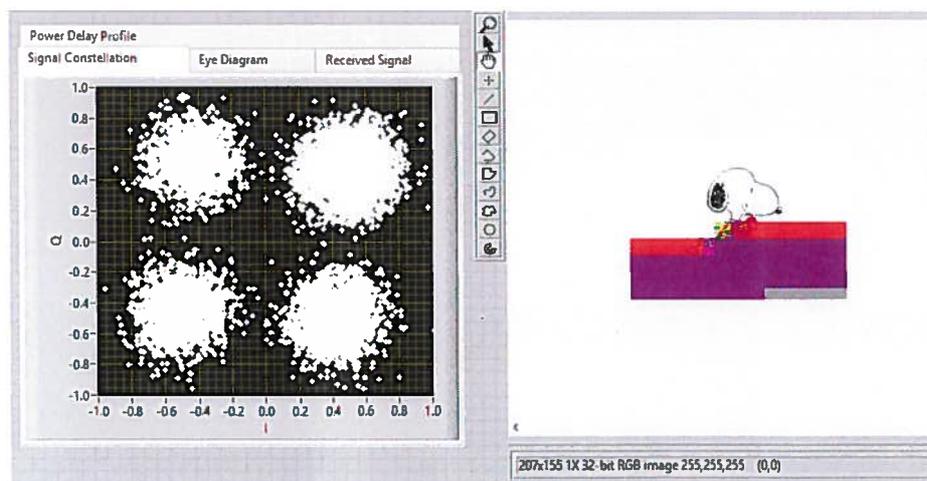


Figura 3.2. Modulación QPSK. Recepción de la imagen.

### 3.1.2 Comportamiento de la constelación $\pi/4$ QPSK en presencia de ruido.

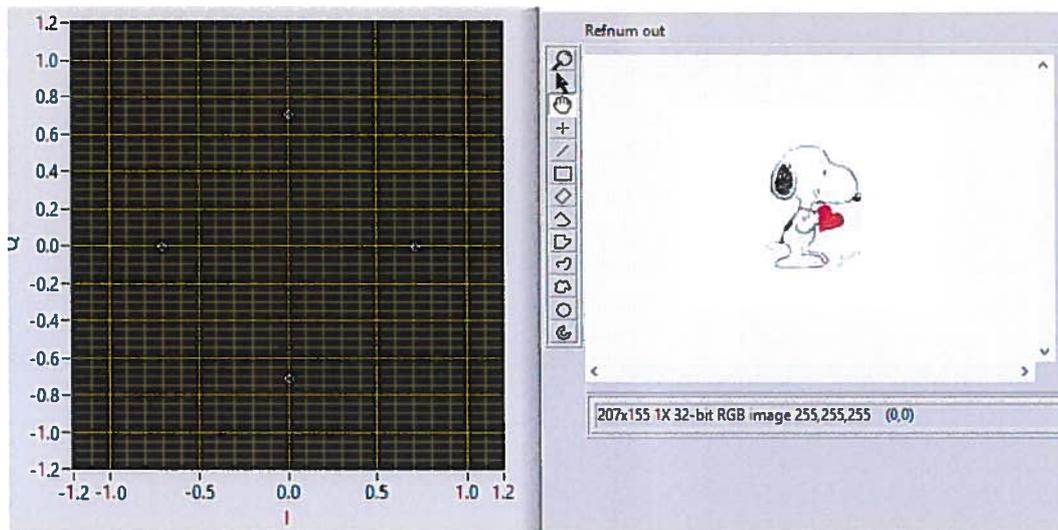


Figura 3.3. Modulación  $\pi/4$  QPSK. Transmisión de la imagen

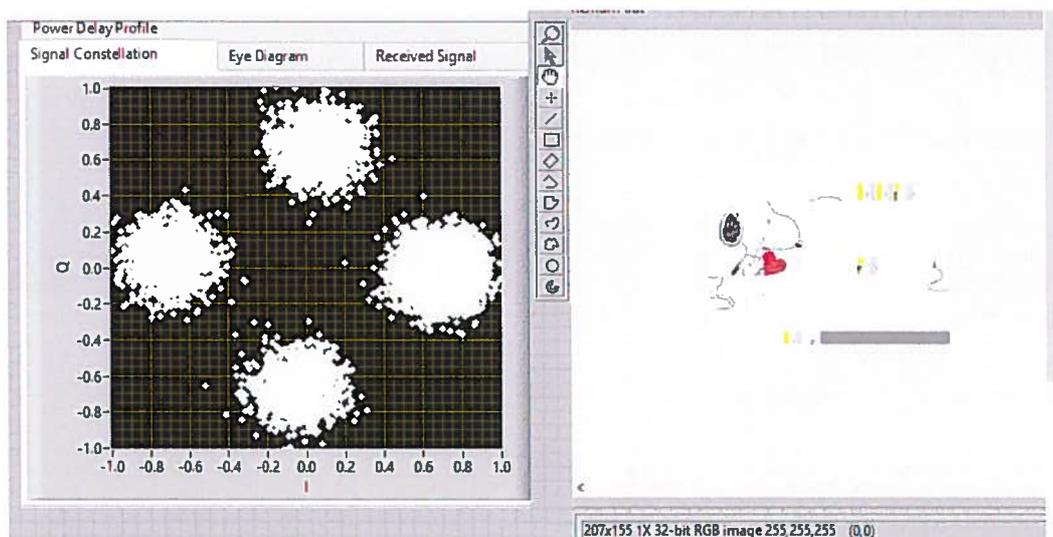


Figura 3.4. Modulación  $\pi/4$  QPSK. Transmisión de la imagen

### 3.2 Datos utilizados para QPSK y $\pi/4$ QPSK

#### Indoor Comerciales

Tap	Canal A		Canal B	
	Delay (nSec)	Avg Power (dB)	Delay (nSec)	Avg Power (dB)
1	0	0	0	0
2	100	-5.9	100	-0.2
3	200	-14.6	200	-5.4
4			400	-6.9
5			500	-24.5
6			700	-29.7

## Outdoor Areas Rurales

Tap	Canal A		Canal B	
	Delay (uSec)	Avg Power (dB)	Delay (uSec)	Avg Power (dB)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	-2.0	0.1	-4.0
3	0.4	-10.0	0.2	-8.0
4	0.6	-20.0	0.3	-12.0
5			0.4	-16.0
6			0.5	-20.0

### 3.3 Implementación de vi

**3.3.1 Bloque de Modulación.-** Los bloques de labview, contienen las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK, en una estructura cases selector e implementados con canales multipaso de las tablas 1 y 4, en ambientes Indoor Comerciales y Outdoor Áreas Rurales.

Los vi de modulación se encuentran en los bloques del top\_tx.vi, en la parte del transmitter.vi

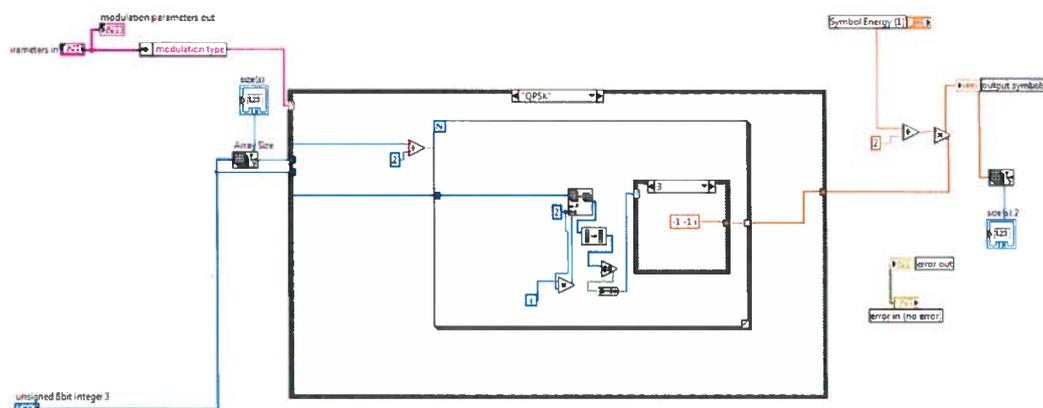


Figura 3.5. Vi modulate QPSK

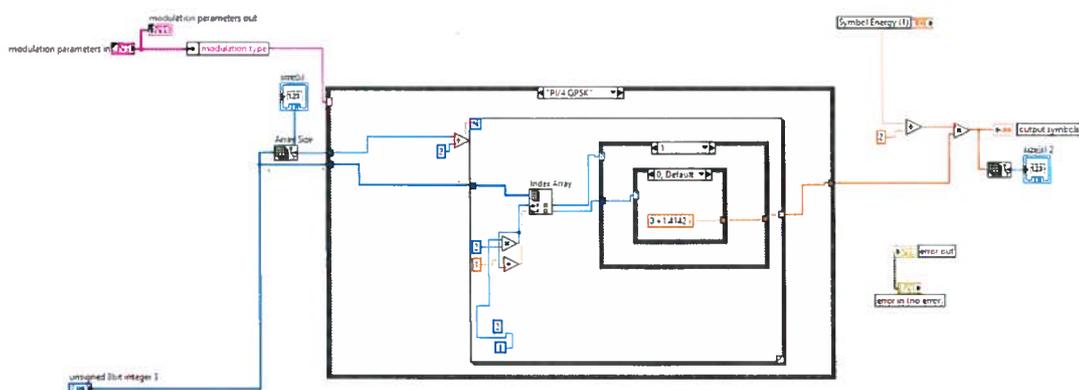


Figura 3.6. Vi modulate  $\pi/4$  QPSK

**3.3.2 Bloque de Demodulación.-** El bloque de demodulación contiene el VI siguiente, que será el encargado de recibir las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK, transformando los símbolos que vienen de la transmisión de la imagen en bits, por el proceso de demodulación que se ejecuta en el receptor. Este VI se encuentra dentro del bloque de demodulación de top\_rx.

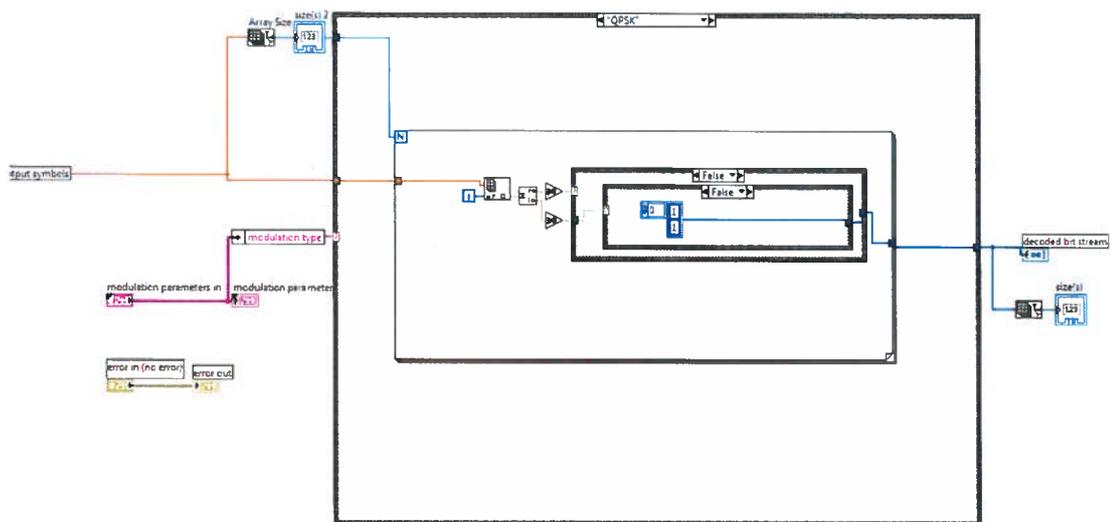


Figura 3.7. Vi decoder QPSK

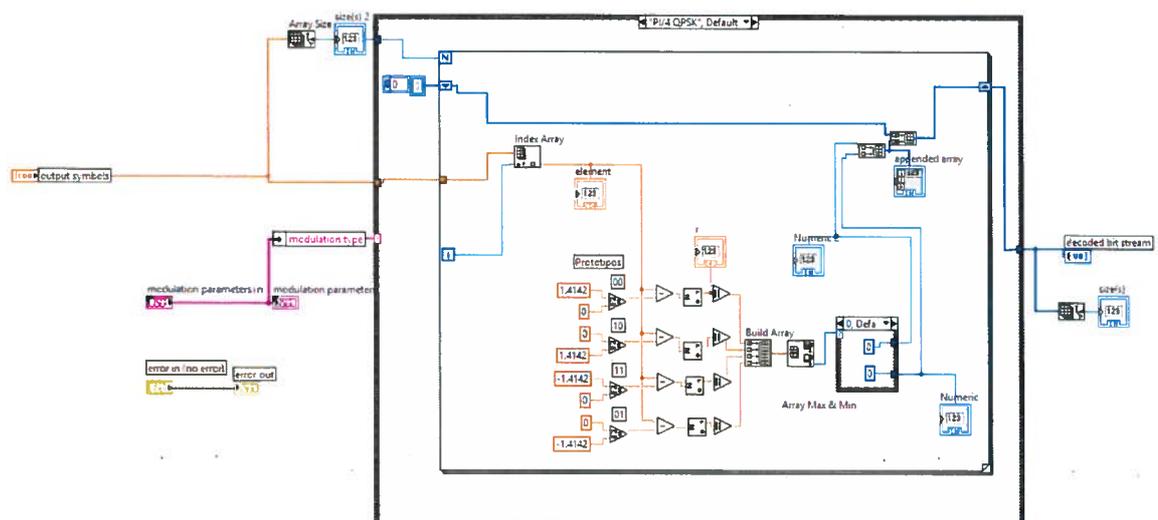


Figura 3.8 Vi decoder  $\pi/4$  QPSK

### 3.4 Creación de Canal multipaso para las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK

Se efectuaron los cálculos respectivos según las tablas descritas anteriormente en los enunciados del problema, sobre los ambientes Indoor y Outdoor, por lo cual se obtuvieron los siguientes pasos que están representados en números complejos ( $a+bi$ ).

