



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos  
utilizando la modulación forma de pulsos**

AUTOR:

Hidalgo Merino, Jonathan Martín

Componente práctico del examen complejo previo a la  
obtención del grado de **INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

18 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Hidalgo Merino, Jonathan Martín** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

\_\_\_\_\_  
M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

\_\_\_\_\_  
M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Hidalgo Merino, Jonathan Martín**

**DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen complejo, Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación forma de pulsos**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTÍN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Hidalgo Merino, Jonathan Martín**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación forma de pulsos** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTÍN

# REPORTE DE URKUND

**URKUND** Fernando Palacios Meléndez (edwin\_palacios)

<b>Documento</b>	Hidalgo_Jonathan_EC2020_Final.docx (D79060134)
<b>Presentado</b>	2020-09-13 14:42 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión EC Jonathan Hidalgo Merino <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 1% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

**Lista de fuentes** Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
>	<a href="https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/2100...">https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/2100...</a>
<b>Fuentes alternativas</b>	
<b>Fuentes no usadas</b>	

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación forma de pulsos

AUTOR: Hidalgo Merino, Jonathan Martín

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador 10 de septiembre del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente componente práctico del

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme ayudado a ser la persona que soy en estos momentos y poder decir que soy una persona de la cual ellos están orgullosos.

La mayoría de mis metas alcanzadas han sido gracias a ellos por su constante motivación y sus ganas de verme progresar en la vida tanto como persona y como profesional.

**EL AUTOR**

**HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTÍN**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres y a mis familiares que me apoyaron cada día hasta el final de mi carrera con sus palabras de ánimo y sabiduría.

Al final y no por eso menos importante agradezco a mi tutor, a mis profesores que me impartieron sus conocimientos en el transcurso de mi carrera con mucha paciencia y esmero.

EL AUTOR

HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTÍN



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
Resumen .....	XIII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Objetivo General.....	3
1.3. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.....	5
2.1. Introducción a las Imágenes digitales.....	5
2.2. Estadísticas de imagen .....	7
2.2.1. El histograma.....	7
2.2.2. La media .....	8
2.2.3. La varianza .....	8
2.2.4. La entropía.....	8
2.3. Álgebra de imágenes.....	9
2.3.1. Operaciones escalares de imagen.....	9
2.3.2. Operaciones de imágenes en imágenes .....	10
2.4. ¿Qué es UWB?.....	11
2.5. Características de UWB.....	12
2.5.1. Esquemas UWB de múltiples operadores .....	12
2.5.2. Esquemas UWB de radio impulso.....	12
Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados.....	14
3.1. Introducción.....	14
3.2. Datos de origen de imagen y video .....	14
3.2.1. Codificación/decodificación de imágenes.....	14
3.2.2. Codificación/decodificación de video .....	16

3.3.	Transmisión de imagen usando el sistema PSM.....	19
3.3.1.	Resultados de simulación para transmisión de imágenes.....	20
3.3.2.	Transmisión de imágenes sin pérdida sobre UWB .....	21
3.3.3.	Transmisión de imagen con pérdida sobre UWB .....	23
3.3.4.	Observaciones y comparaciones para la transmisión de imágenes. ....	24
3.4.	Transmisión de video usando el sistema de modulación PSM.....	25
3.4.1.	Resultados de simulación para transmisión de video. ....	27
3.4.2.	Observaciones y comparaciones para la transmisión de video.....	30
	Conclusiones.....	33
	Recomendaciones. ....	34
	Bibliografía. ....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Representación de una imagen digital rectangular de resolución 16x8. ....	5
Figura 2. 2: Representación de una imagen de resolución típica en escala de grises 512x512. ....	6
Figura 2. 3: Representación estadística mediante histograma de la imagen en escala de grises de la Figura 2.2. ....	7
Figura 2. 4: Representación de (a) imagen de bajo contraste; (b) después de la mejora. ....	9
Figura 2. 5: Ejemplo de combinación: (a) primera imagen; (b) segunda imagen; (c) imagen mezclada con $\alpha = 0.5$ . ....	10
Figura 2. 6: Máscara espectral especificada por la FCC que muestra la potencia radiada isotrópica equivalente (EIRP) frente a la frecuencia para el sistema UWB en interiores. ....	11

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Codificador de fuente de imagen. ....	15
Figura 3. 2: Decodificador de fuente de imagen. ....	16
Figura 3. 3: Codificador de video. ....	17
Figura 3. 4: Decodificador de video. ....	17
Figura 3. 5: Modelo Simulink del sistema UWB con modulación PSM para transmisión de imágenes. ....	18
Figura 3. 6: BER del sistema codificado PSM sobre AWGN y UWB. ....	21
Figura 3. 7: Imagen con compresión sin pérdida recibida utilizando D-ADCC (AWGN). ....	22
Figura 3. 8: Imagen con compresión JPEG recibida con D-ADCC (CM1). ....	23
Figura 3. 9: Sistema Tx/Rx SM UWB para transmisión de video. ....	25
Figura 3. 10: Fotogramas de video recibidos con compresión sin pérdidas. ....	27
Figura 3. 11: BER del sistema PSM con ADCC, Ptx: 0 dBm. ....	28

Figura 3. 12: BER del sistema PSM con ADCC, Ptx: 0 dBm y 10 dBm. ....	29
Figura 3. 13: BER del sistema UWB con modulación PSM y código BCH (31, 11).....	31

## Resumen

El presente trabajo es el desarrollo del componente práctico del examen complejo cuyo tema es “Simulación de un sistema de transmisión y recepción de imágenes y videos utilizando la modulación por forma de pulsos. En el capítulo 1 se realiza una breve descripción del tema investigado. En el capítulo 1, se describe la tecnología de banda ultra ancha (UWB) siendo una tecnología de vanguardia para las comunicaciones inalámbricas con una amplia gama de aplicaciones. Se explica claramente los principios y tecnologías de UWB para comunicaciones inalámbricas. Se abordan cuestiones clave como canales inalámbricos UWB, interferencia, procesamiento de señales e imágenes, así como aplicaciones y actividades de estandarización. Introducción a la banda ultra ancha para comunicaciones inalámbricas proporciona material fácil de entender para estudiantes (graduados) e investigadores que trabajan en el campo de las comunicaciones inalámbricas UWB comerciales. En el capítulo 3 se desarrolla los escenarios de simulación del sistema de Tx/Rx de imágenes y videos sobre la plataforma Matlab/Simulink utilizando la modulación forma de pulsos.

**Palabras claves:** COMUNICACIONES, INALÁMBRICAS, CANALES, PROCESAMIENTO, IMÁGENES, VIDEO

## CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

### 1.1. Introducción.

En los últimos años, el posicionamiento en interiores se ha convertido en una función fundamental en muchas aplicaciones de usuario final; incluidas misiones militares, civiles, de socorro en casos de desastre y de paz. En comparación con los entornos al aire libre, la detección de información de ubicación en entornos interiores requiere una mayor precisión y es una tarea más desafiante en parte porque varios objetos reflejan y dispersan señales. Ultra banda ancha (*Ultra WideBand, UWB*) es una tecnología emergente en el campo del posicionamiento en interiores que ha mostrado un mejor rendimiento en comparación con otras tecnologías. (Alarifi et al., 2016)

En las imágenes de microondas, las antenas son utilizadas como transceptores. Normalmente, se utilizan dos tipos diferentes de antenas en los sistemas de imágenes por microondas (*Microwave Imaging System, MIS*): (1) antenas de tipo resonancia; y (2) antenas diseñadas con base en el principio de onda viajera de alto perfil, como las antenas llamadas Vivaldi. (Mahmud et al., 2018)

La comunicación UWB está recibiendo un interés creciente de los investigadores que abordan desarrollos importantes para este tipo de sistema. En estos sistemas, las señales son impulsivas, es decir, son de tiempo extremadamente corto y, por lo tanto, tienen un espectro muy extendido. Para transmitir información de datos, los pulsos se controlan directamente mediante el esquema de modulación de pulsos elegido.

La elección del esquema de modulación es de gran importancia para el rendimiento general del sistema. Los esquemas más comunes se basan en la modulación de la posición de pulso (*Pulse-Position Modulation, PPM*) o en la modulación de amplitud de pulso (*Pulse-Amplitude Modulation, PAM*). También, se incluye otra técnica de modulación, haciendo uso de la forma del pulso, denominada como la modulación en forma de pulso (*Pulse-Shape Modulation, PSM*). (da Silva & de Campos, 2007)

Originalmente se basó en dos formas de ondas ortogonales en el tiempo comúnmente utilizadas para modelar la forma del pulso. En el mismo trabajo, el concepto se desarrolló para incluir M pulsos ortogonales, con una restricción espectral, para lograr una modulación M-ortogonal PSM, y se encontró un conjunto de cuatro pulsos ortogonales.

Una antena UWB puede operar en rangos de baja y alta frecuencia, con características únicas como operaciones remotas sin contacto, transductores eléctricos intrínsecos, respeto al medio ambiente, biocompatibilidad y respeto biológico. Estas características han sido de interés para los investigadores debido a sus ventajas para aplicaciones médicas. Los investigadores han propuesto el uso de varios tipos de antenas UWB para aplicaciones de imágenes de microondas: patrones de radiación omnidireccionales versus direccionales; rangos amplios vs. bandas estrechas; alta frente a baja frecuencia, etc.

Las señales UWB se definen especialmente como señales con un ancho de banda fraccional superior al 20% de su frecuencia central o como señales con un ancho de banda superior a 500 MHz. El esquema de comunicación UWB tiene la capacidad de moverse entre las aplicaciones de muy alta velocidad de datos (enlaces de corta distancia) y aplicaciones de baja velocidad de datos (enlaces de mayor distancia). (Mishra et al., 2012)

## **1.2. Objetivo General.**

Diseñar la simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación por forma de pulsos (PSM) a través del software MatLab/Simulink.

## **1.3. Objetivos Específicos.**

- a. Describir los fundamentos teóricos del procesamiento de imágenes y de la tecnología de ultra banda ancha (UWB).
- b. Diseñar los modelos de simulación para la transmisión y recepción de imágenes y videos mediante sistema UWB sobre el entorno MatLab/Simulink.

- c. Evaluar los resultados obtenidos durante la transmisión y recepción de imágenes y videos en el sistema UWB

## CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

### 2.1. Introducción a las Imágenes digitales.

Una imagen digital es una función bidimensional discreta,  $f(x, y)$ , que se ha cuantificado en su dominio y rango. Sin pérdida de generalidad, se supondrá que la imagen es rectangular, que consta de  $Y$  filas y  $X$  columnas. La solución de dicha imagen se escribe como  $X \times Y$ . Por convención,  $f(0,0)$  se toma como la esquina superior izquierda de la imagen y  $f(X-1, Y-1)$  la esquina inferior derecha, tal como se muestra en la figura 2.1.

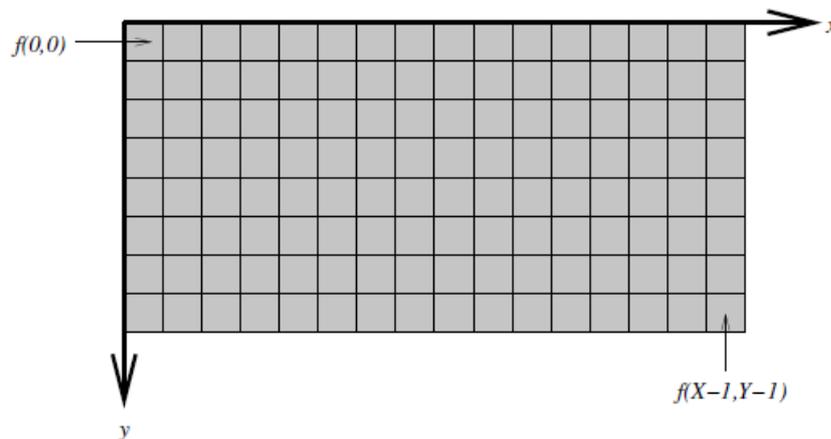


Figura 2. 1: Representación de una imagen digital rectangular de resolución 16x8.  
Fuente: (Looney, 2020)

Cada coordenada distinta en una imagen se llama píxel, que es la abreviatura de "elemento de imagen". La naturaleza de la salida de  $f(x, y)$  para cada píxel depende del tipo de imagen. La mayoría de las imágenes son el resultado de medir un fenómeno físico específico, como la luz, el calor, la distancia o la energía. La medida puede tomar cualquier forma numérica. (Calderón González & Carmona Salazar, 2015)

Una imagen en escala de grises mide solo la intensidad de la luz. Cada píxel es un escalar proporcional al brillo. El brillo mínimo se llama negro y el brillo máximo se llama blanco. En la figura 2.2 se ofrece un ejemplo típico. Una imagen en color mide la intensidad y la crominancia de la luz. Cada píxel de color es un vector de componentes de color. Los espacios de color comunes son RGB (rojo, verde y azul), HSV (tono, saturación, valor) y CMYK (cian, magenta, amarillo, negro), que se utiliza en la industria de la impresión.

Los píxeles en una imagen de rango miden la profundidad de la distancia a un objeto en la escena. Los datos de rango se utilizan comúnmente en aplicaciones de visión artificial. (Moon et al., 2019)



Figura 2. 2: Representación de una imagen de resolución típica en escala de grises 512x512.

Fuente: (Wakin, 2020)

Para fines de almacenamiento, los valores de los píxeles deben cuantificarse. El brillo en las imágenes en escala de grises generalmente se cuantifica a niveles  $Z$ , por lo que  $f(x, y) \in \{0, 1, \dots, Z - 1\}$ . Si  $Z$  tiene la forma  $2^L$ , se dice que la imagen tiene  $L$  bits por píxel. Muchas imágenes comunes en escala de grises utilizan 8 bits por píxel, lo que proporciona 256 niveles de gris distintos. Este es un límite aproximado del número de intensidades diferentes que el sistema visual humano es capaz de discernir. Por las mismas razones, cada componente en un píxel de color generalmente se almacena usando 8 bits.

Los escáneres médicos suelen utilizar de 12 a 16 bits por píxel, porque su precisión podría ser de vital importancia. Esas imágenes que serán procesadas predominantemente por máquinas a menudo pueden utilizar valores más altos de  $Z$  para evitar la pérdida de precisión durante el

procesamiento. Las imágenes que no codifican la intensidad de la luz visible, como los datos de alcance, también pueden requerir un valor mayor de Z para almacenar suficiente información de distancia.

Hay muchos otros tipos de píxeles. Algunas miden bandas del espectro electromagnético como infrarrojos o radio, o calor, en el caso de imágenes térmicas. Las imágenes de volumen son en realidad imágenes tridimensionales, y cada píxel se denomina vóxel. En algunos casos, las imágenes de volumen pueden tratarse como cortes de imágenes bidimensionales adyacentes. Aunque este componente práctico del examen complejo trata de imágenes en escala de grises, a menudo es sencillo ampliar los métodos para que funcionen con diferentes tipos de imágenes.

## 2.2. Estadísticas de imagen

### 2.2.1. El histograma

Un histograma traza la frecuencia relativa de cada valor de píxel que se produce en una imagen en escala de grises. La figura 2.3 muestra el histograma de intensidad producida por la imagen de escala de grises 512x512 de la figura 2.2.

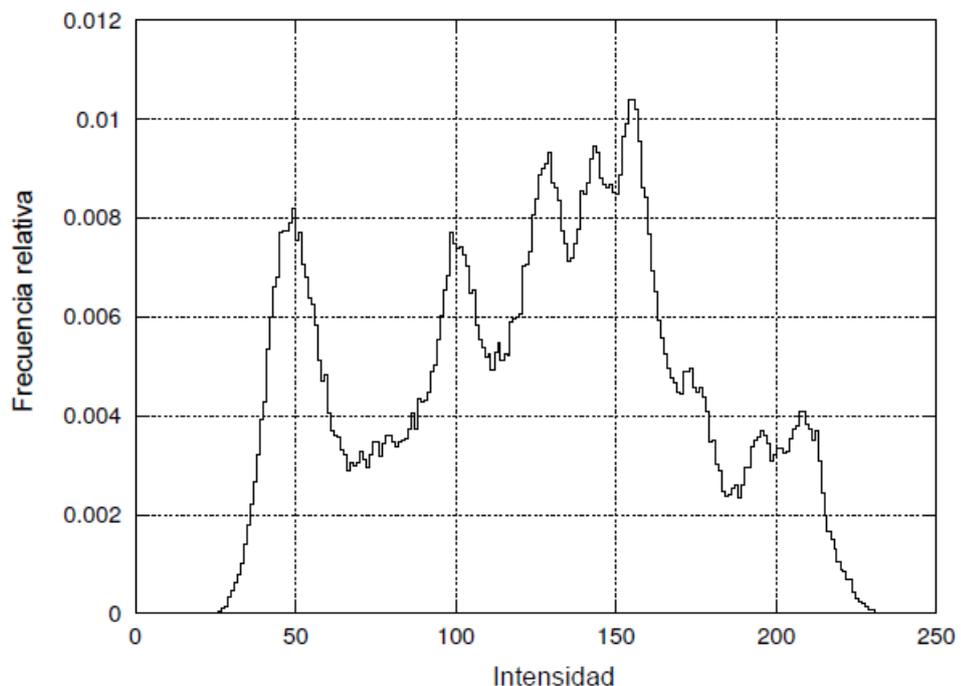


Figura 2. 3: Representación estadística mediante histograma de la imagen en escala de grises de la Figura 2.2.

Fuente: (Gaddam & Sunkara, 2016)

El histograma proporciona un resumen conveniente de las intensidades en una imagen, pero no puede transmitir ninguna información sobre las relaciones espaciales entre píxeles. En este ejemplo, la imagen no contiene muchos píxeles de intensidad muy baja o alta. Es posible que los picos en el histograma correspondan a objetos en la imagen, pero es difícil estar seguro sin examinar visualmente la imagen. (Gaddam & Sunkara, 2016)

### 2.2.2. La media

La media de la imagen es el valor de píxel promedio de una imagen. Para una imagen en escala de grises, esto es igual al brillo o la intensidad promedio. Hagamos referencia a la imagen  $f(x, y)$  utilizando la abreviatura  $f$ . La media de esta imagen,  $E[f]$  se puede calcular utilizando la siguiente ecuación,

$$E[f] = \frac{1}{YX} \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} f(x, y)$$

### 2.2.3. La varianza

La varianza de la imagen,  $\text{Var}[f]$ , da una estimación de la dispersión de los valores de los píxeles alrededor de la media de la imagen. Se puede calcular utilizando las siguientes dos ecuaciones. Este último tiene la ventaja de requerir solo una pasada por la imagen. La desviación estándar es simplemente  $\sqrt{\text{Var}[f]}$ .

$$\text{Var}[f] = E[f - E[f]]^2$$

$$\text{Var}[f] = \left( \frac{1}{YX} \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} f(x, y)^2 \right) - \left( \frac{1}{YX} \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} f(x, y) \right)^2$$

### 2.2.4. La entropía

El histograma de la imagen puede considerarse una distribución de probabilidad sobre los valores de los píxeles. Para el caso de una imagen en escala de grises de nivel  $Z$ , la entrada del histograma para la intensidad  $z$  puede escribirse como  $\text{Pr}(z)$ . La entropía de una imagen,  $f$ , viene dada por la siguiente ecuación. Las unidades de entropía son bits cuando se usan logaritmos en base 2.

$$H(f) = - \sum_{z=0}^{Z-1} \text{Pr}(z) \log_2[\text{Pr}(z)]$$

## 2.3. Álgebra de imágenes

### 2.3.1. Operaciones escalares de imagen

Se pueden definir varias operaciones aritméticas útiles para imágenes. Sea  $\otimes$  el operador binario para la suma, resta, multiplicación o división. La ecuación siguiente muestra cómo combinar un escalar,  $c$ , y una imagen,  $g$ , para producir una nueva imagen,  $f$ . Esta es una operación de píxeles: cada píxel en  $g$  se opera usando  $\otimes$  con  $c$ , y el resultado se especifica como  $f$ .

$$f = g \otimes c \equiv \forall(x, y) \quad f(x, y) = g(x, y) \otimes c$$

Esta idea podría utilizarse para mejorar una imagen que es demasiado oscura. Considere la imagen mostrada en la figura 2.4 (a) que utiliza 8 bits por píxel (256 niveles), pero solo contiene píxeles con intensidades de 64 a 191. Se puede considerar mejorarla, pero utilizando el rango de intensidad completo. Esto se puede lograr empleando la siguiente ecuación, donde  $[\cdot]$  denota truncamiento de enteros y la precisión de punto flotante se utiliza para todos los píxeles durante el cálculo. El resultado de la imagen mejorada se muestra en la figura 2.4 (b).

$$f = \left\lfloor \frac{g - 64}{128} \times 255 \right\rfloor$$



Figura 2. 4: Representación de (a) imagen de bajo contraste; (b) después de la mejora.