Cabe mencionar que estos pasos tienen diferentes comportamientos dependiendo de las modulaciones implementadas y de las fuentes de información que se desee transmitir, que para nuestro caso es una imagen de un archivo en formato jpeg.

A continuación, se detallan los ambientes de propagación para el canal multipaso.

#### Ambiente Indoor

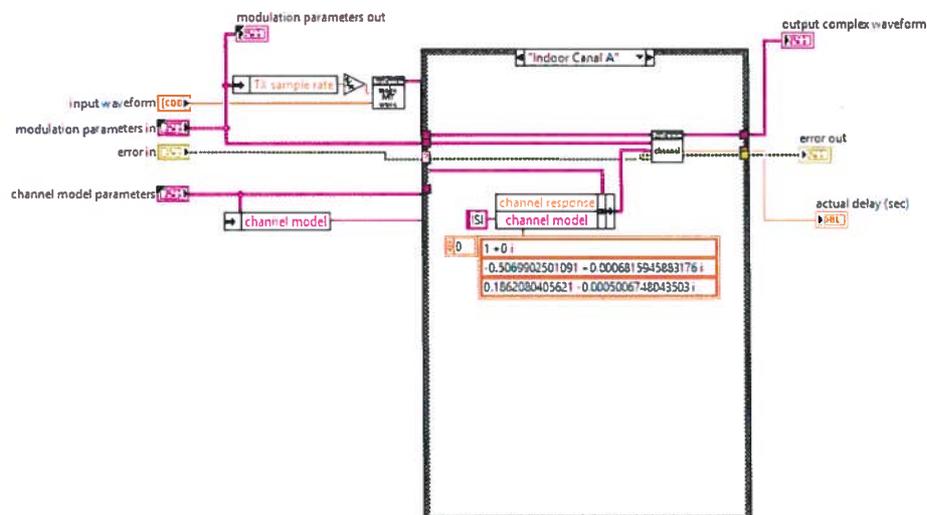


Figura 3.9. Vi para canales indoor Comerciales A

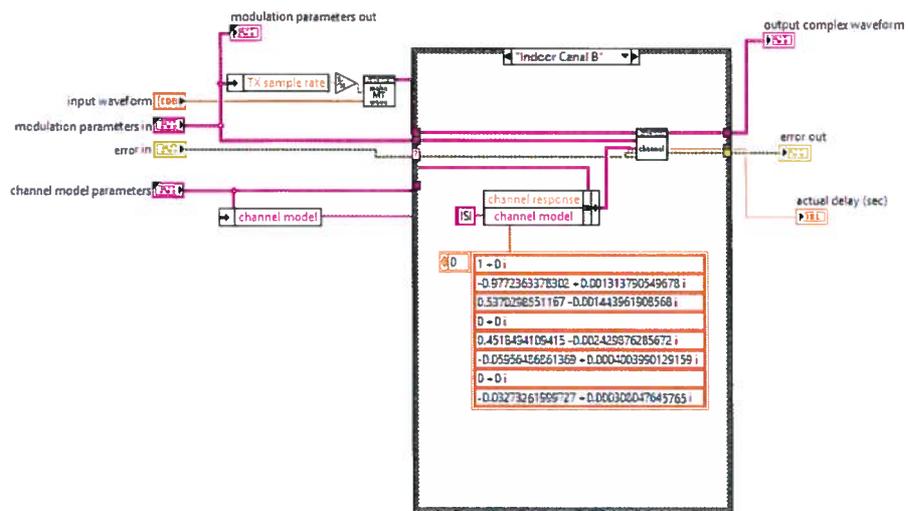


Figura 3.10. Vi para canales indoor Comerciales B

Ambiente Outdoor

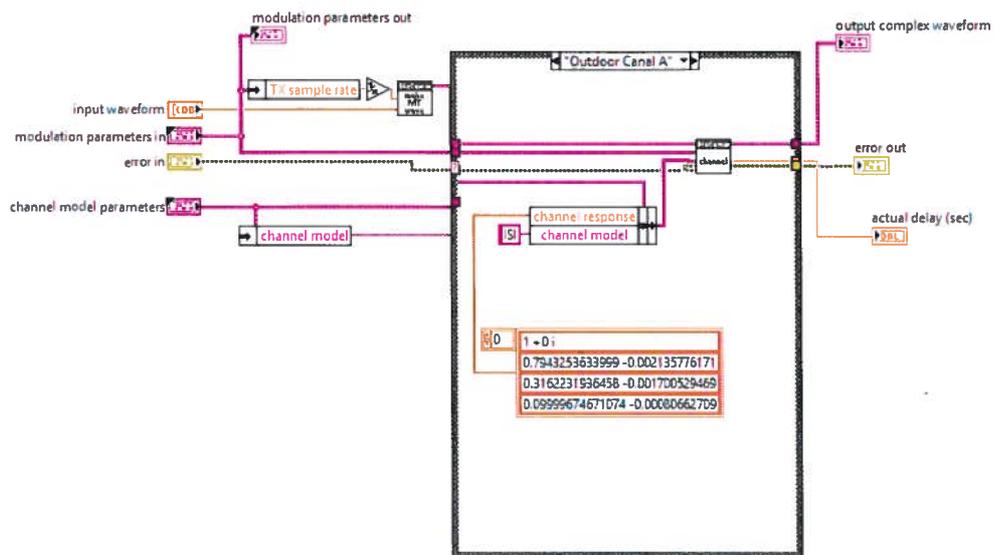


Figura 3.11. Vi para canales outdoor Áreas Rurales A

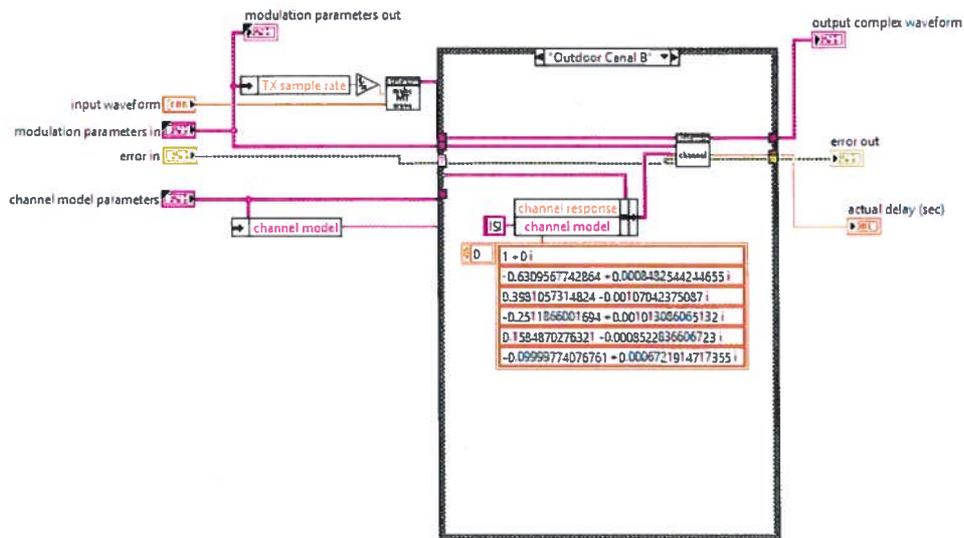


Figura 3.12. Vi para canales outdoor Áreas Rurales B

Estos valores están ingresados en el vi que se denomina canal response.vi. Por lo cual se efectúan las pruebas con el canal solo variando el ambiente en el combo box. Ahora solo tocaría ir variando el ruido.

Primero en  $-\infty$  (que es el mínimo ruido), que para cualquier modulación su valor de BER siempre va ser 0. Segundo en 0 (que es el máximo ruido), en donde la señal se deteriora por completo. Tanto para las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK, que son las técnicas implementadas en nuestro proyecto de transmisión y recepción de imágenes. Como por ejemplo podemos detallar la figura 38.

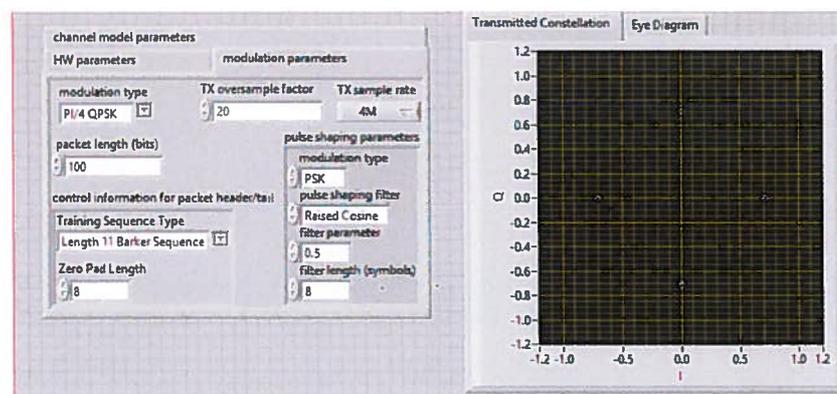


Figura 3.13. Constelación en Tx.

Al observar el diagrama de ojo, podemos observar que existe una abertura, lo que nos indica que la señal recibida es interpretada de manera adecuada por el receptor. Tal como muestra la figura 39.

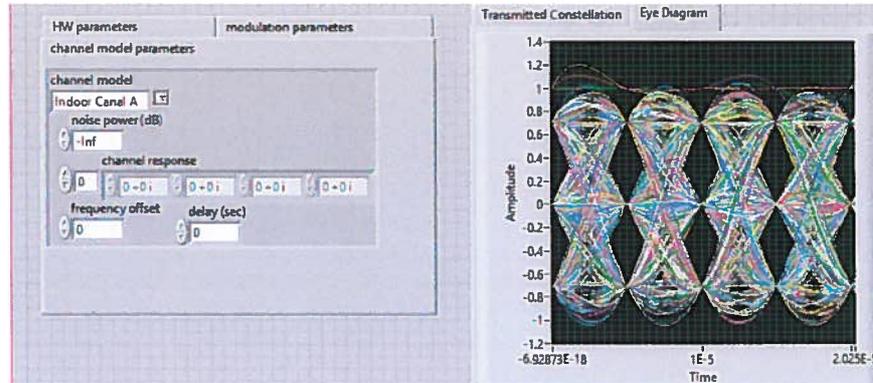


Figura 3.14. Diagrama de Ojo

Al observar el Bit Error Rate (BER) = 0, significa que la señal de la imagen se la está recibiendo correctamente en el receptor, por lo cual es el ambiente más óptimo y deseado en una transmisión.

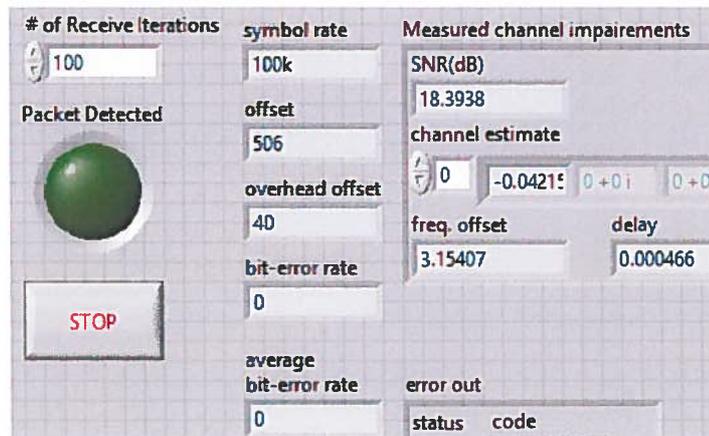


Figura 3.15. BER óptimo

Cabe mencionar que para valores de  $BER \leq 0.2$ , se considera que la señal es óptima y para valores mayores a este valor la señal se empieza a distorsionar, lo cual hace difícil interpretar la señal en el receptor. Cabe mencionar que para estos eventos se tiene que tomar en cuenta los cambios que se efectúan en la señal de ruido para detectar el momento exacto en el cual no se pase del valor antes señalado.