Fuente: (Wirth & Nikitenko, 2011)

### 2.3.2. Operaciones de imágenes en imágenes

La operación escalar de imagen puede extenderse a la combinación de dos imágenes,  $g_1$  y  $g_2$ , que tengan la misma resolución. En lugar de combinar un escalar con cada píxel, se utilizan dos píxeles con la misma coordenada en diferentes imágenes. La siguiente ecuación describe este proceso.

$$f = g_1 \otimes g_2 \equiv \forall(x, y) \quad f(x, y) = g_1(x, y) \otimes g_2(x, y)$$

Por ejemplo, imagínense querer generar una versión combinada de dos imágenes en escala de grises de idéntica resolución. Esto se puede lograr utilizando la siguiente ecuación, donde  $\alpha$  determina la proporción de mezcla. La combinación alfa es una forma simple de transformación y, a menudo, se utiliza para disolver escenas en el cine y la televisión. En la figura 2.5 se da un ejemplo visual de  $\alpha = 0.5$ .

$$f = [\alpha \times g_1 + (1 - \alpha) \times g_2]$$

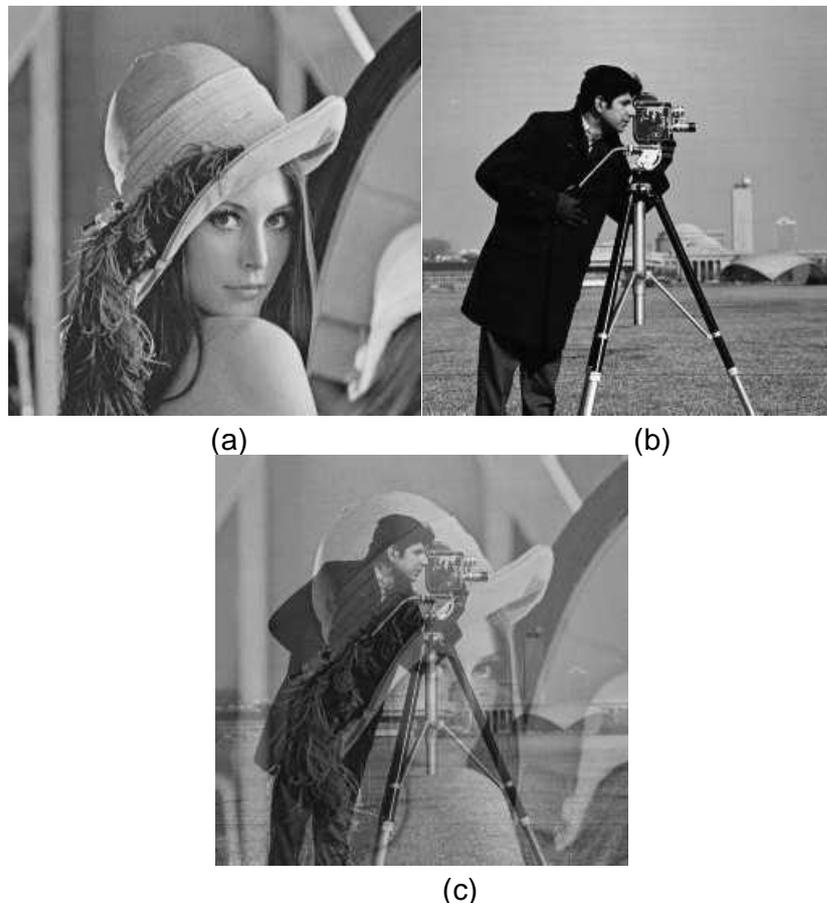


Figura 2. 5: Ejemplo de combinación: (a) primera imagen; (b) segunda imagen; (c) imagen mezclada con  $\alpha = 0.5$ .

Fuente: (Wirth & Nikitenko, 2011)

## 2.4. ¿Qué es UWB?

Hay varias definiciones para una señal de banda ultra ancha (Ultra Wide-Banda, UWB). La mayoría de las definiciones sobre lo que se puede interpretar como señal UWB dependen de los organismos reguladores del espectro. La comisión federal de comunicaciones (FCC) define la señal UWB como una señal que cumple al menos uno de los siguientes criterios:

- a. El ancho de banda fraccional de 10 dB es mayor que 0,20.
- b. El ancho de banda de 10 dB es igual o superior a 0,5 GHz, independientemente del ancho de banda fraccional.

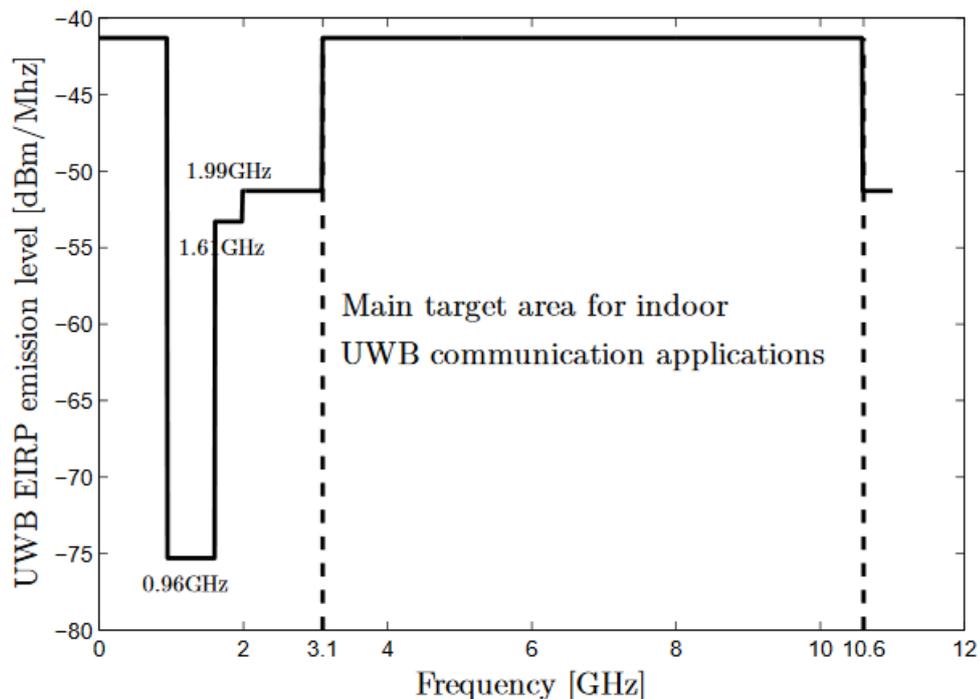


Figura 2. 6: Máscara espectral especificada por la FCC que muestra la potencia radiada isotrópica equivalente (EIRP) frente a la frecuencia para el sistema UWB en interiores.

Fuente: (Ghavami et al., 2008)

El ancho de banda fraccional de una señal proporciona el ancho de banda de la señal en relación con la frecuencia portadora y se define como,

$$\frac{2(F_H - F_L)}{(F_H + F_L)}$$

donde,  $F_H$  y  $F_L$  indican el componente de frecuencia más alto y más bajo de la señal UWB transmitida, respectivamente. El amplio ancho de banda utilizado por las señales UWB puede superponerse con otras tecnologías de

radio. Por lo tanto, los organismos reguladores imponen restricciones muy estrictas sobre las emisiones de UWB con el fin de proteger a los receptores-víctimas. Estos son máscaras espectrales pasantes que se definen generalmente para la banda de 0-10 GHz. Aunque existen múltiples normas de emisión para señales UWB, aquí se debe centrarse en las regulaciones de la FCC. Esto se debe al hecho de que la mayoría de las otras definiciones se derivan de las reglas de la FCC, y estas regulaciones son las más populares para UWB.

## **2.5. Características de UWB.**

### **2.5.1. Esquemas UWB de múltiples operadores**

Hay muchas formas de generar señales UWB, por ejemplo, un enfoque consiste en combinar las técnicas de espectro ensanchado (*Spread Spectrum, SS*) y multiportadora (*Multi-Carrier, MC*). Aquí, los datos entrantes se distribuyen utilizando diferentes códigos de distribución y se convierten a diferentes frecuencias. Otro enfoque es utilizar técnica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de múltiples bandas (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*), donde se produce una señal OFDM con bandas de aproximadamente 528 MHz. Las técnicas de múltiples portadoras tienen una mayor complejidad y requieren varios mezcladores o transformada rápida de Fourier (FFT) para colocar los diferentes componentes de la señal en las frecuencias requeridas. Como resultado de estas desventajas, las técnicas de múltiples portadoras rara vez se utilizan para UWB.

### **2.5.2. Esquemas UWB de radio impulso**

Los sistemas de radio impulsos UWB (*Impulse Radio UWB, IR-UWB*) emplean pulsos discontinuos para la transmisión. Estos pulsos son extremadamente estrechos y ocupan un ancho de banda amplio. Dado que estos pulsos estrechos tienen solo unos pocos nanosegundos de ancho (como un impulso), el sistema se llama IR-UWB. En estos sistemas, la información se puede incrustar en la posición, formando un esquema de señalización con modulación de posición de pulso (*Pulse Position Modulated, PPM*), o formando esquemas de señalización con modulación de amplitud de pulso (*Pulse Amplitude Modulated, PAM*).