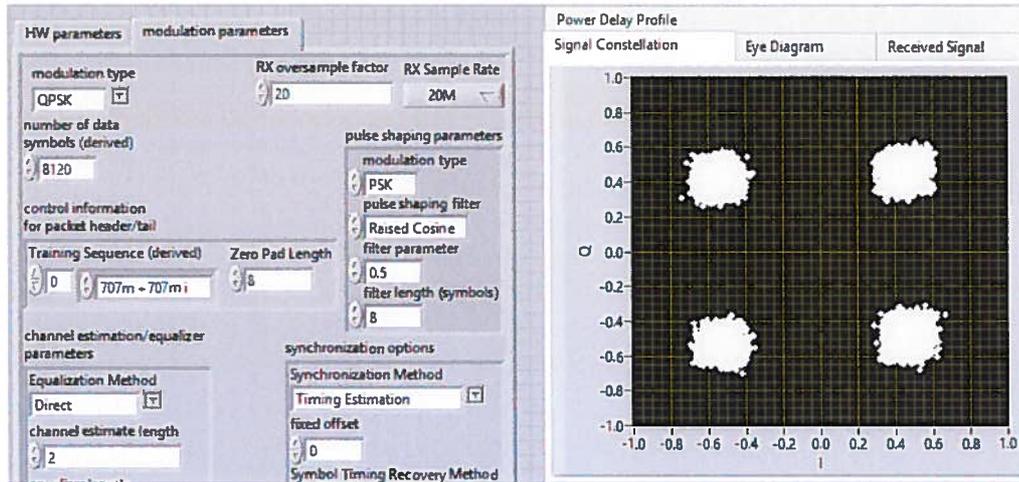


Figura 3.16. Constelación en Rx.

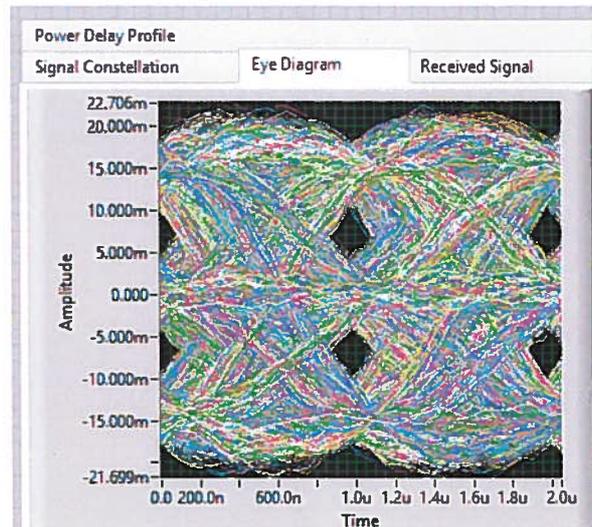


Figura 3.17. Diagrama de Ojo resultante en Rx.

A continuación, se presenta el vi que calcula los valores del BER, en base a operaciones matemáticas que relacionan el tiempo con los bitstream que llegan desde el transmisor. Adjunto figura del vi.

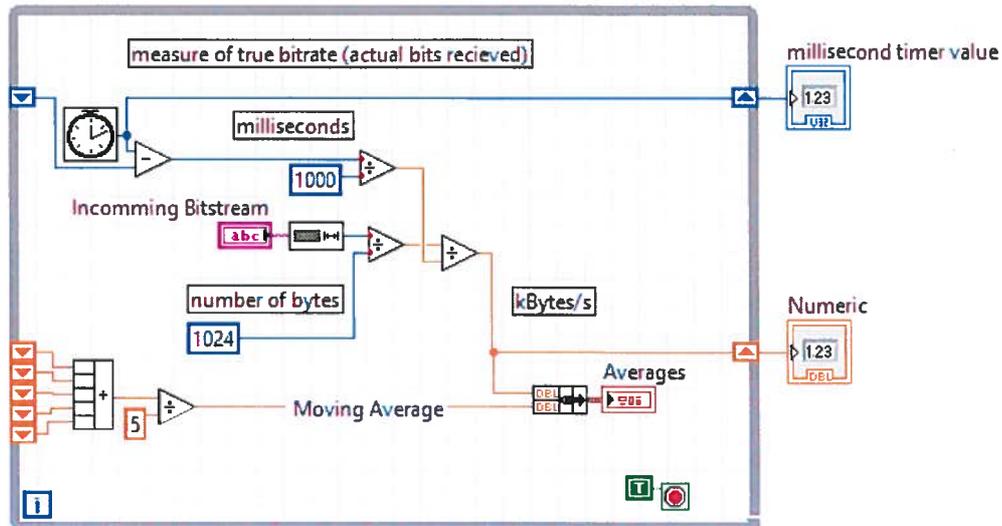


Figura 3.18. vi del Bit error rate.

Igualmente, para el cálculo de la relación señal a ruido (SNR), se utilizó el siguiente vi.

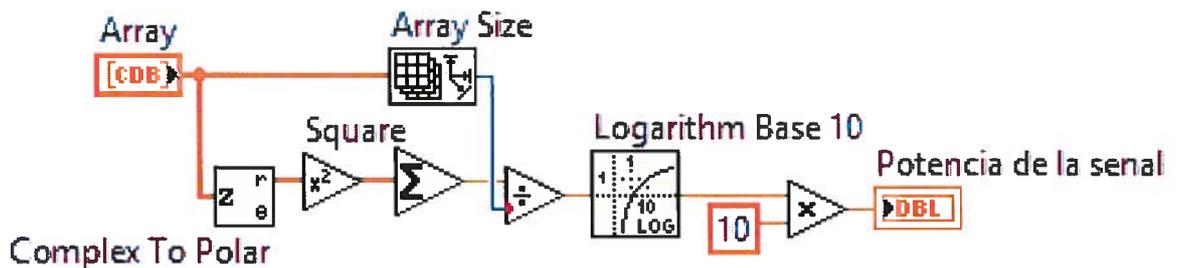


Figura 3.19. vi SNR

### 3.5 Resultados

#### 3.5.1 Modulación $\pi/4$ QPSK

##### 3.5.1.1 Análisis de rendimiento de los Canales Indoor Comerciales A y B.

Como se puede observar la modulación  $\pi/4$  QPSK, tiene un comportamiento muy diferente en el canal A y que en el canal B para ambientes Indoor. Tal como se detalla en la figura adjunta.

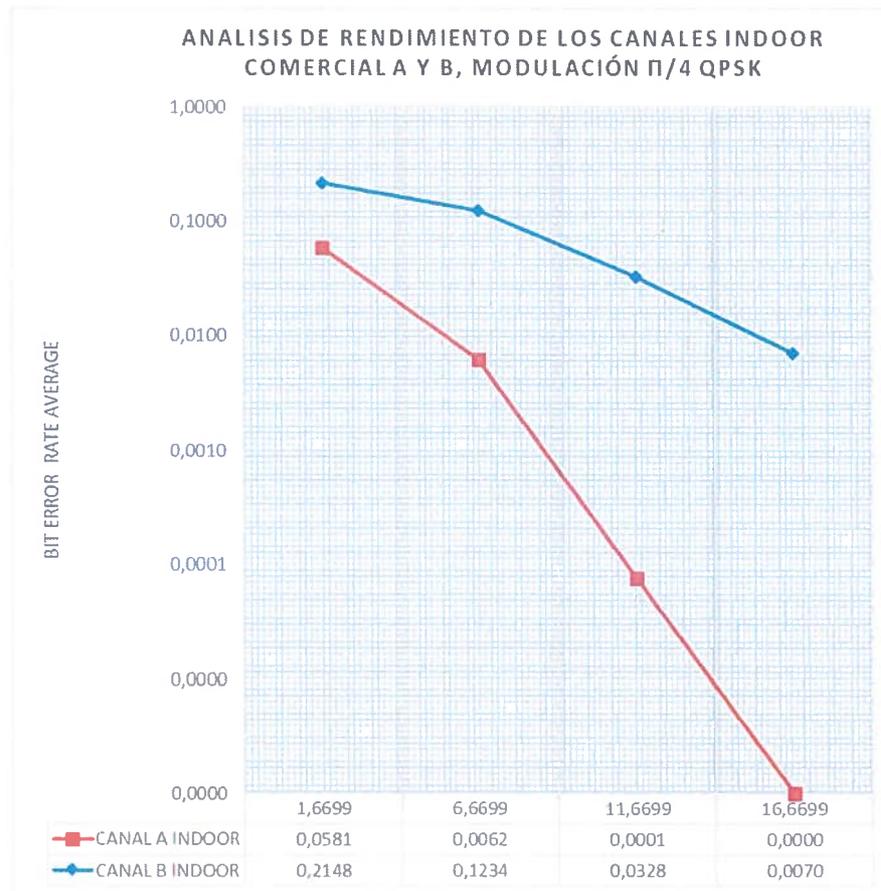


Figura 3.20. Curvas Indoor Comercial A y B, modulación  $\pi/4$  QPSK

Ambas graficas de los canales Indoor empiezan con ruido de -20 dB hasta llegar a -5 dB. Con el canal A, la señal tiene mejor comportamiento ya que tiene mayor velocidad de caída su curva, mientras que con el canal B aun no cae su curva a pesar que su SNR es de 16.6699, siendo la menos efectiva.

### 3.5.1.2 Análisis de rendimiento de los Canal Outdoor Áreas Rurales A y B.

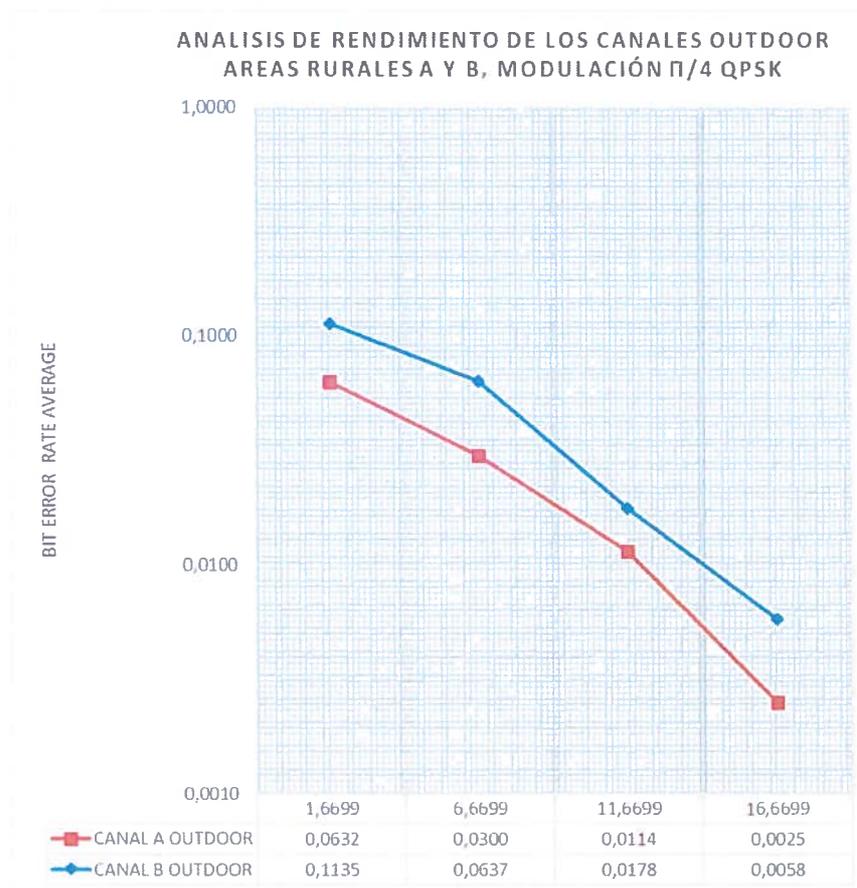


Figura 3.21. Curvas Outdoor áreas rurales A y B, modulación  $\pi/4$  QPSK

Para ambientes Outdoor. Ambas graficas empiezan con ruido de -205 dB hasta -5 dB. Con el canal A, la señal tiene mejor comportamiento ya que su velocidad de caída de la curva cae primero, mientras que con el canal B aun no cae su curva siendo menos efectiva.

### 3.5.2 Resultados para la Modulación QPSK

#### 3.5.2.1 Análisis de rendimiento de los Canales Indoor Comerciales A y B.

Para esta modulación QPSK, tiene comportamientos muy diferentes en sus canales A y B para ambientes Indoor.

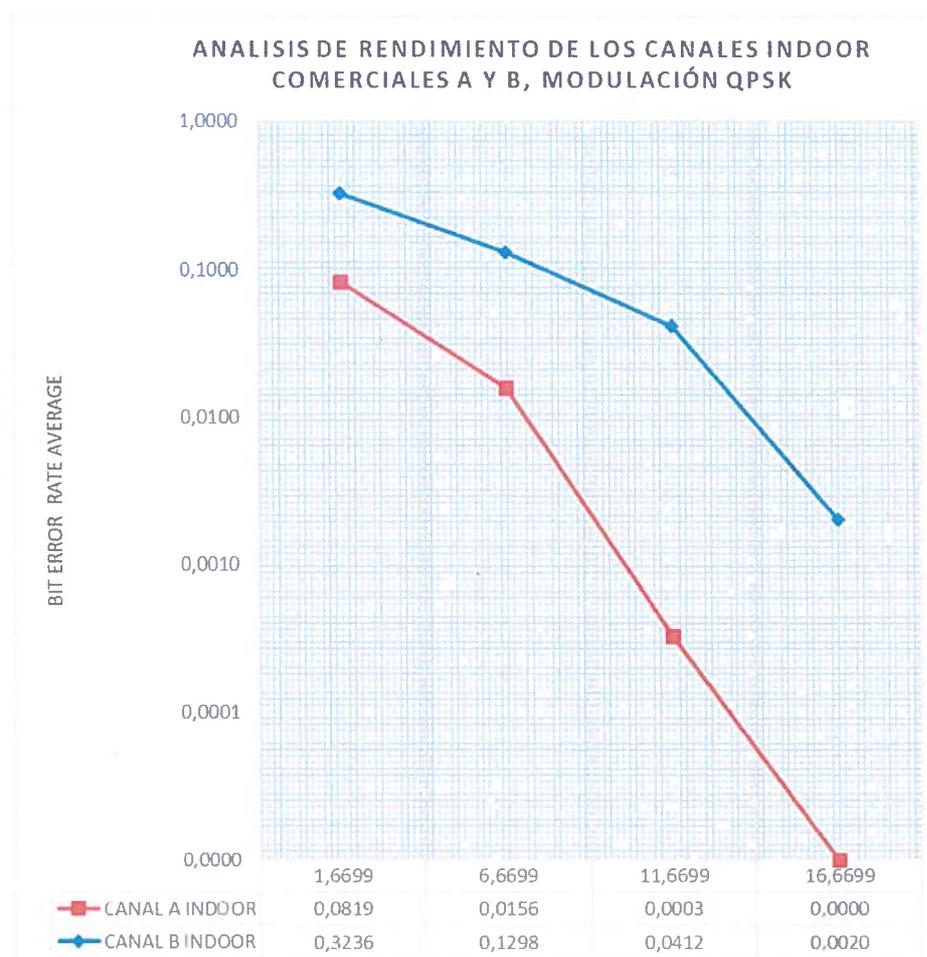


Figura 3.22. Curvas Indoor Comercial A y B, modulación QPSK

Para todas las gráficas se empieza con ruido de -20 dB hasta llegar -5 dB. Con el canal A, la señal tiene mejor comportamiento ya que su velocidad de caída de la curva es más rápida, mientras que con el canal B aun no cae su curva siendo menos efectiva.

### 3.5.2.2 Análisis de rendimiento de los Canales Outdoor áreas rurales A y B.

Para esta modulación QPSK, los comportamientos en sus canales A y B son muy diferentes para ambientes Outdoor.

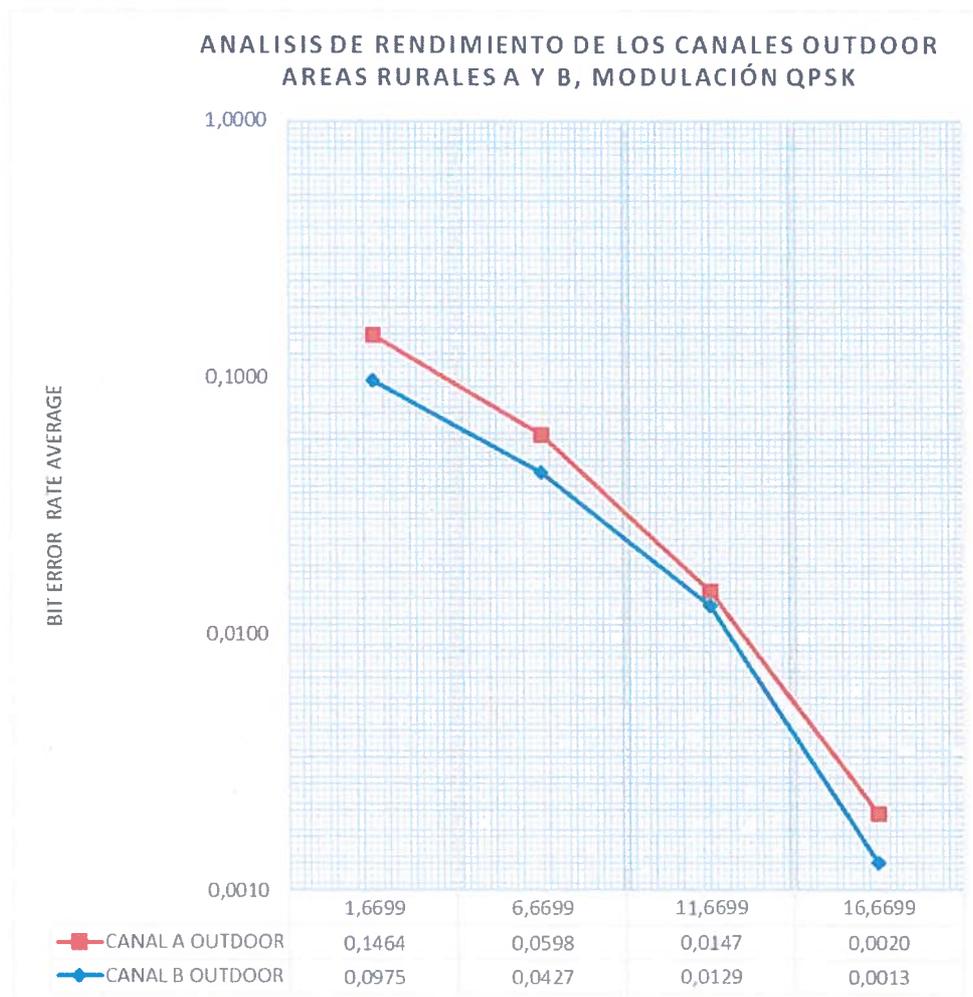


Figura 3.23. Curvas Outdoor áreas rurales A y B, modulación QPSK

Para todas las gráficas se empieza con ruido de -20 dB hasta -5 dB. Con el canal B, la señal tiene mejor comportamiento ya que la velocidad de caída de la curva es más rápida, mientras que con el canal a aun no cae su curva siendo menos efectiva.

Después de obtener las curvas de rendimiento de nuestro sistema podemos realizar comparaciones con nuestro mejor ambiente optimo, el cual es el simulado. Por lo cual se analizaran dos ejemplos característicos para analizar los comportamientos.

### 3.5.3 Simulado vs Ambientes Outdoor áreas rurales

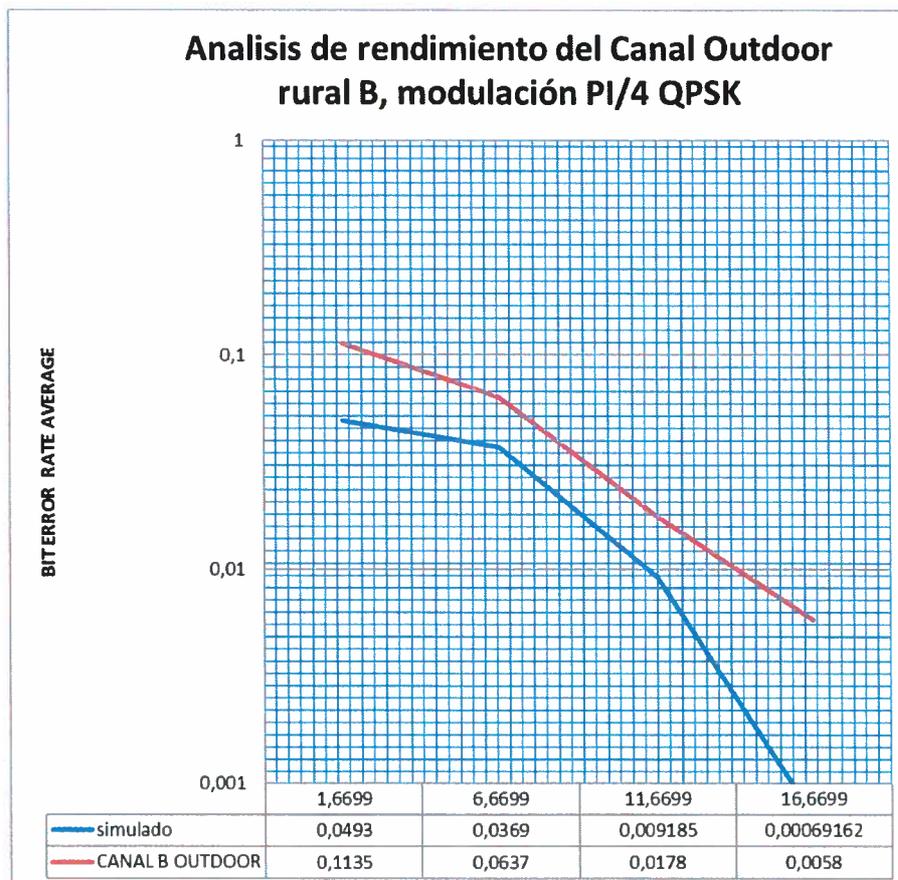


Figura 3.24. Curvas de simulado vs Outdoor áreas rurales B

El ambiente simulado es el mejor escenario que se puede presentar en una transmisión y recepción de una imagen, por lo cual se toma en consideración para efectuar comparaciones con los ambientes outdoor áreas rurales. Para este caso, es lógico que la curva de ambiente simulado tenga una mayor velocidad de caída que el ambiente outdoor canal B.

### 3.5.4 Simulado vs Ambientes Indoor comerciales

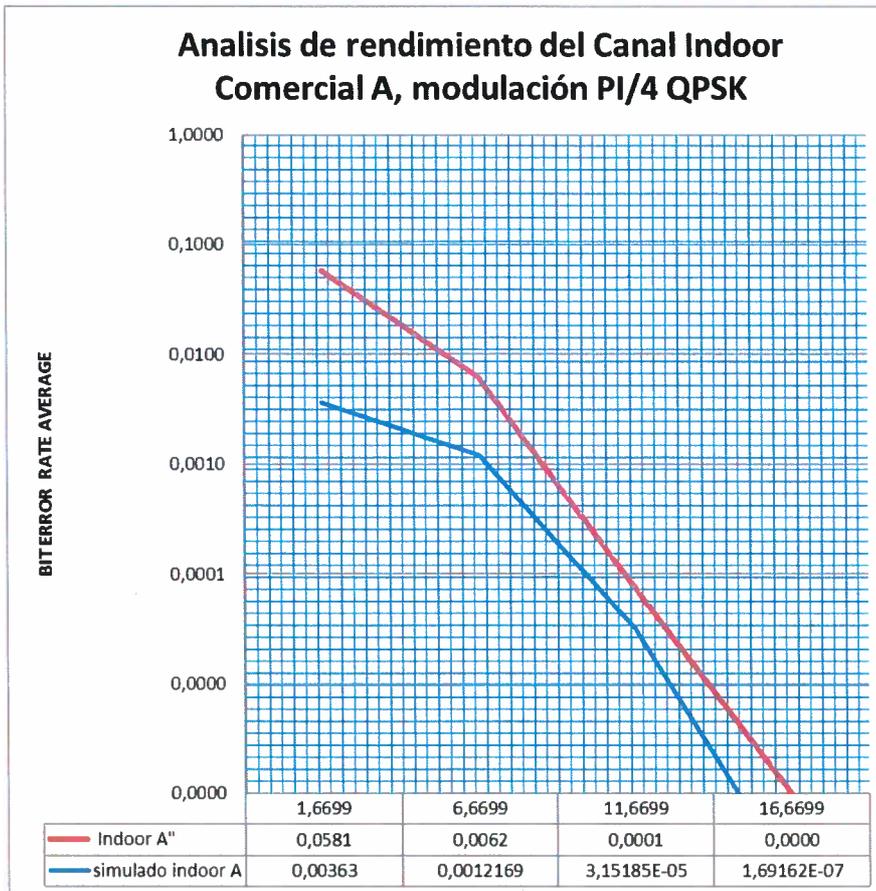


Figura 3.25. Curvas de simulado vs Indoor comercial A

Nuevamente se procede a un análisis del ambiente simulado en comparación de aun ambiente indoor comercial, obteniendo como resultado que la curva del simulado es más veloz que la curva del ambiente indoor. Como se mencionó con anterioridad el ambiente simulado es el ambiente óptimo para toda transmisión de una imagen.

Cabe mencionar que al simular los datos con el vi simulador, se puede observar que los valores de ruido que soportan el sistema real y el sistema simulado son muy diferentes, originado diferente valores para el BER. Para ambos casos se tomó el ruido desde -20 dB hasta -5 dB, teniendo la mejor velocidad de caída la curva del ambiente simulado que los dos ambientes antes analizados, como es el caso del ambiente outdoor áreas rurales canal B y el ambiente indoor comercial canal A. Esto

comprueba que el ambiente simulado utiliza sus valores óptimos para transmitir la señal.

### 3.5.5 Power Delay Profile

En el power delay profile se grafican los pasos que se implementaron para los canales indoor comerciales y outdoor áreas rurales, basados en el parámetro de configuración denominado channel estimate en el algoritmo del top\_rx.vi.

#### Canales Indoor Comerciales

Canal A.