Un símbolo transmitido típico se distribuye en  $N$  pulsos. Esto proporciona una ganancia de procesamiento similar a las técnicas de espectro ensanchado. El ciclo de trabajo típico de los pulsos utilizados es muy bajo y, por lo tanto, los receptores solo necesitan "escuchar" el canal durante una pequeña fracción del período entre pulsos. Esto puede reducir la interferencia de la fuente continua, ya que solo es relevante cuando el receptor está intentando detectar un pulso.

## **Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados.**

### **3.1. Introducción.**

Este capítulo evalúa el rendimiento del sistema UWB codificado basado en la transformada de Hermite para la aplicación de transmisión de imágenes y video sin pérdidas para identificar su precisión en la transmisión de datos a altas velocidades. Existen numerosas aplicaciones de la tecnología UWB entre ellas la más importante es UWB en la red doméstica para la transmisión de video. La red doméstica es principalmente de dos tipos: entretenimiento y red periférica para PC. En ambas redes, para facilitar la transmisión multimedia a corta distancia en interiores, UWB ha demostrado ser una tecnología adecuada.

Además, se analiza el rendimiento del sistema PSM utilizando códigos de corrección de todos los datos para la transmisión de imágenes y videos en escala de grises en el canal UWB. Para todas las simulaciones la distancia de transmisión de datos se considera 4 m y 10 m para la comunicación UWB en interiores. También, se implementa algoritmos de compresión con y sin pérdida para imágenes y videos en Simulink.

### **3.2. Datos de origen de imagen y video**

La imagen de entrada se acepta en diferentes formatos, como gif, bmp o tiff, etc., y el video de entrada se acepta en formato sin comprimir, como YUV o QCIF o AVI. La imagen o el video que se transmitirá se comprime primero mediante un algoritmo de compresión sin pérdida o con pérdida y luego se convierte en dígitos binarios usando el codificador de fuente Huffman para la transmisión por el canal UWB. En el receptor, el decodificador Huffman convierte los bits binarios a píxeles de imagen y la descompresión recupera la imagen transmitida.

#### **3.2.1. Codificación/decodificación de imágenes.**

La imagen de entrada a transmitir se codifica utilizando el codificador fuente de la figura 3.1. Dos imágenes de prueba: foto01.tif y foto02.tif se utilizan para simulaciones en este trabajo.

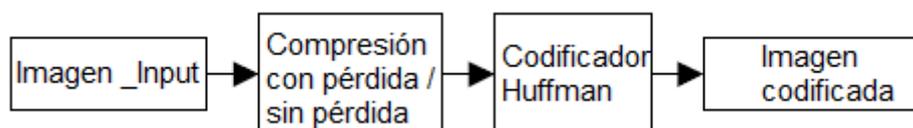


Figura 3. 1: Codificador de fuente de imagen.

Elaborado por: Autor.

Aquí se emplea el algoritmo de compresión sin pérdida similar al algoritmo sin pérdida JPEG. Considere que  $i$  y  $j$  indican filas y columnas de cada cuadro de imagen, luego se obtiene una compresión sin pérdida de imagen realizando las siguientes operaciones simples en filas y columnas.

$$i^{th}row = i^{th}row - (i - 1)^{th}row$$

$$j^{th}column = j^{th}column - (j - 1)^{th}column$$

Para lograr la compresión con pérdida se utiliza el algoritmo de compresión JPEG. Las partes principales del algoritmo JPEG son la cuantización, la transformación de la transformada discreta de Fourier (DCT), la longitud de la ejecución y la codificación de Huffman. En este esquema, la imagen de entrada se desplaza en primer nivel por  $2P-1$  donde  $P$  es el número de bits utilizados para representar cada píxel. Para una imagen en escala de grises de 8 bits, se resta 128 de cada valor de píxel. Luego, la imagen se divide en bloques de  $8 \times 8$  que se transforman usando DCT directo.

Los coeficientes DCT así obtenidos se cuantifican mediante una tabla de cuantificación estándar. Todos los coeficientes con magnitudes inferiores a la mitad del tamaño de paso correspondiente se establecen en cero. Luego se realiza el escaneo en zigzag y luego, utilizando la codificación de longitud de ejecución, se eliminan las series largas de ceros. La secuencia final se codifica utilizando el código Huffman. Por lo tanto, el enfoque JPEG estándar es complejo, pero da como resultado una alta compresión.

La primera imagen "foto01.tif" tiene una resolución de  $128 \times 128$ . El número de bits de datos binarios requeridos para representar esta imagen usando el código Huffman sin compresión es de 117282 bits y con una compresión sin pérdida, se requieren bits binarios de 81233. Con la

compresión con pérdida JPEG, la imagen del camarógrafo se convierte en bits binarios de 16351 bits.

La segunda imagen foto02.tif es de resolución 128 x 128 píxeles. El número de bits de datos binarios requeridos para representar esta imagen usando el código Huffman sin ninguna compresión es 124799 y con una compresión sin pérdida es de 92225 bits. Con compresión con pérdida JPEG, la imagen "foto02" se convierte en bits binarios de 19750 bits. Antes de la transmisión, las imágenes comprimidas JPEG, tales como foto01.jpg y foto02.jpg tienen una relación señal a ruido pico (*Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR*) de 30.80 con respecto a las imágenes originales sin comprimir.

Los datos de la imagen codificada en binario se transmiten luego en el canal UWB utilizando un sistema UWB de alta velocidad. En el receptor, los datos binarios de la imagen recibida se decodifican en píxeles utilizando la decodificación Huffman y luego se descomprimen de nuevo a la imagen original, tal como se muestra en la figura 3.2.

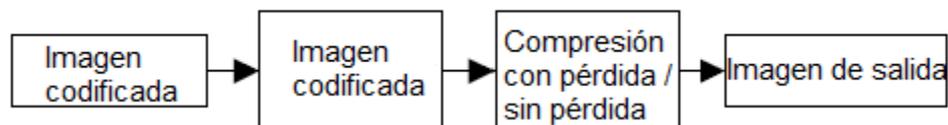


Figura 3. 2: Decodificador de fuente de imagen.

Elaborado por: Autor.

### 3.2.2. Codificación/decodificación de video

El video AVI de escala de grises de entrada se codifica usando el codificador MPEG (véase la figura 3.3) y se decodifica mediante el decodificador MPEG que se muestra en la figura 3.4. En el primer paso de la codificación, el algoritmo de codificación lee el video de entrada en formato AVI y extrae los cuadros de video como imágenes separadas. Cada imagen en la secuencia de video se redimensiona a un tamaño uniforme de 128x128 y se somete a la siguiente secuencia de operaciones para la compresión JPEG.

1. Comprimir la imagen llevando su DCT hacia adelante
2. Cuantificar los coeficientes DCT

3. Aplicar el orden en zigzag y ejecutar la codificación de longitud para una mayor compresión
4. Codificación binaria de imagen comprimida usando código Huffman

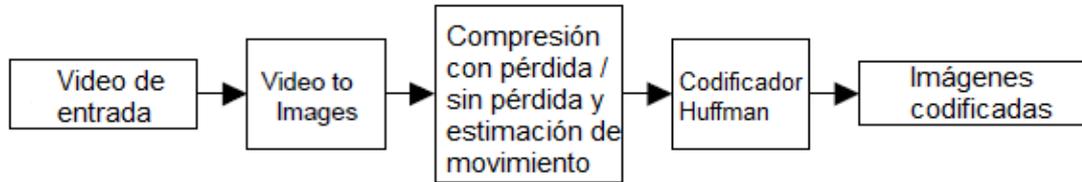


Figura 3. 3: Codificador de video.  
Elaborado por: Autor.

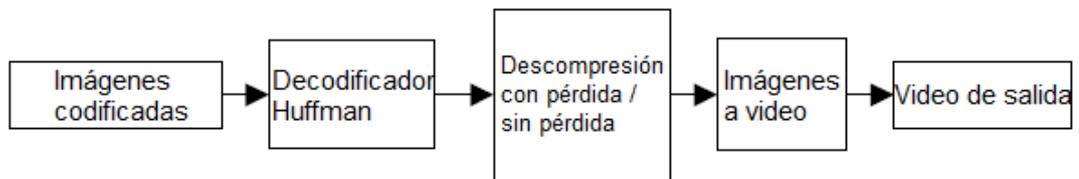


Figura 3. 4: Decodificador de video.  
Elaborado por: Autor.

La codificación MPEG utiliza un grupo de imágenes (*Group of Pictures, GOP*). En este trabajo, cada GOP tiene 9 imágenes (tramas). El GOP contiene la imagen de anclaje "I" seguida de las imágenes pronosticadas "P". La secuencia típica que se sigue aquí es I1 B2 B3 P4 B5 B6 P7 B9 B10 I2 donde I2 es el comienzo del próximo GOP. El codificador MPEG procesa un cuadro I, un cuadro P y un cuadro B. El algoritmo de estimación de movimiento calcula el movimiento entre cuadros de imagen sucesivos. El vector de movimiento se calcula para la compensación de movimiento.

Cada imagen en GOP se comprime usando compresión sin pérdida o JPEG con pérdida. Los datos de la trama de imagen comprimida junto con los vectores de movimiento se convierten en datos binarios usando la codificación Huffman. Las tramas GOP codificadas en binario se transmiten a través del canal UWB utilizando el sistema UWB basado en Hermite. Para la compresión de video sin pérdida, cada cuadro de imagen en GOP se comprime usando el algoritmo sin pérdida y luego se convierte en binario usando la codificación Huffman.

En este trabajo se utilizan dos videos de prueba en escala de grises: "video01.avi" y "video02.avi". Debido a la restricción de memoria, 20 tramas de cada video se codifican y transmiten a través del canal UWB. Antes de la transmisión, las 20 tramas de videos en escala de grises "video01" y "video02" se codifican en 383618 bits binarios sin compresión, 1649231 bits binarios con compresión sin pérdida o 516730 bits con compresión MPEG con pérdida. Los datos de video binarios recibidos se pasan a través del decodificador de video/MPEG que se muestra en la figura 3.5. El decodificador de video realiza operaciones inversas para descomprimir cada imagen en GOP para reconstruir el video original.