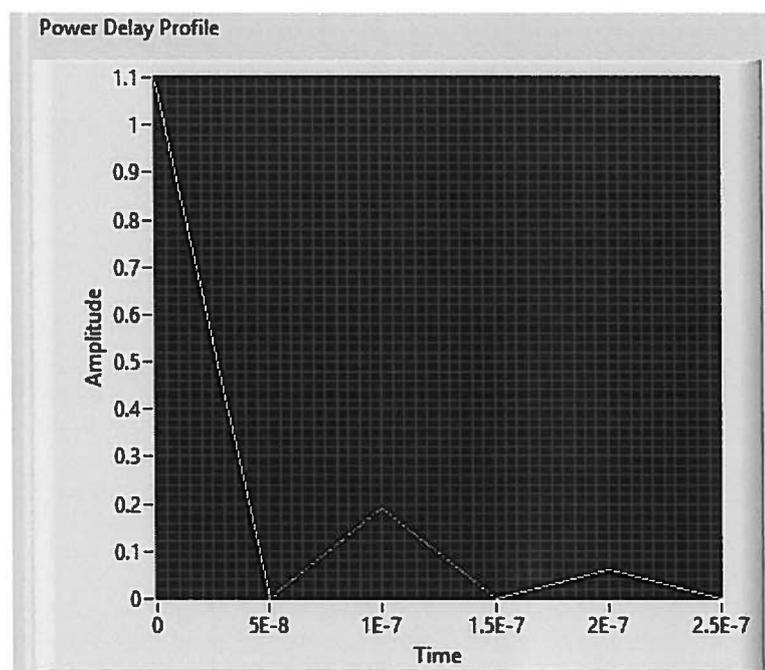


Figura 3.26. Power delay Profile Indoor comercial A

Canal B.

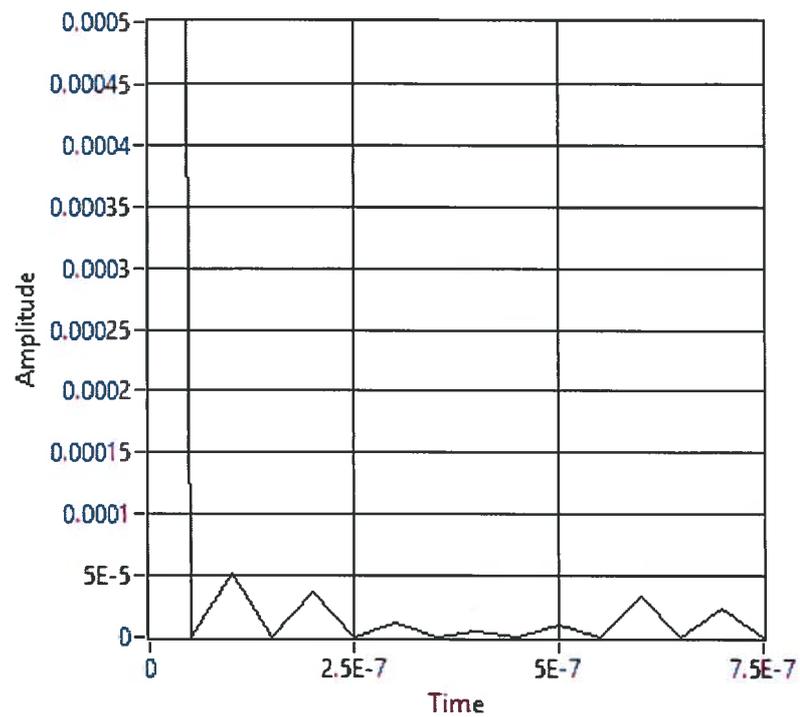


Figura 3.27. Power delay Profile Indoor comercial B

**Canales Outdoor áreas rurales**

Canal A.

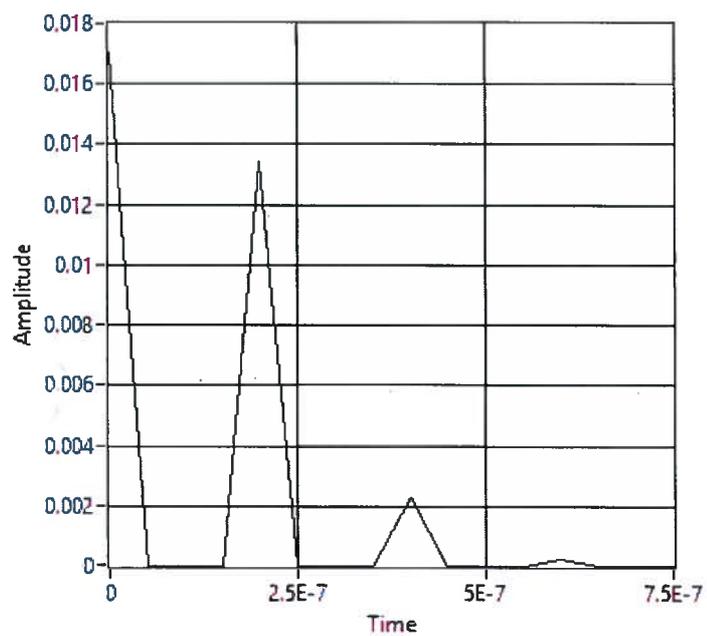


Figura 3.28. Power delay Profile Outdoor areas rurales A

Canal B.

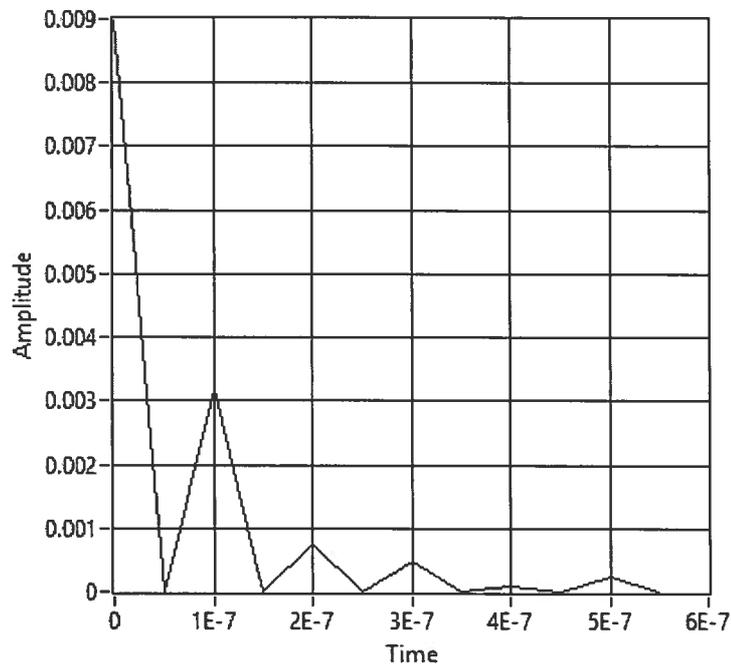


Figura 3.29. Power delay Profile Outdoor areas rurales B

### 3.5.8 Tasa de Bit

La tasa de bit para este proyecto se fue variando el tx oversample factor entre 2 y 4 según los canales para los ambientes Indoor y Outdoor. El Tx simple rate se lo mantiene constante en 20M símbolos por segundo y adicionalmente se varió el ruido hasta encontrar valores cuyo BER no es superior a 0.2, con lo cual se pueda observar la imagen todavía en el receptor, para de allí construir la tabla y obtener el Rb.