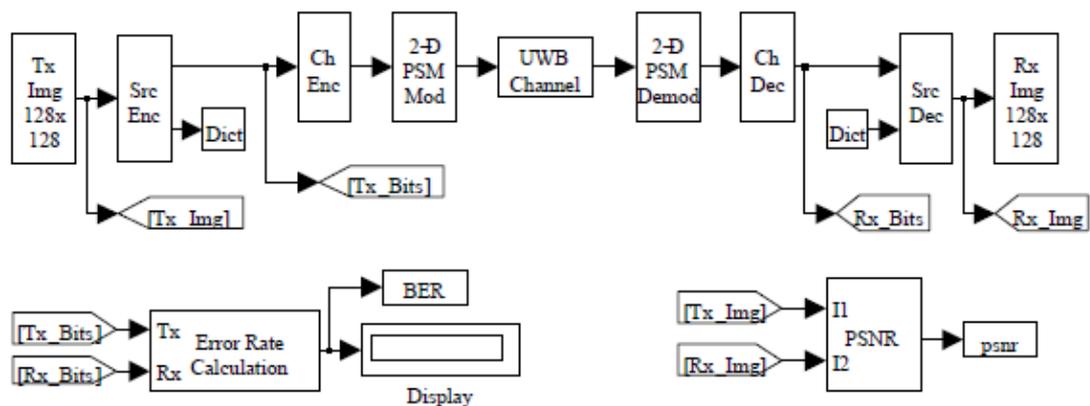


Figura 3. 5: Modelo Simulink del sistema UWB con modulación PSM para transmisión de imágenes.  
Elaborado por: Autor.

Con el fin de estimar la calidad visual del códec con pérdida, se introduce un indicador objetivo potencial de la calidad de las señales de imagen recibidas, PSNR. La PSNR es una indicación de la diferencia relativa entre dos imágenes. La calidad (por ejemplo, PSNR) del video recibido se compara con el video transmitido. Para una precisión del 100%, PSNR será infinito y BER será cero. Recientemente se ha demostrado que PSNR puede no ser una buena medida de calidad de imagen o video. Esta medida no siempre se corresponde bien con los criterios de calidad de los humanos. La medida del índice de similitud estructural (*Structural Similarity Index Measure, SSIM*) se basa en la idea de que las imágenes naturales están altamente "estructuradas". En otras palabras, las señales de imagen tienen fuertes relaciones entre sí que transportan información sobre las estructuras de los objetos en la escena. La fórmula general de la métrica SSIM viene dada por,

$$SSIM(x, y) = ((2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2))/((\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2))$$

El SSIM tiene un rango de valores que varía entre 0 y 1, siendo 1 el mejor valor posible.

### 3.3. Transmisión de imagen usando el sistema PSM.

La figura 3.5 indica el modelado en Simulink del sistema de transmisión de imágenes UWB basado en la técnica de modulación por forma de pulso (*Pulse Shape Modulation, PSM*) utilizando la transformada Hermite. Consiste en un codificador de fuente de imagen, codificador de canal y modulador en el lado del transmisor, mientras que demodulador, decodificador de canal y decodificador de fuente en el lado del receptor.

El bloque codificador fuente toma una imagen para ser transmitida. Esta imagen se comprime usando la ecuación de compresión JPEG con/sin pérdida y se codifica en binario usando la técnica de codificación de Huffman, tal como se muestra en la figura 3.6. La imagen "foto02.tif" con 92225 bits se transmite con compresión sin pérdidas (PSNR = inf) y la imagen "foto01.jpg" con 16351 bits se transmite con compresión con pérdidas (PSNR = 30.80). Esto se hace para preservar la imagen durante la transmisión inalámbrica para una precisión de transmisión del 100%.

El transmisor PSM de Hermite modula 2 bits paralelos de datos de imagen codificados en forma de 2 pulsos de Hermite. La señal compuesta final se transmite a través del canal AWGN y UWB. Los datos de imagen recibidos son demodulados por el bloque demodulador de PSM de Hermite y luego decodificados por un decodificador binario lineal y un decodificador Huffman. Se utiliza un correlacionador simple como demodulador en el receptor con filtro de ecualización de forzamiento cero para la estimación del canal. El ecualizador juega un papel importante en la compensación de los efectos del canal en la señal transmitida.

Los bits de datos de la imagen decodificada se descomprimen para la reconstrucción de la imagen y la PSNR se calcula entre las imágenes

transmitidas y recibidas. Dado que SSIM es una mejor medida de la calidad, la imagen recibida también se prueba para su parámetro SSIM. La simulación de Monte Carlo se realiza insertando el bloque de cálculo de error para evaluar el rendimiento de BER del sistema dado. El rendimiento del código de corrección de todos los datos (D-ADCC) de canal se evalúa aquí sobre la comunicación UWB para recibir una imagen 100% precisa en el receptor.

### 3.3.1. Resultados de simulación para transmisión de imágenes

El sistema UWB (véase la figura 3.5) está simulado para llevar a cabo la transmisión de imágenes a través de los canales IEEE UWB CM1-CM4 modelados para la comunicación en interiores utilizando los parámetros de simulación establecidos en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación para la transmisión de imágenes.

Parámetros del modelo	Valores
Fuente de datos	Datos de imagen con compresión sin pérdida/con pérdida
Codificación de canales	D-ADCC (8 2 5) R = k / n = 0.25
Ancho de pulso Hermite, $T_p$	0.5 ns
Ancho de trama, $T_f$	1.5 ns
No. de pulsos/símbolo	2
Frecuencia de muestreo, $F_s$	50 GHz
Técnica de modulación	PSM
Potencia máxima transmitida media (P <sub>tx</sub> )	10 dBm y 0 dBm
Modelos de canales UWB	CM1 (LOS – 4 m) CM3 (NLOS – 10 m)
Ecuación	15 taps (CM1) 25 taps (CM3)
Velocidad de bits sin ECC	1333 Mbps
Velocidad de bits con ECC	333 Mbps

Elaborado por: Autor.

Con una potencia de transmisión promedio de 10 dBm, los pulsos de Hermite se modulan PSM con datos de imagen y se transmiten a través del canal AWGN y UWB. La figura 3.6 ilustra el rendimiento de la tasa de error de bits (BER) del sistema UWB con modulación PSM para la transmisión de imágenes.

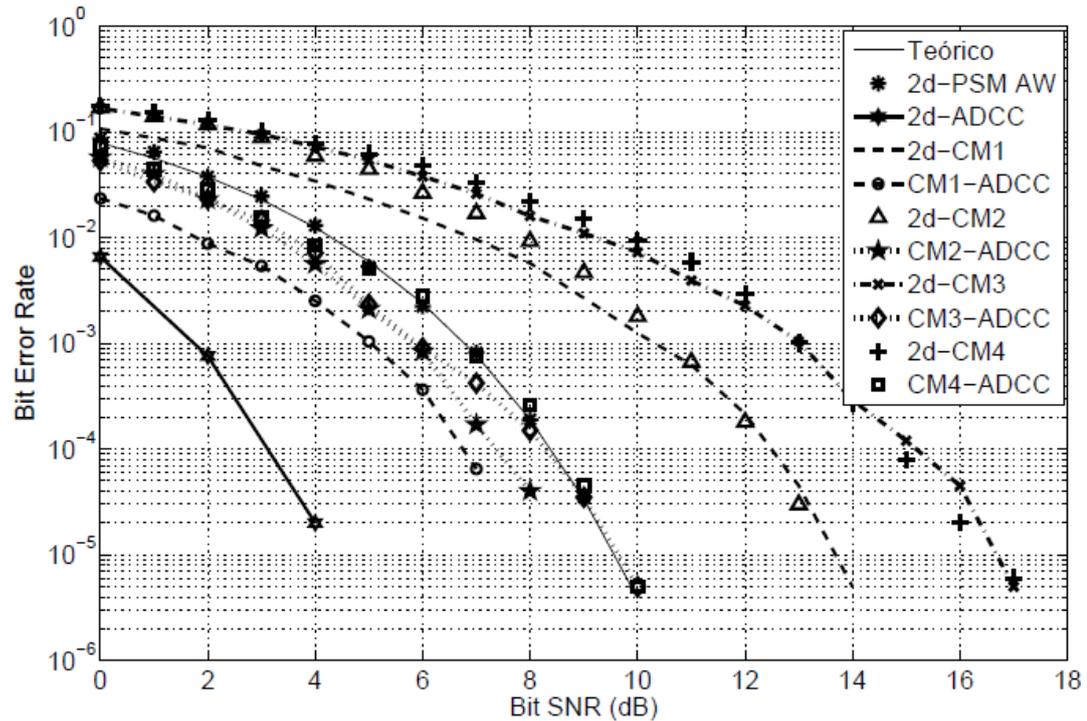


Figura 3. 6: BER del sistema codificado PSM sobre AWGN y UWB.  
Elaborado por: Autor.

### 3.3.2. Transmisión de imágenes sin pérdida sobre UWB

La imagen de prueba "foto02.tif" se transmite aquí con compresión sin pérdidas. Los bits de datos binarios de la imagen 92225 del codificador fuente se codifican en 368900 bits por el codificador de canal D-ADCC antes de la transmisión. En las figuras 3.7 (a) y (b) se muestran las imágenes recibidas en el receptor del sistema UWB con y sin códigos de corrección de errores (ECC).

En la tabla 3.2 se muestran los resultados de rendimiento de la BER del sistema con modulación PSM con código de corrección de errores (ECC) sobre el canal UWB para la transmisión de imágenes sin pérdida y también se muestra la relación señal a ruido pico (PSNR) de las imágenes recibidas.



(a) SNR = 2 dB, PSNR = 22.9

(b) SNR = 6 dB, PSNR = inf

Figura 3. 7: Imagen con compresión sin pérdida recibida utilizando D-ADCC (AWGN).

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Resultados de la simulación para la transmisión de imágenes sin pérdida

Modulación	$E_b/N_0$ (dB)	BER	PSNR de imagen	Velocidad de datos (Mbps)
PSM (AWGN)	7	$10^{-3}$	14.7	1334
	8	$10^{-4}$	45.65	
	10	$\sim 0$	infinito	
PSM (AWGN + D-ADCC)	2	$10^{-3}$	22.9	332
	5	$\sim 0$	infinito	
PSM (CM1)	10	$10^{-4}$	40	1334
	11	$10^{-5}$	78	
	14	$\sim 0$	infinito	
PSM (CM1 + D-ADCC)	6	$10^{-3}$	30	332
	7	$10^{-5}$	56	
	8	$\sim 0$	infinito	
PSM (CM3)	12	$10^{-4}$	45	1334
	14	$10^{-5}$	77	
	18	$\sim 0$	infinito	
PSM (CM3 + D-ADCC)	8	$10^{-4}$	39	332
	9	$10^{-5}$	53	
	10	$\sim 0$	infinito	

Elaborado por: Autor.

### 3.3.3. Transmisión de imagen con pérdida sobre UWB

El sistema UWB que utiliza la técnica de modulación PSM (véase la figura 3.2) también se simula para la transmisión de imágenes con pérdida. La imagen que se transmitirá, es decir, 'foto01', tiene una resolución de 128x128 píxeles. Se comprime mediante el algoritmo de compresión con pérdida JPEG y se codifica en 16351 bits mediante el código Huffman. Los bits de datos binarios de la imagen 16351 del codificador fuente se codifican en 65404 bits ( $16351/2 \times 8$ ) mediante el codificador de canal D-ADCC antes de la transmisión.

La imagen así comprimida tiene un PSNR de 30.81 dB antes de la transmisión. En la tabla 3.3 se muestran los resultados de rendimiento de la relación señal a ruido pico (PSNR) y tasa de error de bits (BER) del sistema UWB utilizando la modulación PSM con código de corrección de errores (ECC) sobre el canal UWB para la transmisión de imágenes con pérdida.

En las figuras 3.8 (a) y (b) se indican la calidad de las imágenes recibidas con una PSNR igual a 28 y 30.81 cuando se transmitieron utilizando el sistema codificado UWB (con D-ADCC) sobre el canal CM1 con SNR de 7 y 9 dB respectivamente.



(a) SNR = 7 dB, PSNR = 28

(b) SNR = 9 dB, PSNR = 30.81

Figura 3. 8: Imagen con compresión JPEG recibida con D-ADCC (CM1).

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 3: Resultados de simulación para la transmisión de imágenes con pérdida.

Modulación	$E_b/N_0$ (dB)	BER	PSNR de imagen	SSIM de imagen	Velocidad de datos Mbps
PSM (CM1)	8	$10^{-2}$	12.1289	0.251	1334
	10	$10^{-3}$	14.8692	0.5752	
	11	$10^{-3}$	18.2267	0.7356	
	12	$10^{-4}$	30.5287	0.9989	
	14	$10^{-5}$	30.8021	1	
CM1 + D-ADCC	3	$10^{-2}$	12.1563	0.2686	1334/4=333
	4	$10^{-3}$	12.8061	0.3098	
	5	$10^{-4}$	17.3748	0.6552	
	7	$10^{-5}$	28	0.9947	
	9	$10^{-6}$	30.8021	1	
PSM (CM3)	12	$10^{-3}$	12.9945	0.323	1334
	13	$10^{-3}$	12.9945	0.323	
	14	$10^{-4}$	13.6681	0.475	
	18	$10^{-4}$	30.8021	1	
CM3 + D-ADCC	6	$10^{-3}$	17.2543	0.6314	332
	8	$10^{-4}$	23.2633	0.8234	
	9	$10^{-5}$	24.8773	0.8951	
	10	$10^{-6}$	30.8021	1	

Elaborado por: Autor.

### 3.3.4. Observaciones y comparaciones para la transmisión de imágenes.

La figura 3.7 mostró la calidad de la imagen de "foto01" recibida cuando se transmite con compresión sin pérdidas a través del canal AWGN, mientras que la figura 3.8 mostró la calidad de la imagen recibida de 'foto02' con una PSNR igual a 28 y 30.81 en el bit de relación señal a ruido (SNR) de 7 y 9 dB respectivamente cuando se transmite una imagen JPEG con compresión con pérdida sobre CM1 utilizando el sistema UWB con modulación UWB. Se requiere un bit de SNR = 10 dB sobre AWGN y 14 dB sobre el canal CM1 UWB (4 m) para recibir imágenes con una precisión del 100% (PSNR = infinito) sin usar codificación de canal.

Si el código de canal D-ADCC se utiliza con el sistema de modulación PSM, entonces la SNR requerida por AWGN es de 6 dB, mientras que la SNR requerida por CM1 es de 9 dB para lograr el mismo rendimiento de BER. Sin

D-ADCC sobre UWB canal CM3 (10 m) se requiere un bit SNR de 18 dB para lograr una precisión del 100% en la transmisión de imágenes y con D-ADCC sobre CM3, se requiere un bit SNR de 11 dB para lograr un 100% de precisión en la transmisión de imágenes.

El sistema UWB codificado con D-ADCC proporciona una ganancia de codificación de 4 a 5 dB en un sistema no codificado. La imagen se transmite por un sistema no codificado con una velocidad de datos de 1334 Mbps y 332 Mbps utilizando un sistema codificado. En este capítulo, usando un transmisor muy simple (basado en la modulación de forma de pulso) y un receptor rentable (correlacionador único), junto con un código de corrección de doble error muy simple para decodificar, se logra una  $BER > 10^{-6}$  a una velocidad de datos de 333 Mbps y con una SNR de 9 dB por sistema codificado UWB. Esto se puede mejorar optimizando la estimación del canal.

### 3.4. Transmisión de video usando el sistema de modulación PSM.

Esta sección desarrolla la transmisión de video utilizando el sistema de modulación PSM, tal como se muestra en la figura 3.9. El transmisor (Tx) utiliza la modulación PSM y está compuesta por interruptores y sumador. Cinco interruptores en paralelo modulan los 5 bits de datos de entrada paralelos en cinco pulsos de Hermite. Si el bit de entrada es "0", se transmite un pulso Hermite positivo y si el bit es "1", se transmite un pulso negativo. Los cinco pulsos de los 5 interruptores se suman para formar el símbolo de la modulación PSM para el transmisor diseñado en Simulink.

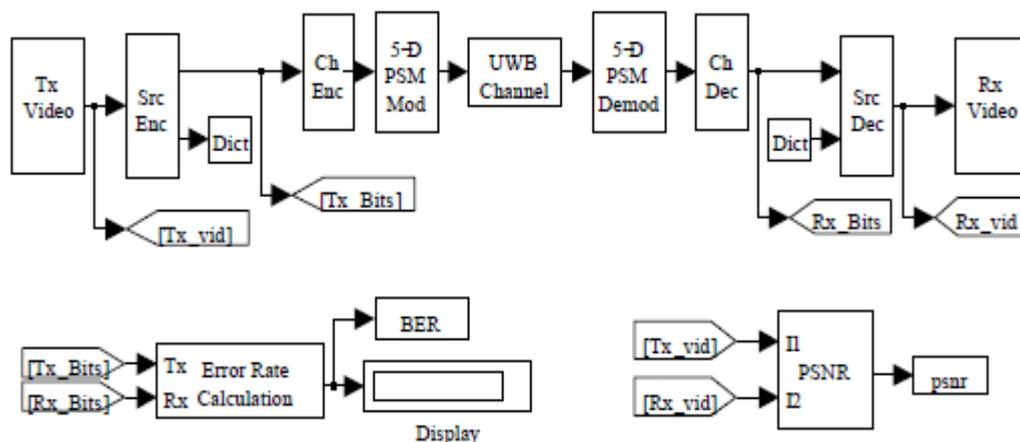


Figura 3. 9: Sistema Tx/Rx SM UWB para transmisión de video.  
Elaborado por: Autor.

La estructura del receptor del sistema UWB con modulación PSM consiste en un ecualizador de canal en el extremo frontal y, en lugar de usar un receptor rastrillo que se usa comúnmente para la comunicación UWB, se utilizó un receptor correlacionador único (multiplicador con sumador) seguido de la lógica del detector por dimensión de un sistema. El ecualizador se corresponde con la respuesta de impulso del canal UWB para reducir el efecto de ISI. El ecualizador con 19 taps funciona mejor con la técnica de modulación PSM de Hermite. La señal recibida ecualizada se multiplica con máscaras de 5 pulsos de Hermite que se transmitieron y se agregan los resultados individuales. Para cada resultado individual si es mayor que cero, el detector supone el bit transmitido como 0, de lo contrario, el bit transmitido es 1.

Por lo tanto, en resumen, el PSM de Hermite modula 5 bits paralelos en cinco formas de pulso diferentes utilizando la técnica de modulación PSM-BPSK combinada. La adición de 5 pulsos representa una forma de onda de símbolo de 5 bits a transmitir. En el canal receptor se ecualiza utilizando el ecualizador de forzamiento cero. Teniendo en cuenta el ancho de pulso = tiempo de chip:  $T_c = 1 \text{ ns}$ ,  $C_j$  = Código de salto de tiempo (por ejemplo 0, 1 etc.),  $N_h = 2$  es la cardinalidad del código de salto  $T_f = T_c N_h = 2 \text{ ns}$  es el ancho del periodo de trama ( $T_{\text{frame}}$ ), a continuación, se utiliza pulsos de portadora de Hermite.

El codificador de video que se muestra en la figura 3.3 codifica un video a transmitir utilizando un codificador de video sin pérdida que fue descrito en la sección 3.2.2. Aquí se emplea la codificación de Huffman, donde el video de prueba "video01" en escala de grises con 20 tramas de 128x128 resoluciones está comprimido por un codificador de video sin pérdida que utiliza el algoritmo de compresión de la ecuación (ver sección 3.1). Con compresión sin pérdida, se requieren 2383618 bits para codificar 20 tramas de video para "video01". Estos 2383618 bits están codificados por el codificador de canal en 9534472 ( $\sim 10^7$ ) bits usando el código de corrección de error quíntuple de velocidad de código  $\sim 1/4$ , para corregir los 5 bits de datos transmitidos por el transmisor a través del canal UWB logrando una

corrección de datos del 100%. En el receptor estos bits de video codificados se transmiten utilizando el sistema UWB codificado con PSM a través de los canales CM1 y CM3.