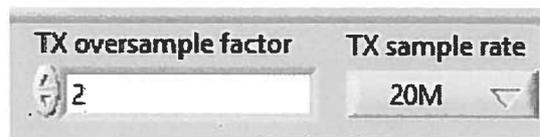


Figura 3.30. Parámetros para obtener Rb

### TASA DE BITS VS SNR

Modulación  $\pi/4$  QPSK

Mbps

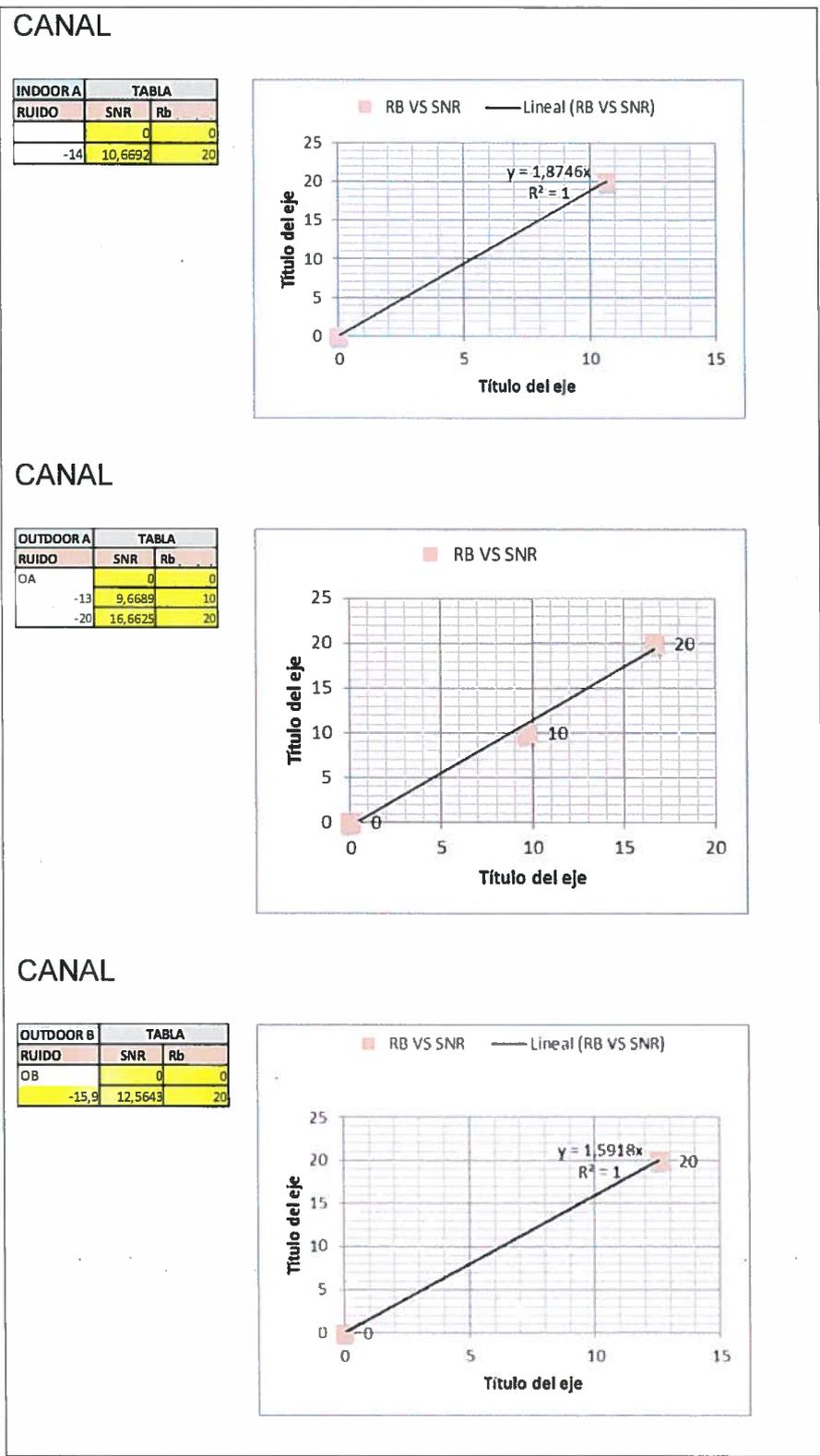


Figura 3.31. SNR vs Rb, Modulación  $\pi/4$  QPSK

Modulación QPSK

Mbps

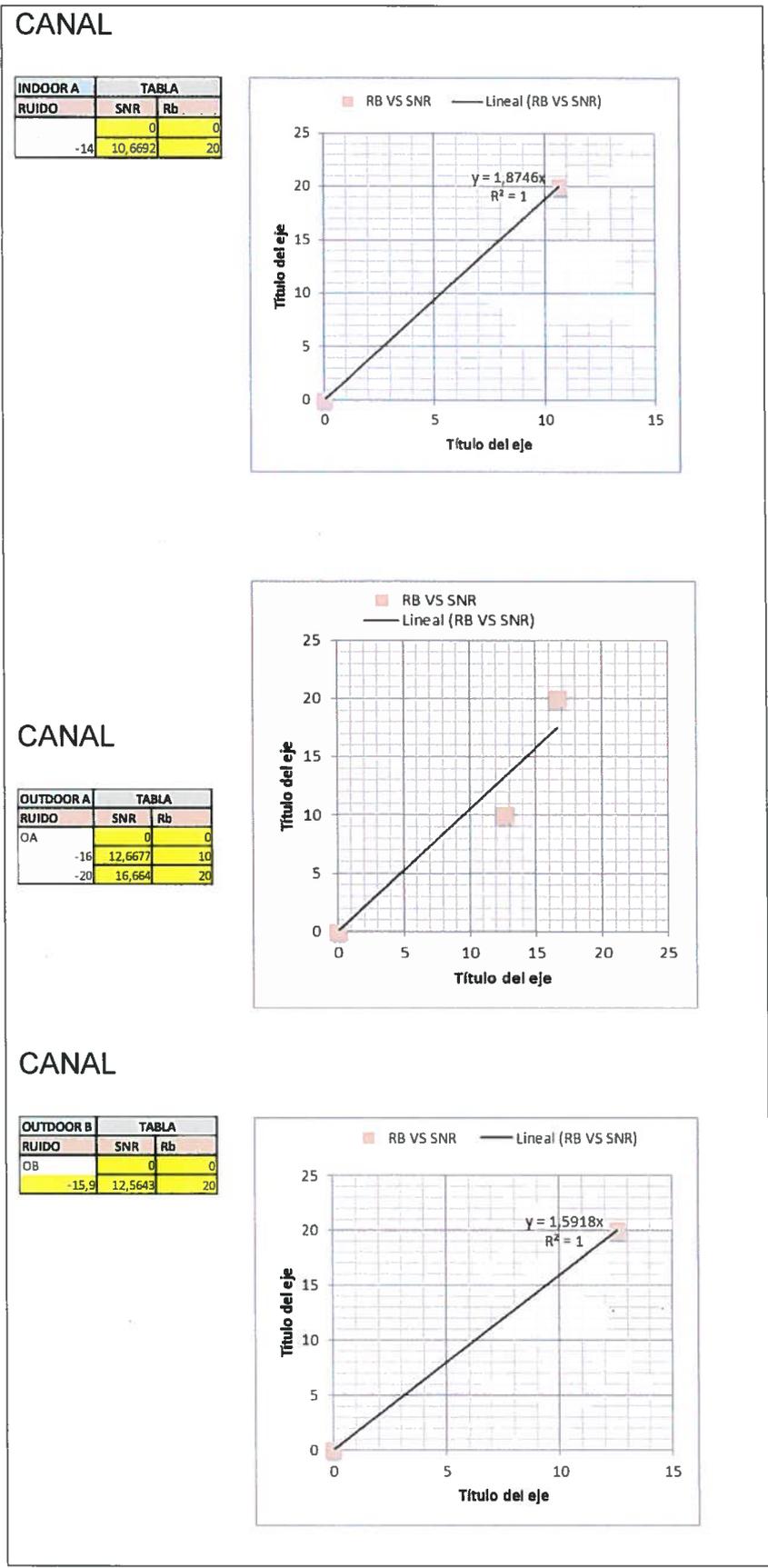


Figura 3.32. SNR vs Rb, Modulación QPSK

## 4. CONCLUSIONES

Cabe mencionar que se hicieron varios análisis, entre los cuales tenemos la curva BER vs SNR, Simulado vs ambientes indoor comerciales y outdoor áreas rurales (canal A y B), Rb vs SNR, para modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK. A continuación detallamos las conclusiones:

### 4.1 Análisis del rendimiento con modulaciones $\pi/4$ QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor

Para este análisis hemos variado el ruido desde -20 dB hasta -5 dB con la modulación  $\pi/4$  QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor se probaron con todos los pasos de sus canales multipasos, tanto para el canal A como para el Canal B obteniendo los siguientes resultados.



Figura 4.1. Curvas Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales, modulación  $\pi/4$  QPSK

Podemos observar que el canal A Indoor comercial y el canal A Outdoor áreas rurales tienen mejores velocidades de caídas en sus respectivos canales, por lo cual se presentan con mejores soluciones para poder transmitir la señal y tener una buena recepción, que para nuestro caso es la trasmisión de imagen.

#### 4.2 Análisis del rendimiento con modulaciones QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor

Para este análisis hemos variado el ruido desde -20 dB hasta -5 dB con la modulación QPSK, en ambientes Indoor y Outdoor, se probaron con todos los pasos de sus canales multipaso, tanto para el canal A como para el Canal B.

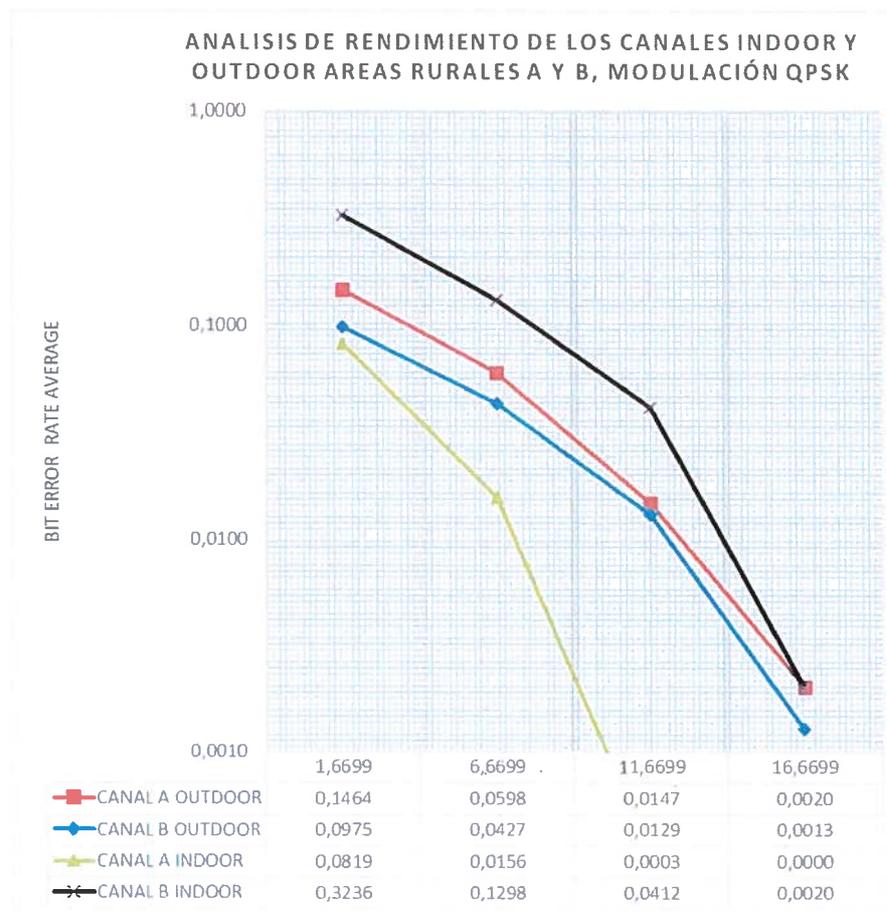
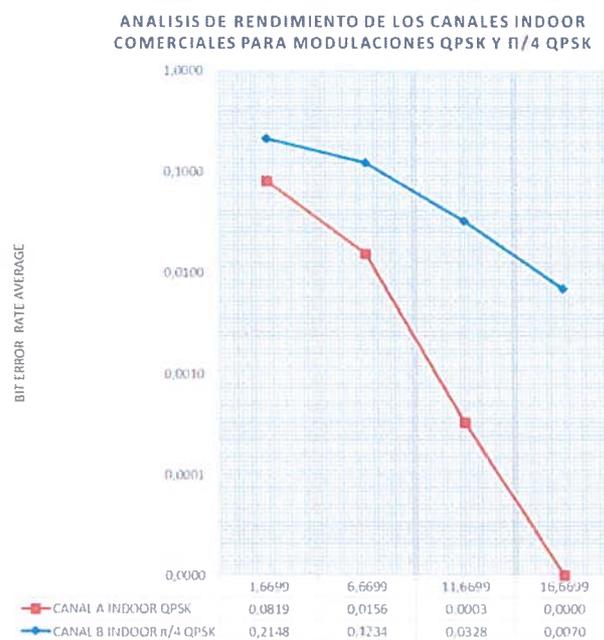


Figura 4.2. Curvas Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales, modulación QPSK

Podemos observar que el canal A indoor comercial y el canal B outdoor áreas rurales tienen las mejores velocidades de caídas en sus respectivos canales, por lo cual se presentan con mejores soluciones para poder transmitir la señal y tener una buena recepción, que para nuestro caso es la transmisión de imagen.

#### 4.3 Análisis del rendimiento entre las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK, en ambiente Indoor.



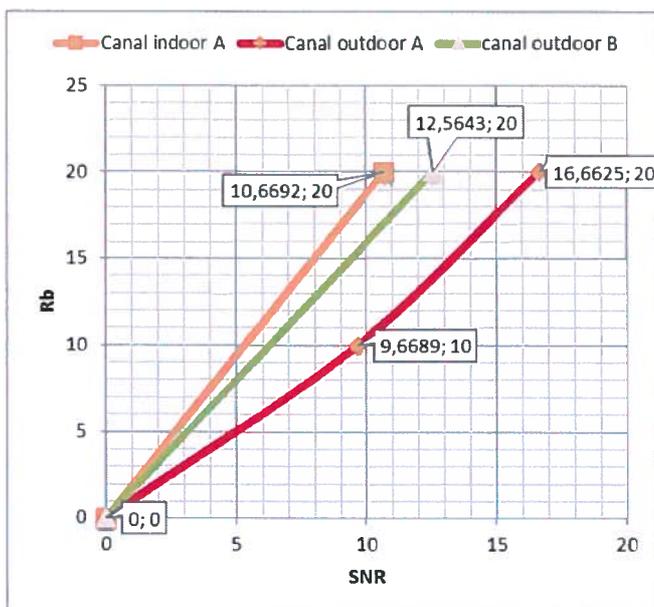
Podemos observar que el canal A indoor comercial con modulación QPSK tiene mejor velocidad de caída que el canal B indoor comercial con modulación  $\pi/4$  QPSK, por lo cual se presentan con mejores soluciones para poder transmitir la señal y tener una buena recepción, que para nuestro caso es la transmisión de imagen. Esto se debe a que las constelaciones de QPSK tienen mayor cobertura en grados que la modulación  $\pi/4$  QPSK. Los múltiplos de ángulos en QPSK son de 90 grados, mientras que para la otra modulación son de 45 grados.

#### 4.4 Análisis del rendimiento entre las modulaciones QPSK y $\pi/4$ QPSK, en ambiente Outdoor.



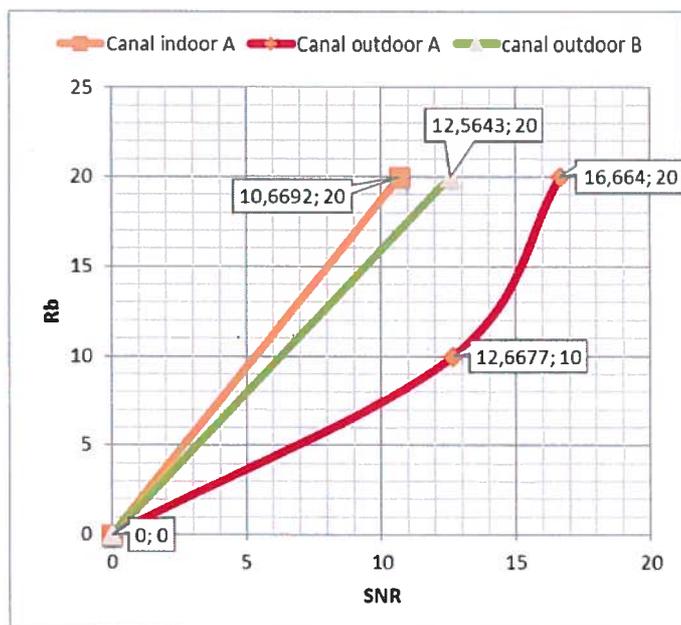
Podemos observar que el canal B outdoor áreas rurales con modulación QPSK tiene mejor velocidad de caída que el canal B outdoor áreas rurales con modulación  $\pi/4$  QPSK, por lo cual se presentan con mejores soluciones para poder transmitir la señal y tener una buena recepción, que para nuestro caso es la transmisión de imagen. Esto se debe a que las constelaciones de QPSK tienen mayor radio de acción en grados que la modulación  $\pi/4$  QPSK. Los múltiplos de ángulos en QPSK son de 90 grados, mientras que en  $\pi/4$  QPSK son de 45 grados.

#### **4.5 Análisis del rendimiento de la modulación $\pi/4$ QPSK, en ambiente indoor comerciales y outdoor áreas rurales.**



El canal indoor comercial B no tiene representación en el diagrama Rb vs SNR, debido a que no podemos realizar las pruebas con Tx sample rate igual a 40 M, ya que los NI-USRP 2920, solo vienen configurados con un límite máximo 25 M. Ahora las curvas que soportan más ruido según el canal y la tasa de bit son: En primer lugar el canal indoor A, luego le sigue el canal outdoor B, y por último el canal outdoor A en la que su curva tiene dos puntos representativos, para la modulación  $\pi/4$  QPSK.

#### 4.6 Análisis del rendimiento de la modulación QPSK, en ambientes indoor comerciales y outdoor áreas rurales.



El canal indoor comercial B no tiene representación en el diagrama Rb vs SNR, debido a que no podemos realizar las pruebas con Tx sample rate igual a 40 M, ya que los NI-USRP 2920, solo vienen configurados con un límite máximo de 25 M. Ahora las curvas que soportan más ruido según el canal y la tasa de bit son: En primer lugar el canal indoor A, luego le sigue el canal outdoor B y por último el canal outdoor A en la que su curva tiene dos puntos representativos, para la modulación QPSK.

Cabe mencionar lo siguiente:

- Cuando se realiza la transmisión de imagen, tenemos que trabajar con función IMAQ flatten de las librerías IMAQ, que hacen posible convertir las imágenes en archivos planos, para que de esa forma poder transmitir la imagen al receptor. En el receptor hay que transformar este archivo plano que se transmitió desde el transmisor a imagen con la función unflatten.