La señal recibida se pasa a través de un ecualizador y luego se convierte de formas de onda a señal digital utilizando una estructura de receptor simple. La salida del detector es decodificada por el decodificador de canal para eliminar los bits redundantes añadidos por el codificador de canal para proteger la señal de información codificada. Finalmente, el decodificador fuente descomprime la señal usando el decodificador de video y recupera el video transmitido, tal como se indica en la figura 3.4. El bloque de cálculo de errores obtiene la BER del sistema y el bloque PSNR mide la relación señal a ruido pico de los videos transmitidos y recibidos.

#### 3.4.1. Resultados de simulación para transmisión de video.

La tabla 3.4 enumera los parámetros de simulación establecidos para evaluar el desempeño del sistema UWB utilizando la modulación PSM basado en Hermite. La frecuencia de muestreo se establece en 50 GHz,  $T_p = 1 \text{ ns}$ ,  $T_f = 2 \text{ ns}$ . La figura 3.10 muestra los videos recibidos "video01" y "video02" en escala de grises transmitidos con compresión sin pérdidas. Las figuras 3.11 y 3.12 indican el rendimiento de la tasa de error de bits (BER) del sistema de modulación PSM a una potencia de transmisión promedio de 10 dBm y 0 dBm con y sin código de corrección de errores (ECC) en los canales AWGN y UWB.



(a) Forman video

(b) Video de Suzie

Figura 3. 10: Fotogramas de video recibidos con compresión sin pérdidas.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 4: Parámetros de simulación para transmisión de video

Parámetros del modelo	Valores
Fuente de datos	Datos de video con compresión sin pérdidas
Ancho de pulso Hermite, $T_p$	1 ns
Codificación de canales	ECC (24 5 11) R=k/n=0.21
Ancho de trama, $T_f$	2 ns
No. de pulsos/símbolo	Cinco
Frecuencia de muestreo, $F_s$	50 GHz
Técnica de modulación	PSM
Potencia máxima transmitida media $P_{tx}$	10 dBm and 0 dBm
Modelos de canales UWB (distancia de transmisión)	CM1 (LOS-4m) CM3 (NLOS-10m)
Igualdad	14 taps (CM1) 16 taps (CM3)
Velocidad de bits sin ECC	$\approx 2500$ Mbps
Velocidad de bits con An-ADCC	$\approx 520$ Mbps

Elaborado por: Autor.

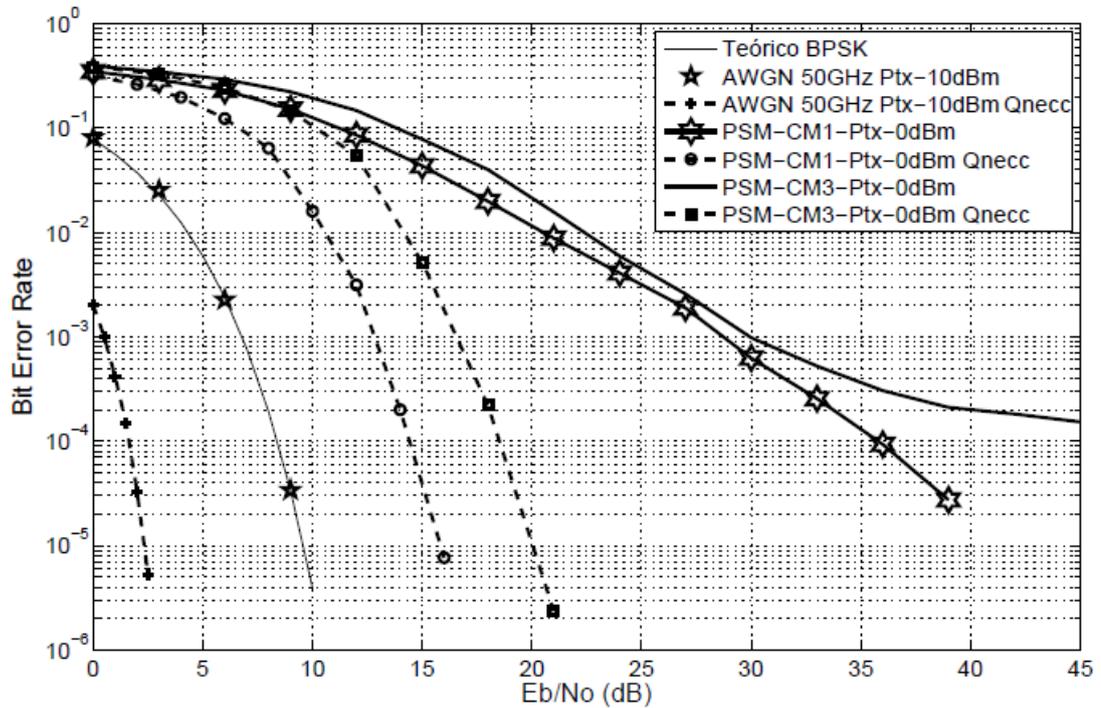


Figura 3. 11: BER del sistema PSM con ADCC,  $P_{tx}$ : 0 dBm.

Elaborado por: Autor.

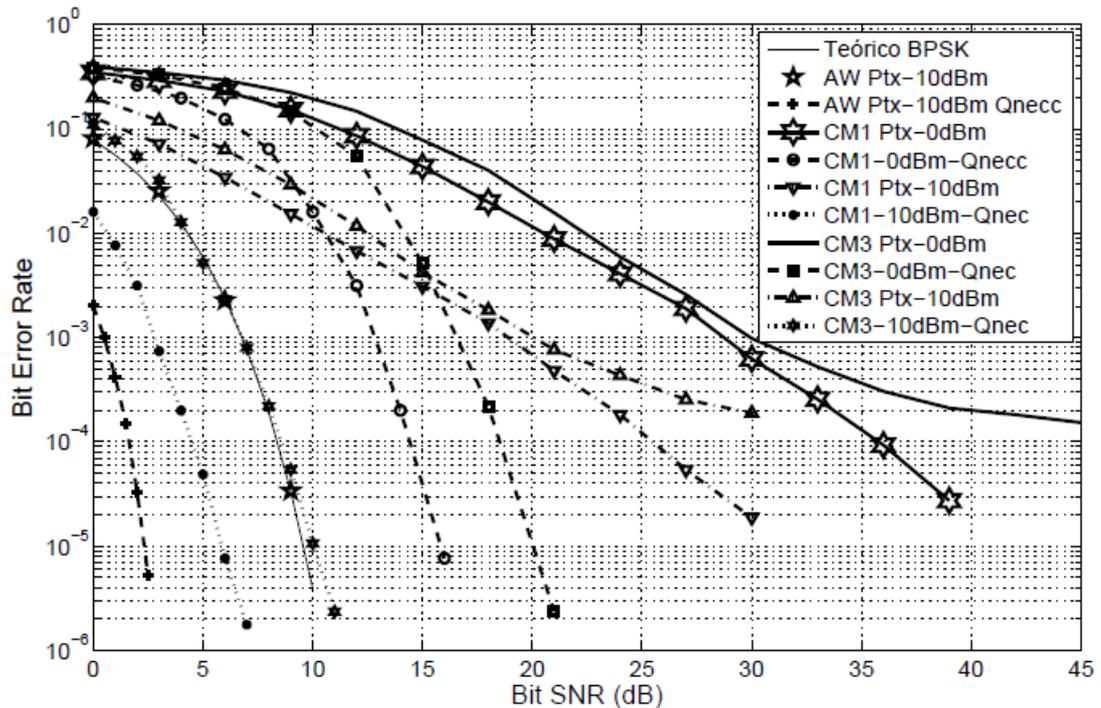


Figura 3. 12: BER del sistema PSM con ADCC, Ptx: 0 dBm y 10 dBm.  
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 5: BER para la transmisión de video del sistema de modulación PSM.

Canal UWB	Bit-SNR dB BER => 10 <sup>-7</sup>		Velocidad de datos Mbps
	Ptx = 10 dBm	Ptx = 0 dBm	
CM1	30	40	2500
CM1 + ECC Video- PSNR = inf	8	18	520
CM3 + ECC Video- PSNR = inf	12	22	520

Elaborado por: Autor.

El video genera gran cantidad de datos, aquí se codifican 20 fotogramas de video escala grises "video01" en  $\sim 10^7$  dígitos binarios que utilizan aproximadamente 8 bits por píxel. La codificación de video en color generará tres veces los bits de datos que la del video en gris, ya que necesita una representación de 8 bits para cada píxel rojo, verde y azul. La transmisión de datos tan grandes de video en color es computacionalmente compleja, necesita de un mayor almacenamiento de memoria y exige más tiempo de ejecución de simulación. Además, las técnicas de compresión o cualquier otro

proceso de codificación de video y la cantidad de datos transmitidos no tienen impacto en la precisión y la BER del sistema de transmisión, ya que el enlace de transmisión solo trata con datos binarios. Por lo tanto, el video gris se transmite aquí para probar la precisión del sistema UWB diseñado a alta velocidad. La transmisión de video en color está fuera del alcance del presente trabajo de titulación.

#### **3.4.2. Observaciones y comparaciones para la transmisión de video.**

Para las simulaciones, la frecuencia de muestreo se establece en 50 GHz y el ancho de pulso de Hermite se establece en 2 ns. Las simulaciones se llevan a cabo con tres potencias de transmisión promedio diferentes, como 10 dBm, 0 dBm (1 mW) y -30 dBm. La figura 3.12 muestra el rendimiento de la BER del sistema de modulación PSM codificado para diferentes potencias de transmisión de 0 dBm y 10 dBm, mientras que la tabla 3.6 indica estos resultados de la BER con código de corrección de errores (ECC) para diferentes potencias.