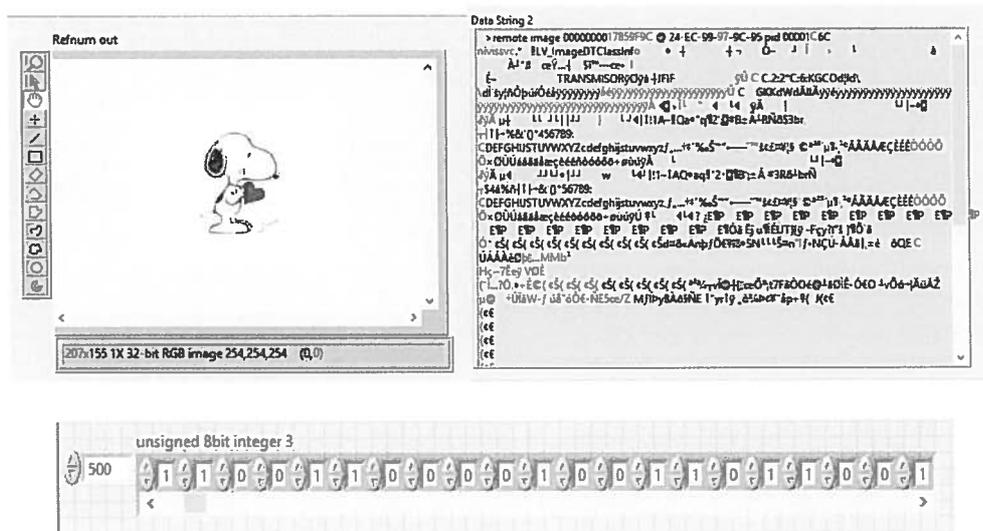


Figura 4.3. Imagen y su proceso de conversión en bits

- La función unflatten al ver un error en bit en el archivo plano que se transmitió, no presenta la imagen en el receptor. Por lo cual hay que seguir transmitiendo hasta poder obtener un BER  $\leq 0.2$  y con ello automáticamente presenta la imagen. Es decir ve un error en bit y no presenta la imagen.



Figura 4.4. Con BER  $\leq 0.2$ , presenta la imagen sin problema.

- Las modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK, se presentan como buenas modulaciones para transmitir imagen en ambientes con múltiples multipaso tanto para el ambiente indoor comercial como para el ambiente outdoor áreas rurales.
- Los valores obtenidos en el análisis del ambiente simulado y el canal multipaso en ambientes Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales, nos permite observar que hay mucha diferencia entre ellas, ya que sus caídas de las curvas de comportamiento cae la primeras para el simulado mientras que en el canal multipaso caen después.
- Por último, las tasas de bit que soporta nuestras modulaciones QPSK y  $\pi/4$  QPSK, con los diferentes ambientes, Indoor comerciales y Outdoor áreas rurales es de 2000 kbps, soportando un ruido variado cuyo BER  $\leq 0.2$ .
- En base al estudio realizado en nuestro proyecto se pudo observar que la modulación QPSK es muy robusta y tiene un buen comportamiento sus curvas de rendimiento con los ambientes indoor comerciales y con los ambientes outdoor áreas rurales, siendo la modulación ideal para la transmisión y recepción de una imagen. Mientras que en las modulaciones  $\pi/4$  QPSK, por el hecho de estar desfasadas con respecto a QPSK y trabajar sobre cada uno de los ejes su constelación, provocan ciertas oscilaciones en sus curvas de rendimiento que la hacen menos eficaz.

- Para la implementación del CSMA se requiere tener funcionando los USRP a una frecuencia que no sea utilizado por otro dispositivo en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones, ya que de lo contrario la portadora nunca va a estar libre, por lo que nuestro algoritmo se quedara en un lazo infinito hasta que este estatus cambie.
- En lo que tiene que ver con el ACK/NACK, va a depender del reconocimiento que efectuó de buena forma el receptor, por lo cual el limitante seria la dirección ip que se ingrese en el algoritmo. De esto depende para que el receptor responda al receptor con un ACK o un NACK.

## 5. REFERENCIAS

- [1] J.Careless, "Going Digital ", Via Satellite, March, 1998, pp 12-16
- [2] G.Ungerboeck, Trellis coded modulation with redundant signal sets: Part I and III, IEEE Commun. Magazine, Feb. 1987.
- [3] ETSI, "Digital Video Broadcasting(DVB), framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services", EN. 300 421 V1.1.2 August 1997.
- [4] M. Long, "The Digital Satellite TV Handbook", Newnes , 1999
- [5] J. Matos, "Direct Satellite Broadcasting Systems Engineering" (monografía), Decom-FEEC, Unicamp, Nov. 2000.
- [6] H. Kato et al., "A flexible transmission technique for the satellite ISDB system", IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 42, no.3, Sept. 1996, pp 159-166.
- [7] N. Abramson, "Internet access using VSATs" IEEE Commun. Magazine, July.
- [8] G.W. Durling and C. Cuevas, "Lower power Ku-band direct to home video broadcasting in rainy regions", Space Communications 12 (1994) pp 175-184.
- [9] J. Matos " Evaluación del desempeño de sistemas de TV digital directa por satélite", Telecomunicaciones 2000, Univ. De Oriente, Sgto. de Cuba, Julio 2000 (memorias del congreso).
- [10] Especificaciones NI USRP 2920,  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/375839a.pdf>

[11] Modulación  $\pi/4$  QPSK y sus principales usos, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/alvarado\\_s\\_ja/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/alvarado_s_ja/capitulo2.pdf)

[12] Robert W. Heath Jr., "Physical Layer Exploration Lab using the NI-USRP platform". Digital Wireless Communications 2012.

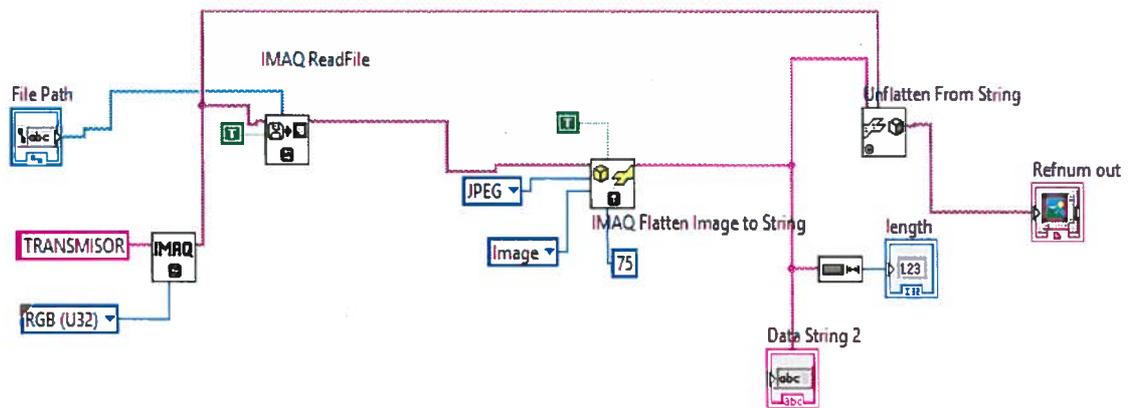
[13] Robert W. Heath Jr., "Introduction to Wireless Digital Communications: A signal Processing Perspective" November 2012.

[14] John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis. Prentice Hall, Tratamiento digital de señales. Principios, algoritmos y aplicaciones". ISBN 0-13-373762-4

## 6. ANEXOS

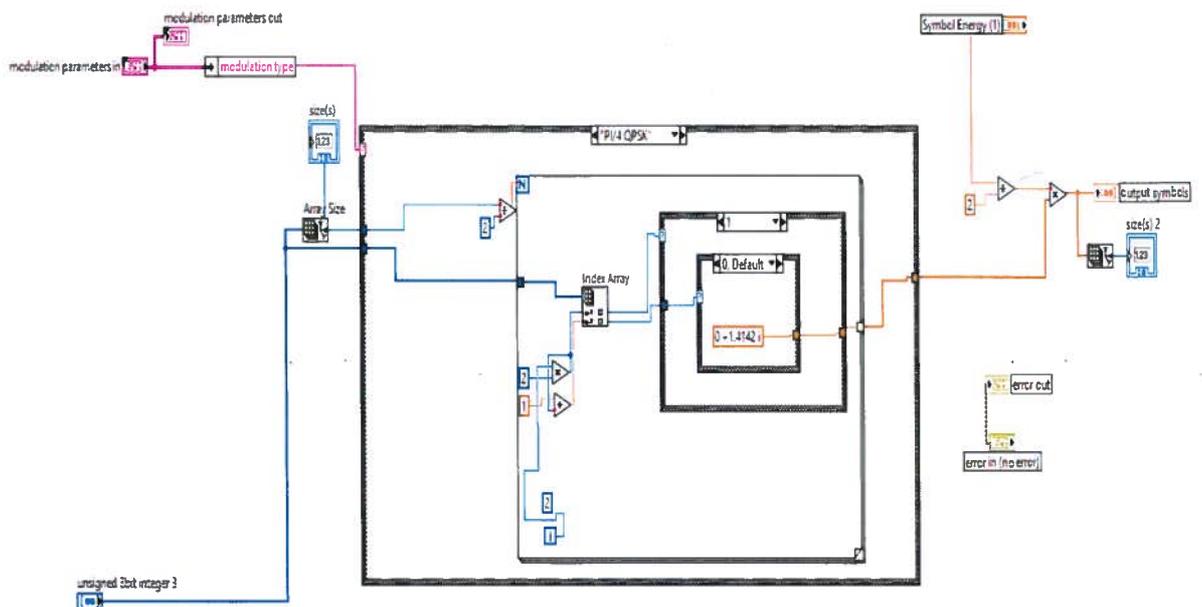
### Anexo 1

#### Diagrama de Bloque del procesamiento de imagen



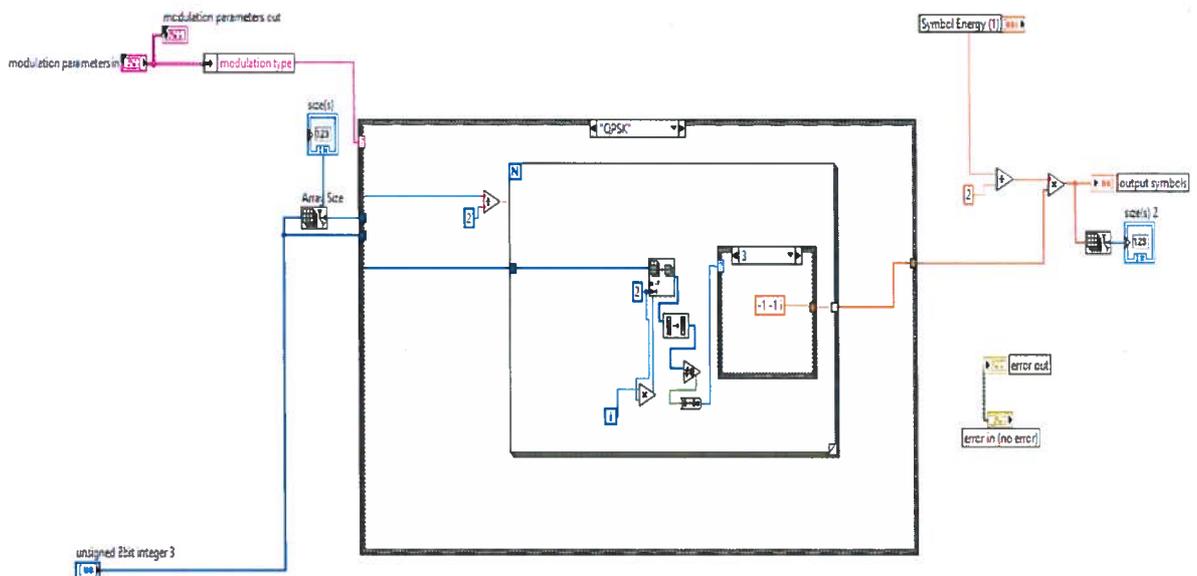
### Anexo 2

#### Diagrama de Bloque Modulación Pi/4 QPSK



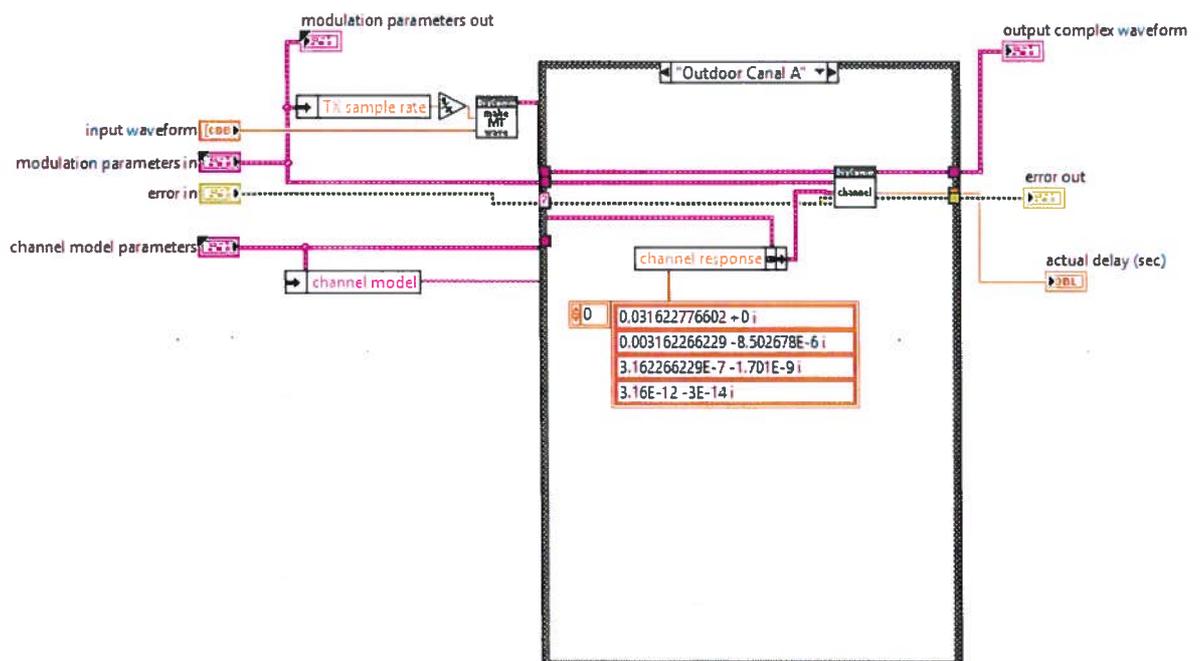
## ANEXO 3

## Diagrama de Bloque Modulación QPSK



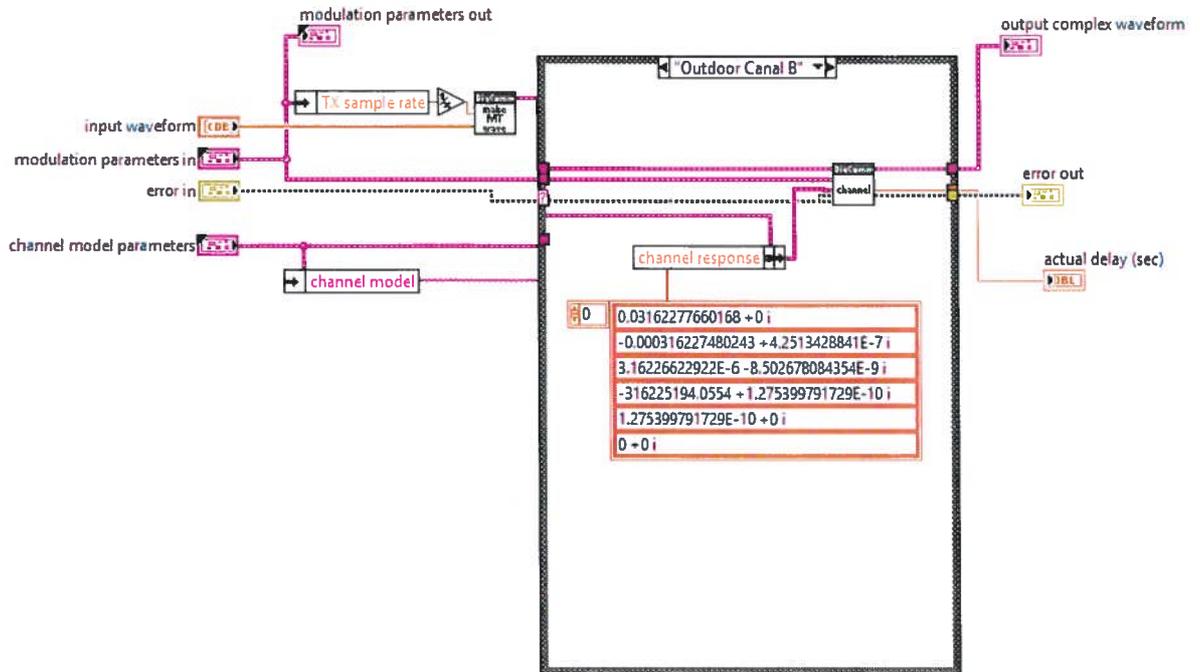
## ANEXO 4

## Diagrama de Bloque del canal Outdoor A



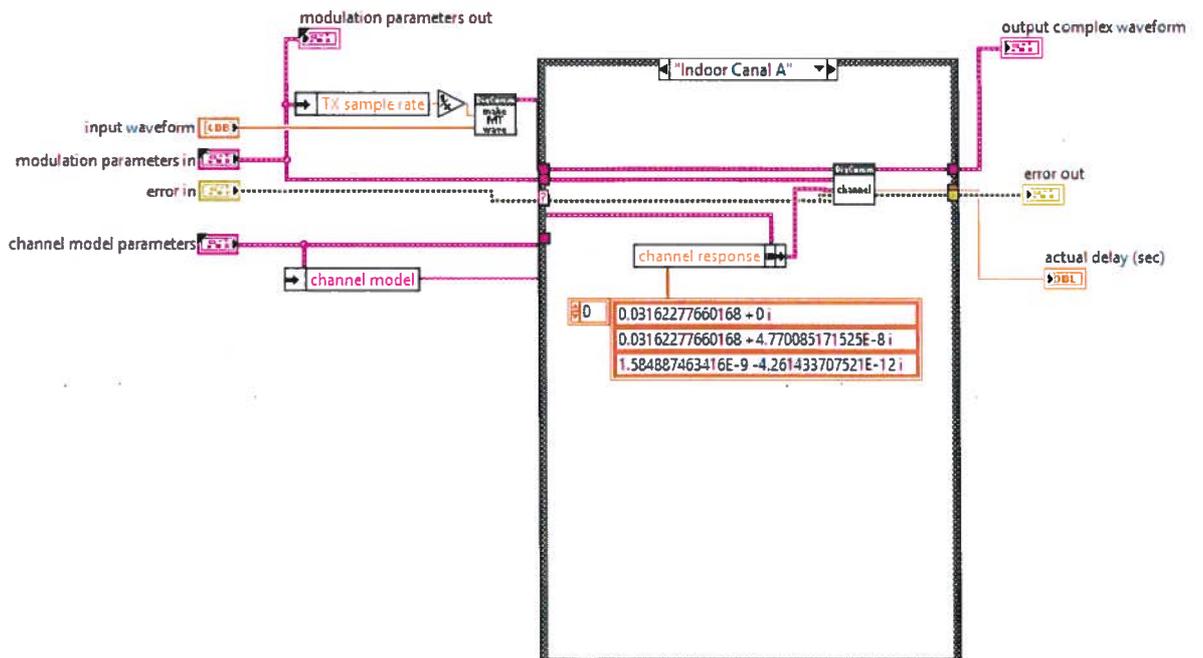
## ANEXO 5

## Diagrama de Bloque del canal Outdoor B



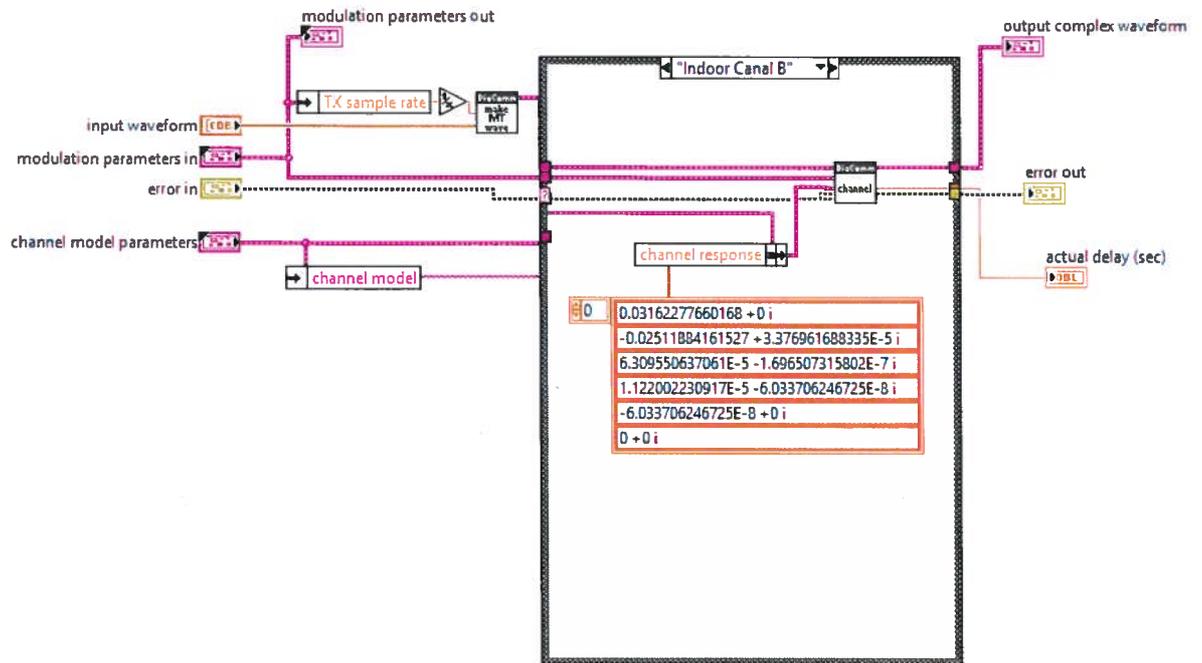
## ANEXO 6

## Diagrama de Bloque del canal Indoor A



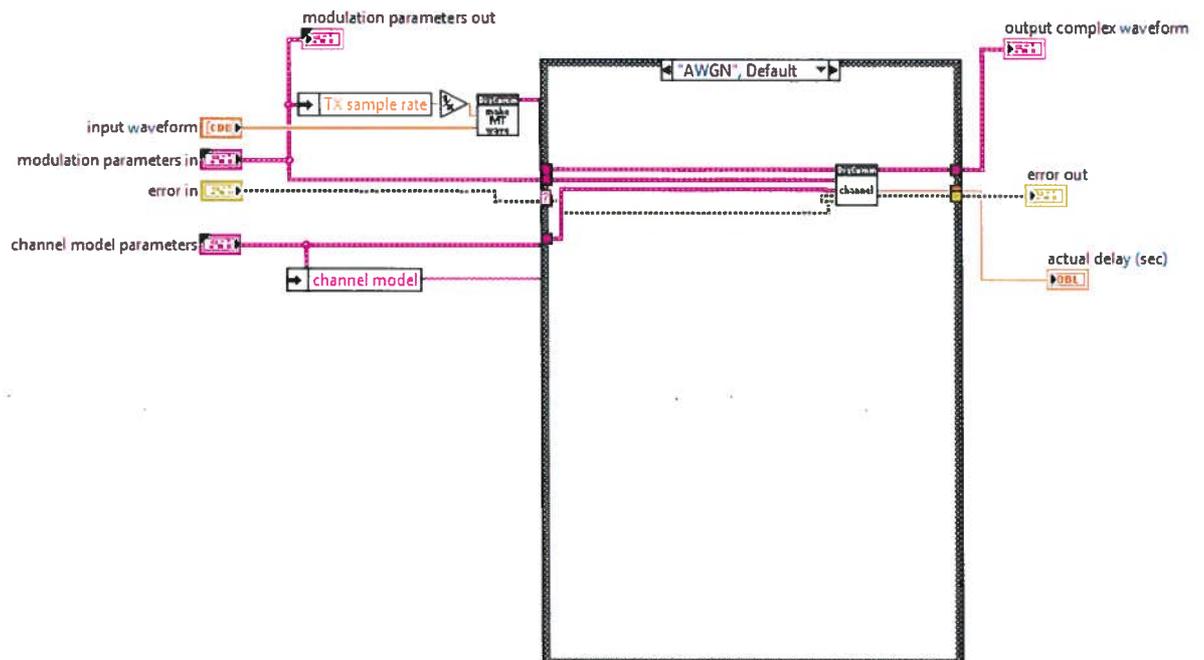
## ANEXO 7

## Diagrama de Bloque del canal Indoor B



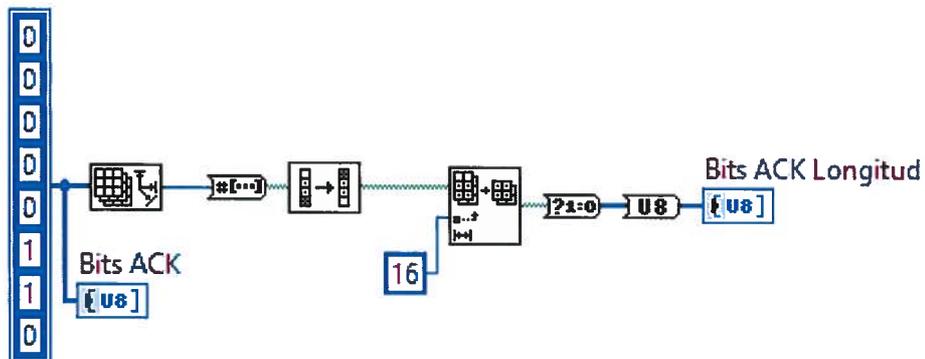
## Anexo 8

## Diagrama de Bloque del canal AWGN



## Anexo 9

### Diagrama de Bloque del reconocimiento Ack



## Anexo 10

### Diagrama de Bloque de CSMA