Se observa que sobre el canal CM1 de UWB (4 m), se logra una BER de  $10^{-4}$  en el bit SNR de 37 dB aproximadamente y sobre CM3 (10 m) en el bit SNR de 47 dB sin ECC. Según la tabla 3.6 a una potencia de transmisión de 0 dBm, con ADCC, a través de CM1, el video se recibe con una precisión del 100% (PSNR = inf) en bit-SNR de 18 dB y sobre CM3 a 22 dB. La figura 3.13 indica el rendimiento del sistema UWB con modulación PSM utilizando el código BCH de corrección de 5 bits (31, 11).

El código BCH tiene una velocidad de código de 0.36 y, por lo tanto, puede lograr una velocidad de datos más alta de 887 Mbps en comparación con el código de corrección de datos quíntuple 100% que tiene una velocidad de código de 0.21 y alcanza una velocidad de datos de 520 Mbps. En la figura 3.13, se ve que a una  $P_{Tx} = 0$  dBm, en una comunicación inalámbrica a una distancia de 10 m (CM3), el código BCH apunta a una BER de  $10^{-5}$  a 22 dB bit SNR, pero no proporciona una mejora adicional en BER con SNR creciente mientras que ADCC logra un BER  $> 10^{-7}$  a 22 dB bit SNR con los mismos parámetros de simulación.

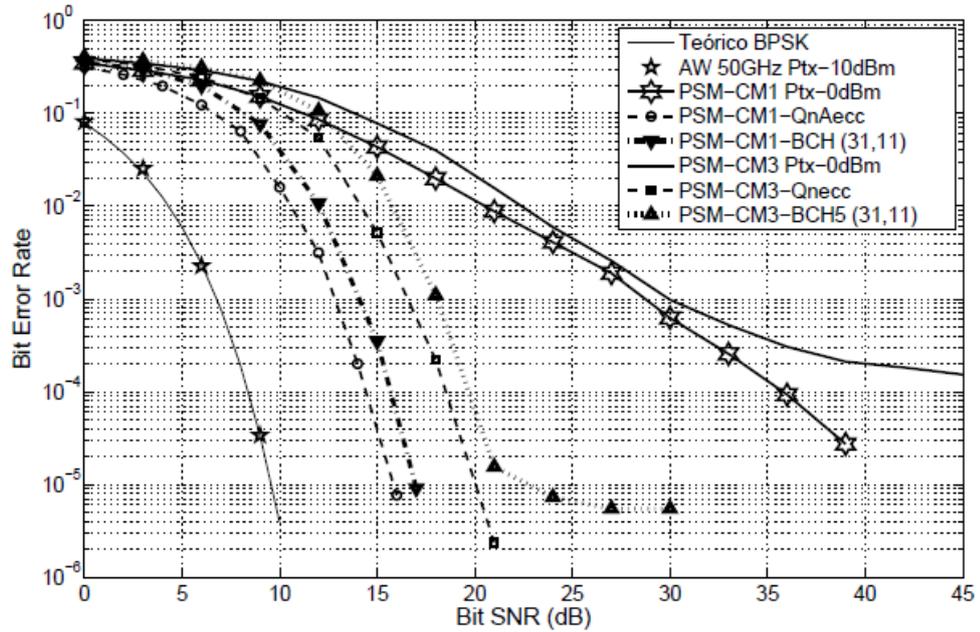


Figura 3. 13: BER del sistema UWB con modulación PSM y código BCH (31, 11).  
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 6: Comparación entre el ECC propuesto y el código BCH convencional para la transmisión de video

	Tasa de código ADCC = 0.21		Tasa de código BCH (31 11) = 0.36	
	CM1	CM3	CM1	CM3
En $P_{Tx} = 0$ dBm	CM1	CM3	CM1	CM3
Velocidad de datos (Mbps) = $T_f \times$ velocidad de código	525	525	887	877
Bit SNR (dB)	18	22	24	22
BER	0 ( $> 10^{-7}$ )	0 ( $> 10^{-7}$ )	0 ( $> 10^{-7}$ )	$\approx 10^{-5}$
Calidad del video recibido (100% de precisión en PSNR = inf)	PSNR=inf	PSNR=inf	PSNR=inf	PSNR= 24.87

Elaborado por: Autor.

Por lo tanto, a una potencia de transmisión de 0 dB, el 'video01' transmitido con compresión sin pérdida (20 tramas) se ha recibido con una precisión del 100% (PSNR = inf) utilizando ADCC en el bit SNR de 18 dB en CM1 y 22 dB en canales CM3 UWB. La velocidad de transmisión de datos lograda con ECC es de 520 Mbps. BER se puede mejorar aún más modificando pulsos básicos de Hermite para su ortogonalidad. Los resultados

de BER utilizando ADCC se han comparado aquí con los resultados obtenidos utilizando el código BCH de corrección de errores de 5 bits. Se observa que más de 10 m el rango dinámico del receptor mejora usando el código ADCC sobre el código BCH.

## Conclusiones

Los largos códigos cíclicos que son fáciles de implementar y rentables para el sistema UWB se han diseñado para una alta precisión de comunicación en el Capítulo 2. Se puede desear una alta precisión durante la transmisión de datos confidenciales, como imágenes y videos médicos.

El rendimiento de un solo usuario, punto a punto, en sistemas inalámbricos codificados mediante modulación PSM en transmisiones UWB con hardware simplificado se ha evaluado aquí para la transmisión de video de alta velocidad en dispositivos electrónicos. El rendimiento del sistema BER se ha evaluado aquí a través de los canales UWB CM1 y CM3 para una distancia de comunicación interior de 4 m y 10 m respectivamente.

ADCC, es un código de corrección de datos 100% se ha utilizado aquí para mejorar la precisión de la comunicación. Por 100% de precisión de datos se entiende que todos los bits de 5 datos transmitidos a través del sistema H-5d UWB se recuperaron en el receptor independientemente de los efectos del canal cuando un número total de errores en la palabra de código recibida fue menor o igual a 5.

## **Recomendaciones.**

Implementar equipos de laboratorio para el procesamiento de señales, imágenes y videos, así como la compra de licencias profesionales de plataformas de simulación.

Incentivar a los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones para el desarrollo de nuevas aplicaciones en el tratamiento de imágenes llamadas actualmente Visión por Computadora

## Bibliografía.

- Alarifi, A., Al-Salman, A., Alsaleh, M., Alnafessah, A., Al-Hadhrami, S., Al-Ammar, M., & Al-Khalifa, H. (2016). Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. *Sensors*, 16(5), 707. <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- Calderón González, J., & Carmona Salazar, Ò. D. (2015). *Image Enhancement with Matlab Algorithms*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-770>
- da Silva, J. A. N., & de Campos, M. L. R. (2007). Spectrally Efficient UWB Pulse Shaping With Application in Orthogonal PSM. *IEEE Transactions on Communications*, 55(2), 313–322. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2006.887493>
- Gaddam, P. C. S. K., & Sunkara, P. (2016). *Advanced Image Processing Using Histogram Equalization and Android Application Implementation*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-13735>
- Ghavami, M., Amini, A., & Marvasti, F. (2008). Unified Structure of Basic UWB Waveforms. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 55(12), 1304–1308. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2008.2008068>
- Looney, C. G. (2020). *Digital Image Processing: Unit 1. Introduction to Images* [Computer Science Department]. University of Nevada. <https://www.cse.unr.edu/~looney/cs674/syl674Latest.htm>
- Mahmud, Md., Islam, M., Misran, N., Almutairi, A., & Cho, M. (2018). Ultra-Wideband (UWB) Antenna Sensor Based Microwave Breast Imaging: A Review. *Sensors*, 18(9), 2951. <https://doi.org/10.3390/s18092951>
- Mishra, S., Rajesh, A., & Bora, P. K. (2012). Performance of pulse shape modulation of UWB signals using composite hermite pulses. 2012

*National Conference on Communications (NCC)*, 1–5.  
<https://doi.org/10.1109/NCC.2012.6176773>

Moon, Y. S., Han, B. G., Yang, H. S., & Lee, H. G. (2019). Low Contrast Image Enhancement Using Convolutional Neural Network with Simple Reflection Model. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 4(1), 159–164. <https://doi.org/10.25046/aj040115>

Wakin, M. (2020). *Standard test images—Lena/Lenna* [Electrical and Computer Engineering]. Rice University.  
<https://www.ece.rice.edu/~wakin/images/>

Wirth, M., & Nikitenko, D. (2011). Worn-out Images in Testing Image Processing Algorithms. *2011 Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, 183–190. <https://doi.org/10.1109/CRV.2011.31>



## ECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTIN** con C.C: # 095329126-7 autor del componente práctico del examen complejo: **Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación forma de pulsos** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: HIDALGO MERINO, JONATHAN MARTIN

C.C: 095329126-7



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Simulación de un sistema de Tx/Rx de imágenes y videos utilizando la modulación forma de pulsos		
<b>AUTOR(ES)</b>	Hidalgo Merino, Jonathan Martín		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	18 de Septiembre del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	36
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Fundamentos de comunicación, comunicaciones inalámbricas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Comunicaciones, Inalámbricas, Canales, Procesamiento, Imágenes, Video		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El presente trabajo es el desarrollo del componente práctico del examen complejo cuyo tema es "Simulación de un sistema de transmisión y recepción de imágenes y videos utilizando la modulación por forma de pulsos. En el capítulo 1 se realiza una breve descripción del tema investigado. En el capítulo 1, se describe la tecnología de banda ultra ancha (UWB) siendo una tecnología de vanguardia para las comunicaciones inalámbricas con una amplia gama de aplicaciones. Se explica claramente los principios y tecnologías de UWB para comunicaciones inalámbricas. Se abordan cuestiones clave como canales inalámbricos UWB, interferencia, procesamiento de señales e imágenes, así como aplicaciones y actividades de estandarización. Introducción a la banda ultra ancha para comunicaciones inalámbricas proporciona material fácil de entender para estudiantes (graduados) e investigadores que trabajan en el campo de las comunicaciones inalámbricas UWB comerciales. En el capítulo 3 se desarrolla los escenarios de simulación del sistema de Tx/Rx de imágenes y videos sobre la plataforma Matlab/Simulink utilizando la modulación forma de pulsos.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-84398255	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:jonathan97@live.com">jonathan97@live.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-67608298		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			